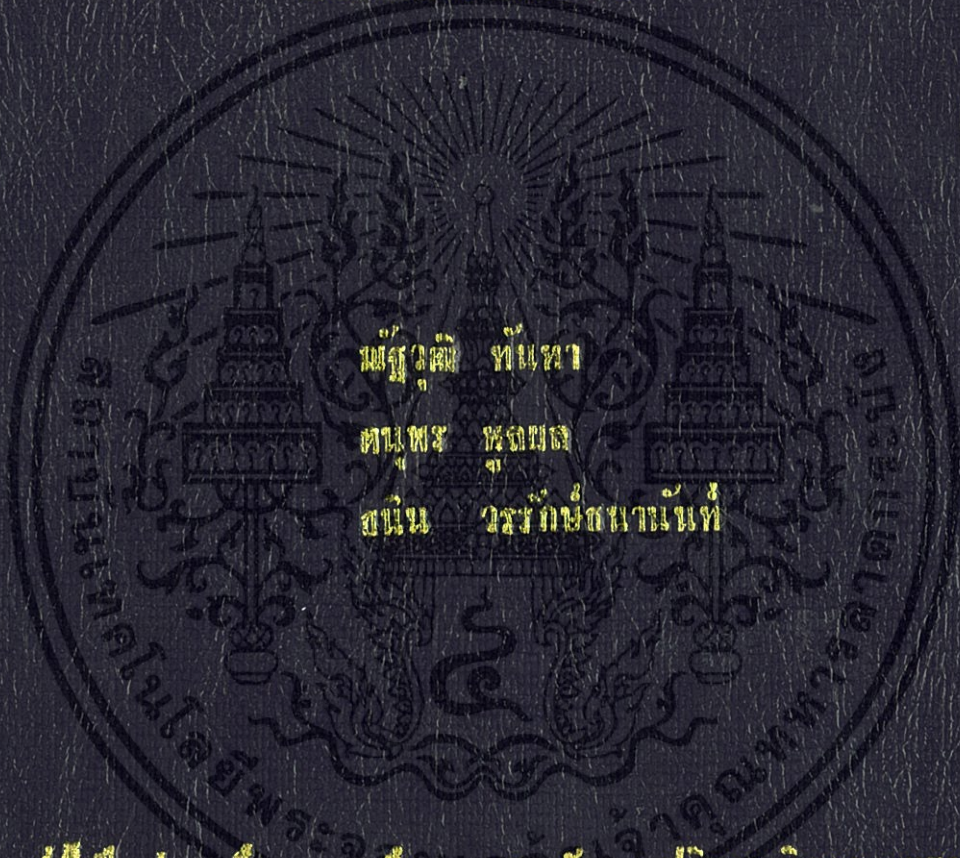


การปรับปรุงการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแก๊สไฟกลไก

ผลิตภัณฑ์ส่งต่อทาง

MODIFIED AND MANUFACTURED AN ALPHA-TYPE DOUBLE ACTING
STIRLING ENGINE



ศาสตราจารย์ ยืนยง
ศาสตราจารย์ พงษ์เทพ
สนั่น อรรถกษัตริย์

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การปรับปรุงการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟากลไก
ผลิตกำลังสองทาง
Modified and manufactured an Alpha-type Double Acting
Stirling Engine



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modified and manufactured an Alpha-type Double Acting
Stirling Engine



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การปรับปรุงการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟาแก๊สผลิตกำลังสองทาง

Modified and manufactured an Alpha-type Double Acting Stirling Engine

ผู้จัดทำ

1. นายณัฐวุฒิ ทันทา 53010514
2. นายคณูพร พูลผล 53010534
3. นายธนิน วรรณรักษ์นันท์ 53010692



อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

(ผศ.ดร.สุตภัสร์ แคว้นเขาเมือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา กลไกผลิตกำลังสองทาง

นายณัฐวุฒิ ทันทา 53010514
 นายคนุพร พูลผล 53010534
 นายธนิน วรวัชรธนานันท์ 53010692
 ผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการการปรับปรุงและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟาการผลิตกำลังสองทาง (Modified and Manufactured an alpha-type double acting Stirling engine) จากการออกแบบก่อนหน้า ปริญญาานิพนธ์ “การออกแบบและการจำลองสถานการณ์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟาการผลิตกำลังสองทาง” (Design and Simulation of an Alpha-type Double Acting Stirling Engine) ซึ่งมีลูกสูบ 4 ลูกสูบ ใช้อากาศเป็นสารทำงาน โดยการทำงานของเครื่องยนต์เกิดจากการขยายและหดตัวของสารทำงาน ขับให้ลูกสูบเคลื่อนที่ผลิตกำลังส่งต่อกำลังให้กับกลไกโรสส์ยอร์กซึ่งจะทำการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ขึ้น - ลงของกระบอกสูบให้กลายเป็นการหมุนสำหรับเพลาข้อเหวี่ยง มีการถ่ายโอนความร้อนโดยใช้ครีบอกสู่อากาศ โดยที่ในปริญญาานิพนธ์นี้ได้นำเครื่องยนต์ที่มีการออกแบบอยู่ก่อนแล้วมาทำการ ปรับปรุง แก้ไขและออกแบบชิ้นส่วนใหม่เพิ่มเติม รวมถึงตัดบางชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนในการผลิตและการประกอบสูงออกไปจากเดิมที่ไม่มีการออกแบบการกันรั่วและมีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง เพื่อให้สามารถทำการผลิตและประกอบเครื่องออกมาให้มีความผิดพลาดเนื่องจากความซับซ้อนของแต่ละชิ้นส่วนน้อยที่สุดเหมาะสมแก่เวลาและมีค่าใช้จ่ายที่สมควร โดยเครื่องยนต์นี้เมื่อมีการผลิตและประกอบเครื่องยนต์ต้นแบบได้แล้ว จะทำการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อเป็นเครื่องยนต์ต้นแบบในประเทศไทยต่อไป

คำหลัก: เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, กลไกการผลิตกำลังสองทาง, รูปแบบแอลฟา

Modified and manufactured an Alpha-type Double Acting Stirling Engine

Nattawut	Tanha	53010514
Danuporn	Poolpon	53010534
Thanin	Wararuktananun	53010692
Assis.Prof.Dr.Sutapat Kwankaomeng		Advisor

Abstract

This project aims to modify and manufacture of an alpha-type double acting Stirling engine from the previous design, the project “Design and Simulation of an Alpha-type Double Acting Stirling Engine” which has 4 cylinders. Air is used as the working fluid. The engine is powered by air expansion and compression with Ross Yoke mechanism converted linear motion of piston to rotational motion of crankshaft. The engine in this project has annular fin cooler cooled by air. In this project we have improved and redesigned of the previous thesis, by adding new parts and cut off complicated assemblies. From the previous design which has no seal and has high cost, we made them to available to manufacture with minimum parts as possible with proper time and suitable cost. The prototype was built and assembled. The preliminary test will be conducted in order to prove of the design concept.

Keywords: Stirling engine, Double acting, Alpha-type

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ไม่สามารถสำเร็จได้หากปราศจากความช่วยเหลือจากผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์บรรเทิง ศิลป์สกุลสุขจากมหาวิทยาลัยสยามผู้ให้คำแนะนำ และติดตามการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดปีการศึกษา ขอขอบคุณโรงขึ้นรูปชิ้นงานโลหะช. การช่าง สาขาinggแก้วในการปรับแก้ชิ้นงานในหลายๆ ส่วนโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมแต่อย่างใด ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมภาคที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการจัดหา จัดซื้อ รวมไปถึงการให้ความช่วยเหลือในแง่ต่างๆ ตลอดมา และขอขอบคุณครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันที่ทำให้สามารถ ก้าวเดินมาจนถึงจุดนี้ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ประวัติของเครื่องยนต์ความร้อนและเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	4
2.1.1. ประวัติของเครื่องยนต์ความร้อนและวัฏจักรอุณหพลศาสตร์	4
2.1.2. ประวัติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	4
2.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟา กลไกผลิตกำลังสองทางและกลไกโรสส์ยอร์ก	5
2.2.1. เครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟา กลไกผลิตกำลังสองทาง	5
2.2.2. กลไกโรสส์ยอร์ก	6
2.3 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	6
2.3.1 ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน	6
2.3.2 ลูกสูบไล่	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3. ลูกสูบกำลัง	7
2.3.4 รีเจนเนอร์เรเตอร์	7
2.3.5 เพลาข้อเหวี่ยง	8
2.3.6 ล้อช่วยแรง	8
2.3.7 สารทำงาน	9
2.4 รูปแบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	9
2.4.1 เครื่องยนต์รูปแบบแอลฟา	9
2.4.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบตา	10
2.4.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมา	11
2.5 ทฤษฎีในการทำงาน	11
2.5.1. ทฤษฎีพื้นฐาน	11
2.6 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในปัจจุบัน	18
2.6.1. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบชั้นฟิล์ม	18
2.6.2. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของบริษัทผู้ต่อเรือคอคัม	19
2.6.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง 3 สูบจากบริษัทวิกเรโวลูชันมอเตอร์จำกัด	20
2.6.4 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบแสงอาทิตย์	20
2.6.5 UWE MOCH	22
2.6.6. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบพลังงานยั่งยืน	22
2.6.7. STM power	23
2.6.8. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของบริษัทวิสเปอร์เทค	24
บทที่ 3 การปรับปรุง การสร้างเครื่องยนต์	25
3.1 การกันรั่ว	25
3.1.1. การหาขนาดร่องและโอริง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การออกแบบชิ้นส่วนเพิ่มเติม	26
3.2.1. ชิ้นส่วนปรับแก้	26
3.2.2. ชิ้นส่วนที่ออกแบบใหม่	26
3.2.3. ชิ้นส่วนมาตรฐาน	34
3.3 การปรับปรุงแบบเพื่อลดต้นทุนในการผลิต	36
3.3.1. ชิ้นส่วนปรับแก้	36
3.3.2. ชิ้นส่วนที่ทำการตัดออก	36
3.4 การเชื่อม	36
บทที่ 4 การผลิตและการประกอบเครื่องยนต์	38
4.1 การปรับปรุงแบบและการตัดทอนชิ้นส่วนเพื่อความเหมาะสมต่อช่วงเวลา	39
4.2 ชิ้นส่วนแล้วเสร็จ	39
4.2.1. คุลเลอร์	39
4.2.2. กระบอกสูบ	40
4.2.3. ลูกสูบ	41
4.2.4. ก้านสูบ	42
4.2.5. แผ่นเพลท	42
4.2.6. ส่วนเสริมก้านสูบ	43
4.2.7. กลไกรอสส์ยอร์ก	43
4.2.8. ลิงค์เกอร์	44
4.2.9. เพลลาข้อเหวี่ยง	45
4.2.10. ฐานเครื่องยนต์	46
4.2.11. ล้อช่วยแรง	46
4.2.12. ท่อ	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.13. รีเจเนเรเตอร์	47
4.2.14. ลูกสูบและกระบอกสูบ	47
4.2.15. รูปรวมกลุ่มชิ้นส่วนส่งกำลัง	48
4.3 ชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยตัวเอง	48
4.3.1. ท่อ	48
4.3.2. เฟรม	48
4.4. การประกอบเครื่องยนต์	48
4.4.1. ปัญหาที่เกิดขึ้นก่อนการประกอบเครื่องยนต์	49
4.4.2. วิธีการประกอบเครื่องยนต์	49
4.4.3. ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการประกอบเครื่องยนต์	50
4.4.4. ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากสวมประกอบเครื่องยนต์แล้วเสร็จ	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงขนาดของตลับลูกปืนที่ใช้	34
3.2 ตารางแสดงส่วนยึดในส่วนของตำแหน่งและขนาด	35
4.1 ตารางแสดงชิ้นส่วนของเครื่องยนต์	39
5.1 ตารางแสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์	53



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน	3
2.1 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	
รูปแบบแอลฟา กลไกผลิตกำลังสองทาง	5
2.2 รูปแบบแผนภูมิฟรียอดี้ (Free body diagram) ของกลไกโรสส์ยอร์ก	6
2.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ และประสิทธิภาพของรีเจนเนอเรเตอร์	8
2.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ และคุณสมบัติของสารทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์	9
2.5 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟา	10
2.6 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟาและกลไกโรสส์ยอร์ก	10
2.7 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟา กลไกผลิตกำลังสองทางแบบ	
4 ระบายออกสู่อากาศเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบตา	10
2.9 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมา	11
2.10 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขั้นที่ 1 (รูปซ้าย) และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปขวา)	12
2.11 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขั้นที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปขวา)	13
2.12 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขั้นที่ 3 (รูปซ้าย) และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปขวา)	13
2.13 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขั้นที่ 4 (รูปซ้าย) และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปขวา)	14
2.14 แผนภาพแสดงวัฏจักรสเตอร์ลิงโดยรวมจากความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตร (รูปซ้าย) และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเอนโทรปี (รูปขวา)	15
2.15 แสดงปริมาณกำลังที่เกิดขึ้นในระบบ โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟ	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ของแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปซ้าย) และปริมาณของพลังงานความร้อนที่ถูกระบายออกมา โดยมีปริมาณเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิอุณหภูมิต่อเวลา (รูปขวา)	16
2.16 แสดงปริมาณพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ระบบ โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิอุณหภูมิต่อเวลา นับแต่อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของระบบ	16
2.17 แสดงปริมาณงานที่เกิดขึ้น โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดของแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปซ้าย) และปริมาณความร้อนที่สูญเสียไป โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิอุณหภูมิต่อเวลา (รูปขวา)	17
2.18 แสดงปริมาณความร้อนที่สูญเสียไป โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิอุณหภูมิต่อเวลา	17
2.19 แสดงปริมาณงานสุทธิที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบวัฏจักร ในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปซ้าย) และพลังงานความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบวัฏจักร ในแผนภูมิอุณหภูมิต่อเวลา	18
2.20 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบชั้นพัลส์	19
2.21 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของบริษัทผู้ต่อเรือคอคคัม	19
2.22 ระบบการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจากบริษัทผู้ต่อเรือคอคคัม	19
2.23 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง 3 สูบจากบริษัทวิศวกรเรือชั้นมอเตอร์จำกัด	20
2.24 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบแสงอาทิตย์	21
2.25 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ถูกประยุกต์ใช้ในระบบแสงอาทิตย์	21
2.26 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบ UWE MOCH ชนิดแกมม่า	22
2.27 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบ UWE MOCH ชนิดเบตา	22
2.28 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบพลังงานยั่งยืน	23
2.29 เครื่องยนต์ STM Power	23
2.30 รูปตัดขวางเครื่องยนต์ STM Power	23
2.31 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของบริษัทวิสเปอร์เทค	24
3.1 ความหนาของ O-Ring และ ร่องของ O-Ring	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 ก. ฐานกระบอกสูบแบบเก่า	26
3.2 ข. ฐานกระบอกสูบแบบใหม่	26
3.3 ก. ส่วนเสริมของก้านสูบ	27
3.3 ข. การออกแบบใหม่ที่ส่วนเสริมของก้านสูบประกอบเข้ากับแผ่นเพลท	27
3.4 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของกลไกโรสส์ยอร์กและชิ้นส่วนรักษาแนวการเคลื่อนที่	28
3.5 ก. ชุดเพลลาในการออกแบบก่อนหน้านี้	28
3.5 ข. ชุดเพลลาในการ ออกแบบล่าสุด	28
3.6 ชิ้นส่วนรักษาแนวการเคลื่อนที่ (Locking-Level)	28
3.7 ล้อช่วยแรง	30
3.8 แสดงการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก	31
3.9 ชิ้นส่วนหล่อเย็น (cooler)	32
3.10 กระบอกสูบ	33
3.11 การจำลองสถานการณ์การอัดความดันลงในกระบอกสูบ	33
3.12 ตัวอย่างชิ้นงานเชื่อม	36
4.1 แสดงชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์	38
4.2 คูลเลอร์	40
4.3 กระบอกสูบ	40
4.4 ลูกสูบส่วนบน	41
4.5 ลูกสูบส่วนล่าง	41
4.6 ก้านสูบ	42
4.7 แผ่นเพลท	42
4.8 ส่วนเสริมก้านสูบ	43
4.9ก. กลไกโรสส์ยอร์กด้านหน้า	43
4.9ข. โรสส์ยอร์กด้านหลัง	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ลิงค์เกอร์	44
4.11ก. เพลลาข้อเหวี่ยงส่วนติดกับล้อช่วยแรง	45
4.11ข. เพลลาข้อเหวี่ยงส่วนติดกับข้อเหวี่ยง	45
4.11ค. เพลลาข้อเหวี่ยงส่วนปลาย	45
4.11ง. ข้อเหวี่ยง	45
4.12 ฐานเครื่อง	45
4.13 ล้อช่วยแรง	46
4.14 ท่อหลังจากการตัดแล้ว	46
4.15 รีเจอเนเรเตอร์	47
4.16 ลูกสูบและกระบอกสูบ	47
4.17 กลุ่มชิ้นส่วนส่งกำลัง	48
4.18 กลุ่มชิ้นส่วนกลไกส่งกำลัง	51
4.19 แสดงการเยื้องของเพลลา	51
4.20 รูปภาพแสดงการเบี้ยวของล้อช่วยแรง	52
5.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟากลไกผลิตกำลังสองทางตามที่ได้ทำการปรับปรุง	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงถือกำเนิดขึ้นในปี 1816 โดยแนวคิดของนายโรเบิร์ต สเตอร์ลิงผู้ซึ่งเป็นอธิการของโบสถ์แห่งสกอตแลนด์อยู่ ณ เวลานั้น หลังจากนั้นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่องเพื่อความพยายามอย่างยิ่งยวดที่จะลดจุดบกพร่องและความไม่สมบูรณ์แบบทั้งหลายลงทั้งจากตัววัสดุและระบบการทำงานของเครื่องยนต์เอง[5]

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงถือเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอกโดยใช้ของไหลทำงานในสถานะแก๊สภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน หลักการทำงานของเครื่องยนต์จะใช้ส่วนต่างของอุณหภูมิและการขยายหรือหดตัวของของไหลทำงานในการขับเคลื่อนลูกสูบ และมีกลไกในการสร้างกำลังต่อไป [4]

เนื่องด้วยลักษณะการทำงานเช่นนี้เอง เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงถือเป็นเครื่องยนต์สะอาด มีความหลากหลายของแหล่งเชื้อเพลิง เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งในกระบวนการ หรือ พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล ด้วยเหตุผลดังกล่าว เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำคัญในยุควิกฤติพลังงานดังเช่นในปัจจุบันที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาต่อไป[4]

ทางผู้จัดทำได้นำปริญญานิพนธ์ “การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา กลไกการผลิตกำลังสองทาง” ซึ่งมีการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องยนต์พื้นฐานไว้ครบถ้วนและมีการจำลองสถานการณ์ (simulation) การทำงานไว้ โดยผู้จัดทำได้ทำการปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มเติมในส่วนที่ขาดหายไป เช่น การออกแบบการกันรบกวน และการใส่ชิ้นส่วนมาตรฐานในตำแหน่งต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมต่อการผลิตและประกอบ

แม้ว่าการออกแบบใหม่ช่วยลดจุดพร่องของการทำงานในหลายด้าน แต่ก็ยังมีจุดที่ต้องพัฒนาอีกต่อไป ในอนาคต ทั้งเรื่องของวัสดุ กลไกการขับเคลื่อนที่แรงเสียดทานยังมีผลต่อการเคลื่อนที่ ซึ่งจะไม่สามารถมองเห็นข้อบกพร่องได้ชัดเจน จึงต้องมีการสร้างและทดลองเก็บค่าเพื่อหาผลลัพธ์[4] ที่จะใช้ประเมินในการพัฒนาระบบให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในการทำงานที่กว้างขึ้น

1.2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิจัยการทำงานและการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา กลไกการผลิตกำลังสองทาง (An alpha-type double acting Stirling engine)

1.2.2 ปรับปรุง พัฒนาและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา กลไกการผลิตกำลังสองทางระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scales) และเพื่อเป็นเครื่องต้นแบบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

