สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมม่าที่ความต่างอุณหภูมิต่ำ

Design and Build a Low Temperature Differential Gamma-Type Stirling Engine

T119477

โดย

นาย วิทิต โรจน์วรพร

นาย สถานนท์ มานะรังสรรค์

นาย อานนท์ ตั้งศรีอนุกูล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119477
วัน,เดือน,ปี 8 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2553

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมม่าที่ความต่างอุณหภูมิต่ำ

Design and Build a Low Temperature Differential Gamma-Type Stirling Engine

ผู้จัดทำ

1. นาย วิทิต โรจน์วรพร รหัสประจำตัว 50011469
2. นาย สถานนท์ มานะรังสรรค์ รหัสประจำตัว 50011610
3. นาย อานนท์ ตั้งศรีอนุกูล รหัสประจำตัว 50011938

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สุตาภัทร แดว้นเขาเม็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมม่าที่ความต่างอุณหภูมิต่ำ

นาย วิทิต โรจน์วรพร
นาย สถานนท์ มานะรังสรรค์
นาย อานนท์ ตั้งศรีอนุกูล
ดร.สุตาภัทร แดว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีแหล่งความร้อนที่ปล่อยทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ และยังมีปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดมาจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ เป็นที่มาของการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกและภาวะโลกร้อน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่ไม่มีการสันดาปภายในเครื่องยนต์ซึ่งสามารถใช้เชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานที่ให้กับเครื่องยนต์ได้หลากหลายและยังเป็นอีกเครื่องยนต์ทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าว โครงงานนี้จึงทำการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมม่าแบบความต่างอุณหภูมิต่ำ เพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานเบื้องต้น โดยมุ่งเน้นการออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้มีชิ้นส่วนไม่ซับซ้อน ทำงานเงียบ มลพิษต่ำและมีความหลากหลายของแหล่งพลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องยนต์ ด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Build a Low Temperature Differential Gamma-Type Stirling Engine

Witit Rojworaporn
Sathanon Manarangsan
Anont Tangsrianugul
Sutapat Kwankaomeng Advisor

Abstract

Nowadays there are many energy or power productions and heat generations releasing a lot of heat loss which useless and resulting in green house effect and air pollution especially from the internal combustion engine. Stirling engine has no combustion inside the engine that can be employed with multi-fuel choices or heat sources. Accordingly, Stirling engine is a potential and alternative engine with environmental harmless. This project aims to study, design and build a low temperature differential gamma-type stirling engine for assessment of the fundamental of Stirling cycle theory and the operation of the proof concept device. The design is focused on simplicity, silence and low pollution. The prototype can be applied with a lot of heat sources and operated under low temperature difference.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรก ที่ใคร่ขอกราบขอบพระคุณคือ ผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ท่านที่ สอง คือ อาจารย์บันเทิง ศิลป์สกุลสุข จากมหาวิทยาลัยสยาม ที่ให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เทคนิคการทำชิ้นส่วนเครื่องยนต์

ท่านที่ สาม คือ ผศ.ดร. บัญชา ค้งตระกูล จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และเทคนิคการทำชิ้นส่วนเครื่องยนต์ จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาส นี้

ขอขอบคุณ รุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโทห้องการออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง พี่เอฟ พี่เป้า ที่ช่วยในการสืบค้นข้อมูลแลกเปลี่ยนความรู้ความคิด และให้กำลังใจในการศึกษาค้นคว้าตลอดมา

ขอขอบคุณบริษัท Part Rich Precision และพี่ๆที่บริษัททุกคน รวมถึงพี่กฤษณะ บริษัท ปวริศร์เอนเตอร์ไพซ์ จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำชิ้นงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และรวดเร็ว

ขอขอบคุณภาคคณะวิชาเครื่องกลที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทำชิ้นงาน และเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณพี่ทรายและน้องโอ้ที่คอยสนับสนุนเรื่องอาหารและน้ำ รวมทั้งให้กำลังใจเสมอมา

และสุดท้ายต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดู พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษา และเป็นผู้ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

นาย วิทิต โรจน์วรพร

นาย สถานนท์ มานะรังสรรค์

นาย อานนท์ ตั้งศรีอนุกูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
รายการสัญลักษณ์	X
บทที่ 1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์	5
1.4 ขอบเขตโครงงาน	5
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	5
บทที่ 2. ทฤษฎีพื้นฐาน	
2.1 ประวัติความเป็นมา	6
2.2 ลักษณะรูปร่างภายนอกของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	9
2.3 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	14
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	19
2.5 ประสิทธิภาพเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	28
2.6 คุณสมบัติบางประการเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	31
2.7 หลักในการคำนวน และออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง แบบใช้ความต่างอุณหภูมิต่ำ	33
บทที่ 3. การออกแบบและการคำนวณ	
3.1 การออกแบบ	35
3.2 สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ	37
บทที่4. การสร้างเครื่องยนต์	
4.1 ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	43
4.2 การเลือกใช้วัสดุ	48
4.3 วิธีการขึ้นรูป, ผลิตชิ้นส่วน	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5. การทดลองและผลการทดลอง	
5.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	51
5.2 วิธีการทดลอง	53
5.3 ผลการทดลอง	54
บทที่ 6. สรุปผล วิจารณ์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	61
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณค่าในตาราง	64
ภาคผนวก ข. แสดงภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	66
ภาคผนวก ค. แบบเขียนและขนาดส่วนประกอบต่างๆของชิ้นงาน	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงผลการคำนวณหาทอร์กบนบีกเกอร์น้ำร้อน	41
3.2 แสดงผลการคำนวณหาทอร์กบนน้ำแข็ง	42
3.3 แสดงผลการคำนวณหาทอร์กบนจานรวมแสง	42
5.1 ตารางผลการทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อน	54
5.2 ตารางผลการทดลองบนน้ำแข็ง	56
5.3 ตารางผลการทดลองบนจานรวมแสง	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเครื่องแรกในปี 1818	7
2.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของปี 1827	7
2.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงปี 1840	8
2.4 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในโรงงาน Dundee	8
2.5 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบทั้ง 2 ตัวในเครื่องยนต์แอลฟา	10
2.6 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบและตัวแทนที่ในเครื่องยนต์เบต้า	11
2.7 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบและตัวแทนที่ในเครื่องยนต์แกมม่า	13
2.8 การขยายตัวของก๊าซ	15
2.9 การหดตัวของก๊าซ	15
2.10 การขยายตัวของก๊าซในกรณีที่มีล้อช่วยแรง	15
2.11 ดิสเพลสเซอร์ที่อยู่ระหว่างส่วนร้อนและส่วนเย็น	16
2.12 ดิสเพลสเซอร์ที่เชื่อมต่อกับล้อช่วยแรง	16
2.13 สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์	18
2.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นงานและมีการคลายความร้อนเกิดขึ้น	23
2.15 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ P-V ของกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่	25
2.16 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ P-V ของกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงที่	26
2.17 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ P-V ของกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่	27
2.18 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ P-V ของกระบวนการคลายความร้อนที่ปริมาตรคงที่	28
4.1 แสดงรูปของ Displacer	43
4.2 แสดงรูปของ Displacer core	44
4.3 แสดงรูปของ Displacer rod	44
4.4 แสดงรูปของ Power piston	45
4.5 แสดงรูปของ Power piston core	45
4.6 แสดงรูปของ Power piston rod	46
4.7 แสดงรูปของ Crank	46
4.8 แสดงรูปของ Fly wheel	47
4.9 แสดงรูปของ Nut	47
4.10 แสดงรูปของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	48
5.1 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ แบบอินฟราเรด (Infrared Thermometer)	51
5.3 นาฬิกาจับเวลา	52
5.4 จานรวมแสง (Solar disk)	52
5.5 เตาไฟฟ้า	52
5.6 บีกเกอร์	53
5.7 แสดงรูปของการทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อน	54
5.8 กราฟผลการทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อนระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลา	55
5.9 กราฟผลการทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อนระหว่างความเร็วรอบกับเวลา	55
5.10 แสดงรูปของการทดลองบนน้ำแข็ง	56
5.11 กราฟผลการทดลองบนน้ำแข็งระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลา	57
5.12 กราฟผลการทดลองบนน้ำแข็งระหว่างความเร็วรอบกับเวลา	57
5.13 แสดงรูปของการทดลองบนจานรวมแสง	58
5.14 กราฟผลการทดลองบนจานรวมแสงอาทิตย์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลา	59
5.15 กราฟผลการทดลองบนจานรวมแสงอาทิตย์ระหว่างความเร็วรอบกับเวลา	59
รูปภาคผนวกที่	
ข.1 แสดงรูปด้านหน้าของเครื่องยนต์	67
ข.2 แสดงรูปด้านหลังของเครื่องยนต์	67
ข.3 แสดงรูปด้านข้างของเครื่องยนต์	68
ข.4 แสดงรูปล้อช่วยแรงของเครื่องยนต์	68
ข.5 แสดงรูปของลูกสูบกำลัง (Power piston) ของเครื่องยนต์	69
ข.6 แสดงรูปของดิสเพลสเซอร์ (Displacer)	69
ค.1 แบบเขียนและขนาดของ Displacer	71
ค.2 แบบเขียนและขนาดของ Displacer rod cover	72
ค.3 แบบเขียนและขนาดของ Fly wheel	73
ค.4 แบบเขียนและขนาดของ Piston	74
ค.5 แบบเขียนและขนาดของ Piston core	75
ค.6 แบบเขียนและขนาดของ Piston out core	76
ค.7 แบบเขียนและขนาดของ Base	77
ค.8 แบบเขียนและขนาดของ Top plate	78
ค.9 แบบเขียนและขนาดของ Crank	79