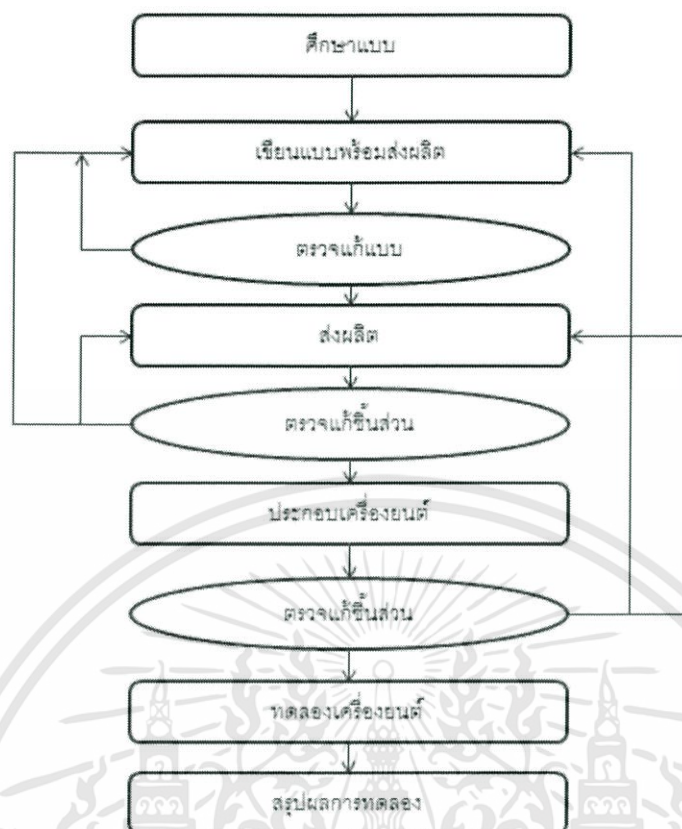
- 1.3.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟาที่จะออกแบบและสร้างนั้นจะออกแบบให้มีลูกสูบจำนวน 4 ลูกสูบ
- 1.3.2 ใช้กลไกโรสส์ยอร์ก (Ross Yoke) ในการส่งกำลังไปยังเพลลาข้อเหวี่ยง
- 1.3.3 ใช้อากาศเป็นสารทำงาน
- 1.3.4 ใช้ลูกสูบเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร
- 1.3.5 ระยะกวาดต่อหนึ่งลูกสูบคือ 25 ตารางเซนติเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สร้างองค์ความรู้และประสบการณ์จากการสร้างและประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในประเทศไทย
- 1.4.2 เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโครงสร้างแอลฟา กลไกการผลิตกำลังสองทางต่อไป
- 1.4.3 จากรูปแบบการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สามารถใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงใดๆ ก็ได้ ทำให้สามารถใช้ขยะ, ไม้แห้งหรือเชื้อเพลิงชีวภาพต่างๆ ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งมีราคาสูงได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษาหลักการทำงานเบื้องต้นและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจากสื่อและสิ่งพิมพ์ต่างๆ รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
- 1.5.2 ทำการปรับปรุง แก๊ซ แบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา กลไกการผลิตกำลังสองทาง
- 1.5.3 ทำการส่งผลิต สร้าง ประกอบและตรวจแก้เครื่องยนต์
- 1.5.4 สรุปผลการปรับปรุงและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา กลไกการผลิตกำลังสองทาง



รูปที่ 1.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติของเครื่องยนต์ความร้อนและเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

2.1.1 ประวัติของเครื่องยนต์ความร้อนและวัฏจักรอุณหพลศาสตร์

เครื่องยนต์ความร้อนถือกำเนิดครั้งแรกในประวัติศาสตร์นับแต่ช่วงการปฏิวัติอุตสาหกรรม (ค.ศ.1750-1850) เมื่อการทำงานถูกเปลี่ยนแปลงจากการใช้สัตว์ในการทำงานเป็นการเริ่มต้นคิดค้นวิทยาการใหม่ๆ ทดแทน เนื่องด้วยมีประสิทธิภาพในการทำงานและผลิตสูงกว่า โดยเครื่องจักรความร้อนชนิดแรกที่ประดิษฐ์คิดค้นและแพร่หลายสู่มวลชนลำดับต้นๆ คือเครื่องจักรไอน้ำ ชนิดนิวโคแมน และชนิดวัตต์ อย่างไรก็ตาม ในช่วงยุคสมัยนั้นยังคงไม่มีการคิดค้นหลักการในการคำนวณและออกแบบเครื่องจักรอย่างเที่ยงตรง

จนกระทั่ง ซาดิ คาร์โนต์ (ค.ศ.1796-1832) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส นายช่างวิศวกรสามารถคิดค้นทฤษฎีความร้อนขึ้นสำเร็จ โดยมีหลักการที่ว่า เครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ไอน้ำความร้อนสูงกว่าจะทำงานได้ดีกว่าเนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกายนอกมาก อย่างไรก็ตาม แนวคิดของคาร์โนต์ยังไม่ได้แพร่หลายมากนัก จนกระทั่งมีการต่อยอดแนวคิดขึ้นโดยบาร์อนเคลวิน (ค.ศ. 1824-1907) และรู돌์ฟ เคลาซิอุส (ค.ศ.1822-1888) ผู้ค้นพบกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ซึ่งทำให้ทราบได้ว่า เครื่องยนต์คาร์โนต์เป็นเครื่องจักรความร้อนที่มีขอบเขตในการผลิตกำลังสูงสุด ก่อนที่จะเอมีล กลาปริง (ค.ศ.1799-1864) จะสามารถสร้างสมการคณิตศาสตร์และแผนภูมิเครื่องจักรความร้อนของคาร์โนต์ขึ้นได้ในภายหลังและทำให้แนวคิดแพร่หลายออกไปในที่สุด

เครื่องจักรความร้อนมีหลักคิดว่า “เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล” หรือที่ถูกต้องเที่ยงตรงกว่าที่ว่า “ระบบซึ่งทำงานอย่างต่อเนื่องและมีเพียงความร้อนและงานที่ข้ามผ่านไปมาในระบบ” โดยระบบการทำงานเช่นนี้ถูกเรียกอีกอย่างว่า “วัฏจักรอุณหพลศาสตร์”

2.1.2 ประวัติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

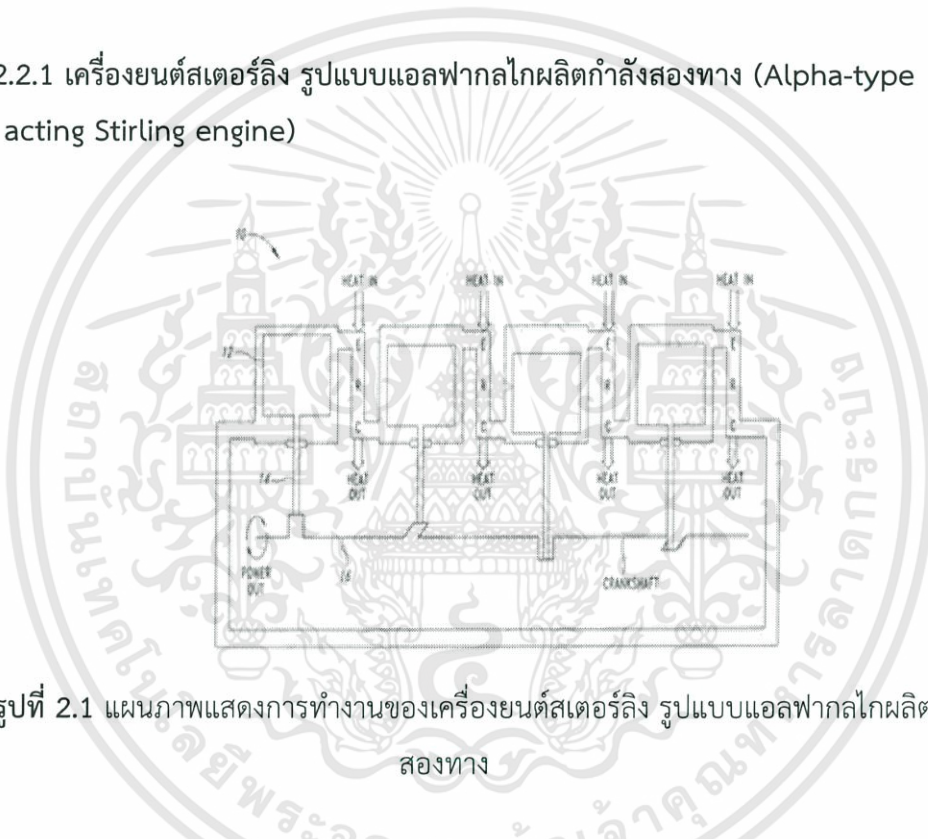
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงถือกำเนิดขึ้นในค.ศ.1816 โดยนายโรเบิร์ต สเตอร์ลิง (ค.ศ. 1790-1878) ผู้ดำรงตำแหน่งพระเถระองค์ประธานประจำโบสถ์แห่งสก๊อตแลนด์ ณ ขณะนั้น โดยได้รับแนวคิดมาจากเครื่องยนต์อากาศร้อน แรกเริ่มถูกใช้ในการสูบน้ำ ในช่วงต้นนั้น ส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงซึ่งมีหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับขึ้นทะเบียนสิทธิบัตรในนาม อีโคโนมิเซอร์ (Economiser) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีความเป็นเอกลักษณ์ในเครื่องจักรความร้อนระบบปิด ต่อมาถูกเรียกว่า รีเจนเนอเรเตอร์

จากอัจฉริยภาพของโรเบิร์ตและเจมส์ สเตอร์ลิง ผู้เป็นน้องชาย ทั้งสองได้พัฒนาเครื่องยนต์ อากาศร้อนชนิดนี้จนสามารถขึ้นทะเบียนสิทธิบัตรในชนิดที่มากและแตกต่างกัน โดยเครื่องยนต์ ต้นแบบที่ถูกระบุขึ้นมีการอัดความดันเพื่อเพิ่มปริมาณกำลังที่ผลิตออกมาเพื่อขับเครื่องจักรในโรง หล่อโลหะต่อไป

แม้ว่าเครื่องจักรไอน้ำจะถือกำเนิดขึ้นแล้วในยุคนั้น แต่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังถูกมองว่าเป็น เครื่องยนต์ที่ทำงานได้ดีและปลอดภัยกว่าเนื่องจากหม้อน้ำของเครื่องจักรไอน้ำมีการระเบิดบ่อยครั้ง

2.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟาไกลโผลผลิตกำลังสองทางและกลไกรอสส์ยอร์ก

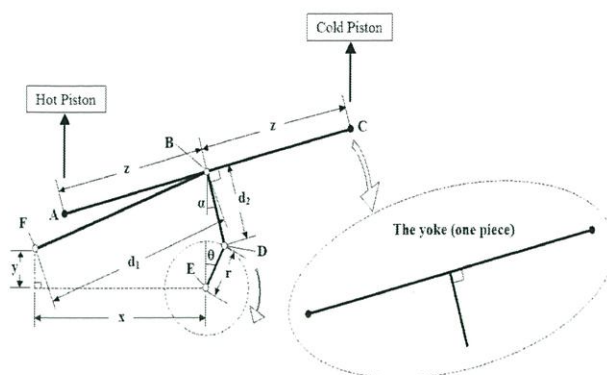
2.2.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟาไกลโผลผลิตกำลังสองทาง (Alpha-type Double acting Stirling engine)



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟาไกลโผลผลิตกำลังสองทาง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟาไกลโผลผลิตกำลังสองทางถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นจนได้รับการจดทะเบียนสิทธิบัตรโดยบริษัทเคเคจำกัด

ทำงานโดยการแบ่งพื้นที่กระบอกสูบเป็นส่วนร้อนและส่วนเย็นใน 1 กระบอกสูบ เป็นกลไกที่ ประกอบไปด้วยกระบอกสูบและลูกสูบเป็นคู่ที่สมมาตรกัน คู่ละ 1 ชุด ส่วนที่ร้อนของกระบอกสูบหนึ่ง จะถูกต่อท่อกับส่วนที่เย็นของอีกกระบอกสูบหนึ่ง วงเวียนการไหลของอากาศร้อนและเย็นกันจนครบ ทั้งหมด กระบอกในลักษณะสมมาตร ประสานการทำงานกัน ทำให้การเคลื่อนที่ของลูกสูบสอดคล้อง กัน และส่งกำลังทำให้เพลาลูกสูบ



รูปที่ 2.2 รูปแบบแผนภูมิฟรียอดี้ (Free body diagram) ของกลไกโรสส์ยอร์ก

2.2.2. กลไกโรสส์ยอร์ก

โรสส์ยอร์กเป็นกลไกการส่งกำลังที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่ของลูกสูบแนวเส้นตรงให้เป็น การเคลื่อนที่เชิงมุมผ่านเพลามีข้อดีคือทำให้แรงกระทำแนวอนตอลูกสูบต่ำและเพิ่มประสิทธิภาพ การส่งกำลัง

ลูกสูบจะมีการเชื่อมโยงผ่านก้านสูบสู่กลไกโรสส์ยอร์ก จุด A และ C จุด B และจุด D เชื่อมต่อกับพินซึ่งจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ กลไกโรสส์ยอร์กเกิดการเคลื่อนที่เมื่อปริมาตรเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นฟังก์ชันกับมุมการเคลื่อนที่ของเพลลา

โรสส์ยอร์กเป็นกลไกส่งกำลัง ส่งกำลังจากการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงของกระบอกสูบให้เป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมของเพลลา มีข้อดีจากการส่งกำลังคือ ลดภาระแรงเสียดทานกระทำระหว่างผนังกระบอกสูบและลูกสูบเนื่องจากลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นแนวเส้นตรง กันรั้วก้านสูบ (Rod seal) ทำให้เกิดการสึกน้อยลงและลดปัญหาการรั้วของสารทำงาน ภายในกระบอกสูบ

2.3 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

2.3.1 ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน

เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำงานด้วยการขยายและอัดตัวของสารทำงานภายในกระบอกสูบ โดยการขยายและอัดตัวของอากาศนั้นเกิดขึ้นจากความแตกต่างของอุณหภูมิของสารทำงาน การแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก หากมีความร้อนสูงมากเกินไปสามารถทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์เกิดความเสียหายได้ ขณะเดียวกัน หากมีความร้อนต่ำเกินไป เครื่องยนต์อาจไม่ทำงานเช่นกัน

ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนรับความร้อนเข้าสู่ระบบและส่วนถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ ในส่วนถ่ายเทความร้อนออกจากระบบมักมี 2 รูปแบบคือ แบบท่อและแบบครีบ

ในการออกแบบส่วนถ่ายเทความร้อนนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่เพียงพอต่อระบบ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\dot{Q} = U_o A_o \Delta T_{lm} \quad (2.1)$$

\dot{Q} คือ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

U_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดที่แลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

ΔT_{lm} คือ อุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ย (K)

2.3.2 ลูกสูบไล่ (Displacer)

ในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมักมีลูกสูบ 2 ประเภท แบ่งเป็นลูกสูบไล่และลูกสูบกำลัง ลูกสูบไล่มีหน้าที่ในการขับเคลื่อนสารทำงานจากกระบอกสูบหนึ่งไปยังอีกกระบอกสูบหนึ่งเพื่อให้เกิดการทำงานในทางอุดมคติแล้ว ลูกสูบไล่จะมีขนาดเท่ากับกระบอกสูบพอดี สารทำงานไม่สามารถไหลผ่านขณะที่ลูกสูบไล่เคลื่อนที่ได้ ลูกสูบไล่จำเป็นต้องมีน้ำหนักต่ำที่สุด ให้ความเร็วของการเคลื่อนที่สูงที่สุดและหน่วงแรงน้อยที่สุด ไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ

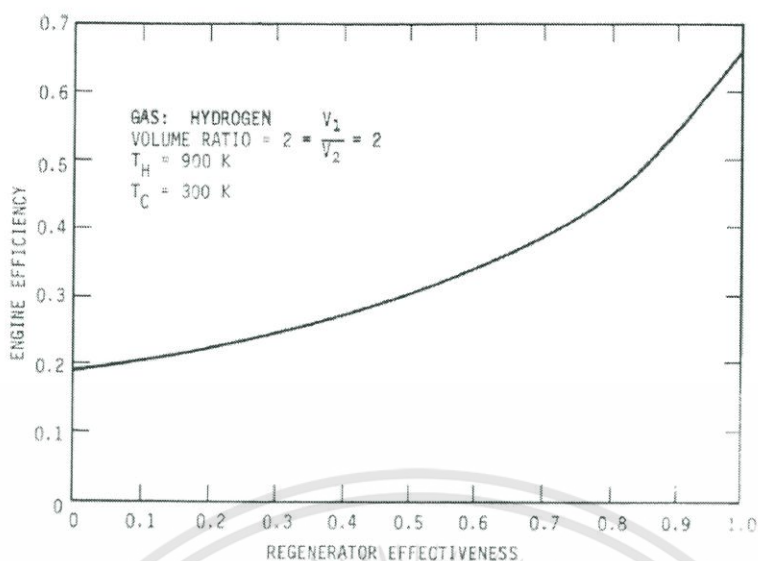
2.3.3. ลูกสูบกำลัง (Power piston)

ลูกสูบกำลังในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีหน้าที่ผลิตกำลังด้วยการรับความดันจากการขยายและอัดตัวของสารทำงานภายในกระบอกสูบที่บริเวณผิวหน้า โดยมีก้านสูบส่งกำลังต่อไป

ข้อควรคำนึงในการออกแบบลูกสูบกำลังคือจำเป็นต้องมีน้ำหนักเบาเพื่อให้สามารถมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูงที่สุด ต้องทนต่อความดันและอุณหภูมิของเครื่องยนต์ และจำเป็นต้องมีการออกแบบการกันรั่ว โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ที่มีการอัดความดันภายในเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

2.3.4 รีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator)

เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้องการความแตกต่างของอุณหภูมิของสารทำงาน แต่การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เร็วเกินไปก็อาจทำให้เครื่องยนต์ผลิตกำลังได้น้อยลง รีเจนเนอเรเตอร์เป็นวัสดุที่ช่วยในการทำงานของเครื่องยนต์โดยทำการเก็บกักพลังงานความร้อนให้ผ่านไปสู่ด้านเย็นน้อยที่สุด โดยประสิทธิภาพของรีเจนเนอเรเตอร์นั้นสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยตรง โดยแสดงจากรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และประสิทธิภาพของรีเจนเนอเรเตอร์

ในการออกแบบรีเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยถูกต้องแม่นยำนั้นมีความซับซ้อน แต่สามารถลดรูปให้เรียบง่ายลงโดยใช้การคำนวณจากความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพและพลังความร้อนต่อหนึ่งรอบวัฏจักร โดยมีหลักเกณฑ์สำคัญประกอบไปด้วยขนาด วัสดุและรูปร่างของรีเจนเนอเรเตอร์

2.3.5 เพลาข้อเหวี่ยง (Crank shaft)

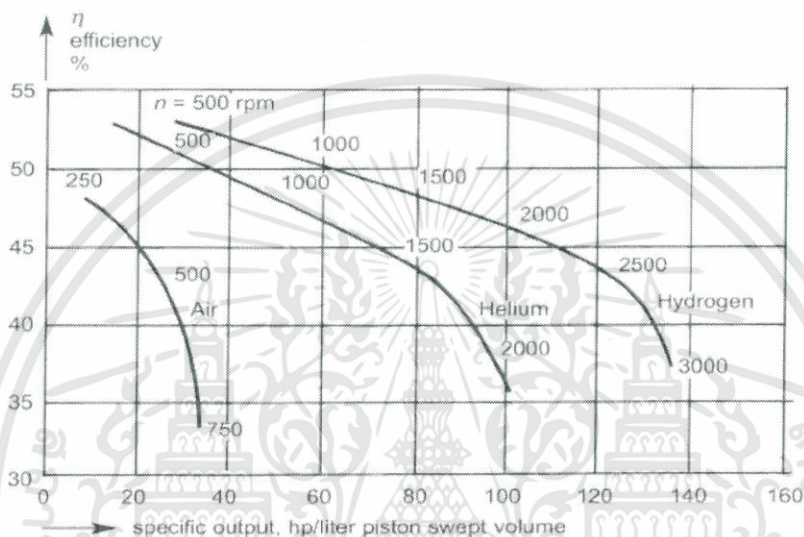
เพลาข้อเหวี่ยงในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเองมีลักษณะคล้ายกับเครื่องยนต์ที่มีการสันดาปภายในเช่นกัน โดยการหมุนของเพลาเกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบกำลังถูกส่งผ่านมายังก้านสูบและกลไกส่งกำลังตามลำดับ วัสดุที่ใช้ควรมีคุณสมบัติทนต่อแรงกระทำขณะที่มีการเคลื่อนที่ของเพลาข้อเหวี่ยงเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม