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปภาคผนวกที่	หน้า
ค.10 แบบเขียนและขนาดของ Displacer cylinder	80
ค.11 แบบเขียนและขนาดของ Main pillar	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์(Nomenclature)

		หน่วย
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
M_a	มวลอากาศ	kg
V_{mac}	ปริมาตรสูงสุด	m^3
V_{min}	ปริมาตรต่ำสุด	m^3
P	ความดัน	N/m^3
V_p	ปริมาตรกระบอกสูบ Power piston	cm^3
V_D	ปริมาตรกระบอกสูบ Displacer	cm^3
r_P	รัศมีกระบอกสูบ Power piston	cm
r_D	รัศมีกระบอกสูบ Displacer	cm
Q	ปริมาณความร้อน	kJ
R	ค่าคงที่ของแก๊ส	kJ/kg.K
T	อุณหภูมิ	K
C_r	Compression ratio	-
N	จำนวนรอบ	rpm
v_P	Mean piston speed	m/s
T	Tourqe	N.m
F	Force	kN
π	pi(3.14)	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ในปัจจุบันพลังงานที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่ได้มาจากพลังงานเชื้อเพลิง และพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งพลังงานดังกล่าวนั้นมีจำนวนจำกัดและราคาต้นทุนสูง และพลังงานบางชนิดยังทำให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา ดังนั้นเราจึงได้ศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงซึ่งเป็นเครื่องจักรความร้อนประเภทหนึ่ง โดยได้ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความต่างอุณหภูมิต่ำ ความร้อนที่ให้กับเครื่องยนต์นั้นค่อนข้างจะน้อย พลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้ก็น้อยด้วย จึงเป็นการประหยัดพลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.2.1 Bancha Kongtragool , Somchai Wongwises ได้รวบรวมการศึกษาการวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ในส่วนของปริมาตรนิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนร้อน ส่วนเย็น และรีเจนเนอร์เรเตอร์ ผลจากการศึกษาพบว่า งานที่ได้ทั้งหมดซึ่งเป็นผลมาจากปริมาตรนิ่งนั้น จะมีความสัมพันธ์กับการป้อนความร้อนให้กับเครื่องยนต์และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ โดยงานที่ได้จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาตรนิ่ง ถ้าเพิ่มความร้อนที่ป้อนจะทำให้เป็นการเพิ่มปริมาตรนิ่งและลดการรีเจนเนอร์เรเตอร์ และประสิทธิภาพเครื่องยนต์จะลดลงถ้าเพิ่มปริมาตรนิ่งและลดการรีเจนเนอร์เรเตอร์

1.2.2 D.G. Thombave , S.K. Verma ได้ทำการพัฒนาวัฏจักรสเตอร์ลิงเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานจริง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์นั้นขึ้นกับกลไกของเครื่องยนต์และการแลกเปลี่ยนความร้อนภายใน เป็นสิ่งที่ยากในการที่จะออกแบบเพื่อให้ความร้อน ของไหล และกลไกทำงานสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม จากการศึกษาพบว่าวัฏจักรสเตอร์ลิงนั้นสัมพันธ์กับการทำงานในช่วงอุณหภูมิต่ำ และเมื่อใช้ฮีเลียมเป็นสารทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 สุรชัย จิรชาคริต , บันเทิง ศิลป์สกุลสุข , นัฐพล ปานพรมมินทร์ ได้ทำการออกแบบและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟ่า ซึ่งมีปริมาตรกวาด 5.03 มิลลิลิตร โดยวัดค่าความเร็วและแรงบิดซึ่งแปรผันอุณหภูมิในช่วง 540-560 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ผลจากการทดลองนี้ได้กำลังงานสูงสุด 83 มิลลิวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 300 RPM อุณหภูมิ 560 องศาเซลเซียส ข้อแนะนำคือ ควรใช้ทองเหลืองเป็นส่วนหัวรับความร้อน การใช้อลูมิเนียมเป็นปลอกกระบอกสูบจะช่วยการระบายความร้อนและต้องให้ความสำคัญถึงความเบา และแข็งแรง

1.2.4 Bancha Kongtragool , Somchai Wongwises ได้ทำการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิง 4 กระบอกสูบกำลัง แบบผลต่างอุณหภูมิต่ำโดยใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน มีปริมาตรกวาดของลูกสูบกำลังเป็น 7391 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากการศึกษาพบว่า พลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์สูงสุดมีค่า 1378 วัตต์ ส่วนร้อนมีอุณหภูมิ 439 K มีแรงบิดสูงสุด 2.91 Nm. และกำลังสูงสุดที่เพลามีค่า 6.1 วัตต์

1.2.5 ไพบูลย์ ศรีภคากร ได้ทำการออกแบบเชิงวิเคราะห์สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบความต่างของอุณหภูมิต่ำ จากการศึกษาพบว่า การเปรียบเทียบระหว่างวัฏจักรสเตอร์ลิงกับวัฏจักรกึ่งสเตอร์ลิงแสดงให้เห็นว่าวัฏจักรกึ่งสเตอร์ลิงซึ่งใช้แบบจำลองการอัดตัวของแก๊สแบบ adiabatic สะท้อนพฤติกรรมของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ดีกว่า ผลยังแสดงให้เห็นว่าในการทำงานที่ความต่างของอุณหภูมิต่ำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจำเป็นที่จะต้องมีค่าอัตราส่วนการอัดตัวที่ต่ำ นอกจากนั้นค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สที่ใช้ควรมีค่าต่ำ ซึ่งจะให้ช่วงของค่าอัตราส่วนการอัดตัวที่งานขาออกเป็นบวกกว้างขึ้นและมีค่างานขาออกแบบไร้มิติมากขึ้น ด้วยการวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในห้าปริมาตรด้วยแบบจำลองแบบ adiabatic ก็ยังคงแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของอัตราส่วนการอัดตัวสูงสุดด้วยแนวโน้มเดียวกัน ค่าอัตราส่วนการอัดตัวได้ถูกแสดงว่าเป็นพารามิเตอร์ในการออกแบบที่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.6 พงศ์สินธุ์ ธนวัฒน์เสรี , ดุลยโชติ ชลศึกษ์ ได้ทำการศึกษาการคำนวณกำลังบ่งชี้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้ากระบอกสูบเดียว โดยเสนอการใช้โปรแกรมคำนวณเพื่อหากำลังบ่งชี้ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้ากระบอกสูบเดียวโดยใช้ข้อมูลจำเพาะและผลการทดสอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง GPU-3 ซึ่งใช้ฮีเลียมเป็นสารทำงาน ที่ความดัน 5.12 เมกะปาสคาล อุณหภูมิด้านร้อน 649 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 15 องศาเซลเซียส วิธีการคำนวณที่ใช้เป็นการปรับปรุงการคำนวณจากโปรแกรมของ Ureili โดยได้รวมการพิจารณาถึงอุณหภูมิของคูลเลอร์ที่เพิ่มขึ้นและการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในรีเจนเนอร์เรเตอร์จากข้อมูลจากผลการทดสอบและนำผลค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้นี้มาตรวจสอบโดยใช้ประกอบการคำนวณหากำลังบ่งชี้ของเครื่องยนต์ Allison PD-46 ซึ่งเป็นเครื่องยนต์รูปแบบเดียวกัน พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อกำลังของเครื่องยนต์ นอกจากอุณหภูมิด้านร้อน ความดัน และความเร็วรอบ แล้วได้ข้อสรุปคือ

1.ผลของอุณหภูมิด้านเย็นที่มีผลสำคัญในการคำนวณกำลังเบื้องต้นของเครื่องยนต์ ซึ่งในการคำนวณเพื่อออกแบบเครื่องยนต์จริงต้องคำนึงถึงการออกแบบระบบหล่อเย็นที่เหมาะสม

2.ผลของการคำนวณความดันลดในรีเจนเนอเรเตอร์ซึ่งเป็นผลจากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน มีผลอย่างมากกับความถูกต้องในการคำนวณหาค่ากำลังบ่งชี้ของเครื่องยนต์ การออกแบบ เลือกใช้รีเจนเนอเรเตอร์ที่เหมาะสมจึงมีผลกับกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์

3.ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมที่ปรับปรุงของเครื่องยนต์นี้มีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่นำไปปรับใช้กับการคำนวณประเมินกำลังเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีลักษณะเดียวกันนี้ในขั้นตอนการออกแบบได้

1.2.7 ไพบูลย์ ศรีภคากรม, จิตรกร ศรีสายชล ได้พยายามวิจัยในการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟ่าจากชิ้นส่วนมาตรฐานของเครื่องอัดอากาศ โดยในการออกแบบใช้สมการเชิงทดลองพร้อมด้วยการวิเคราะห์แบบ Schmidt และแบบ Adiabatic เพื่อการประเมินสมรรถนะการทำงานเบื้องต้น พร้อมด้วยการพิจารณาถึงปัญหาหลักในการปรับใช้เครื่องอัดอากาศ ได้แก่การออกแบบและสร้างฮีทเตอร์ คูลเลอร์ และรีเจนเนอร์เรเตอร์ การซีลระบบเพื่อการทำงานที่ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ และการปรับแก้ลูกสูบด้านร้อนเพื่อทนต่อความร้อนของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ได้ถูกดัดแปลงขึ้นจากเครื่องอัดอากาศได้ถูกทำการทดสอบเบื้องต้นที่ความดันบรรยากาศ โดยพบว่าเครื่องยนต์ยังไม่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง อย่างไรก็ดี การทดสอบก็ได้พบว่าการทำนายแบบ Schmidt และแบบ Adiabatic ให้แนวโน้มที่ดีในการประเมินค่ากำลังบ่งชี้ของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.8 อัคครัตน์ พูลกระจ่าง , ขวัญชัย จ้อยเจริญ ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้อากาศร้อน การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน สำหรับใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน โดยเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นแบบชนิดแอลฟา มีปริมาตรกวาดของลูกสูบการขยายเท่ากับ 2256 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ปริมาตรกวาดของลูกสูบการอัดเท่ากับ 900 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ปริมาตรรีเจนเนอร์เรเตอร์เท่ากับ 264 ลูกบาศก์มิลลิเมตร มีอัตราส่วนการอัดเท่ากับ 3:1 ความดันเฉลี่ยเท่ากับ101.3 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งทำทดลองหาความเร็วรอบ โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิสูงสุด จากการทดลองพบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเริ่มทำงานเองที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไป โดยมีความเร็วรอบเริ่มต้นเท่ากับ 860 รอบต่อนาที และที่อุณหภูมิสูงสุด 250 องศาเซลเซียส เครื่องยนต์จะมีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 270 รอบต่อนาที อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 38 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำสุดร้อยละ 15.82 และสูงสุดร้อยละ 39.20 และพบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ซึ่งค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนแปรผันตามความแตกต่างของอุณหภูมิ

1.2.9 สมพร ตันติวงศ์ไพศาล ได้ศึกษาการทำงานและพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลวอย่างง่าย เครื่องยนต์ดังกล่าวต่อเข้ากับปั๊มน้ำซึ่งทั้งหมดทำด้วยแก้ว เพื่อจะได้เห็นการทำงานของทั้งเครื่องยนต์และปั๊มน้ำ เครื่องยนต์ทำงานโดยแหล่งกำเนิดพลังงานเป็นขดลวดความร้อนขนาด 100 วัตต์ ให้ความร้อนแก่อากาศเหนือผิวน้ำในหลอดแก้วตัวยูด้านหนึ่ง (heater) อีกด้านหนึ่งของตัวยูเป็นส่วนระบายความร้อน (cooler) เมื่ออากาศภายในหลอดแก้วตัวยูได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวดันให้น้ำเคลื่อนที่ลงทำการปั๊มน้ำออกจากระบบปั๊ม ในขณะที่ด้านระบายความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้อากาศมีปริมาตรลดลงดึงให้ระดับน้ำในหลอดแก้วตัวยูด้านระบายความร้อนเคลื่อนที่ขึ้น เมื่อระดับของน้ำด้านระบายความร้อนถูกดูดยกขึ้นทำให้ระดับน้ำด้านให้ความร้อนต่ำลง และด้วยน้ำหนักของน้ำด้านระบายความร้อนที่มากกว่าระดับน้ำด้านให้ความร้อน ทำให้เกิดการไหลกลับของน้ำไปที่ด้านให้ความร้อนและเกิดการดูดน้ำจากปั๊มเข้าสู่เครื่องยนต์ เพื่อรักษาปริมาณน้ำในระบบเครื่องยนต์ให้คงที่ ระดับน้ำในหลอดแก้วด้านให้ความร้อนจึงถูกยกสูงขึ้นกว่าระดับน้ำด้านระบายความร้อน และเมื่ออากาศได้รับความร้อนจากขดลวดความร้อนก็เกิดการขยายตัวดันน้ำจากด้านให้ความร้อนให้เคลื่อนที่ไปทางด้านระบายความร้อนพร้อมทั้งปั๊มน้ำออกจากระบบปั๊ม และจะทำงานเป็นวัฏจักรแบบนี้ไปเรื่อย ๆ ตราบใดที่ยังให้พลังงานแก่ระบบเครื่องยนต์ จากการทดสอบพบว่าสามารถปั๊มน้ำได้เป็นอย่างดีและเป็นไปอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเนื่อง โดยมีความสามารถในการดูดน้ำและส่งน้ำได้สูงสุดประมาณ 50 เซนติเมตร ให้อัตราการไหลของน้ำสูงสุดประมาณ 300 มิลลิลิตรต่อนาที

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงาน ออกแบบ และสร้างเครื่องยนต์ความร้อนสเตอร์ลิง

1.3.2 เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานในสภาวะความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ

1.3.3 เพื่อทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องยนต์

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1.4.1 ทำการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สามารถใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส ในการทำงาน

1.4.2 ใช้อากาศเป็นสารทำงานภายในเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้น

1.4.3 ใช้ความร้อนจากไอน้ำร้อน เป็นแหล่งความร้อนของเครื่องยนต์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.5.1 เข้าใจระบบการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.5.2 สามารถนำพลังงานความร้อนจากแหล่งต่างๆมาใช้กับเครื่องยนต์ได้

1.5.3 สามารถนำเครื่องยนต์มาใช้ในชีวิตประจำวันได้

1.5.4 สามารถออกแบบและสร้างเครื่องยนต์ที่ใช้ประโยชน์ได้จริงภายใต้อุณหภูมิต่ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ประวัติความเป็นมา

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่ให้งานออกมาได้โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะอาศัยการรับความร้อนจากภายนอกในการเดินเครื่อง ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อให้ความร้อนอาจเป็นการสันดาปจาก ถ่านหิน (Coal) ไม้ (Wood) แก๊สโซลีน (Gasoline) แอลกอฮอล์ (Alcohol) หรือเพียงแค่ความ ร้อนซึ่งไม่จำ เป็นที่จะต้องเกิดจากการสันดาปเชื้อเพลิงก็สามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ ดังนั้นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงสามารถเดินเครื่องได้โดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Energy) พลังงานความ ร้อนภายในโลก (Geothermal Energy) หรือ ผลพลอยได้ของความร้อนที่ได้จากกระบวนการอุตสาหกรรม ซึ่งหากสามารถดำเนินการได้ก็จะเป็นการนำพลังงานความร้อนที่ได้เปล่านี้มาทำให้เกิดประโยชน์ในหลายๆ ด้าน และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประหยัดพลังงานอีกด้วย ในช่วงต้นของการปฏิวัติอุตสาหกรรม ปัญหาเครื่องยนต์ไอน้ำ (Steam Engine) เกิดการระเบิดนั้น เป็นปัญหาใหญ่ที่เกิดขึ้นเสมอ เนื่องจากคนในสมัยนั้นยังไม่มีความเข้าใจคุณสมบัติต่างๆของโลหะดีพอ จากปัญหานี้ ทำให้ผู้คนบาดเจ็บและล้มตายเป็นจำนวนมาก

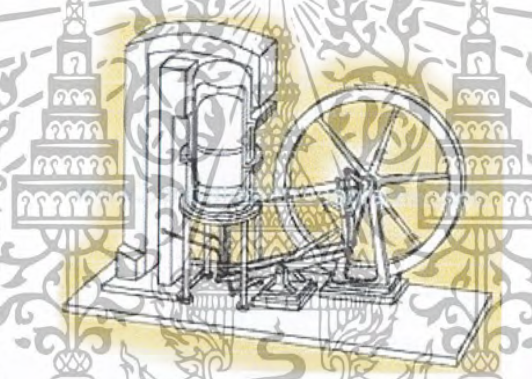
ดังนั้นในปี ค.ศ. 1816 โรเบิร์ต สเตอร์ลิง (Robert Stirling) ได้ประดิษฐ์สิ่งที่เรียกว่า "A New Type of Hot Air Engine with Economiser" ขึ้นมา แต่ประสบความล้มเหลว หลังจากนั้นได้ทำการปรับปรุงใหม่และใช้งานได้ในปี ค.ศ. 1818 ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่เกิดขึ้นเครื่องแรกและใช้เป็น ปั๊มในการสร้างถนน เครื่องนี้ได้ถูกใช้มามากกว่า 2 ปี จนกระทั่งได้มีการพัฒนานำเหล็กมาใช้ทำให้การต้านทานความร้อนต่ำลงและนำความร้อนได้ดี

โรเบิร์ต สเตอร์ลิง ได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานและการใช้น้ำมันให้น้อยลงในปี 1816 ด้วย ซึ่งแนวคิดของเขาก็คือการ regeneration ด้วยสิ่งนี้จะสามารถเก็บความร้อนและนำความร้อนกลับมาใช้ได้อีก โดยโครงสร้างของตัว regenerator จะมีลักษณะเป็นท่อแล้วมีวัสดุแผ่นบางๆ ที่ทำจากโลหะหรือวัสดุอื่น ๆ ที่สามารถส่งผ่านความร้อนได้ดีอยู่ภายในท่อ แต่ก็ไม่เป็นที่ยอมรับเท่าที่ควร เพราะการที่จะเข้าใจนั้นไม่ง่ายนัก