2.3.6 ล้อช่วยแรง (Fly wheel)

ในการเคลื่อนที่ของลูกสูบนั้น เมื่อลูกสูบมีการเคลื่อนที่ขึ้น อากาศภายในกระบอกสูบจะเข้าใกล้สูญญากาศ เกิดการดูดลูกสูบไม่ให้เคลื่อนที่ลง ขณะเดียวกันเพลาข้อเหวี่ยงก็พร้อมเหวี่ยงจึงจำเป็นต้องมีกลไกที่ช่วยส่งแรง นั่นคือหน้าที่ของล้อช่วยแรง หน้าที่ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือจะช่วยให้การเคลื่อนที่มีความเสถียรมากขึ้นและอยู่ในช่วงความเร็วรอบที่ต้องการ โดยในช่วงวัฏจักรกำลังนั้น จะมีช่วงที่กำลังตก ล้อช่วยแรงมีหน้าที่ในการกักตุนกำลังงานเพื่อให้วัฏจักรดำเนินต่อไปได้โดยไม่ขาดช่วง

2.3.7 สารทำงาน (Working fluid)

สารทำงานเป็นของไหลที่ใช้ในระบบลูกสูบและระบบภายในเครื่องยนต์ อาจมีสถานะเป็นของเหลวหรือก๊าซ (โดยทั่วไปนิยมใช้ก๊าซ) ยิ่งความแปรผันของความดันและอุณหภูมิมาก ยิ่งทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รูปที่ 2.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กับสารทำงานต่างๆ ที่ความเร็วรอบต่างๆ จะพบว่าสารทำงานให้กำลังจากการทำงานที่ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันเมื่อความเร็วรอบแตกต่างกัน ดังนั้นการออกแบบควรเลือกสารทำงานทำงานในรอบที่ทำงานได้ดีและเหมาะสมต่อเครื่องยนต์ที่ต้องการออกแบบและสร้าง



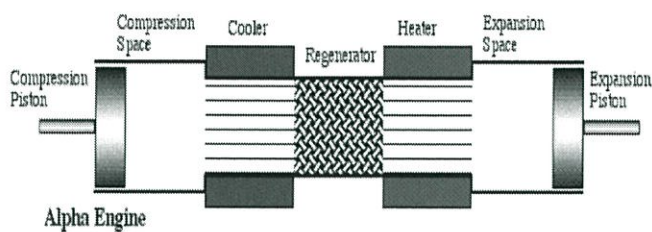
รูปที่ 2.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และคุณสมบัติของสารทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์

2.4 รูปแบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

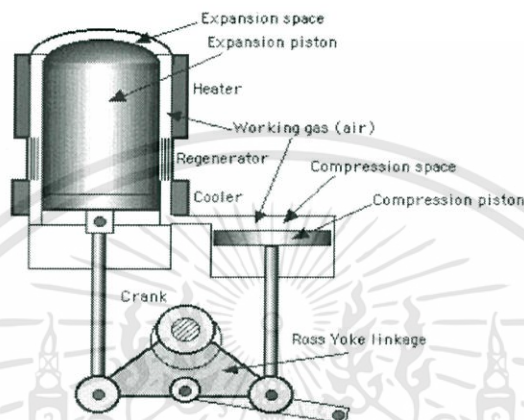
2.4.1 เครื่องยนต์รูปแบบแอลฟา (Alpha- α configuration)

เครื่องยนต์ลักษณะนี้จะไม่มียูกสูบที่เป็นลูกสูบไต่ แต่จะมีลูกสูบกำลังสองตัว เมื่อด้านร้อนได้รับพลังงานความร้อนจะเกิดการขยายตัวของสารทำงาน ทำให้ด้านเย็นเกิดการขยายตัวด้วย หลังจากนั้นด้านเย็นจะเกิดการหดตัวเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน

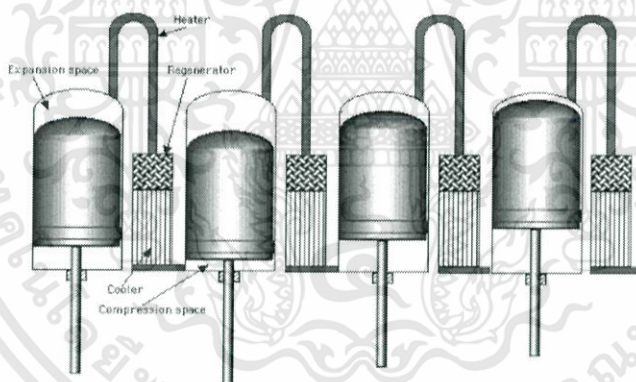
การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟา มักพบปัญหาเรื่องของซีลกันรั่วของลูกสูบในการขยายตัวของสารทำงานที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบกลไกส่งกำลัง มักออกแบบเครื่องยนต์ชนิดนี้ให้อยู่ในรูปตัววี นั่นหมายถึงตัวรับความร้อนและระบายความร้อนจะถูกแบ่งเป็นคนละส่วนโดยชัดเจน ทำให้สามารถลดความร้อนได้มากขึ้น แต่จะต้องเพิ่มพื้นที่รีเจนเนอเรเตอร์ โดยในปริญาณิพจน์นี้จะถูกปรับเพื่อให้ใช้กับกลไกโรสส์ยอร์ก



รูปที่ 2.5 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟา



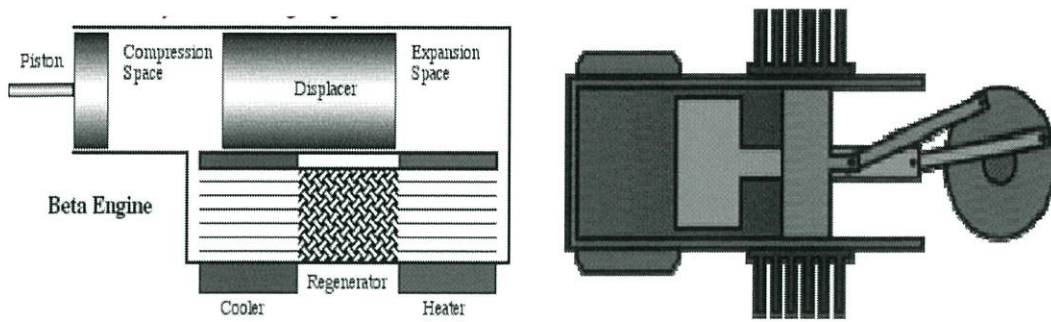
รูปที่ 2.6 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟาและกลไกโรสส์ยอร์ก



รูปที่ 2.7 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟาไกลโพลิตกำลังสองทางแบบ 4 กระบอกสูบ

2.4.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบตา(Beta- β configuration)

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบตาประกอบไปด้วยลูกสูบไล่และลูกสูบกำลังในกระบอกสูบเดียวกัน ระหว่างลูกสูบไล่และผนังกระบอกสูบมีช่องว่างให้สารทำงานไหลไปและกลับระหว่างการอัดและขยายตัว ขณะที่ลูกสูบกำลังจะมีการกันรั่ว

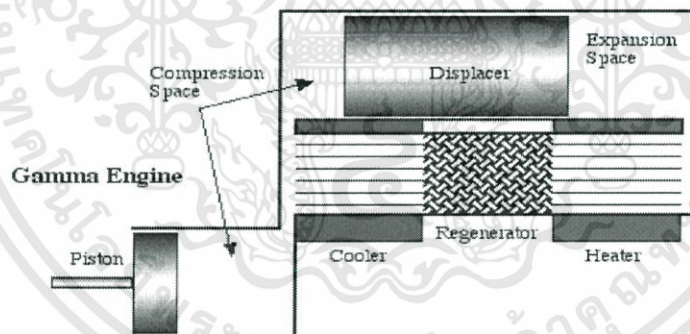


รูปที่ 2.8 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบตา

2.4.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมา(Gamma- γ configuration)

มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับชนิดเบตา ประกอบไปด้วยลูกสูบไล่และลูกสูบกำลัง แต่เครื่องยนต์ชนิดแกมมาแตกต่างจากเครื่องยนต์ชนิดเบตาโดยการแบ่งด้านร้อนและด้านเย็นของเครื่องยนต์อย่างชัดเจน ลูกสูบไล่จะสอดคล้องกับด้านร้อน ส่วนลูกสูบกำลังจะสอดคล้องกับด้านเย็น ลูกสูบกำลังยังคงเชื่อมต่อกับกลไกส่งกำลัง กระจกสูบจะถูกแบ่งเป็นสองกระจกแต่ยังคงเชื่อมต่อกัน สารทำงานสามารถไหลถึงกันได้ ในบางจังหวะที่มีการขยายตัวของลูกสูบไล่จะเกิดการอัดตัวของสารทำงานด้านเย็น

เครื่องยนต์รูปแบบนี้ให้อัตราส่วนการอัดต่ำ มีประสิทธิภาพทางกลที่สูงมากในทางทฤษฎีแต่มีปัญหาเรื่องการกันรั่ว



รูปที่ 2.9 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมา

2.5. ทฤษฎีในการทำงาน

2.5.1. ทฤษฎีพื้นฐาน

2.5.1.1. กฎของแก๊ส

หลักการทั่วไปของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง หรือเครื่องยนต์ความร้อนนั้นเป็นการขยายตัวของแก๊สเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งส่งผลต่อความดัน นอกจากนี้เมื่ออัดก๊าซให้ยุบลง (หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรน้อยลง) ความดันจะเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น พบว่าความดันและปริมาตรจะแปรผันตามค่าคงที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของแก๊สในอุดมคติได้จากสมการดังต่อไปนี้

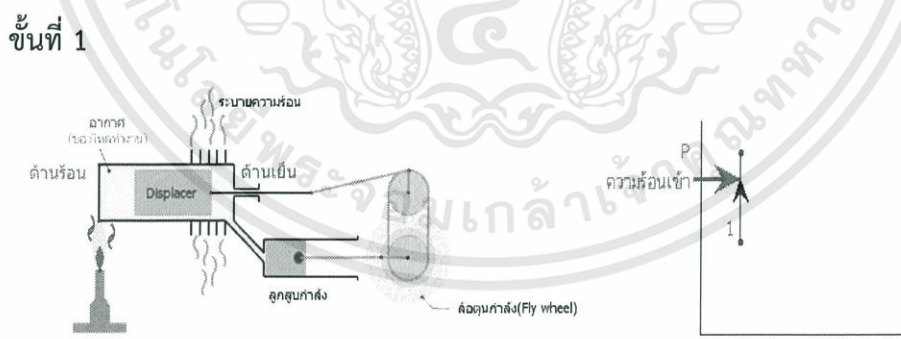
$$pV=nRT \quad (2.2)$$

สมการนี้สามารถอธิบายพฤติกรรมของแก๊สภายใต้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความดันและปริมาตร สมการนี้เป็นสมการของแก๊สอุดมคติ ซึ่งเป็นค่าประมาณของแก๊สจริง โดยรูปแบบแก๊สจริงโมเลกุลจะกระจายตัวไม่เป็นระบบระเบียบ คาดเดาพฤติกรรมได้ยาก จึงจำเป็นต้องใช้การคำนวณเชิงอุดมคติ

2.5.1.2 ลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนระบบปิด 2 จังหวะใช้ความร้อนจากภายนอก ใช้ก๊าซเป็นสารทำงาน และเป็นเครื่องยนต์ทำงานเงียบและสะอาด

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีลูกสูบ 2 ลูกสูบ มีเฟสต่างกัน 90 องศาและมีบริเวณที่อุณหภูมิต่างกัน 2 แห่ง ก๊าซหรืออากาศซึ่งเป็นสารทำงานจะถูกปิดไม่ให้มีการรั่วไหลออกมาภายนอก เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อน แปรผันกับพลังงานความร้อน เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล ความร้อนจะถูกป้อนเข้าระบบแล้วผลิตงานออกมา トラบใดที่ยังมีความร้อนก็จะมีผลิตงานออกมาอยู่เรื่อยไปเป็นวัฏจักร โดยทั่วไปแล้วเมื่อป้อนความร้อนให้ระบบจะมีการถ่ายเทความร้อน หลักการพื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงคือมี 2 กระจกบอกลูกสูบ ปลายด้านหนึ่งของ กระจกบอกลูกสูบหนึ่งร้อนตลอดเวลา อีกกระจกบอกลูกสูบหนึ่งเย็นตลอดเวลา มีลำดับการทำงานง่าย ๆ อยู่ 4 ขั้นตอนคือ



รูปที่ 2.10 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขั้นที่ 1 (รูปซ้าย) และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปขวา)

ลูกสูบกำลังอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน ขั้นนี้เป็นการให้ความร้อนกับอากาศภายในกระจกบอกลูกสูบ โดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบไล่ (Displacer piston) เพื่อให้อากาศส่วนใหญ่ไปรวมอยู่

ทางด้านร้อน อากาศได้รับความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความดันเพิ่มขึ้น ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงตัว (Isovolumetric heating process) ตามแผนภูมิความดัน-ปริมาตร

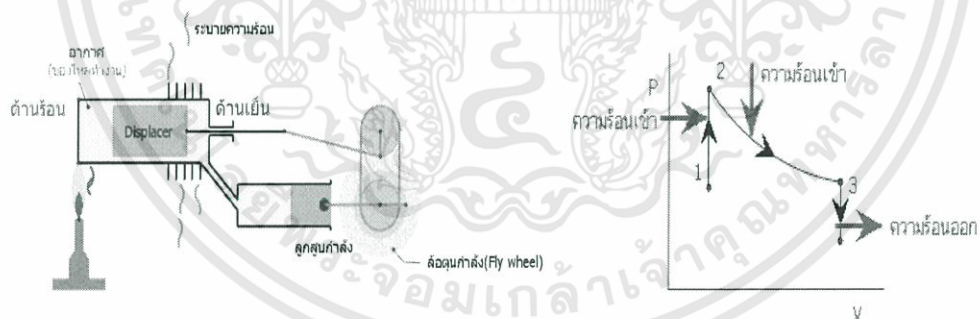
ขั้นที่ 2



รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขั้นที่ 2 (รูปซ้าย) และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปขวา)

เมื่ออากาศทางด้านร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความดันเพิ่มขึ้น เกิดแรงดันลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปที่ศูนย์ตายล่าง อากาศยังคงได้รับความร้อนขณะที่ปริมาตรของอากาศเพิ่มขึ้น ความดันลดลงโดยที่อุณหภูมิคงตัว ขั้นที่ 2 เป็นกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงตัว (Isothermal expansion process)

ขั้นที่ 3

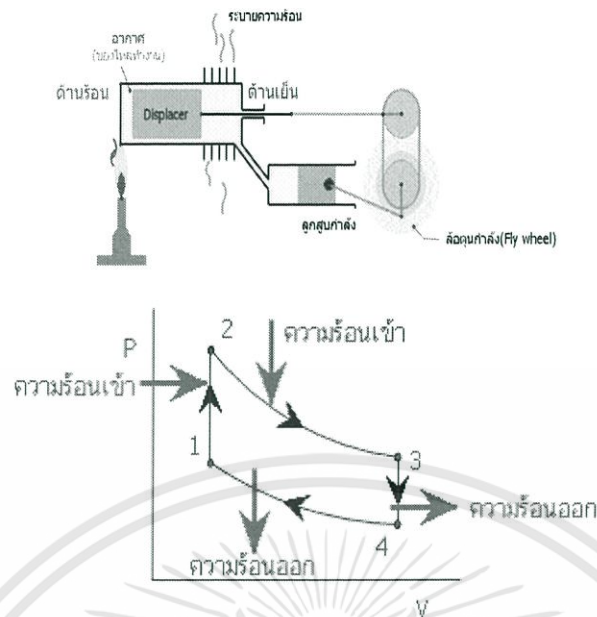


รูปที่ 2.12 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขั้นที่ 3 (รูปซ้าย) และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปขวา)

ผลของความต่างเฟส 90 องศาระหว่างลูกสูบทั้งสองทำให้ลูกสูบไล่เคลื่อนที่ไล่ อากาศจากด้านร้อนไปทางด้านเย็น ระบายพลังงานความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศลดลง ความดันลดลง ตำแหน่งของลูกสูบกำลังอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง ขั้นที่ 3 เป็นกระบวนการระบายความร้อนที่ปริมาตรคงตัว (Isovolumetric cooling process)

ขั้นที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิด 4 (รูปซ้าย) และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปขวา)

ลูกสูบกำลังเลื่อนไปที่ศูนย์ตายบน อัดอากาศภายในกระบอกสูบให้มีปริมาตรเล็กน้อย ระบายพลังงานความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมด้วยอุณหภูมิต่ำ ผลของความต่างเฟส 90 องศาทำให้ลูกสูบไล่เคลื่อนที่ไล่อากาศจากด้านเย็นกลับไปยังด้านร้อน จากนั้น การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงกลับไปสู่จุดตั้งต้นขั้นที่ 1 โดยขั้นที่ 4 นี้เป็นกระบวนการอัดที่อุณหภูมิต่ำ (Isothermal compression process)

2.5.1.3. วัฏจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ

สำหรับการวิเคราะห์ในอุดมคติต้องมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

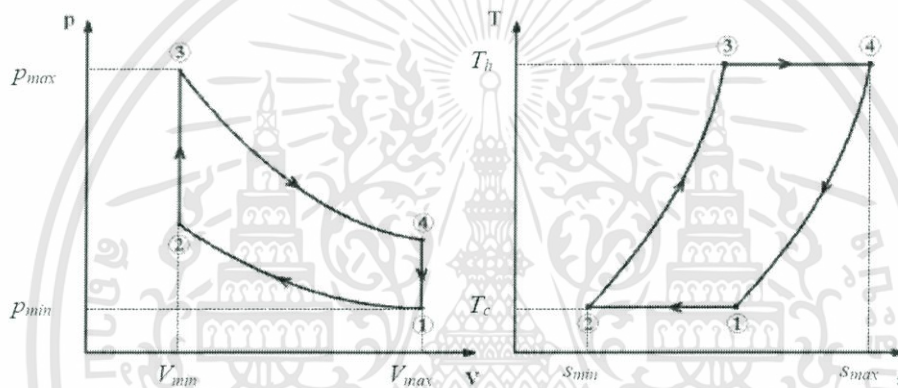
- สารทำงานเป็นแก๊สสมบูรณ์
- ความดันมีค่าเท่ากันทั่วทั้งเครื่องยนต์
- ไม่มีการสูญเสียความร้อนในรีเจนเนอเรเตอร์
- ไม่มีการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนระหว่างภายในกระบอกสูบและผนังกระบอกสูบ
- อุณหภูมิต่ำที่ระหว่างการถ่ายเทความร้อนเข้าตัวรับความร้อน
- การเสียดทานทางกลเป็นศูนย์
- ระยะเวลาศูนย์ตาย (Dead space) เป็นศูนย์

2.5.1.4. การวิเคราะห์วัฏจักรสเตอร์ลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์ความร้อนทุกชนิดนั้นอยู่ภายใต้กฎทางความร้อนซึ่งกล่าวว่า เมื่อมีพลังงานความร้อนเข้าสู่ระบบ จะก่อให้เกิดงานออกมาเป็นผลลัพธ์

วัฏจักรสเตอร์ลิงเป็นหนึ่งในวัฏจักรของอุณหพลศาสตร์ที่อธิบายเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบทั่วไป ซึ่งในเครื่องยนต์ความร้อนแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะทางวัฏจักรมากมาย ตามแต่ลักษณะของเครื่องยนต์และการออกแบบ ลักษณะเฉพาะดังกล่าวนี้ได้แก่ ความดันคงที่ (Isobaric), ปริมาตรคงที่ (Isochoric), อุณหภูมิคงที่ (Isothermal), ความดันและปริมาตรสัมพันธ์กันโดยตรง (Polytropic) และ ไม่มีการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างการทำงาน of เครื่องยนต์หรือวัฏจักร (Adiabatic) เป็นต้น แต่สำหรับวัฏจักรสเตอร์ลิงนั้นจะประกอบไปด้วยอุณหภูมิคงที่ (isothermal) สองกระบวนการและปริมาตรคงที่ (isochoric) สองกระบวนการ เขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