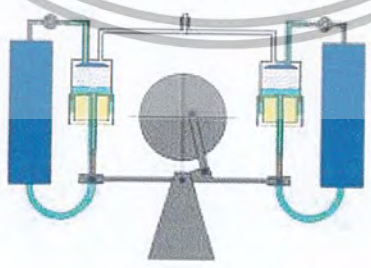
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างมากเกี่ยวกับข้อสงสัยต่างๆ และในอดีตนั้นการประดิษฐ์อะไรบางอย่างที่แปลก ๆ จะต้องคำนึงถึงจุดนี้ด้วย

เกือบศตวรรษที่ โรเบิร์ต สเตอร์ลิง และเจมส์เป็นที่รู้จักและมีชื่อเสียงมากในปี 1827 ถึงปี 1840 Stirling Engine ของปี 1818 (รูปที่ 2.1) มี Displace (ตัวถ่ายเท) และ Power piston อยู่ในกระบอกสูบเดียวกัน อีกตัวเป็นของปี 1827 (รูปที่ 2.2) เป็นแบบ Twin-displace ซึ่งมี Power piston เป็นแบบ Double-acting การ Stoke ขึ้นเกิดจากอากาศที่ Displace ทางซ้ายต่ำลงครึ่งหนึ่งและการ Stroke ลงเกิดจากอากาศที่ Displace ทางขวาสูงขึ้นครึ่งหนึ่ง จากรูป 2.2 กระบอกสูบทั้ง 4 ตัว จะมีแขนเชื่อมติดกันแล้วต่อไปยัง Pressure Pump เครื่องยนต์ตัวนี้ต่อมามีการปรับปรุงและพัฒนาอีกมากมายโดยเฉพาะการ regeneration และการ cooling อีกทั้งยังลดอาการ dead space (อากาศที่เหลือตกค้างอยู่) อีกด้วย



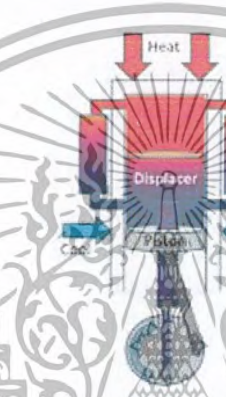
รูปที่ 2.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเครื่องแรกในปี 1818



รูปที่ 2.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของปี 1827

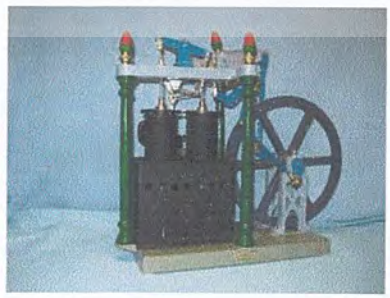
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงของปี 1840 เป็นเครื่องยนต์ที่มีการพัฒนามาจากปี 1827 โดยเฉพาะตัว regenerator ที่ติดอยู่รอบ Displace cylinder และแยกส่วนของตัว cooler ไปไว้ด้านบนความร้อนที่รับมาจากด้านล่างจะผ่าน Displace , Displace cylinder , regenerator , cooler และส่งไปยัง Power cylinder ตามลำดับเครื่องยนต์นี้แสดงดังรูปที่ 2.3 เป็นการประดิษฐ์ที่อาศัยหลักการทำงานของ Stirling และเป็นแบบที่ดีอีกทีหนึ่ง โครงสร้างของเครื่องนี้เกือบจะสมบูรณ์แหล่งความร้อนได้มาจากเตาเผาและแหล่งความเย็นได้มาจากท่อน้ำเย็น โดนมี regenerator อยู่ระหว่างสองส่วนนี้ซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านความร้อนไปยังตัว cooler และส่งผ่านความร้อนกลับมาให้แหล่งความร้อนอีกที



รูปที่ 2.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงปี 1840

รูปที่ 2.4 เป็นเครื่องยนต์แลกเปลี่ยนไอน้ำของโรงงาน Dundee เริ่มเดินเครื่องเดือน มีนาคม ปี 1843 มันเป็นเครื่องยนต์ที่น่าสนใจอยู่ประมาณครึ่งปีถึงสองปี เพราะในเดือนธันวาคม ปี 1845 เกิดมีปัญหาความร้อนที่พื้นของทรงกระบอกมากเกินไปทำให้เกิดความเสียหายขึ้นและได้ถูกซ่อมถึง 2 ครั้ง แต่ก็ยังเสียหายลุกไหม้อีกทั้ง 2 ครั้ง ในตอนหลังจึงได้เปลี่ยนแปลงให้เกิดพลังไอน้ำแบบเคลื่อนที่ย้อนกลับ



รูปที่ 2.4 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในโรงงาน Dundee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าพี่น้องตระกูล Stirling จะประดิษฐ์เครื่องยนต์ออกมาถึง 3 ชนิด แต่ชนิดที่น่าสนใจมากที่สุดเป็นชนิด Twin-cylinder ที่มี power piston และ Displace อยู่ในกระบอกสูบเดียวกัน ต่อมาภายหลังได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ส่วนเครื่องยนต์ชนิดอื่น ๆ นั้นยังมีข้อเสียเกี่ยวกับการแตกร้าวของ cylinder ในส่วนของที่มีอากาศค้างอยู่ซึ่งเรียกว่า dead space โดยมันมีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

การพัฒนาในภายหลังต่อมาจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับระบบปิด ในส่วนการออกแบบยังคงใช้หลักการของ Stirling อยู่แม้จะมีข้อยกเว้นบางส่วน เครื่องยนต์ที่มีชื่อเสียงจะเป็นของ Ericsson อย่างไรก็ตามการออกแบบระบบปิดที่ประกอบด้วย regenerator นั้นยังมีน้อย ซึ่งในส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญมากเพราะว่าถ้าเข้าใจถึงส่วนประกอบของฟังก์ชันเหล่านี้จะเป็นประโยชน์มากในการออกแบบ ส่วนเครื่องยนต์ที่เป็นแบบระบบเปิดก็มีการพัฒนาเช่นกันแต่เครื่องยนต์ชนิดนี้ต้องอาศัยวาล์วกับแขนเชื่อมและลูกเบี้ยวในการเคลื่อนที่ ในส่วนของวาล์วจะต้องเปิด-ปิดคงที่ โดยวาล์วจะติดอยู่กับห้องเผาไหม้และขณะเกิดการลุกไหม้ต้องปรับวาล์วให้เกิดการลุกไหม้ที่สม่ำเสมอ เครื่องยนต์ชนิดนี้มีข้อเสียคือ มีเสียงดังมากอย่างเห็นได้ชัด

การประดิษฐ์ Stirling Engine นั้น regenerator เป็นสิ่งที่สำคัญมากซึ่งนักวิทยาศาสตร์ นักคณิตศาสตร์และวิศวกรให้ความสนใจมากเพราะประสิทธิภาพของ Stirling cycle นั้นหาได้จากประสิทธิภาพของตัว regenerator

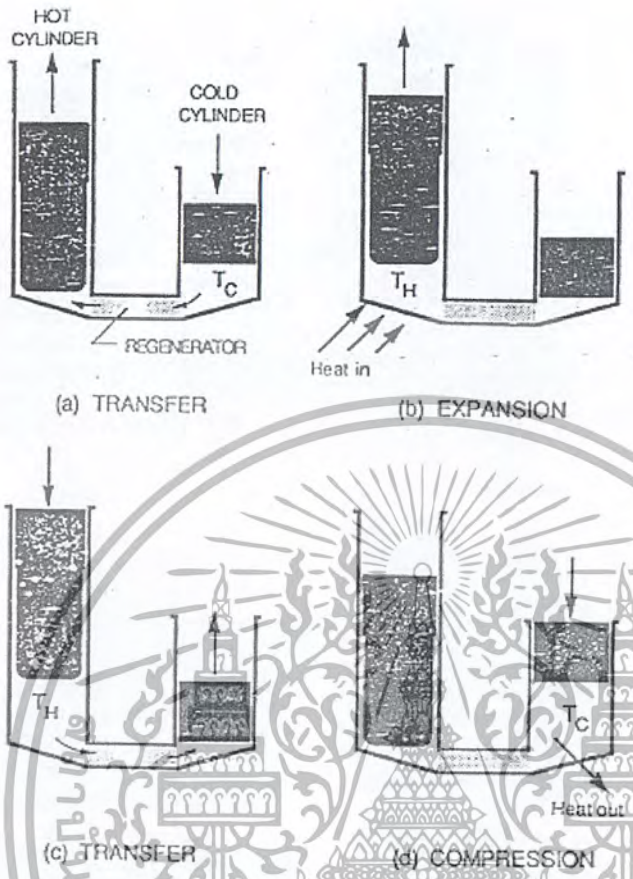
2.2 ลักษณะรูปร่างภายนอกของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

รูปร่างภายนอกของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือการจัดเรียงแบบแอลฟา (Alpha) เบต้า (Beta) และ แกมมา (Gamma)

2.2.1 รูปร่างแบบแอลฟา (Alpha Configuration)

เครื่องยนต์แอลฟา (Alpha Engine) เป็นลักษณะของเครื่องยนต์ที่มีลูกสูบ (Piston) 2 ตัว และทรงกระบอก (Cylinder) 2 กระบอก ซึ่งถูกเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมโดยมีรีเจนเนอร์เรเตอร์ (Regenerator) อยู่ระหว่างกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบทั้ง 2 ตัว ในเครื่องยนต์แอลฟา (Alpha Engine)

รูป 2.5 a เป็นระยะเริ่มต้นของจังหวะการถ่ายเท (Transfer Stroke) ลูกสูบด้านเย็น (Cold Piston) จะเคลื่อนที่เข้ามาในขณะที่ลูกสูบด้านร้อน (Hot Piston) เคลื่อนที่ออกไป อากาศจะถูกผลักดันผ่านช่องทางเชื่อมต่อ (Connecting Passage) ที่ซึ่งมีรีเจนเนอร์เรเตอร์ (Regenerator) อยู่ และเคลื่อนผ่านไปยังด้านร้อน (Hot Section) ในขณะเริ่มต้นจะพบว่า อากาศภายในเครื่องยนต์ส่วนมากจะอยู่ในทรงกระบอกด้านเย็น (Cold Cylinder) เมื่อเวลาผ่านไปอากาศส่วนมากจะย้ายไปอยู่ที่ทรงกระบอก ด้านร้อน (Hot Cylinder) ที่ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงกว่า รูป 2.5 b เป็นจังหวะการขยายตัว (Expansion Stroke) ลูกสูบด้านร้อนจะยังคงเคลื่อนที่ออกไป และในขั้นตอนนี้จะมีการดูดความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอกอีกด้วย จากนั้นในรูป 2.5 c ลูกสูบทั้ง 2 ตัวจะเคลื่อนที่อีกครั้ง โดยลูกสูบด้านร้อนจะเคลื่อนที่เข้ามาในขณะที่ลูกสูบด้านเย็นเคลื่อนที่ออกไป โดยอากาศในด้านร้อนจะถูกผลักดันผ่านรีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator) ไปยังด้านเย็น ในที่สุดวัฏจักรจะสมบูรณ์ โดยการเคลื่อนที่เข้าของลูกสูบด้านเย็นดังรูป 2.5 d ในจังหวะการอัดตัว (Compression Stroke) เป็นการเริ่มต้นวัฏจักรอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้ง โดยลูกสูบจะเคลื่อนที่ได้ประมาณครึ่งทาง จากนั้นจะมีการปล่อยความร้อนออกมาในขั้นตอนนี้ด้วย เพื่อทำให้อากาศภายในเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำลง

จะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ลักษณะนี้เป็นเครื่องยนต์ที่มีรูปร่างที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสียคือ ลูกสูบทั้ง 2 ตัวนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องได้รับการผนึก(seal) ที่ดี เพื่อป้องกันการรั่วไหลของแก๊สที่อยู่ภายใน (Working Gas) และการมีข้อจำกัดในการขับเคลื่อนกลไก ทำให้การเคลื่อนไหวยังห่างไกลจากอุดมคติ แตกต่างจากเครื่องยนต์เบต้า (Beta Engine) และเครื่องยนต์แกมมา (Gamma Engine) ดังนั้นเครื่องยนต์ลักษณะนี้จึงยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร

2.2.2 รูปร่างแบบเบต้า (Beta Configuration)

เครื่องยนต์เบต้า (Beta Engine) เป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) ที่มีรูปร่างคลาสสิก (Classic) เครื่องยนต์เบต้าจะมีลักษณะแตกต่างจากเครื่องยนต์แอลฟา คือ เครื่องยนต์เบต้าจะมีลูกสูบ (Piston) 1 ตัว และตัวแทนที่ (Displacer) 1 ตัว เพื่อใช้ในการแทนที่อากาศภายใน ในขณะที่ปริมาตรคงที่ โดยเคลื่อนที่ไปมาระหว่างพื้นที่การขยายตัว (Expansion Space) และพื้นที่การอัดตัว (Compression Space)

รูปที่ 2.6 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบและตัวแทนที่ในเครื่องยนต์เบต้า (Beta Engine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

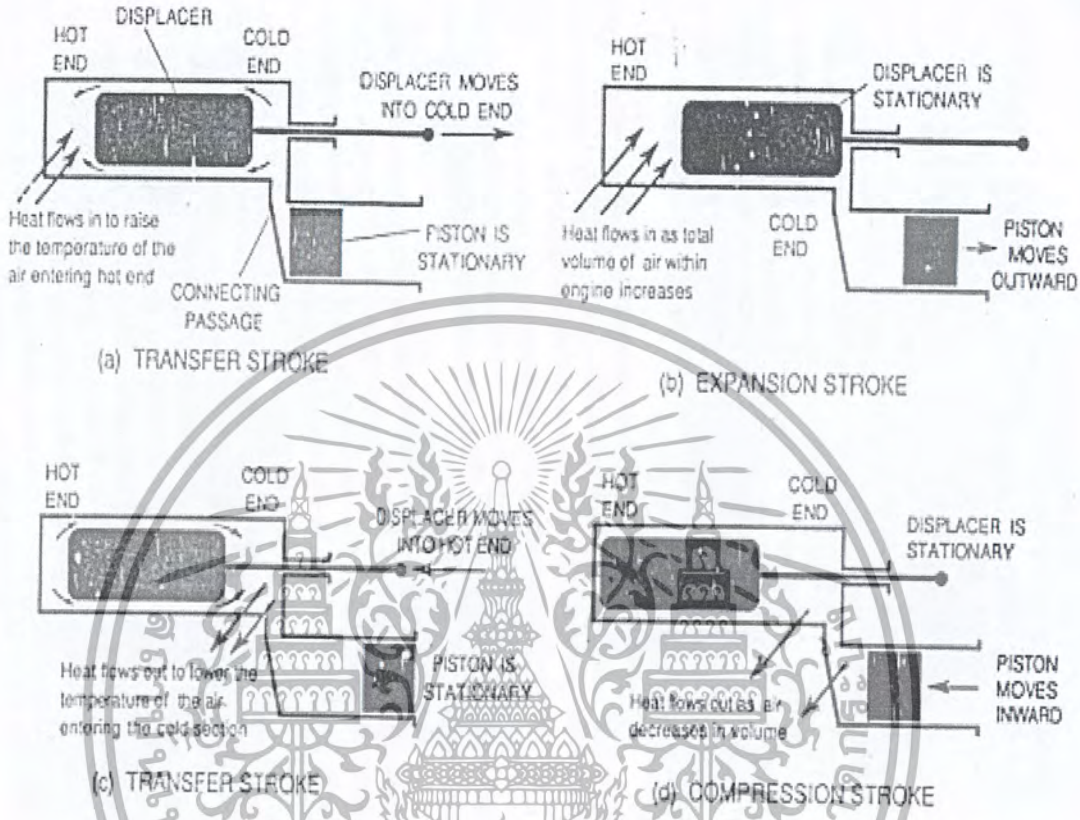
รูปที่ 2.6 a ตัวแทนที่ (Displacer) จะเคลื่อนที่เข้าไปหาลูกสูบ (Piston) ที่อยู่ปลายเย็น (Cold End) ทำให้อากาศถ่ายเทไปยังปลายร้อน (Hot End) ส่งผลให้อากาศมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้นจากนั้นเป็นจังหวะการขยายตัว (Expansion Stroke) ดังแสดงในรูป 2.6 b โดยตัวแทนที่และลูกสูบจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกันในการขยายตัว ทำให้อากาศยังคงอยู่ที่ปลายร้อนและรักษาอุณหภูมิและความดันไว้ให้สูงมากเท่าที่จะสามารถทำได้ จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ออกไปจนถึงขอบเขตที่จำกัดไว้ และไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้อีก และในรูป 2.6 c จะเห็นว่าอากาศภายในถูกถ่ายเทไปยังด้านปลายเย็น โดยการเคลื่อนที่ของตัวแทนที่ไปด้านปลายร้อน ในขณะที่ลูกสูบยังอยู่กับที่ ส่งผลให้อุณหภูมิและความดันของอากาศลดลง จากนั้นลูกสูบจะเคลื่อนที่ตามเข้ามาในจังหวะการอัดตัว (Compression Stroke) ดังรูป 2.6 d หลังจากลดปริมาตรลงประมาณครึ่งหนึ่งแล้ววัฏจักรก็พร้อมที่จะเริ่มวนซ้ำใหม่อีกครั้งหนึ่ง

จะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ลักษณะนี้เป็นเครื่องยนต์ที่มีการขยายตัวสามารถเกิดได้มากขึ้นในส่วนที่ร้อนหรือส่วนที่ความดันสูงกว่า ซึ่งก็เป็นข้อดีของเครื่องยนต์เบต้า แต่ข้อเสียคือต่อกลไกขับเคลื่อนมีความซับซ้อนมาก และหนึ่งในความซับซ้อนนั้นก็คือ ความจำเป็นที่จะต้องมีตัวเชื่อมต่อระหว่างตัวแทนที่และลูกสูบนั้นเอง

2.2.3 รูปร่างแบบแกมมา (Gamma Configuration)

เครื่องยนต์แกมมา (Gamma Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่มีตัวแทนที่ (Displacer) และลูกสูบ (Piston) เช่นเดียวกับเครื่องยนต์เบต้า แตกต่างกันตรงที่เครื่องยนต์แกมมานั้นใช้ทรงกระบอกที่แยกออกจากกัน ในขณะที่เครื่องยนต์เบต้าใช้ทรงกระบอกร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบและตัวแทนที่ในเครื่องยนต์แกมมา (Gamma Engine)