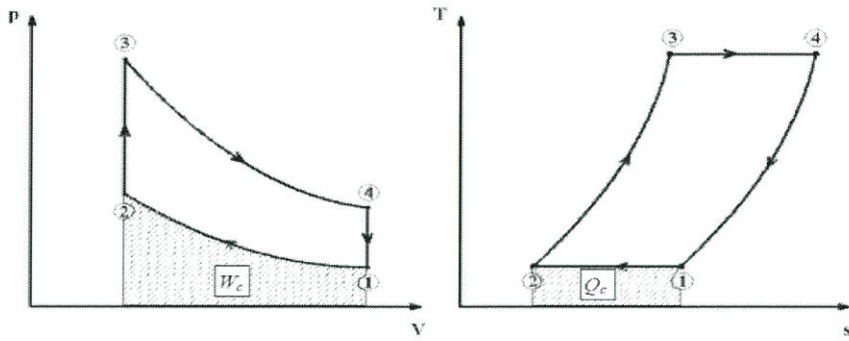
รูปที่ 2.14 แผนภาพแสดงวัฏจักรสเตอร์ลิงโดยรวมจากความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตร (รูปซ้าย) และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเอนโทรปี (รูปขวา)

แผนภูมิความดัน-ปริมาตร (P-V diagram) หรือแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตร บ่งบอกถึงความดันที่ทำให้สารทำงานเกิดการเคลื่อนที่ในวัฏจักรซึ่งสัมพันธ์กับปริมาตรภายในเครื่องยนต์ ความดันที่เปลี่ยนไป จะทำให้ลูกสูบเกิดการเคลื่อนที่

แผนภูมิอุณหภูมิ-เอนโทรปี (T-s diagram) หรือแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเอนโทรปี แสดงถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อเอนโทรปี ซึ่งวัดได้ในหน่วย J/K (จูลส์ต่อเคลวิน) เป็นระบบพลังงานที่ทำงานภายใต้ค่าสูงสุดและต่ำสุด

กระบวนการ ณ ตำแหน่ง 1-2 เป็นกระบวนการการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่ ในขั้นนี้แก๊สจะเกิดการอัดตัว ปริมาตรจะลดลง ความดันเพิ่มขึ้น เกิดงานขึ้นในขั้นตอนนี้ ซึ่งปริมาณกำลังที่เกิดขึ้นจะเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิความดัน-ปริมาตร ระหว่างตำแหน่งที่ 1-2 ขณะที่อุณหภูมียังคงที่เนื่องจากการระบายความร้อนตลอดเวลา ปริมาณการเปลี่ยนแปลงความร้อนมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิอุณหภูมิ-เอนโทรปีระหว่างตำแหน่งที่ 1-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงปริมาณกำลังที่เกิดขึ้นในระบบ โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปซ้าย) และปริมาณของพลังงานความร้อนที่ถูกระบายออกมา โดยมีปริมาณเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิอุณหภูมิ-เอนโทรปี (รูปขวา)

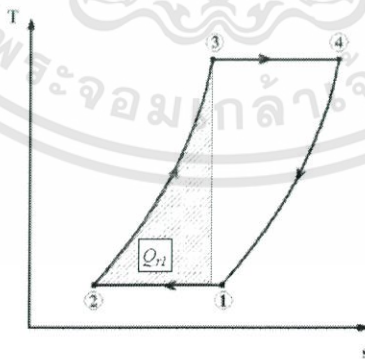
หรือคำนวณหาค่าของพลังงานความร้อนและงานในช่วงกระบวนการ

ตำแหน่งที่ 1-2 ได้จากสมการ

$$Q = W = P_1 V_1 \ln \frac{1}{\gamma_v} = mRT \ln \frac{1}{\gamma_v} \quad (2.3)$$

กระบวนการ ณ ตำแหน่ง 2-3 เป็นกระบวนการเพิ่มพลังงานความร้อนเข้าสู่ระบบ เมื่อปริมาตรคงที่ ความร้อนเพิ่มขึ้นจากด้านร้อนผ่านรีเจนเนอเรเตอร์ ส่งผลให้ลูกสูบไล่เกิดการเคลื่อนที่ อุณหภูมิเพิ่มจากต่ำสุดสู่อุณหภูมิสูงสุด ความดันเพิ่มสูงสุด ที่จุดเริ่มต้นของกระบวนการนี้ เอนโทรปีมีค่าต่ำสุด

ในกระบวนการนี้ยังไม่มีการเกิดขึ้น และปริมาณของพลังงานความร้อนสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟนับแต่อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของระบบ



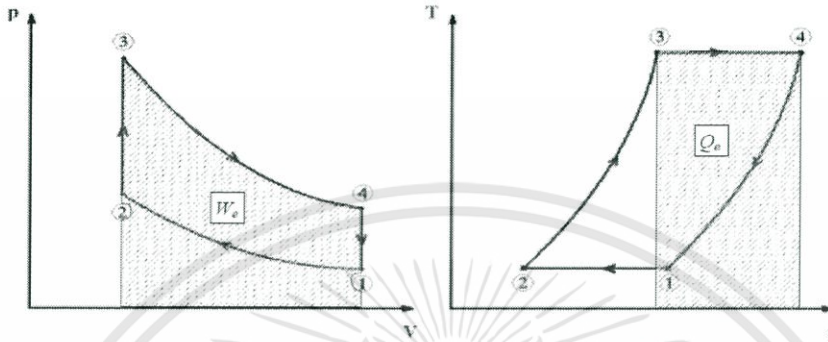
รูปที่ 2.16 แสดงปริมาณพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ระบบ โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิอุณหภูมิ-เอนโทรปี นับแต่อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของระบบ

หรือคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = c_v(T_3 - T_2) \quad (2.4)$$

กระบวนการ ณ ตำแหน่ง 3-4 เป็นกระบวนการปริมาตรขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่ ในสถานะนี้ลูกสูบกำลังจะมีการเคลื่อนที่ ความร้อนทำให้สารทำงานเกิดการขยายตัว ปริมาตรเพิ่มขึ้น ทำให้ความดันลดลง เกิดงานจากการขยายตัวของแก๊ส ทำให้มีงานและความร้อนเกิดขึ้น

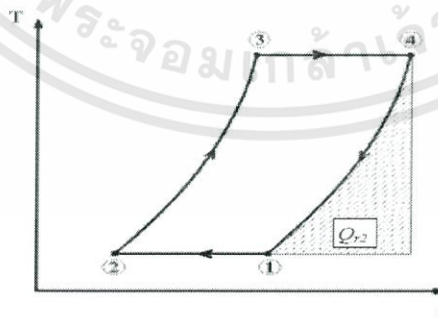


รูปที่ 2.17 แสดงปริมาณงานที่เกิดขึ้น โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดของแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปซ้าย) และปริมาณความร้อนที่เสียไป โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิอุณหภูมิ-เอนโทรปี (รูปขวา)

หรือสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q = W = P_3 V_3 \ln \gamma_v = mRT_3 \ln \gamma_v \quad (2.5)$$

กระบวนการ ณ ตำแหน่ง 4-1 การเย็นตัวลงแบบปริมาตรคงที่ ระหว่างการทำงาน ในกระบวนการนี้ ตำแหน่งของลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายล่างและยังคงรักษาปริมาตรคงที่ ความร้อนเริ่มเบาบางลงจากรีเจนเนอเรเตอร์ ทำให้ลูกสูบไล่เกิดการเคลื่อนที่ อุณหภูมิลดต่ำลงจากสูงสุดเป็นต่ำสุด เช่นเดียวกับความดัน ในกระบวนการนี้มีความร้อนเกิดขึ้น แต่ไม่มีงานเกิดขึ้นแต่อย่างใด



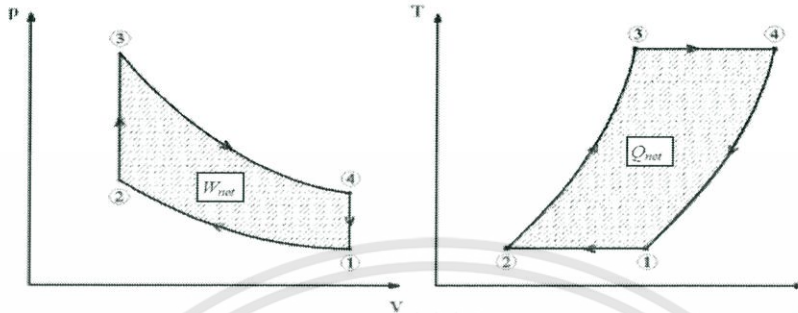
รูปที่ 2.18 แสดงปริมาณความร้อนที่สูญเสียไป โดยมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแผนภูมิอุณหภูมิ-เอนโทรปีดังรูป

หรือสามารถคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นได้จากสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = c_v(T_1 - T_4) \quad (2.6)$$

จากกระบวนการทั้งหมดทั้ง 4 ขั้นตอน จะทำให้ได้จำนวนของความร้อนและงานลัพธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.19 แสดงปริมาณงานสุทธิที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบวัฏจักร ในแผนภูมิความดัน-ปริมาตร (รูปซ้าย) และพลังงานความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบวัฏจักร ในแผนภูมิอุณหภูมิ-เอนโทรปี

งานสุทธิเกิดจากสองจังหวะหลักคือจังหวะการอัดและจังหวะขยาย โดยคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$W_{net} = W_c + W_e \quad (2.7)$$

ประสิทธิภาพสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_c} \quad (2.8)$$

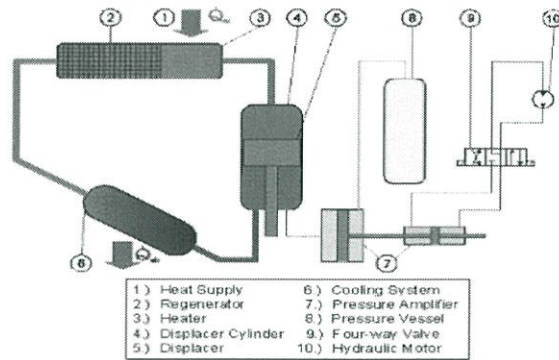
$$\eta = \frac{(T_h - T_c)}{T_h} = \eta_c \quad (2.9)$$

ในทางอุดมคตินั้นพบว่าประสิทธิภาพวัฏจักรสเตอร์ลิงมีค่าเข้าใกล้ประสิทธิภาพของวัฏจักรคาร์โนต์ แต่ในความเป็นจริงนั้นมีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณาในระหว่างการอัดและขยายตัวของสารทำงาน ทำให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าอุดมคติ

2.6. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในปัจจุบัน

2.6.1. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบชัณพัลส์ (Sun pulse system)

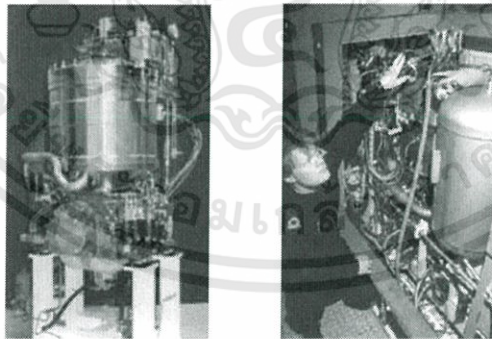
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



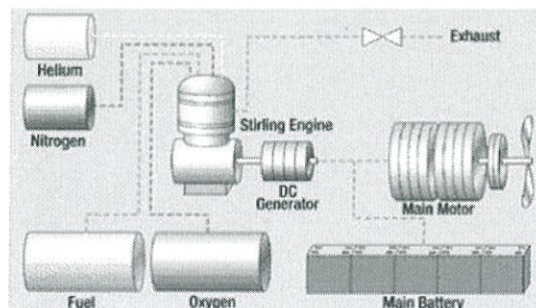
รูปที่ 2.20 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบชั้นพัลส์

เครื่องยนต์ชั้นพัลส์เป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดใช้อุณหภูมิต่ำซึ่งแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกลหรือพลังงานไฟฟ้า ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการทำความร้อนระบบน้ำมันหรือน้ำอัดความดัน โดยเครื่องยนต์นี้สามารถทำงานได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืนอันเกิดจากวิหยาการทางด้านการจัดการพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องยนต์ชั้นพัลส์มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ ประมาณครึ่งถึงกึ่งหนึ่งของแบตเตอรี่ไฟฟ้าเคมีเท่านั้น โดยออกแบบสำหรับการทำงานร่วมกับการหล่อเย็นที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อรับความร้อนเข้าสู่ระบบ เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ในช่วง 100-500 องศาเซลเซียส สามารถทำงานได้กับเชื้อเพลิงที่หลากหลาย ให้ผลลัพธ์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีตัวปั่นไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิด ให้กำลังออกมา 5-10 kW ประสิทธิภาพทางความร้อน 90% ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า 35%

2.6.2. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของบริษัทอู่ต่อเรือคอคัม (Kockum's Stirling engine)



รูปที่ 2.21 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของบริษัทอู่ต่อเรือคอคัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.22 ระบบการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจากบริษัทผู้ต่อเรือคอคคัม

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจากบริษัทผู้ต่อเรือคอคคัม (Kockums shipyard) แห่งสวีเดนซึ่งได้นำเครื่องยนต์ไปประยุกต์ใช้กับเรือดำน้ำระดับชั้นก๊อทแลนด์ (The Gotland class submarines) โดยใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยอากาศอิสระ (Air-independent propulsion) เริ่มปฏิบัติการตั้งแต่ช่วงกลางยุคค.ศ. 1980

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของบริษัทผู้ต่อเรือคอคคัมเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง 4 กระบอกสูบ ออกแบบเป็นรูปแบบตัววี สารทำงานคือไฮโดรเจนหรือฮีเลียม กำลังเครื่องยนต์อยู่ที่ 25-75 kW ประสิทธิภาพมอเตอร์ 39-42 % เครื่องยนต์จะเริ่มทำงานเมื่อได้รับความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ด้านเย็นจะระบายความร้อนด้วยความเย็นอย่างยิ่งยวดจากออกซิเจนเหลว ภายในห้องเผาไหม้มีการกันรั่วและอัดความดัน สามารถให้กำลังค่อนข้างสูง ด้วยลักษณะที่มีความเร็วรอบสูง ความร้อนที่ลดลงทำให้เกิดเป็นของเหลวเหลือจากสารทำความเย็น ของเหลวนั้นจะถูกระบายออกทางท่อ จุดประสงค์หลักของเครื่องคือการผลิตกระแสไฟฟ้า

2.6.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง 3 สูบจากบริษัทควิกรเวโลลูชันมอเตอร์จำกัด (QRMC's tree piston Stirling engine)



รูปที่ 2.23 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง 3 สูบจากบริษัทควิกรเวโลลูชันมอเตอร์จำกัด

เครื่องยนต์มี 3 กระบอกสูบ และ 3 ลูกสูบ ถูกออกแบบให้มีระยะชักที่สั้นเพื่อความเร็วรอบที่สูง และสูญเสียในทางกลศาสตร์น้อยที่สุดเพื่อให้สามารถส่งกำลังได้มากที่สุด ลูกสูบลูกหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัดที่ค่อนข้างใหญ่เครื่องยนต์ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นสารทำงาน กำลังที่ได้จากเพลลาประมาณ 75 kW ใช้แก๊สธรรมชาติหรือโพรเพนเป็นเชื้อเพลิง

2.6.4 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบแสงอาทิตย์ (Stirling solar system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



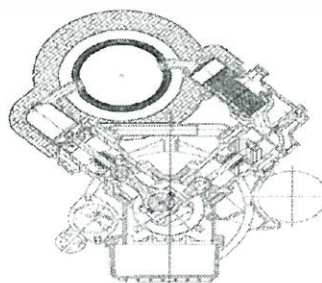
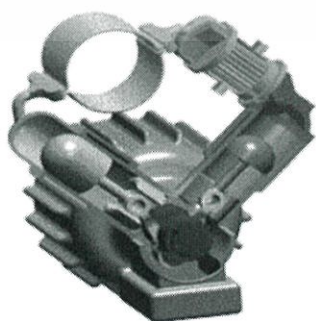
รูปที่ 2.24 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบแสงอาทิตย์

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบแสงอาทิตย์ ถูกขึ้นทะเบียนสิทธิบัตรในค.ศ.1987 โดยนายโรเอลฟ์ เจ. เมย์เจอร์ ซึ่งมีงานรวมแสงอาทิตย์รวมแสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยแสงอาทิตย์จะถูก รวมเป็นพลังงานความร้อนใส่เข้าสู่ระบบเครื่องยนต์ แปรพลังงานความร้อนนั้นเป็นพลังงานกล ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม งานรวมแสงจำเป็นที่จะต้องหันเข้าหาดวงอาทิตย์เสมอ ซึ่งกลายเป็นปัญหาสำคัญของเครื่องยนต์เนื่องจาก การออกแบบให้งานรวมแสงหันเข้าหาดวงอาทิตย์ ได้ตลอดเวลา นั้นมีข้อจำกัดในด้านการออกแบบส่วนหล่อลื่นและการเคลื่อนไหวของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบแสงอาทิตย์รูปแบบที่สองถูกขึ้นทะเบียนสิทธิบัตรโดยองค์กร บริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ หรือนาซา (National Aeronautics and Space Administration - NASA) ซึ่งถูกใช้ในการสูบน้ำ

ต่อมาในระยะเวลาใกล้เคียงกัน บริษัทซันเวนชันโซลาร์เอเนอร์จี (Sunvention Solar energy company) ได้สร้างเครื่องยนต์ที่ใกล้เคียงกันขึ้น สามารถสูบน้ำได้วันละ 100,000 แกลลอน โดยใช้เพียงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเท่านั้น โดยใช้พลังงานความร้อนที่รวบรวมได้จากดวงอาทิตย์ใส่ใน ด้านร้อนและใช้น้ำที่สุบขึ้นมาลดอุณหภูมิ ณ ด้านเย็น

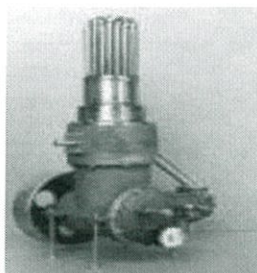
ล่าสุด ในค.ศ.2011 นักประดิษฐ์ชาวแคลิฟอร์เนีย เจสัน เฉา ได้ผสมระบบแสงอาทิตย์เข้ากับ ระบบพลังงานลม และประยุกต์ใช้พลังงานที่ได้กับการทำปรับอากาศ, ตู้เย็น, เครื่องทำน้ำร้อนและ ไฟฟ้าในบ้าน



รูปที่ 2.25 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ถูกประยุกต์ใช้ในระบบแสงอาทิตย์

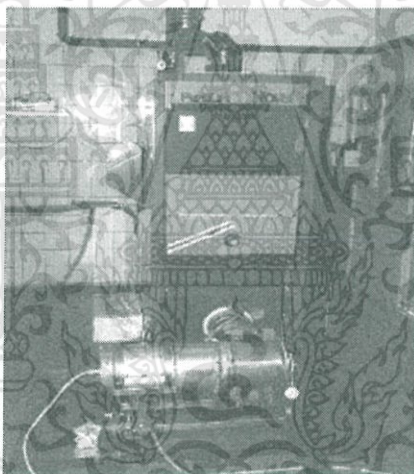
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 UWE MOCH



รูปที่ 2.26 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบ UWE MOCH ชนิดแกมมา

เครื่องยนต์ชนิดแกมมา ให้กำลัง 500 W ไม่จำเป็นต้องมีการหล่อลื่นจากน้ำมัน สารทำงานเป็นอากาศ ทำงานที่ความดัน 10 บาร์ที่อุณหภูมิด้านร้อนประมาณ 650 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า เชื้อเพลิงใช้กับแหล่งความร้อนได้หลายแหล่ง เช่น แก๊สธรรมชาติ ชีวมวล แสงแดด หรือเปลือกไม้



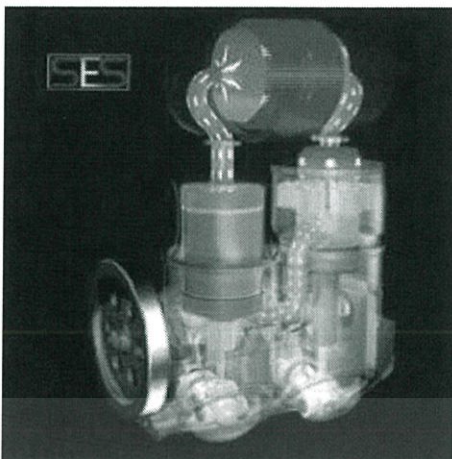
รูปที่ 2.27 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบ UWE MOCH ชนิดเบตา

ชนิดเบตาคลายคลึงกับแกมมา มีกระบอกสูบ ลูกสูบแทนที่และลูกสูบกำลังจะอยู่ในกระบอกสูบเดียวกันทำงานที่ความดัน 15 บาร์ที่อุณหภูมิทำงานที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียส ด้านเย็นประมาณ 50 องศาเซลเซียส ใช้น้ำหล่อเย็น สารทำงานคือไนโตรเจน