รูปที่ 2.7 a เริ่มที่ลูกสูบ (Piston) ด้านในมากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ในขณะที่ตัวแทนที่ (Displacer) จะเคลื่อนที่จากปลายร้อน (Hot End) ไปสู่ปลายเย็น (Cold End) โดยจะมีอากาศบางส่วนอยู่ในช่องทางเชื่อมสั้น ๆ (Short Passage) และบางส่วนอยู่รอบ ๆ ตัวแทนที่ แต่อากาศส่วนมากจะอยู่ด้านปลายร้อนจึงส่งผลให้อุณหภูมิและความดันสูงขึ้น เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับจังหวะการขยายตัวของลูกสูบ (Expansion Stroke of the Piston) ดังรูป 2.7 b ตัวแทนที่จะอยู่นิ่งกับที่ในด้านปลายเย็น ในขณะที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ออกไปเนื่องจากความดันภายในที่สูงขึ้น ในระยะเริ่มต้นของจังหวะการขยายตัว (Expansion Stroke) อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องยนต์จะสูงมาก นั่นคืออากาศส่วนมากจะอยู่ที่ปลายร้อน เมื่อเกิดการขยายตัวอากาศบางส่วนจะเคลื่อนตัวไปด้านปลายเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนนี้จะยังคงดำเนินไปจนกระทั้งความดันภายในทรงกระบอกลดลงเท่ากับความดันบรรยากาศ จากนั้นอากาศที่อยู่ด้านปลายร้อนก็จะถูกถ่ายเทไปยังปลายเย็นโดยการเคลื่อนที่ของตัวแทนที่ดังรูป 2.7 c โดยให้พิจารณาว่าลูกสูบหยุดนิ่งอยู่กับที่ในขั้นตอนนี้ ผลที่เกิดขึ้นก็คืออากาศภายในทรงกระบอกมีอุณหภูมิลดลง และความดันลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จากนั้นลูกสูบจะเคลื่อนที่เข้ามาเนื่องจากอิทธิผลของความดันภายนอกที่สูงกว่าดังรูป 2.7 d ถ้าให้อากาศภายในถูกอัดตัว เป็นผลให้ความดันเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งความดันมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ จากนั้นวัฏจักรก็จะเริ่มวนซ้ำใหม่อีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าข้อเสียของเครื่องยนต์แกมมาก็คือในระหว่างกระบวนการขยายตัว (Expansion Process) การขยายตัวบางส่วนจะเกิดในพื้นที่การอัดตัว (Compression Space) ส่งผลให้กำลัง (Specific Power) และงานที่ออกมามีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์เบต้า ในส่วนของข้อดีของเครื่องยนต์แกมมาก็คือ ความสะดวกในการมี 2 ทรงกระบอกที่แยกจากกัน ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องผนึก (Seal) เฉพาะส่วนของลูกสูบเท่านั้น และกลไกการเชื่อมต่อไม่ยุ่งยากเท่าเครื่องยนต์เบต้า ดังนั้นเครื่องยนต์แกมมาจึงเป็นที่นิยมชมชอบของหมู่คนทั่วไป รวมไปถึงการประดิษฐ์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในโครงงานนี้ด้วย

2.3 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะทำงานในระบบปิด (closed-cycle) โดยสารทำงานคือ อากาศร้อนในกระบอกสูบปิดซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1. ในกระบอกสูบที่มีก๊าซหรืออากาศ เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้ก๊าซหรืออากาศเกิดการขยายตัวและความดันภายในก็จะเพิ่มขึ้น ถ้าให้ปลายด้านหนึ่งของกระบอกสูบมีลูกสูบที่เคลื่อนที่ได้โดยไม่มีการรั่วของก๊าซหรืออากาศ ความดันที่มากที่มากขึ้นภายในจะผลักลูกสูบให้เคลื่อนที่ออกไปทำให้ปริมาตรกระบอกสูบขยายตัวออกไป

2. เมื่อก๊าซภายในขยายตัวจนมีอุณหภูมิต่ำลงจะไม่สามารถขยายตัวได้อีกความดันก็จะตกลงทำให้มีการหดตัวของปริมาตรของก๊าซลงเป็นผลให้ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเดิมได้ ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายนอกมีค่าสูงกว่าความดันภายในและภายนอกกระบอกสูบเกิดเป็นสูญญากาศขึ้นในช่วงที่ก๊าซขยายตัวดันลูกสูบออกมา

3. ถ้ากระบวนการในข้อที่ 1 เกิดขึ้นอีก แต่เราจะทำการเชื่อมก้านสูบติดกับลูกสูบและเชื่อมต่อก้านสูบไปติดกับล้อช่วยแรง ในการขยายตัวของก๊าซความดันก็จะทำให้เกิดแรงผลักลูกสูบให้เคลื่อนที่เป็นผลให้ล้อช่วยแรงหมุน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการในข้อที่ 1 นั้นจะส่งผลให้เป็นการเคลื่อนที่ได้

4. เมื่อกระบวนการในข้อที่ 1 ดำเนินมาถึงกระบวนการในข้อที่ 2 ซึ่งก๊าซจะมีอุณหภูมิต่ำลง ความดันก็จะตกลงและมีสูญญากาศเกิดขึ้นด้วยทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับได้ซึ่งจะอาศัยแรงที่เกิดจากการหมุนของล้อช่วยแรงช่วยในการเคลื่อนที่กลับ

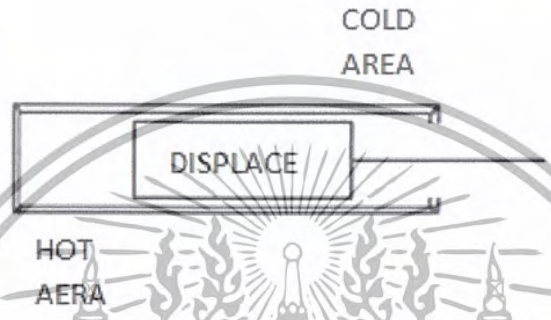
รูปที่ 2.8 การขยายตัวของก๊าซ

รูปที่ 2.9 การหดตัวของก๊าซ

รูปที่ 2.10 การขยายตัวของก๊าซในกรณีที่มีล้อช่วยแรง

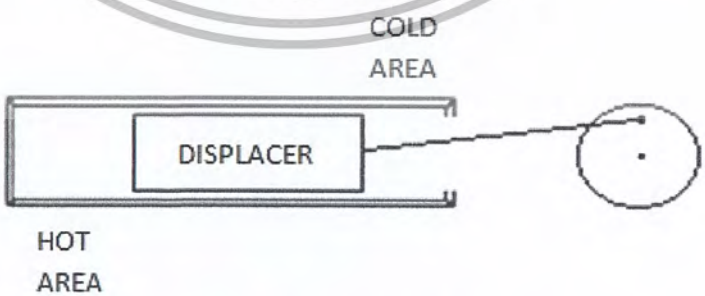
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าเราไม่สามารถทำให้กระบอกสูบร้อนขึ้นและเย็นลงได้ทันทีโดยเป็นไปได้ว่าการให้ความร้อนจะให้ที่ปลายด้านหนึ่งของกรับอกสูบและอีกด้านเป็นด้านที่เย็น ดังนั้นในการเคลื่อนย้ายก๊าซจากด้านที่ร้อนที่มีความดันสูงไปยังอีกด้านหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะต้องอาศัยกลไกในการเคลื่อนย้ายก๊าซซึ่งกลไกนั้นก็คือ Displacer (รูปที่ 2.10)



รูปที่ 2.11 Displacer ที่อยู่ระหว่างส่วนร้อนและส่วนเย็น

งานของตัว Displacer จะเป็นตัวสลับเอาอากาศร้อนและอากาศเย็นจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งอย่างรวดเร็ว โดยที่ Displacer เป็นลูกสูบที่ทำขึ้นอย่างหลวมพอดีไม่แน่นมากจนเกินไปภายในกระบอกสูบ ซึ่งสามารถยอมให้ก๊าซเคลื่อนที่ผ่านระหว่างช่องว่างของผิว Displacer กับผิวของกระบอกสูบได้ กระบอกสูบ Displacer จะปิดตายด้านหนึ่งส่วนอีกด้านจะ seal เอาไว้กันก๊าซรั่วและเป็นการอัดก๊าซให้แน่นอยู่ภายในกระบอกสูบ Displacer จะต่อกับล้อช่วยแรงโดยก้านสูบผ่านไปยังหัวลูกสูบของ Displacer (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.12 Displacer ที่เชื่อมต่อกับล้อช่วยแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.1 รูปแบบของวัฏจักรในการเคลื่อนที่

ขั้นที่ 1 Displacer เคลื่อนที่จากด้านนอกและเคลื่อนที่สู่ปลายด้านหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในตอนนี้กลุ่มของก๊าซจะอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงและก๊าซก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการขยายตัว ความดันที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้เกิดแรงกระทำที่ Power piston ดันให้ล้อช่วยแรงหมุนได้ 1 รอบ