2.6.6. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบพลังงานยั่งยืน (Sustainable energy system)

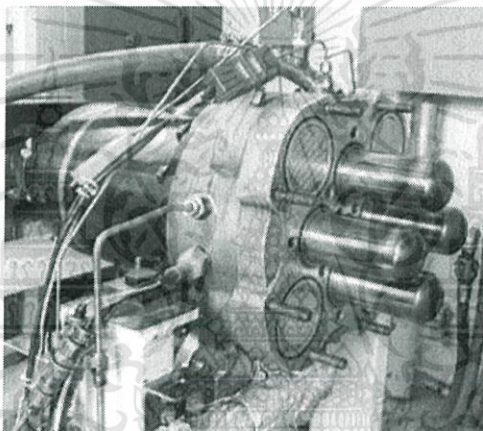
ทำงานด้วยการเผาเชื้อเพลิงชีวมวลกำลังที่ผลิตได้คือ 10 kW ใช้อากาศเป็นสารทำงาน เนื่องจากการกันรั่วยากกว่าไฮโดรเจน และฮีเลียม เครื่องยนต์พัฒนาจากเครื่องยนต์สันดาปภายในจากเดิม ใช้เชื้อเพลิงเป็นดีเซลอาจจะต้องมีการทำความสะอาดเพราะมีคราบเขม่าจากการเผาไหม้ ชีวมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

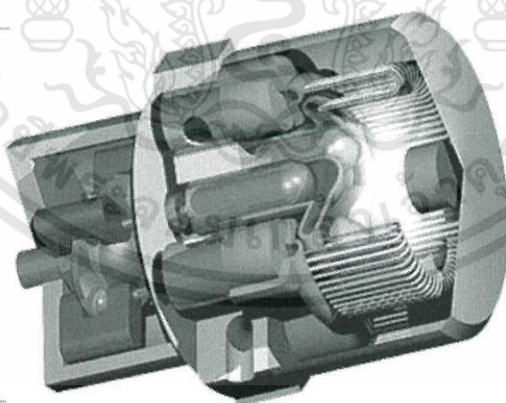


รูปที่ 2.28 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบบพลังงานยั่งยืน

2.6.7. STM power



รูปที่ 2.29 เครื่องยนต์ STM Power



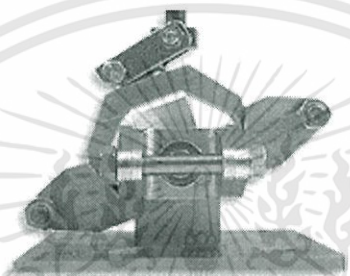
รูปที่ 2.30 รูปตัดขวางเครื่องยนต์ STM Power

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง 4 กระบอกสูบ กลไกขับเคลื่อนใช้สวอทเพลทในการขับเคลื่อน ใช้ไฮโดรเจนเป็นสารทำงาน ทำงานได้ 2 kW ถึง 500kW ฝาครอบส่วนห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นฉนวนกันความร้อน ระบายสู่สิ่งแวดล้อม มีระบบซิลกันเร็ว ความเร็วรอบอยู่ที่ 1800 รอบต่อนาที เชื้อเพลิงใช้ได้กับแหล่งพลังงานที่หลากหลาย ส่วนใหญ่นิยมใช้ แก๊สธรรมชาติ โพรเพน ดีเซล และแก๊สโซลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.8. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของบริษัทวิสเปอร์เทค (Whisper tech)

เครื่องยนต์ถูกพัฒนาให้ใช้ร่วมกับเครื่องกำเนิดทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถผลิตกำลังได้ถึง 1kW ใช้ร่วมกับไฟฟ้าภายในบ้าน เพื่อแก้ไขการส่งไฟฟ้าจากโรงงานไฟฟ้าที่มีการสูญเสียกำลังทางไฟฟ้าระหว่างส่ง สำหรับประเทศที่มีอุณหภูมิต่ำน้ำ กระบวนการหล่อเย็นของเครื่องยนต์ถูกนำมาใช้เป็นการทำน้ำอุ่นใช้ภายในบ้าน กลไกการส่งกำลังถูกใช้ร่วมกับวอบบเบิลยอร์ก (wobble yoke) ออกแบบมาจากโรตอรีคและสวอร์ทเพลท เพื่อลดการเสียดสีของซีลกันรั่วในกระบอกสูบ เนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงมากขึ้น



รูปที่ 2.31 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของบริษัทวิสเปอร์เทค

สารทำงานคือไนโตรเจนเพราะมีโมเลกุลที่ใหญ่เชื้อเพลิงอาจจะเป็นของเหลวหรือแก๊ส เมื่อใช้ในบ้านนิยมใช้แก๊สหุงต้มทั่วไป การออกแบบถูกออกแบบมาเพื่อใช้ภายในบ้านจึงมีขนาดเครื่องที่เล็กมี 4 กระบอกสูบ

บทที่ 3

การปรับปรุง การสร้างเครื่องยนต์

เนื่องด้วยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการต่อยอดจากวิทยานิพนธ์ การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟากลไกผลิตกำลังสองทาง (Design and Simulation of an Alpha-type Double Acting Stirling engine) ซึ่งได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนพื้นฐานไว้ครบถ้วนและมีการจำลองสถานการณ์ (Simulation) การทำงานของเครื่องยนต์ หากแต่ยังไม่ได้มีการออกแบบการกันรั่วและปัจจัยย่อยอีกหลายปัจจัย จึงจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถผลิตเครื่องยนต์ที่เหมาะสมออกมาได้

3.1. การกันรั่ว

3.1.1. การหาขนาดร่องและโอริง (o-ring)

โอริงหรือแหวนปะเก็นเป็นส่วนที่ใช้สำหรับใส่ บริเวณหน้าชิ้นส่วนที่มีการประกบเข้าด้วยกัน เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศภายในระบบ ซึ่งในที่นี้ได้ใช้โอริง มาตรฐาน JIS B2405

ในการติดตั้งโอริง จำเป็นต้องมีการคำนวณหา ค่า Interference ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาด ของโอริงกับขนาดของร่องโอริง Interference ของการติดตั้งโอริงกับชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ (Dynamics Seal) หาได้ จากสมการ (3.1),(3.2) และ (3.3)

ร่องของโอ-ริง

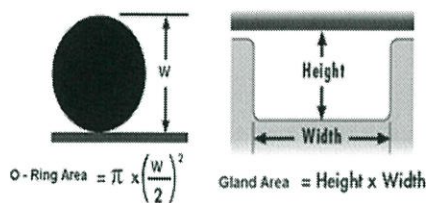
$$\frac{OD_{O-Ring} - OD_{Channel}}{OD_{O-Ring}} \times 100 \quad (3.1)$$

อัตราส่วนของการอัดตัว

$$\frac{Thickness - Hight}{Thickness} \times 100 \quad (3.2)$$

เปอร์เซ็นต์การแทนที่ร่องโอริง

$$\frac{\pi \times \left(\frac{Thickness}{2}\right)^2}{Height \times Width} \times 100 \quad (3.3)$$



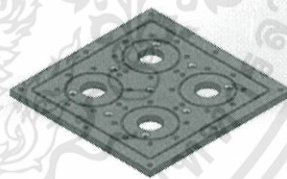
รูปที่ 3.1 ความหนาของ O-Ring และ ร่องของ O-Ring

3.2. การออกแบบชิ้นส่วนเพิ่มเติม

จากการที่ได้ศึกษาในแบบเดิม มีชิ้นส่วนบางชิ้นที่มีความไม่สมบูรณ์ จึงได้สร้างชิ้นส่วนบางชิ้นเพิ่มขึ้นและแก้ปรับการออกแบบเดิมบางชิ้น ดังนี้

3.2.1 ชิ้นส่วนปรับแก้

3.2.1.1. แผ่นเพลท (Plate) ส่วนของฐานกระบอกสูบและ แผ่นเพลท ได้มีการปรับแก้จากแบบเดิมดังแสดงในรูปที่ 3.2 ก. ชุดส่วนฐานกระบอกสูบแบบเก่า เนื่องด้วยในแบบเดิมนั้นไม่มีส่วนที่รองรับการกันรั่วของอากาศจากส่วน กระบอกสูบด้านบนไปยังฝาครอบเพลทข้อเหวี่ยง จึงมีการ ออกแบบส่วนเสริมของก้านสูบขึ้นมา จากการออกแบบ ส่วนนี้ ทำให้มีความจำเป็นในการคว้านรูของแผ่นเพลท ส่วนบนเพื่อให้สามารถวางส่วนเสริมของก้านสูบด้านบน และเจาะรูพร้อมทั้งใส่โอ-ริงในแผ่นเพลทส่วนล่างเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถสวมประกอบส่วนเสริมของก้านสูบได้ดังรูปที่ 3.2ข.



รูปที่ 3.2 ก. ฐานกระบอกสูบแบบเก่า

รูปที่ 3.2 ข. ฐานกระบอกสูบแบบใหม่

3.2.2 ชิ้นส่วนที่ออกแบบใหม่

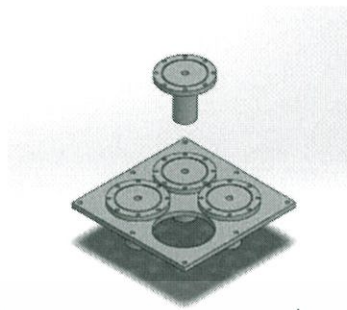
3.2.2.1. ส่วนเสริมของก้านสูบ (Rod supporter) เนื่องจากในแบบที่มีอยู่นั้น ไม่มีชิ้นส่วนใดที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการกันรั่วของไหลทำงานจากส่วนของกระบอกสูบไปยังถังครอบเพลทข้อเหวี่ยงหรือแครงเคส (Crank case) จึงมีการออกแบบส่วนเสริมของก้านสูบ (Rod supporter) ขึ้น

ในการออกแบบของส่วนเสริมของก้านสูบนี้ ในส่วนบนได้ออกแบบให้มีลักษณะกลมและเจาะรูสกรูเพื่อรองรับกับแผ่นเพลทส่วนล่าง โดยรูของสกรูนั้นถูกเจาะขึ้นเพื่อยึดส่วนเสริมของก้านสูบกับแผ่นเพลทส่วนล่างเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ก. ส่วนเสริมของก้านสูบ



รูปที่ 3.3 ข. การออกแบบใหม่ที่ส่วนเสริมของก้านสูบประกอบเข้ากับแผ่นเพลท

ซีลตัวเมีย 0%-5% $ID_{chanel} = 3mm$

$$5 = \frac{3 - ID_{o-ring}}{ID_{oring}} \times 100$$

ซีลตัวเมีย 0%-5% ใช้วงแหวน

$$ID_{O-ring} = 2 - 3mm$$

จากตารางจะเลือกใช้ ID=2.8mm

$$Thick=1.9mm$$

หาขนาดของส่วนเสริมของก้านสูบ

$$OD=2.8+2(1.9)=6.6mm$$

เส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนเสริมของก้านสูบภายใน 6.6mm

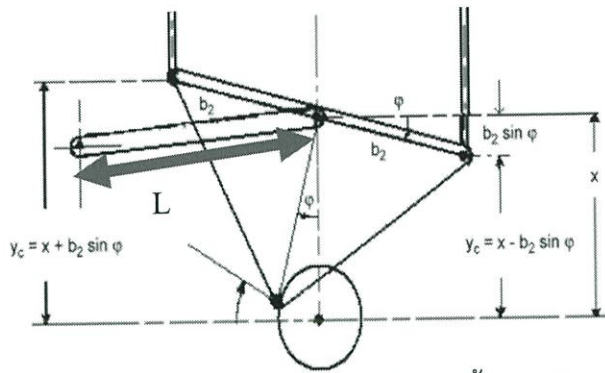
ความสูงทั้งหมด = ระยะชัก + ความหนาของฐาน + ระยะเพื่อความสูง

$$=2+1+2=5cm$$

3.2.2.2. ชั้นส่วนรักษาแนวการเคลื่อนที่ (Locking level) ชั้นส่วนที่ถูกออกแบบขึ้น

เพื่อรองรับการหมุนของกลไกโรตส์ยอร์ก เนื่องจากกลไกโรตส์ยอร์กจะทำการแปลงการเคลื่อนที่ ของก้านสูบซึ่งเป็นรูปแบบ 1 มิติคือขึ้น-ลง ให้กลายเป็น 2 มิติคือการหมุนกวาดเป็นระยะๆ หนึ่ง อย่างไรก็ตาม กลไกโรตส์ยอร์กมีผลต่อการทำให้ก้านสูบบิดจากแนวการเคลื่อนที่เดิม จึงต้องมีการเสริมชั้นส่วนรักษาแนวการเคลื่อนที่ขึ้นมาเพื่อลดการบิดของการเคลื่อนที่ของก้านสูบให้น้อยลงที่สุด ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นกับการกันรั้ว ให้น้อยที่สุดและคงกำลังที่ได้รับจากก้านสูบให้มากที่สุด ซึ่งความยาวของชั้นส่วนรักษาแนวการเคลื่อนที่ที่สามารถ

หาได้จากความสัมพันธ์ของสมการเกิดจากการใช้ ตรีโกณมิติเบื้องต้น โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของกลไกโรสส์ยอร์กและชิ้นส่วนรักษาแนวการเคลื่อนที่

สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.4)

$$\sin \phi = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{b_2} \quad (3.4)$$

$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{y_{\max} - y_{\min}}{b_2} \right)$$

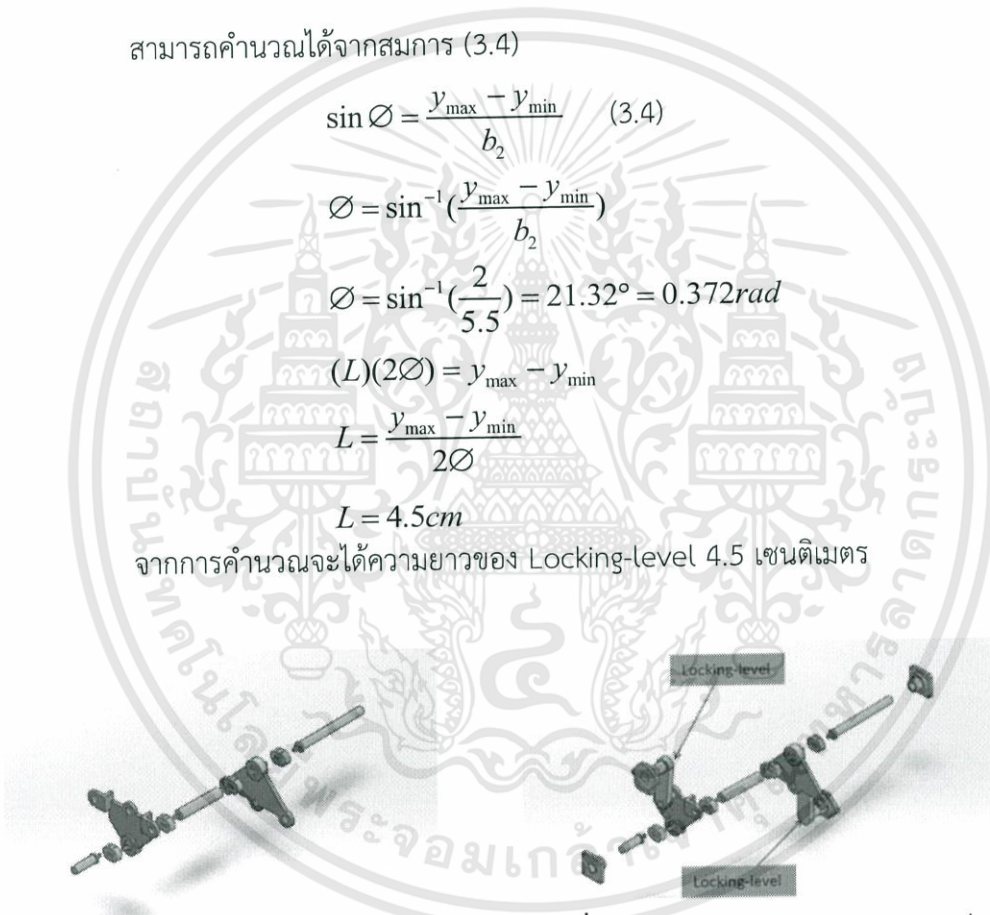
$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{2}{5.5} \right) = 21.32^\circ = 0.372 \text{ rad}$$

$$(L)(2\phi) = y_{\max} - y_{\min}$$

$$L = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{2\phi}$$

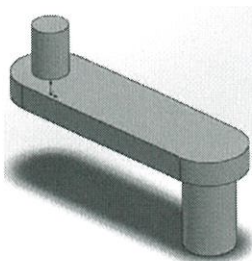
$$L = 4.5 \text{ cm}$$

จากการคำนวณจะได้ความยาวของ Locking-level 4.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.5 ก. ชุดเฟลาในการออกแบบก่อนหน้า

รูปที่ 3.5 ข. ชุดเฟลาในการ ออกแบบล่าสุด



รูปที่ 3.6 ชิ้นส่วนรักษาแนวการเคลื่อนที่ (Locking-Level)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.3. ล้อช่วยแรง (FLYWHEELS)

สามารถออกแบบและคำนวณได้จากสมการ(3.5)

$$\Delta E = M_{rim} C_f V^2 \quad (3.5)$$

โดยที่

ΔE คือ พลังงานจลน์

C_f คือ สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความเร็ว (coefficient of speed Fluction)

อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.2

V คือ ความเร็วของ fly wheel ที่ต้องการ

ในการออกแบบใช้เป็นชนิดดิสก์วิธริม (Disc with rim) สำหรับความเร็วรอบที่ต้องการอยู่ในช่วงของสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงความเร็ว (Coefficient of speed fluctuation) อยู่ในช่วง 0.1 – 0.2

จากสมการ (3.5)

$$M_{rim} = \frac{\Delta E}{C_f V^2} = \frac{150}{0.2 \times 180.064^2} = 2.3 \text{ kg}$$

$$M_{total} = 1.15 M_{rim} = 1.15 \times 2.3 = 2.65 \text{ kg}$$

จะได้ค่ามวลของล้อช่วยแรง 2.65 กิโลกรัม

หาขนาดความกว้างของล้อช่วยแรงที่ส่วนขอบ

$$M_{disk} + M_{hub} = 2.65 - 2.3 = 0.35 \text{ kg}$$

$$V_{rim} = \frac{M}{\rho} = \frac{2.3}{7833} = 0.00029 \text{ m}^3$$

$$V_{rim} = 2\pi r_0 b t \quad (3.10)$$

$$b = \frac{V_{rim}}{2\pi r_0 t} = \frac{0.00029}{2\pi \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-2} \times 10.5} = 2.2 \text{ cm}$$

จะได้ความกว้างที่ขอบของล้อช่วยแรง 2.2 เซนติเมตร



รูปที่ 3.7 ล้อช่วยแรง

หาลิ้ม Flat key จากสมการ (3.6) และ (3.7)

เพลาด $d = 15\text{mm}$

ออกแบบให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

$$b = t$$

$$b = \frac{d}{4} = \frac{15}{4} = 3.75\text{mm} \approx 4\text{mm}$$

$$S_s = \frac{T}{bLr} \quad (3.6)$$

$$S_c = \frac{I}{\frac{t}{2} \times L \times r} \quad (3.7)$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2} \quad M_b = 0$$

$$M_t = T = \frac{\pi d^3 S_s}{16}$$

$$S_s = 55\text{MPa}$$

$$\frac{\pi d^3 S_s}{16} = S_s b L r = \frac{d}{4} L r$$

$$b = \frac{d}{4}$$

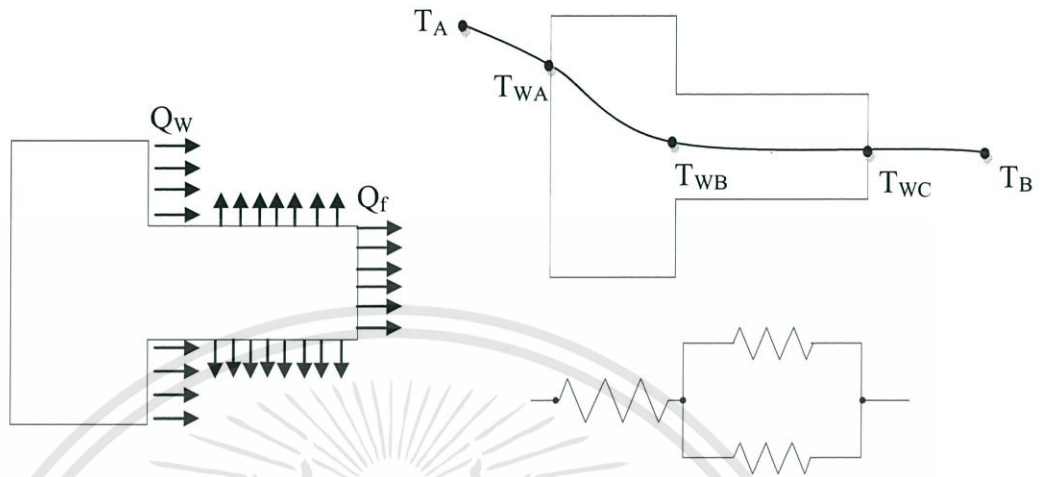
$$L = \frac{\pi d^2 \times 2}{16r} = \frac{\pi \times (15 \times 10^{-3})^2 \times 2}{16 \times 7.5 \times 10^{-3}} = 1.17\text{cm} \approx 1.2\text{cm}$$

จากการคำนวณความกว้างและความยาวของลิ้ม 4x4 มิลลิเมตร และความลึกของลิ้ม

1.2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.4. การคำนวณหาครีประบายความร้อน



รูปที่ 3.8 แสดงการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.8), (3.9), (3.10), (3.11)

$$Q = Q_f + Q_w \quad (3.8)$$

$$Q_f = n\eta_e q_{\max} \quad (3.9)$$

$$q_{\max} = \bar{h}_c A_s (T_w - T_\infty) \quad (3.10)$$

$$A_s = 2\pi(R_{2c}^2 - R_1^2) \quad (3.11)$$

$$2\delta = 4\text{mm}$$

$$\delta = 0.002\text{m}$$

$$L_c = L + \delta = 0.015 + 0.002 = 0.017\text{m}$$

$$R_{2c} = R_2 + \delta = \frac{88}{2} + 2 = 46\text{mm} = 0.046\text{m}$$

$$R_1 = R_2 - L = \frac{88}{2} - 15 = 29\text{mm} = 0.029\text{m}$$

$$T_w = 85^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 25^\circ\text{C}$$

$$\bar{h}_c = 30\text{w/m}^2\text{k}$$

$$K = 45.5\text{w/mk}$$

$$A_p = 2\delta L_c = 2(0.002)(0.017) = 0.000068\text{m}^2$$

$$A_s = 2\pi(R_{2c}^2 - R_1^2) = 2\pi(0.046^2 - 0.029^2) = 0.008\text{m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาประสิทธิภาพ (efficiency) จากกราฟผลการทดลอง

$$\frac{R_{2c}}{R_1} = \frac{0.046}{0.029} = 1.586$$

$$L_c^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\bar{h}_c}{kA_p} \right)^{\frac{1}{2}} = (0.017)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{30}{45.5 \times 6.8 \times 10^{-5}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.22$$

จากกราฟได้

$$\eta \approx 0.96$$

ถ้าใช้ครีบบระบายความร้อน 1 ตัว

$$Q_f = n\eta_e \bar{h}_c A_s (T_w - T_\infty) = 1 \times 0.96 \times 30 \times 0.0008 \times (85 - 25) = 13.82 \text{ w}$$

ถ้าใช้ครีบบระบายความร้อน 14 ตัว

$$Q_f = 13.82 \times 14 = 193.54 \text{ w}$$

จาก

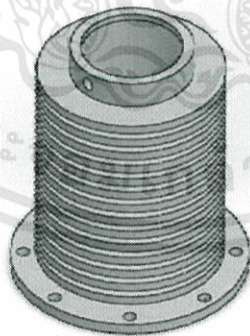
$$Q_w = \bar{h}_c A_{sw} (T_w - T_\infty)$$

$$A_{sw} = 2\pi R_1 (S_p) n = 2\pi \times 0.029 \times 3 \times 10^{-3} \times 14 = 1.65 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q_w = 30 \times 1.65 \times 10^{-3} \times (85 - 25) = 13.77 \text{ w}$$

จาก

$$Q = Q_f + Q_w = 193.54 + 13.77 = 207.31 \text{ w}$$



รูปที่ 3.9 ชิ้นส่วนหล่อเย็น (cooler)

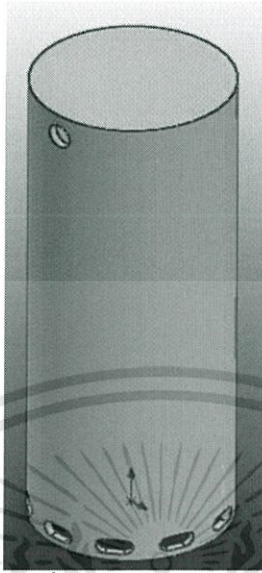
3.2.2.5. การออกแบบกระบอกสูบ

สามารถคำนวณความหนาของผนังได้จากสมการ (3.12)

$$\sigma = \frac{pd}{2t} \quad (3.12)$$

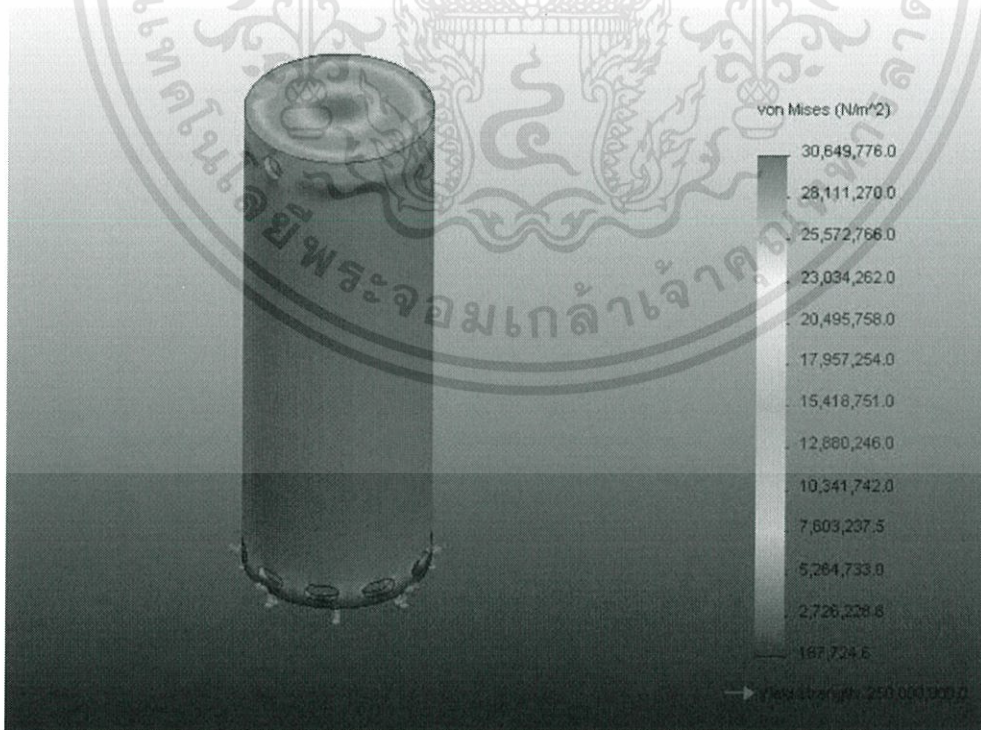
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณจากสูตร จะสามารถหาความหนาของกระบอกสูบได้ 1.5 มิลลิเมตร แต่เพื่อความสะดวกในการสร้างชิ้นงาน จึงใช้ความหนา 2 มิลลิเมตร โดยใช้วัสดุ ASTM 36 steel



รูปที่ 3.10 กระบอกสูบ

จากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม solid work กำหนดสภาวะการวิเคราะห์โดยความดันที่กระทำกับลูกสูบมีค่า 10 บาร์ กระทำที่ผนังด้านในตัวกระบอกสูบ ด้านนอกกระบอกสูบ วัสดุ A36 steel ดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 การจำลองสถานการณ์การอัดความดันลงในกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์จำลองสถานการณ์จะเห็นได้ว่า ค่าความเค้นต่ำสุดเกิดที่บริเวณสี่
ฟ้า และความเค้นสูงสุดเกิดที่บริเวณสี่แดง จากผลการวิเคราะห์พบว่าวัสดุมีค่า yield strength สูง
กว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้น

3.2.3. ชิ้นส่วนมาตรฐาน

3.2.3.1. ตลับลูกปืนกลม (บอลล์แบร์ริง)

ติดตั้ง ณ ตำแหน่งกลไกการส่งกำลัง ถูกประกอบไว้ที่รอสส์ยอร์กส่วนที่สวมเข้ากับลิงค์
เกอร์ (Linker) ที่ต่อลงมาจากชิ้นส่วนรักษาแนวการเคลื่อนที่และก้านสูบตามลำดับ มีผลในการรับแรง
ในแนวรัศมีเพื่อช่วยให้การเคลื่อนที่ของ รอสส์ยอร์กราบเรียบมากขึ้น

ซึ่งแบร์ริงในส่วนนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Sigma F_x = P_1 A_1 - P_2 A_2 + m \frac{dU_p}{dt} + F_f \quad (3.13)$$

เมื่อ P_1 = ความดันด้านร่อน

P_2 = ความดันด้านเย็น

A_1 = พื้นที่ลูกสูบด้านบน

A_2 = พื้นที่ลูกสูบด้านล่าง

m = มวลของลูกสูบ

U_p = ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ

F_f = ค่าความเสียดเพื่อถ่ายโอนค่าที่กำหนดให้เป็นศูนย์

เมื่อ $\bar{U}_p = 2SN$ และ $N =$ ความเร็วรอบ = 1028 rev/min

จากการคำนวณจะได้ว่าแรงที่ส่งจากกระบอกสูบสู่ข้อต่อตรงก้านสูบมีค่า 2.133 นิวตัน
สรุปจำนวนและขนาดชิ้นส่วนของตลับลูกปืน จากตาราง 3.1

ชื่อชิ้นส่วนที่ เกี่ยวข้อง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก(mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน(mm)	ความหนา (mm)	จำนวน (ชิ้น)
Locking level	24	8	6	2
	19	8	9	2
Ross yoke	19	12	8	2
	11	6	5	4
shaft	32	15	7	2

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของตลับลูกปืนที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2. จำนวนส่วนยึดที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดของเครื่องยนต์ โดยใช้สูตรในการคำนวณหาจำนวนที่เหมาะสมของส่วนยึดดังนี้

$$n = \frac{S_p A_t - F_i}{c \left(\frac{P}{N} \right)} \quad (3.14)$$

เมื่อ n = safety-factor

N = จำนวนยึด

P = แรงที่กระทำจากภายนอก

F_i = แรงที่กระทำในเบื้องต้น

C = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของโหลตจากภายนอก

โดยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของโหลตหาจากสมการ (3.15)

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (3.15)$$

เมื่อ k_b = ความแกร่งของสลักเกลียว

k_m = ค่าความแกร่งของชิ้นงาน

k_b และ k_m หาได้จากสมการ (3.16), (3.17)

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} \quad (3.16)$$

$$k_m = EdA \exp\left(\frac{Bd}{l}\right) \quad (3.17)$$

โดยจากการคำนวณที่ได้กำหนดให้ค่า safety-factor เท่ากับ 4
ซึ่งส่วนยึดทั้งหมดของเครื่องยนต์จะถูกแสดงดังตารางที่ 3.2

ตำแหน่ง	ชนิดและขนาดของส่วนยึด (ตัว)		
	โบลต์	สกรู	
	M6	M6	M8
1. ฐานรองเครื่อง	4	-	
2. ส่วนหล่อเย็น	-	32	-
3. แผ่นเพลท	-	-	4
จำนวนของส่วนยึดทั้งหมด	4	32	4

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงส่วนยึดในส่วนของแต่ละตำแหน่งและขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การปรับปรุงแบบเพื่อลดต้นทุนในการผลิต

3.3.1. ชิ้นส่วนปรับแก้

3.3.1.1. ระบายออกสูบ (Piston) เนื่องจากในการออกแบบก่อนหน้า ส่วนระบายออกสูบ มีรูปทรงโดมดิ่งรูป เพื่อเป้าหมายของการออกแบบนั้นเพื่อให้มีพื้นที่ในการรับความร้อนสูงสุด หากแต่ เล็งเห็นว่า ชิ้นส่วนทรงโดมนั้นมีความซับซ้อนในการผลิต จึงทำการเปลี่ยนแปลงให้ชิ้นส่วนระบายออกสูบ เพื่อให้ง่ายต่อการผลิตยิ่งขึ้น

3.3.1.2. ท่อ (Tube) เนื่องจากส่วนของระบายออกสูบมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ท่อที่ เชื่อมต่อระหว่างแต่ละระบายออกสูบจึงมีการเปลี่ยนรูปร่างตามไปด้วย

3.3.2. ชิ้นส่วนที่ทำการตัดออก

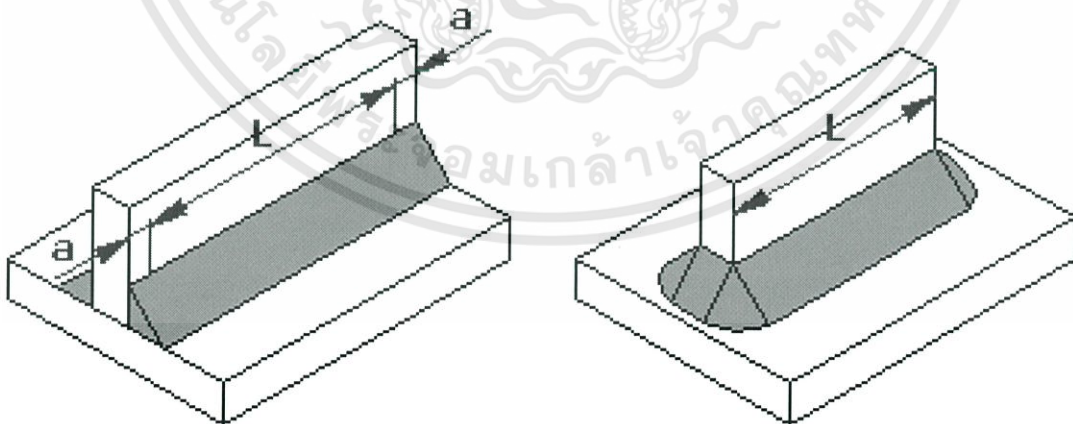
3.3.2.1. ท่อรับความร้อน (Heat exchanger)

3.3.2.2. ส่วนหล่อเย็นด้วยน้ำ (Cooler)

ทั้งสองชิ้นส่วนถูกตัดออกเนื่องด้วยเหตุผลเดียวกัน กล่าวคือ เป็นส่วนที่มีความซับซ้อน ในการขึ้นรูปประกอบ การทำงานและการเดินเครื่องยนต์ รวมไปถึงเป็นส่วนที่ใช้งบประมาณสูง

3.5 การเชื่อม

จาก AWS CODE $S_{all} = 94MN / m^2$ เมื่อมุม θ คือมุมที่มีค่า shear force สูงสุด สำหรับ transverse load ไม่มีโมเมนต์ตัดเกิดขึ้น เพราะรับแรงในแนวตั้งอย่างเดียว เมื่อต้องการเชื่อม $w=10$ มิลลิเมตร



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างชิ้นงานเชื่อม

$$+\uparrow \sum F = ma$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+\uparrow \Sigma F = 0$$

แรงภายนอกที่กระทำต่อชิ้นงาน จากสมการ(3.18)

$$F = 2F_s \sin \theta - \frac{2F_s \cos \theta}{\sin \theta} (\cos \theta) = 0 \quad (3.18)$$

$$F_s = F \sin \theta$$

ความหนาหาได้จาก (3.19)

$$t = \frac{w}{\cos \theta + \sin \theta} \quad (3.19)$$

ความเค้นที่สามารถยอมรับได้หาได้ จากสมการ (3.20)

$$S_s = \frac{F_s}{A} = \frac{F_s}{tL} = \frac{(F \sin \theta)(\cos \theta + \sin \theta)}{wL} \quad (3.20)$$

สำหรับ maximum S_s

$$\frac{dS_s}{d\theta} = 0 = \frac{F}{wL} (\sin \theta (-\sin \theta + \cos \theta) + (\cos \theta + \sin \theta)(\cos \theta))$$

จากสมการตรีโกณมิติ แทนค่าจะได้

$$\sin 2\theta = -\cos 2\theta$$

ที่ maximum stress $\theta = 67.5^\circ$

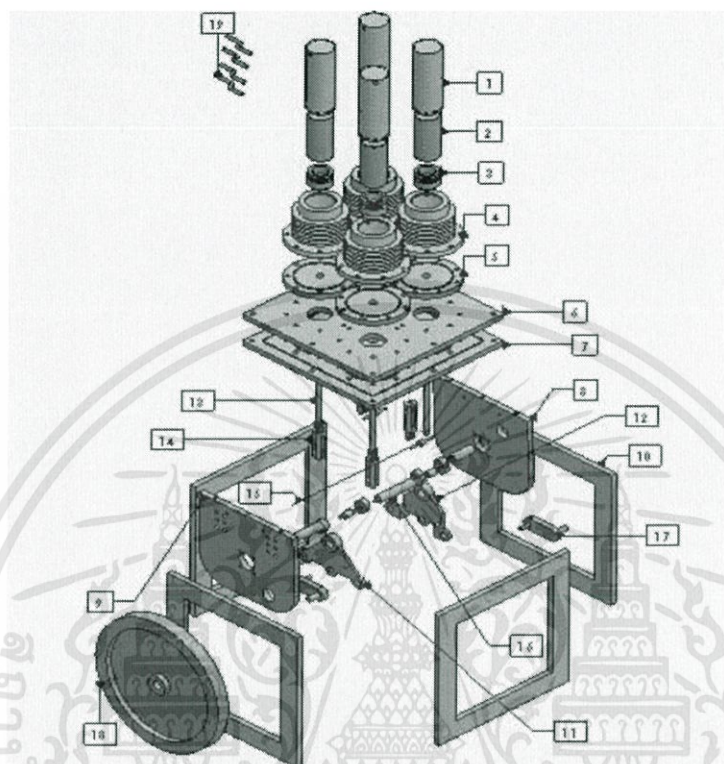
$$S_{s(\max)} = \frac{(F \sin 67.5)(\cos 67.5 + \sin 67.5)}{wL}$$

$$\text{Allowable force per meter} = \frac{F}{L} = 0.825_{s(all)} w$$

จากการคำนวณสามารถหาได้ว่ารอยเชื่อมนี้สามารถรับแรงได้ 778 KN/m ซึ่งเพียงพอที่จะรับแรงจากการทำงานของเครื่องยนต์นี้ได้

บทที่ 4

การผลิตและการประกอบเครื่องยนต์



รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์

ตารางแสดงชิ้นส่วน

NUMBER	NAME
01	Cylinder_V2
02	Piston 02_V2
03	Piston01_v2
04	Cooler V2
05	Rod-Supporter
06	Plate 02
07	Plate 01
08	Standing Plate 01
09	Standing Plate 02
10	Flame plate
11	York 01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12	York 02
13	Rod 01
14	Linker
15	Linker rod
16	Shaft 01,02,03,04,05
17	Locking Level
18	Fly wheel
19	Tube

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงชิ้นส่วนของเครื่องยนต์

4.1 การปรับปรุงแบบและการตัดทอนชิ้นส่วนเพื่อความเหมาะสมต่อช่วงเวลา

โดยจากราคาดังกล่าวนั้นค่อนข้างมีมูลค่าสูงเกินงบประมาณที่ตั้งไว้ รวมทั้งตัวเครื่องยนต์มีความซับซ้อน เสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาดสูง อาจนำมาซึ่งการจำเป็นต้องปรับแก้ไขชิ้นส่วนในกระบวนการประกอบ หรือส่งผลิตใหม่ซ้ำ จึงไม่คุ้มค่าที่จะสร้างและผลิตในเวลาอันสั้น

ทางผู้จัดทำจึงทำการปรับปรุงแก้ไข ลดทอนองค์ประกอบชิ้นส่วนซึ่งมีความซับซ้อนลง เพื่อมุ่งเน้นที่จะศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแอลฟาไกลโคผลิตกำลังสองทาง และเพื่อความเหมาะสมแก่เวลาอันสั้น จึงได้มีการปรับปรุงโดยการไม่ทำการอัดอากาศในส่วนถึงความดัน (Crankcase) ของเครื่องยนต์