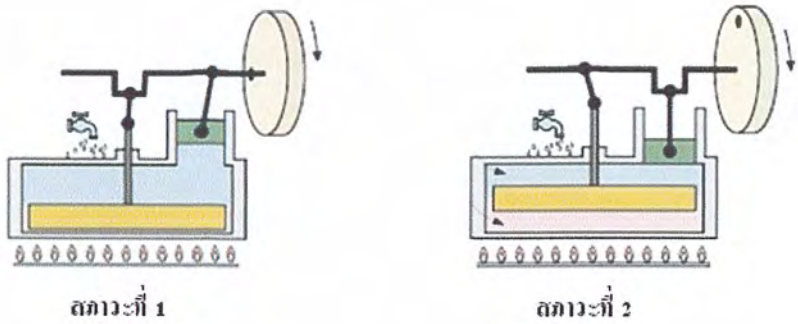
ขั้นที่ 2 กลุ่มของก๊าซจะถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วย Power piston ไปยังส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำทำให้ความดันตกลงและเป็นผลให้โมเมนตัมที่ล้อช่วยแรงทำให้ Power piston เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นพร้อมทั้งอัดก๊าซไปด้วย

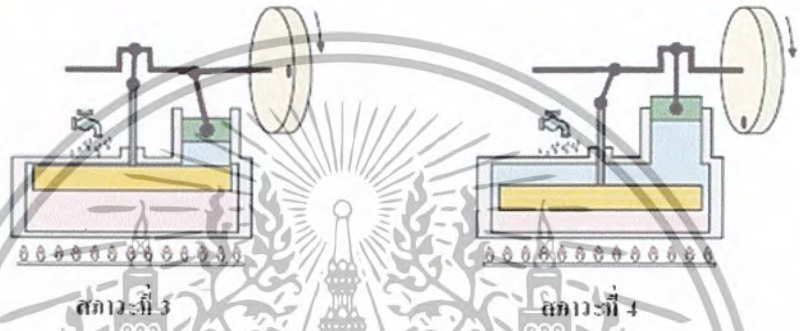
งานของ Displacer นั้นจะถ่ายเทก๊าซจากปลายด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของกระบอกสูบ ส่วนงานของ Power piston นั้นได้มาจากการขยายตัวของก๊าซที่มีความดันสูงและอัดก๊าซกลับมาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งงานของ Power piston นี้จะถ่ายเทออกไปในรูปของการเคลื่อนที่ของล้อช่วยแรง Displacer และ Power piston นั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและด้านหลังได้ในเวลาเดียวกัน โดยช่วงชักของ Displacer จะนำหน้า Power piston อยู่ 90 องศา เสมอ

ในช่วงที่เกิดงานจากเครื่องยนต์นั้นจะเป็นผลของก๊าซภายในผลักไปข้างหน้าและถอยหลัง และในเวลาเดียวกันก็จะถูกทำให้ร้อนและเย็นด้วย มันไม่ง่ายที่จะเข้าใจระบบได้อย่างแท้จริงความแตกต่างของเครื่องนี้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในคือ แต่ละวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีอยู่ 4 วัฏจักรนั้นเราสามารถเข้าใจได้อย่างชัดเจนจากทฤษฎี ดูด อัด ระเบิด และการคายไอเสีย ส่วนของเครื่องยนต์ความร้อนนั้นไม่ค่อยชัดเจนและแบ่งเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน การเคลื่อนที่ของก๊าซอย่างต่อเนื่องนั้นอยู่ในช่วงของด้านอุณหภูมิสูงซึ่งเป็นด้านปิดของกระบอกสูบและที่ด้านอุณหภูมิต่ำจะเป็นส่วนของ Power piston ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะไม่เกิดขึ้นทันทีทันใดระหว่างเฟสที่ต่อเนื่องกัน ภาพแสดงของวัฏจักรทั้งหมดของการทำงานจะมีอยู่ 4 สถานะ โดยในความเข้าใจแล้วจะไม่มีสถานะแรกและสถานะสุดท้าย ดังรูปที่ 2.12

119477

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.13 สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

สภาวะที่ 1 Displacer จะถูกผลักกลับด้วยก๊าซที่เย็นจากการเคลื่อนที่กลับของ Power piston ที่เคลื่อนที่กลับด้วยการผลักจากล้อช่วยแรงที่มีโมเมนตัม โดยเกิดเป็นสูญญากาศเล็กน้อยในส่วนของการ cooling

สภาวะที่ 2 Displacer จะเริ่มเคลื่อนที่จากการผลักตัวของอากาศร้อนซึ่งมีความดันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลให้ก๊าซขยายตัว ส่วน Power piston จะอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน

สภาวะที่ 3 Displacer จะถูกผลักให้เคลื่อนที่ด้วยก๊าซร้อนที่มีความดันสูงและ Power piston ก็จะถูกผลักให้เคลื่อนที่ด้วยความดันที่สูงนั้น และการเคลื่อนที่ของ Power piston จะส่งผลให้เกิดแรงผลักล้อช่วยแรงให้หมุนได้

สภาวะที่ 4 Displacer จะเริ่มเคลื่อนที่กลับเนื่องจากความดันที่ตกลงเพราะการ cooling และจะเกิดสูญญากาศเล็กน้อย ส่วน Power piston อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่างและจะเริ่มผลักตัวกลับไปยังศูนย์ตายบนโดยโมเมนตัมจากล้อช่วยแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engine)

2.4.2 กฎของเทอร์โมไดนามิกส์

2.4.3 วัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) เป็นเครื่องยนต์ประเภทเครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engine) ซึ่งเครื่องยนต์ความร้อนนั้นเป็นเครื่องยนต์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกล หรืองานได้อย่างต่อเนื่อง งานที่มีประโยชน์ (Useful Work) จะถูกผลิตขึ้นมาเมื่อเครื่องยนต์ (Engine) ได้รับความร้อน นั่นก็คือเมื่อเครื่องยนต์ได้รับความร้อน เครื่องยนต์ก็จะผลิตพลังงานกลออกมา

ตัวอย่างของเครื่องยนต์ความร้อน คือ ไอน้ำที่เคลื่อนไหวได้ (Steam Locomotive) พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหินและไม้จะทำให้น้ำในหม้อต้มเดือด และได้ไอน้ำที่มีความดันสูง จากนั้นไอน้ำจะทำงานโดยขยายตัวภายในทรงกระบอกและดันลูกสูบ ทำให้ล้อหมุนได้จากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ หลังการใช้ไอน้ำแล้วจะยังเหลือความร้อนอยู่เล็กน้อย จึงจำเป็นที่จะต้องมีการพ่นควันออกมาทางปล่องไฟ เพื่อทำให้ห้องรับไอน้ำ (Steam) สะอาด และพร้อมรับไอน้ำที่มีความดันมากขึ้นเข้ามาในทรงกระบอกอีกครั้ง แต่วิธีนี้จะทำให้เครื่องยนต์มีเสียงดัง

เครื่องยนต์อีกชนิดหนึ่งที่แตกต่างออกไปก็คือ เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในและใช้กันทั่วไปในพวกรถยนต์ และเครื่องตัดหญ้า (Lawnmowers) ในกระบวนการสันดาปภายในความร้อนจะได้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรูปของเหลว (Liquid) เช่น แก๊สโซลีนซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ภายในเครื่องยนต์ และความร้อนบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นงานโดยการขยายตัวของแก๊สร้อนเพื่อดันลูกสูบ ความร้อนส่วนที่เหลือจะถูกปล่อยออกมาในรูปรังสี นั่นก็หมายความว่าหากมีน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนเครื่องยนต์ก็จะสามารถให้งานออกมาได้

การดูดความร้อน (Heat Absorption) การผลิตงาน (Work Production) และการปล่อยความร้อน (Heat Rejection) ทั้ง 3 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหลักของเครื่องยนต์ความร้อนทั้งหมด ขั้นตอนเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในการดำเนินงานของทุกๆเครื่องยนต์ความร้อน กฎของธรรมชาติต้องอาศัยกระบวนการเหล่านี้ นี่เป็นเหตุผลที่เราสามารถศึกษากระบวนการต่างๆจาก เครื่องยนต์ความร้อนที่มีรูปแบบง่ายๆได้

จากข้อความข้างต้น เป็นการอธิบายลักษณะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงอย่างคร่าวๆ และเพื่อความเข้าใจมากขึ้น ให้พิจารณาทรงกระบอกปลายปิด ที่มีลูกสูบและอากาศอยู่ภายใน สมมติให้ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ แต่สามารถสัมผัสกับอากาศได้อย่างดีเยี่ยม สมมติให้ตอนเริ่มต้นอุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ที่อุณหภูมิห้องรวมถึงอากาศที่อยู่ภายในที่สมมติให้มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศด้านนอก ตามสภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวจะทำให้ลูกสูบยังไม่เคลื่อนที่

จากนั้นจะเกิดงานขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการให้ความร้อนแก่ทรงกระบอก ทำให้อากาศภายในร้อนขึ้น โดยความร้อนที่ใช้อาจได้จากเปลวไฟ แสงแดด หรือจุ่มปลายปิดของทรงกระบอกลงในถังน้ำร้อนก็ได้ อุณหภูมิของอากาศในทรงกระบอกจะเพิ่มขึ้นรวมทั้งความดันด้วย จากนั้นแรงดันที่เพิ่มขึ้นจะผลักลูกสูบออกไป ทำให้เกิดงาน แหล่งความร้อนอื่นๆ ก็สามารถทำให้เกิดงานได้เช่นกัน แต่ที่แหล่งความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า จะให้งานออกมาได้มากกว่า