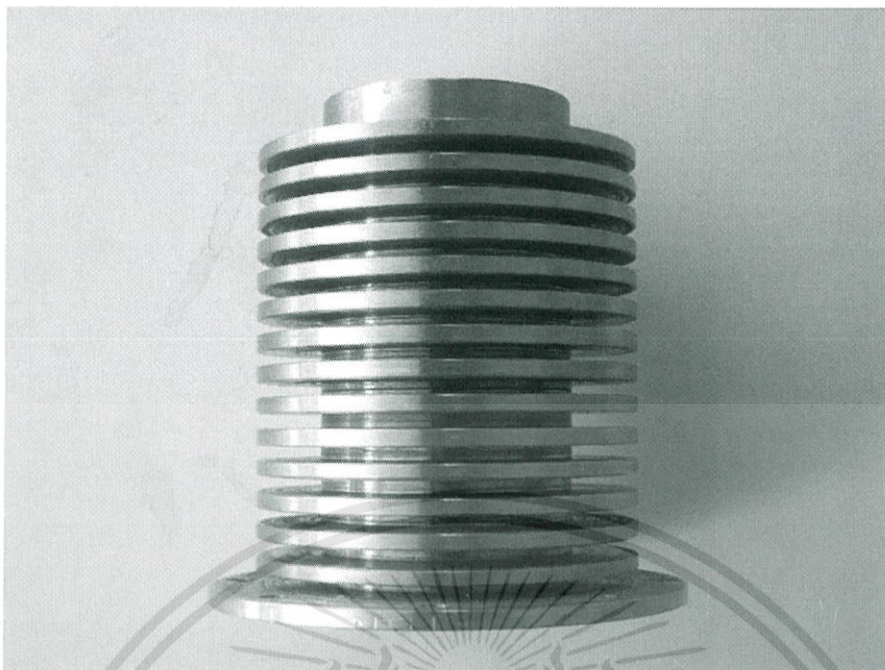
จากเดิม เครื่องยนต์จะทำการอัดอากาศในส่วนผลิตกำลังเพื่อเพิ่มปริมาณกำลัง รวมทั้งได้มีการอัดอากาศบริเวณถึงความดันซึ่งเป็นส่วนส่งถ่ายกำลังเนื่องจากต้องการให้ระบบมีความเสถียรมากที่สุด แม้อากาศจากส่วนผลิตกำลังจะรั่วลงสู่ส่วนส่งถ่ายกำลังด้านล่างแต่ก็ยังคงวนเวียนอยู่ในระบบ อย่างไรก็ตาม การอัดอากาศในส่วนถึงความดันนั้นทำให้มีชิ้นส่วนมากมายที่ถูกรื้อออกแบบขึ้นเพื่อกันรั่วให้กับระบบและเพิ่มความซับซ้อนต่อการประกอบ

เมื่อทำการตัดการอัดอากาศในส่วนถึงความดัน จะสามารถตัดชิ้นส่วนดังต่อไปนี้ได้

1. ถึงความดัน
2. ฝาถึงความดันทั้ง 2 ด้าน
3. ยู-คัพซีล

4.2 ชิ้นส่วนแล้วเสร็จ

4.2.1. คูลเลอร์ (Coolers)



รูปที่ 4.2 คูลเลอร์

ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วแบ่งเป็นสองประเภท คือ แบบท่อ และแบบครีป การออกแบบจะต้องคำนึงถึงพื้นที่หน้าตัดว่าเพียงพอต่อการถ่ายเทความร้อน

4.2.2 ครอบงอสูบ (Cylinders)

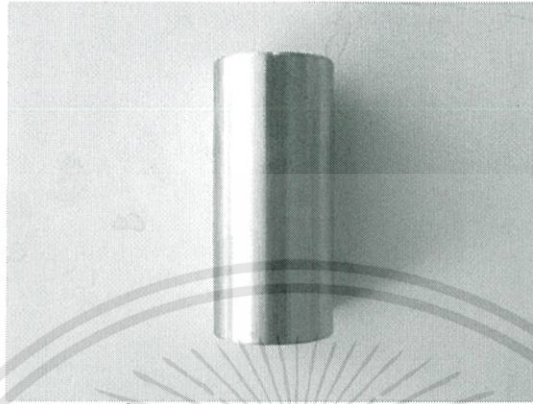


รูปที่ 4.3 ครอบงอสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกสูบทำหน้าที่เป็นห้องเครื่อง รับความร้อน และรับภาระแรงดันที่เกิดจากการขยายตัวของสารทำงาน

4.2.3. ลูกสูบ (Pistons)



รูปที่ 4.4 ลูกสูบส่วนบน



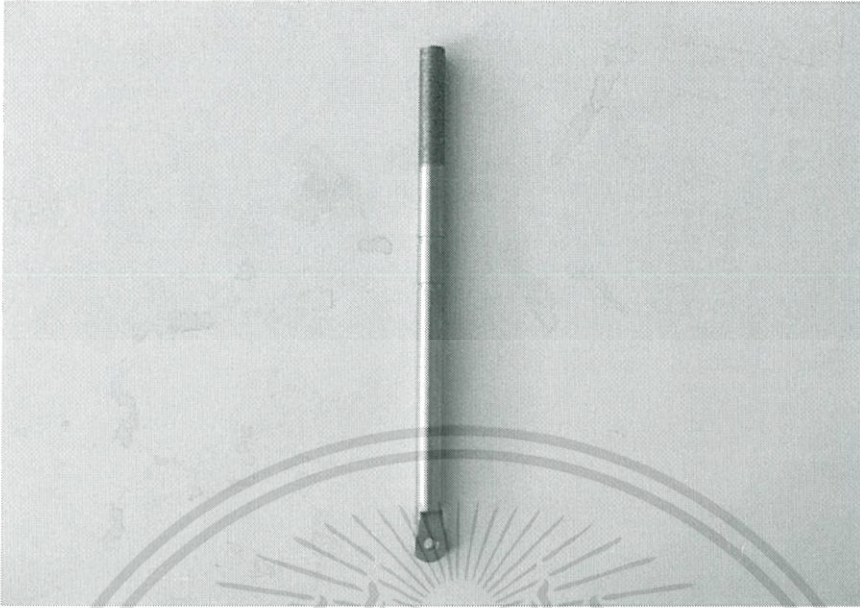
รูปที่ 4.5 ลูกสูบส่วนล่าง

ลูกสูบที่มีการเคลื่อนที่เมื่อสารทำงานเกิดการขยายและหดตัว สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดกลไกสองทาง (Double acting) ลูกสูบตัวเดียวจะทำหน้าที่เป็นทั้งลูกสูบไล่และลูกสูบกำลัง ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนจะสร้างความร้อนให้สารทำงานจนเกิดการขยายตัว โดยส่วนใหญ่แล้วในทางทฤษฎีจะแตกต่างจากลูกสูบทั่วไปในเครื่องยนต์สันดาบภายในคือ ผนังด้านข้างระหว่างลูกสูบไล่กับกระบอกสูบจะไม่มีช่องสำหรับสารทำงานไหล ในทางอุดมคติต้องให้ลูกสูบน้ำหนักต่ำที่สุด เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งที่สูงที่สุดและหน่วงแรงน้อยที่สุด ไม่ควรมีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนัง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้สามแบบหลักตามชนิดเครื่องยนต์

นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ส่งกำลังจากความดันที่กระทำต่อผิวหน้าลูกสูบสู่เพลาคอเหวี่ยง ลูกสูบจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงภายในกระบอกสูบโดยที่มีการกันรั่วของความดันภายใน ข้อควรคำนึงในการออกแบบคือต้องมีน้ำหนักเบา ทนได้กับความดันและอุณหภูมิที่ทำงาน นอกจากนี้การออกแบบต้องคำนึงถึงซีลกันรั่วชนิดวงแหวนควรเหมาะสมกับลูกสูบกำลังด้วยเพราะจะต้องมีการทำงานร่วมกันในสถานะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

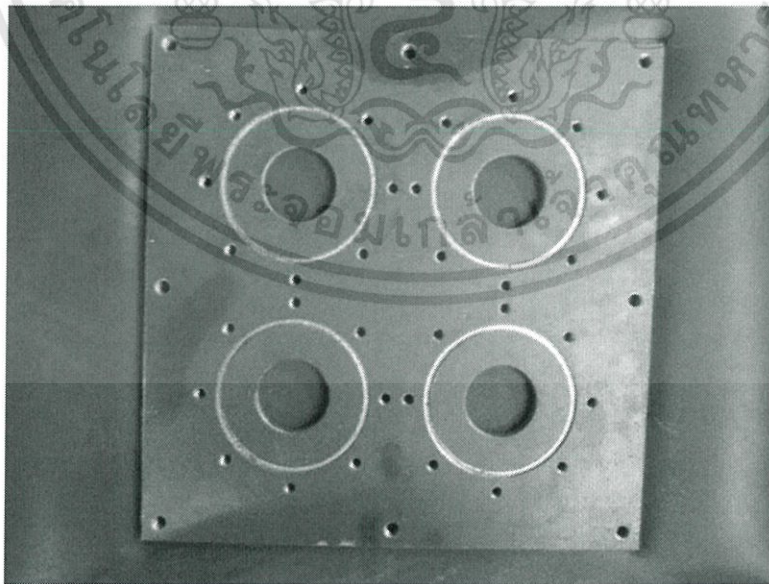
4.2.4. ก้านสูบ (Connecting Rods)



รูปที่ 4.6 ก้านสูบ

ทำหน้าที่เป็นกลไกส่งกำลังจากลูกสูบ เพื่อส่งไปยังกลไกโรสส์ยอร์ก และเพลลาข้อเหวี่ยงเป็นลำดับต่อไป โดยได้ออกแบบส่วนที่ประกบกับลูกสูบให้มีลักษณะเป็นเกลียว เพื่อความง่ายต่อการประกอบ และการปรับระดับเฟสของลูกสูบทั้ง 4 ตัว

4.2.5. แผ่นเพลท (Plate)

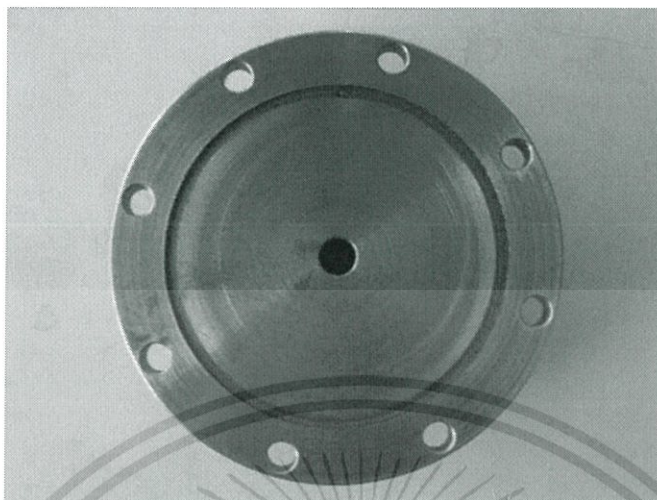


รูปที่ 4.7 แผ่นเพลท

โดยมีหน้าที่เป็นฐานรองรับของส่วนผลิตกำลัง และยึดส่วนของกลไกโรสส์ยอร์ก เข้าไว้กับตัวแผ่นเพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6. ส่วนเสริมก้านสูบ (Rod supporters)



รูปที่ 4.8 ส่วนเสริมก้านสูบ

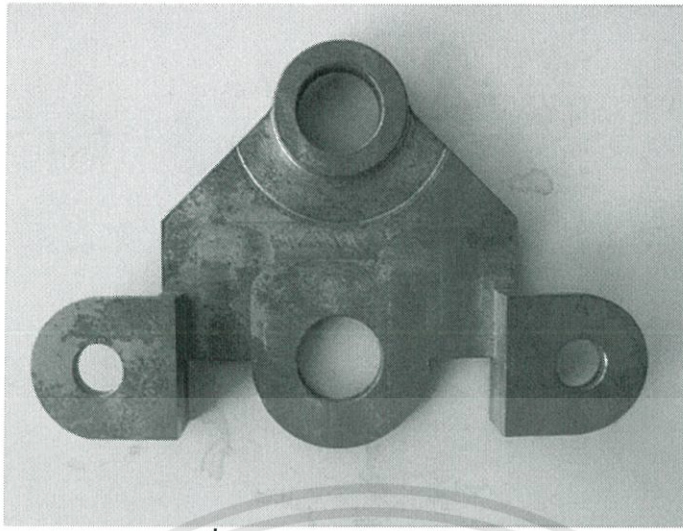
ส่วนเสริมของก้านสูบ (Rod supporter) เนื่องจากในแบบที่มีอยู่นั้น ไม่มีชิ้นส่วนใดที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการกินรื้อของไหลทำงานจากส่วนของกระบอกสูบไปยังส่วนล่าง จึงมีการออกแบบส่วนเสริมของก้านสูบขึ้น

4.2.7. กลไกโรสส์ยอร์ก (Ross yoke mechanism)



รูปที่ 4.9ก. โรสส์ยอร์กด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9ข. รอสส์ยอร์กด้านหลัง

รอสส์ยอร์กเป็นกลไกส่งกำลัง โดยส่งกำลังจากการเคลื่อนที่แนวเส้นตรงของกระบอกสูบ ให้เป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมของเพลลา มีข้อดีจากการส่งกำลังคือ ลดภาระแรงเสียดทานกระทำระหว่างผนังกระบอกสูบและลูกสูบเนื่องจากลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นแนวเส้นตรง กันรั่วก้านสูบ (Rod seal) ทำให้เกิดการสึกน้ยลงและลดปัญหาการรั่วของสารทำงาน ภายในกระบอกสูบ

4.2.8. ลิงค์เกอร์ (Linkers)

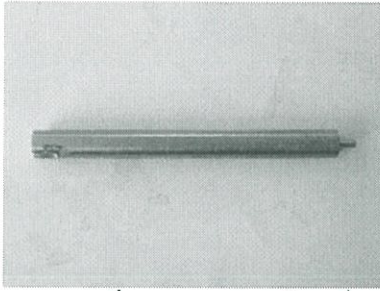


รูปที่ 4.10 ลิงค์เกอร์

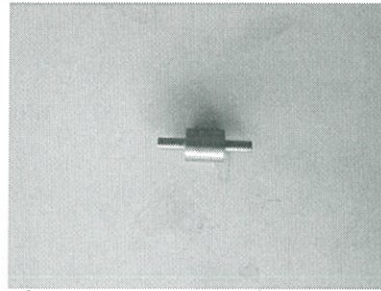
เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างก้านสูบและรอสส์ยอร์ก เพื่อส่งกำลังระหว่างก้านสูบและกลไกรอสส์ยอร์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

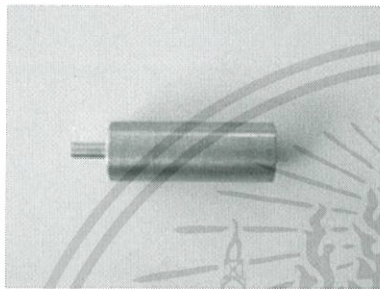
4.2.9. เพลาข้อเหวี่ยง (Crank shaft)



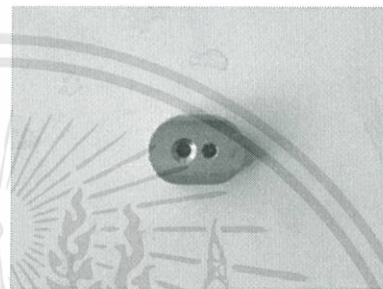
รูปที่ 4.11ก. เพลาข้อเหวี่ยง
ส่วนติดกับล้อช่วยแรง



รูปที่ 4.11ข. เพลาข้อเหวี่ยง
ส่วนติดกับข้อเหวี่ยง



รูปที่ 4.11ค. เพลาข้อเหวี่ยง
ส่วนปลาย



รูปที่ 4.11ง. ข้อเหวี่ยง

มีลักษณะคล้ายกับเครื่องยนต์ที่มีการสันดาปภายใน การหมุนของเพลาเกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบกำลังถูกส่งผ่านมายังก้านสูบและกลไกโรสส์ยอร์ดตามลำดับ วัสดุที่ใช้ควรมีคุณสมบัติทนต่อแรงกระทำขณะที่มีการเคลื่อนที่ของเพลาข้อเหวี่ยงเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม

4.2.10. ฐานเครื่อง (Frame)



รูปที่ 4.12 ฐานเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีหน้าที่รองรับโครงสร้างของเครื่องยนต์ออกแบบให้มองเห็นได้ทั้ง 4 ทิศทางเนื่องจากความง่ายต่อการประกอบ

4.2.11. ล้อช่วยแรง (Fly wheel)



รูปที่ 4.13 ล้อช่วยแรง

มีหน้าที่ช่วยในการรักษากำลังของเครื่องยนต์ ให้มีอัตราเร็วคงที่ เนื่องจากการตกของกำลังของเครื่องยนต์

4.2.12. ท่อ (Tube)

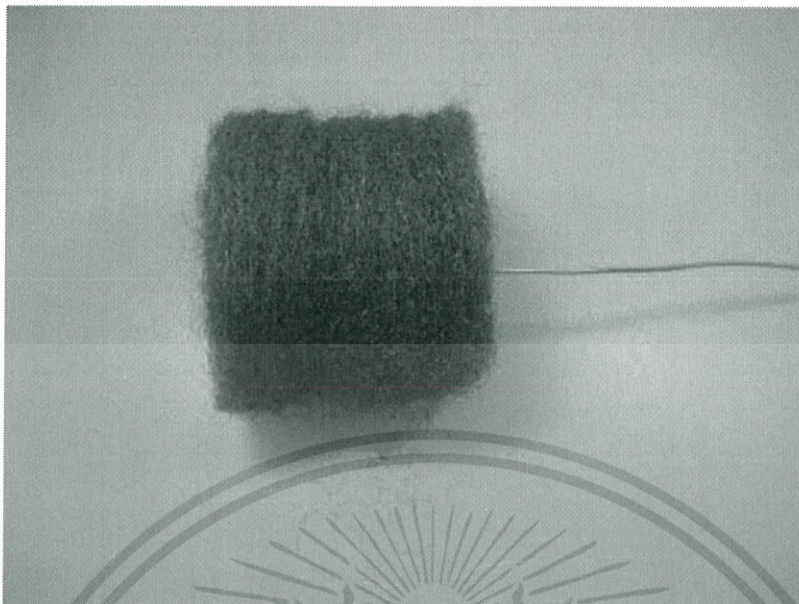


รูปที่ 4.14 ท่อหลังจากการตัดแล้ว

มีหน้าที่ให้สารทำงานไหลจากด้านร้อน สู่ด้านเย็น ภายในกระบอกสูบทั้ง 4 ตัว เพื่อให้ทำงานสอดคล้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

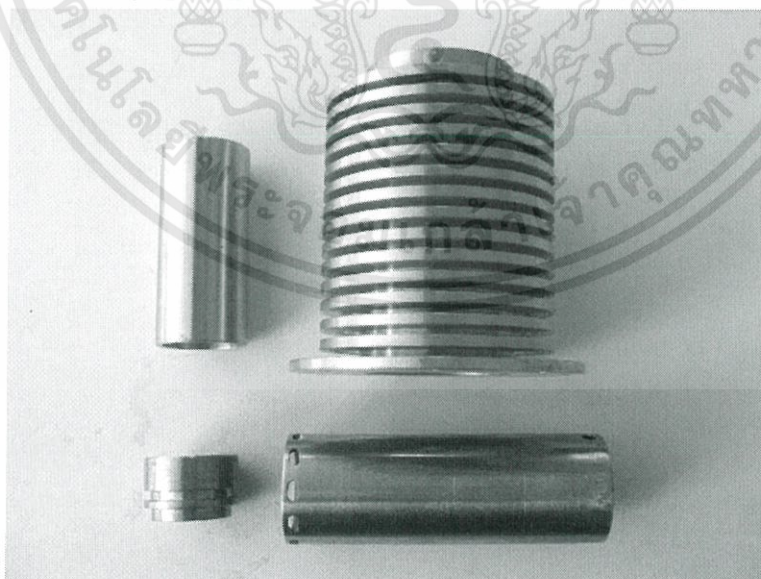
4.2.13. รีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator)



รูปที่ 4.15 รีเจนเนอเรเตอร์

เพื่อให้เกิดความแตกต่างทางความร้อนจำเป็นต้องมีวัสดุที่ช่วยในการทำงานนั้นคือ รีเจนเนอเรเตอร์ รีเจนเนอเรเตอร์ทำหน้าที่ในการเก็บกักพลังงานความร้อนในด้านร้อนให้ผ่านไปสู่ด้านเย็นน้อยที่สุด โดยการเก็บกักไว้ในอิเลิเมนต์ทำให้อุณหภูมิอีกด้านสูงก็อีกด้านช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

4.2.14. รูปรวมกลุ่มชิ้นส่วนส่วนผลิตกำลัง

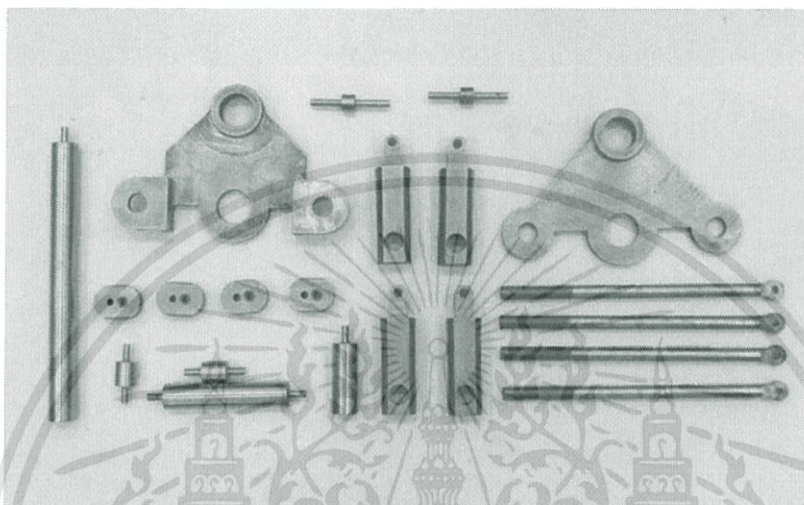


รูปที่ 4.16 ลูกสูบและกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีหน้าที่ในการผลิตกำลัง โดยรับพลังงานความร้อนจากแหล่งความร้อนจากภายนอก ทำให้เกิดการขยายตัวของสารทำงานภายในกระบอกสูบ เกิดแรงดันกระทำต่อลูกสูบเพื่อขับลูกสูบให้มีการเคลื่อนที่ในจังหวะขยายตัวของสารทำงาน จากนั้นเมื่อมีกานระบายความร้อนจาก ส่วนหล่อเย็น สารทำงานก็จะเกิดการเย็นตัว ทำให้หดตัว โดยจะดูดลูกสูบกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น

4.2.15. รูปรวมกลุ่มชิ้นส่วนส่งกำลัง



รูปที่ 4.17 กลุ่มชิ้นส่วนส่งกำลัง

มีหน้าที่ในการส่งกำลัง จากชุดส่วนผลิตกำลัง โดยมีส่วนของก้านสูบและลิงค์เกอร์เป็นส่วนเชื่อมระหว่างก้านสูบ และกลไกโรสส์ยอร์ก เพื่อส่งกำลังไปที่เพลลาข้อเหวี่ยง

4.3. ชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยตัวเอง

4.3.1. ท่อ (Tube)

เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ใช้วัสดุท่อสเตนเลสขนาด 2 นิ้วจึงทำการตัดขึ้นรูปด้วยการใช้ปากกาจับชิ้นงานและค้อน โดยตัดเป็นส่วนโค้งคล้ายตัวอักษรเอส (s) ในภาษาอังกฤษ

4.3.2. ฐานเครื่อง (Frame)

อันเป็นส่วนพยางค์ส่วนเครื่องยนต์และเป็นขาตั้ง สร้างขึ้นโดยใช้เหล็กรูปตัวแอลโดยมีขนาด x เซนติเมตร เชื่อมต่อกันด้วยวิธีการเชื่อมอาร์ค ทำการลบขอบมุมและเจาะรูโดยอิงจากรูส่วนยึดของแผ่นเพลทด้านบน

4.4. การประกอบเครื่องยนต์

4.4.1. ปัญหาที่เกิดขึ้นก่อนการประกอบเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.1. ชิ้นงานขึ้นรูปผิดพลาด

ความผิดพลาดของการขึ้นรูปผิดพลาดจากโรงงานขึ้นรูปเกิดขึ้นจากสาเหตุหลักๆ 2 สาเหตุคือ ความสับสนในการส่งแบบของโรงงานต่างสาขา และความผิดพลาดและการขาดรายละเอียดบางส่วนของแบบ อันได้แก่ ก้านสูบ, เฟลาและล้อยช่วยแรง ซึ่งทางโรงงานขึ้นรูปได้ทำการขึ้นรูปชิ้นงานที่ถูกต้องขึ้นใหม่เมื่อมีการแจ้งให้ทราบ

4.4.2. วิธีการประกอบเครื่องยนต์

เนื่องด้วยเครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟาผลิตกำลังสองทางที่ปรากฏอยู่ในปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้ ถูกแบ่งออกเป็นสองผลิตกำลัง (ส่วนด้านบน) และส่วนกลไกส่งกำลัง (ส่วนด้านล่าง) การประกอบเครื่องยนต์จึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเช่นกัน โดยเริ่มต้นประกอบเครื่องยนต์จากส่วนกลไกส่งกำลัง

4.4.2.1. การสวมประกอบส่วนกลไกส่งกำลัง

- ทำการเชื่อมแผ่นเพลททรงตั้งเข้ากับแผ่นเพลทส่วนล่างด้วยวิธีการเชื่อมทิก (TICK)
- สวมอัดตลับลูกปืนลงไปยังจุดต่างๆ
- สวมชิ้นส่วนรักษาแนวการเคลื่อนที่ลงไปยังกลไกโรสส์ยอร์กทั้ง 2 ด้าน
- สวมลิงค์เกอร์เข้าที่ส่วนกลไกโรสส์ยอร์ก ตามด้วยก้านสูบ รองด้วยแหวนรองขนาด M6 จำนวน 10 ชิ้นทั้ง 4 ข้าง ใช้โบลต์และนัตขนาด M6 ยึดแต่ละส่วนเพื่อกันคลาย
- สวมอัดเฟลาข้อเหวี่ยงแต่ละชิ้นเข้าด้วยกัน ในส่วนของข้อเหวี่ยงนั้น จะต้องมียุติทางตรงกันอย่างละ 1 คู่ ทาน้ำยากันคลาย
- สวมประกอบเฟลาข้อเหวี่ยงและกลไกโรสส์ยอร์กจากแต่ละฝั่งของแผ่นเพลทด้านตั้ง ร้อยเฟลาข้อเหวี่ยงผ่านตลับลูกปืน
- ยกก้านสูบขึ้นร้อยผ่านแผ่นเพลท
- นำชิ้นส่วนส่งกำลังที่สมบูรณ์สวมลงในเฟรม
- สวมล้อยช่วยแรงที่ปลายเฟลาข้อเหวี่ยง ยึดด้วยสลัก

4.4.2.2. การสวมประกอบส่วนผลิตกำลัง

- สวมกระบอกสูบเข้ากับคูลเลอร์ทั้ง 4 ชุด ทำการเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมทิก (TICK)
- จัดวางชุดคูลเลอร์และกระบอกสูบที่เชื่อมเข้าด้วยกันลงบนแผ่นเพลทส่วนบทยึดด้วยโบลต์และนัต
- นำท่อที่ตัดแล้ว เชื่อมเข้ากับกระบอกสูบแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถอดชุดส่วนผลิตกำลังออกจากแผ่นเพลทส่วนบน

4.4.2.3. การสวมประกอบเครื่องยนต์ทั้งหมด

- สวมกันร้วเข้ากับลูกสูบที่ 2 ทั้ง 4 ตัว ยึดกับก้านสูบโดยวัตรระยะเคลื่อนที่มีให้ชนกับกระบอกสูบ
- ประกอบลูกสูบทั้งสองเข้าด้วยกันโดยทาน้ำยากันคลาย
- สวมประเก็นที่แผ่นเพลทส่วนบน
- วางชิ้นส่วนชุดผลิตกำลังสวมทับลงไปบนลูกสูบทั้ง 4
- ยึดด้วยโบลต์และนัตจนแน่นสนิท
- เสริมสันกระบวนกร

4.4.3. ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการประกอบเครื่องยนต์

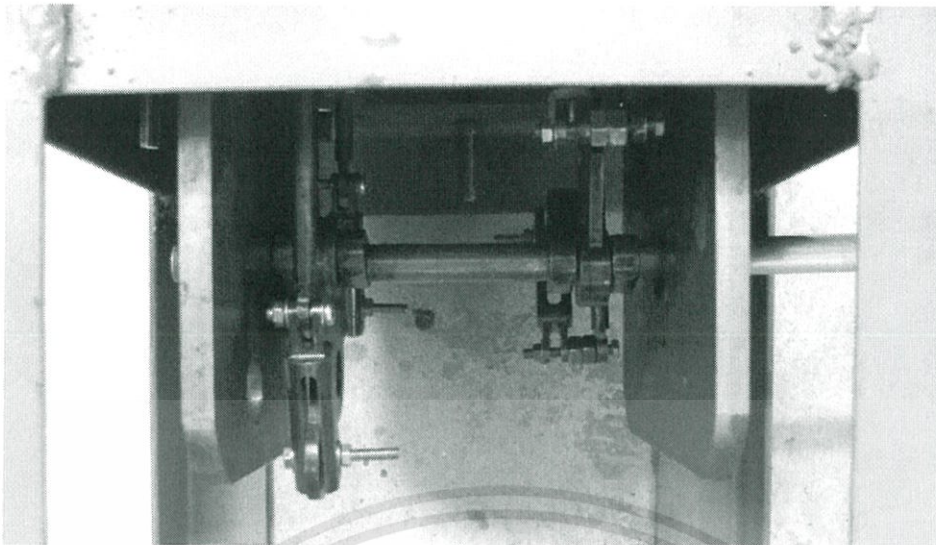
4.4.3.1. ปัญหาของการสวมอัด

เนื่องจากผู้จัดทำขาดประสบการณ์ในการสวมประกอบเครื่องยนต์ การต้องสวมอัดชิ้นส่วนเครื่องยนต์กับชิ้นส่วนเครื่องยนต์ หรือชิ้นส่วนเครื่องยนต์กับชิ้นส่วนมาตรฐานจึงเป็นการยากชิ้นส่วนที่ไม่แข็งแรงเช่น ตลับลูกปืนได้พังเสียหายเนื่องจากการฝืนสวมโดยไม่รู้วิธีที่ถูกต้อง

4.4.3.2. ความซับซ้อนและช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนที่เล็กมาก

ปัญหาส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ส่วนกลไกซึ่งถูกขนาบเอาไว้ด้วยแผ่นเพลทตั้งทั้ง 2 ด้าน ในส่วนของกลไกโรสส์ยอร์กนั้นจำเป็นต้องสวมประกอบเข้าด้วยกันโดยเชื่อมต่อทุกส่วนไปพร้อมกันซึ่งอาจทำให้เพลทบิดหรือตลับลูกปืนแตกได้

ส่วนที่สวมประกอบยากที่สุดคือส่วนของชิ้นส่วนรักษาแนวเคลื่อนที่ ซึ่งอยู่ระหว่างกลไกโรสส์ยอร์กและแผ่นเพลทตั้ง บางชิ้นจำเป็นต้องสอดเข้าไปในระยะต่ำกว่า 4-5 มิลลิเมตร ซึ่งในการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมเขียนแบบทางวิศวกรรม Solid work นั้นไม่มีปัญหาใดๆ แต่ในสถานการณ์จริงเป็นส่วนที่มีความซับซ้อนมาก



รูปที่ 4.18 กลุ่มชิ้นส่วนกลไกส่งกำลัง

4.4.4. ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากสวมประกอบเครื่องยนต์แล้วเสร็จ

4.4.4.1. เพล่าเกิดการบิด

เนื่องด้วยเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวไปแล้ว ในการสวมอัดและช่องว่างของชิ้นส่วนกลไก ทำให้เกิดการบิดเบนของเพล่า ศูนย์เบี่ยงออกจากแกนกลาง สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน สามารถแก้ไขได้โดยการกลึงใหม่ในส่วนนี้ และต้องมีการตั้งศูนย์ในการผลิตตอนเริ่มต้น



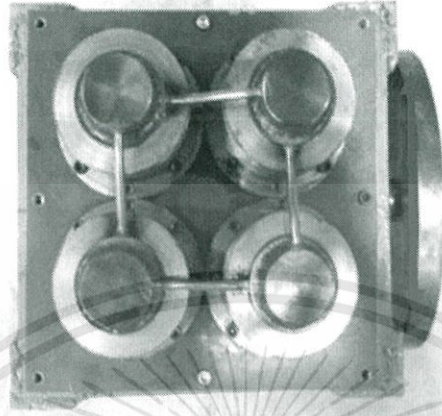
รูปที่ 4.19 แสดงการเยื้องของเพล่า

4.4.4.2. ส่วนกลไกส่งกำลังมีการเยื้องศูนย์

เมื่อสวมประกอบชิ้นส่วนชุดกลไกส่งกำลังทั้งหมดรวมกันแล้ว เมื่อทำการทดสอบหมุนด้วยมือ สามารถสังเกตเห็นล้อช่วยแรงที่มีการเยื้องศูนย์อย่างชัดเจน ทั้งนี้เกิดจากการสวมประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างเพลากับข้อเหวี่ยง สามารถแก้ไขได้โดยการกลึงใหม่ในส่วนนี้ และต้องมีการตั้งศูนย์ในการผลิต
ตอนเริ่มต้น



รูปที่ 4.20 รูปภาพแสดงการเบี้ยวของล้อช่วยแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

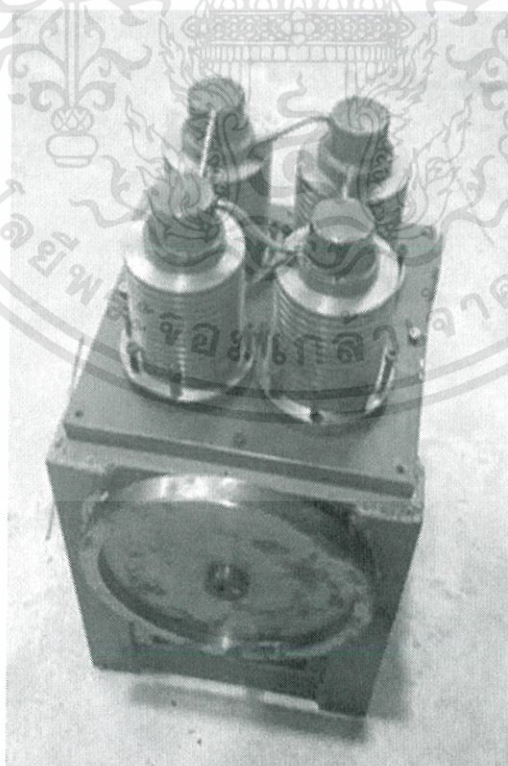
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟา กลไกผลิตกำลังสองทาง และได้ทำการปรับปรุงการออกแบบที่มีอยู่ก่อนหน้า เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการผลิตเครื่องยนต์ภายในงบประมาณและเวลาที่จำกัดจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

ชนิดเครื่องยนต์	แอลฟา
สารทำงาน	อากาศ
รัศมีข้อเหวี่ยง	0.7 cm
ระยะชักลูกสูบ	2 cm
พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ	1219 mm
ความต่างเฟสแต่ละลูกสูบ	90 องศา
กลไกส่งกำลัง	รอสส์ยอร์ก

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์



รูปที่ 5.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง รูปแบบแอลฟา กลไกผลิตกำลังสองทางตามที่ได้ทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. จำเป็นที่ต้องมีการออกแบบเพิ่มในส่วนของห้องเผาไหม้ (Burning chamber) ซึ่งจะครอบคลุมของกระบอกสูบซึ่งได้รับความร้อน เพื่อให้สามารถรับและกักเก็บความร้อนได้มากขึ้นจากปัจจุบันและเพียงพอต่อการทำงานของเครื่องยนต์

5.2.2. ในการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในปริญญาโทฉบับนี้ ได้รองรับการอัดความดันของสารทำงานเป็นปริมาณ 5 เท่าของความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถเพิ่มเติมในส่วนรองรับความดันเช่น กันรั่วอากาศส่วนก้านสูบ และทำการอัดความดันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพได้ต่อไป

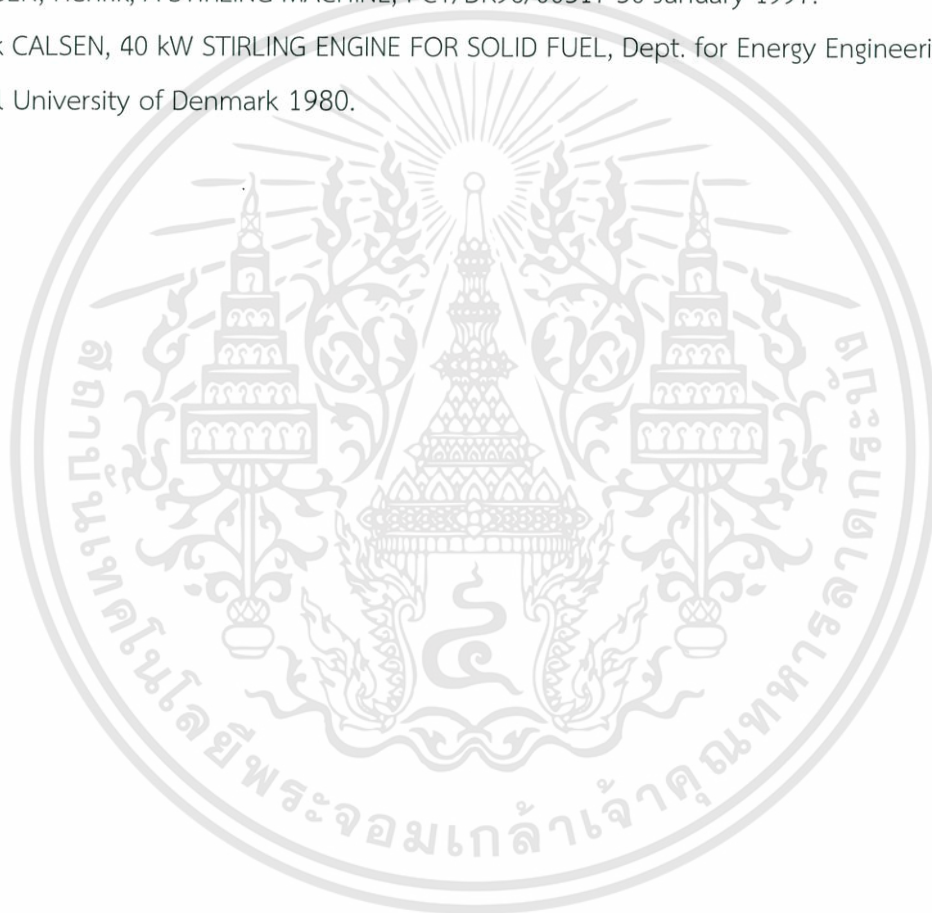
5.2.3. สามารถทำการเพิ่มเติมส่วนถังความดันครอบคลุมส่วนกลไกส่งกำลังด้านล่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่อไปได้ โดยสามารถเพิ่มเติมส่วนประกอบนี้ให้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องแก้ไขเพิ่มเติมแต่อย่างใด สามารถเปลี่ยนจากเฟรมเป็นถังความดันได้ทันที

5.2.4. ควรทำการขึ้นรูปส่วนกลไกส่งกำลังใหม่เนื่องจากชิ้นส่วนปัจจุบันมีการบิดเบี้ยวจากการฝืนสวมประกอบ รวมทั้งส่วนของล้อช่วยแรงซึ่งเยื้องศูนย์นับแต่การขึ้นรูป ส่วนประกอบทั้งสองที่มีการบิดเบี้ยวมีผลต่อประสิทธิภาพและการวัดกำลังที่เกิดขึ้นโดยตรง



บรรณานุกรม

- [1] <http://www.engr.colostate.edu/~marchese/mech337-10/epri.pdf>
- [2] <http://www.erc.uct.ac.za/jesa/volume19/19-3jesa-snymanetal.pdf>
- [3] http://www.ic.kmutnb.ac.th/webpage/subject/handout/phychem_AT/ch-01-prop-of-gas.pdf
- [4] http://www.stirling.dk/page_content.php?menu_id=27&type=submenu
- [5] http://www.ohio.edu/people/urieli/stirling/engines/yoke_vol.html
- [6] CARLSEN, Henrik, A STIRLING MACHINE, PCT/DK96/00317 30 January 1997.
- [7] Henrik CALSEN, 40 kW STIRLING ENGINE FOR SOLID FUEL, Dept. for Energy Engineering Technical University of Denmark 1980.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้