การเปลี่ยนความร้อนเป็นงานครั้งเดียวเป็นเพียงพื้นฐานง่ายๆ แต่เครื่องยนต์ความร้อนต้องสามารถผลิตงานได้อย่างต่อเนื่อง งานสามารถได้จากการให้ความร้อนแก่อากาศภายในทรงกระบอก และเกิดการขยายตัวของอากาศด้านใน ยิ่งลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้ไกลมากเท่าไหร่ งานที่ได้จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น จากนั้นทุกสิ่งก็จะค่อยๆเย็นลงและกลับสู่สภาพเดิมก่อนที่จะผลิตงานออกมาอีกครั้ง ดังนั้นกระบวนการขยายตัวจะต้องหยุดก่อนที่จะกลับคืนสู่สภาพปกติ ถ้าทรงกระบอกถูกสร้างให้ยาวมากๆ การขยายตัวก็สามารถขยายออกไปได้ไกลมากกว่า แต่แน่นอนว่าต้องมีขีดจำกัด นั่นก็คือมันสามารถขยายตัวออกไปได้ไกลจนกว่าความดันอากาศภายในจะลดลงจนมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก

อีกทางเลือกหนึ่งก็คือ งานสามารถสกัดออกจากแหล่งกำเนิดความร้อนเดี่ยวโดยอุปกรณ์เดี่ยวในจำนวนที่จำกัด ขีดจำกัดจะเกิดเมื่ออุปกรณ์ หรือWorking Substance (อากาศ) ไปถึงจุดที่มัน ไม่สามารถไปได้อีก ในตัวอย่างนี้ ขีดจำกัดถูกกำหนด จากอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดความร้อน (Heat Source) และความยาวของทรงกระบอก หรือจากความดันบรรยากาศภายนอกทรงกระบอกนั่นเอง

เพื่อที่จะให้ได้งานมากที่สุดภายใต้การพิจารณาทรงกระบอก ให้สมมติว่าเกิดการขยายตัวจากการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น อุณหภูมิภายในทรงกระบอกจะร้อนมากเท่าที่แหล่งความร้อนจะสามารถให้ได้ และทำให้ความดันภายในสูงเท่าที่สามารถเป็นไปได้ พบว่าในกระบวนการขยายตัว ความดันภายในจะลดลง แต่ยังคงสูงกว่าความดันภายนอก ส่งผลให้ลูกสูบถูกดันออก ดังนั้นเพื่อให้ได้ตามกระบวนการนี้ ทรงกระบอกจะต้องถูกทำให้มีความยาวเพียงพอ เพื่อให้การขยายตัวสามารถเกิดได้อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความดันภายในมีค่าเท่ากับความดันภายนอก ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงวิธีการได้งานออกมาจากการใช้ทรงกระบอกและแหล่งกำเนิดความร้อนเดี่ยว

และเพื่อที่จะได้งานมากขึ้นจากอุปกรณ์นี้ จึงจำเป็นที่จะต้องทำให้มันกลับคืนสู่สภาพเริ่มต้นอีกครั้ง ดังนั้นกระบวนการจะถูกวนซ้ำ เรียกว่า Cyclic Process หรือ Simply a Cycles เมื่อวัฏจักร (Cycles) ดำเนินไปก็จะได้งานออกมา นี่คือเหตุผลว่าทำไม เครื่องยนต์ความร้อนจึงเป็นวัฏจักรที่มีประโยชน์ ดังนั้นการที่ทำให้อากาศอยู่ภายในวัฏจักรวนซ้ำ (Repeating Cycle) ได้นั้น ก็จะส่งผลให้เครื่องยนต์ความร้อนสามารถเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปเป็นงาน ได้อย่างต่อเนื่อง

การทำให้ทรงกระบอกกลับสู่สภาพเดิม (จากการขยายตัวจนกระทั่งความดันภายในเท่ากับความดันภายนอก) สามารถทำได้โดยเริ่มจากการเอาแหล่งกำเนิดความร้อน (Heat Source) ออกและปล่อยให้เย็นจนอุณหภูมิลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิห้อง ส่งผลให้ความดันภายในมีค่าลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศเพราะปริมาตรมากกว่าตอนเริ่มต้นและเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่อุณหภูมิห้องความดันที่แตกต่างระหว่างภายในและภายนอกจะดันลูกสูบเข้าด้านใน ทำให้ได้งานออกมาเช่นเดียวกับตอนดันลูกสูบออกด้านนอก ในเครื่องยนต์ส่วนใหญ่จะมีกลไกเชื่อมโยงระหว่างลูกสูบและเพลา เพื่อที่จะให้เครื่องยนต์ส่งผ่านงานที่ได้ออกมาอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดียว ระหว่างกระบวนการดันลูกสูบเข้าทรงกระบอกอาจมีการสูญเสียหรือเพิ่มพลังงานความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง การเพิ่มประสิทธิภาพของทรงกระบอกอาจทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนได้ โดยงานที่มากขึ้นจะได้รับระหว่างกระบวนการอัดซึ่งในความเป็นจริงแล้วสิ่งที่ดีที่สุดคือการทำให้อากาศภายในมีอุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิห้องตลอดกระบวนการอัด ในทำนองเดียวกันกับกระบวนการขยายตัวซึ่งให้งานออกมาเช่นเดียวกัน

ในกระบวนการอัดความดันภายในทรงกระบอกจะเพิ่มสูงขึ้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะยังคงต่ำอยู่ก็ตาม กระบวนการนี้จะยุติเมื่อความดันภายในเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก ถ้าลูกสูบมีความพอดีคือไม่มีการรั่วของอากาศเข้าและออก ลูกสูบจะกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม และอากาศภายในจะอยู่ที่สภาวะเริ่มต้น ดังนั้นอากาศภายในจะอยู่ในวัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ที่สมบูรณ์ (Complete Thermodynamic Cycle) และอุปกรณ์อื่นๆจะทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องยนต์ความร้อน โดยปกติเครื่องยนต์ความร้อน จะถูกพิจารณาร่วมกับกลไกซึ่งเปลี่ยนการขยับไปมาของลูกสูบไปเป็นการหมุน การหมุนเป็นรูปแบบที่สะดวกสำหรับการขับเคลื่อนเครื่องมือโดยทั่วไป เช่น ปั๊ม พัดลม หรือ พัดลม เป็นต้น

2.4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ความร้อน และกฎของเทอร์โมไดนามิกส์

ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engine) คือการทำให้เป็นวัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Cycle) ซึ่งจำเป็นต้องมีความแตกต่างของอุณหภูมิเพื่อทำให้เกิดงาน แหล่งความร้อน หรืออ่างเก็บน้ำที่มีพลังงานความร้อน (อุณหภูมิสูง) มีความจำเป็นในการเริ่มต้นวัฏจักร เริ่มจากการที่อากาศดูดความร้อนจากอ่างเก็บน้ำอุณหภูมิสูงระหว่างกระบวนการขยายตัวของวัฏจักร จากนั้นมันจะพยายามทำให้ตัวมันเย็นโดยการคายความร้อนออกมา โดยอากาศที่อุณหภูมิห้องจะดูดความร้อนนั้นและทำตัวเป็นแหล่งรับความร้อน (Heat Sink) หรืออ่างเก็บน้ำที่อุณหภูมิต่ำ ทุกๆวัฏจักรของเครื่องยนต์ (Engine Cycle) ต้องการแหล่งเก็บความร้อน (Heat Reservoirs) ที่ 2 อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (Second Law of Thermodynamic) กล่าวว่าทุกเครื่องยนต์ (Engine) ต้องการแหล่งเก็บความร้อนที่ร้อนกว่า (Hotter Reservoirs) สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน (Heat Source) และต้องการแหล่งเก็บความเย็น (Cooler Reservoir) เป็นแหล่งรับความร้อน (Heat Sink) การสันดาปน้ำมันจะได้แก๊สร้อน ซึ่งเป็นรูปแบบของแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีแนวโน้มว่าจะใช้งานได้จริง ในความเป็นจริงบางเครื่องยนต์อาจทำงานได้โดยการเผาไหม้น้ำมันเฉพาะ แต่บางเครื่องยนต์สามารถทำงานได้จากแหล่งความร้อนใดก็ได้ แหล่งรับความร้อน ที่จำเป็นต่อทุกๆเครื่องยนต์ คือ อากาศที่บรรยากาศคงที่หรือน้ำจากแม่น้ำหรือทะเลสาบ

ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ความร้อน คือ เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยการขยายตัวและหดตัวของ working substance ซึ่งอาจเป็น ก๊าซต่างๆ หรือก๊าซผสม เช่นอากาศก็ได้

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ กระบังลม ที่เป่าลม หรืออุปกรณ์อื่นๆที่มีลักษณะคล้ายกัน การเปลี่ยนแปลงปริมาตรขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ไปมาของลูกสูบ และการเปลี่ยนตำแหน่งนี้เป็น 1ใน 2 องค์ประกอบหลักของงาน ซึ่งองค์ประกอบอย่างที่ 2 ก็คือแรง ซึ่งแรงที่กระทำเหนือระยะทางก็คืองาน แรงในเครื่องยนต์ได้จากการเคลื่อนที่ขึ้นของลูกสูบ อันเนื่องมาจากความดันแก๊สที่กระทำบนพื้นที่ของลูกสูบนั่นเอง

ในส่วนหนึ่งของเครื่องยนต์จะมีการขยายตัวหรือการเพิ่มปริมาตรเกิดขึ้น และในอีกส่วนหนึ่งจะมีการลดปริมาตรหรือการอัดเกิดขึ้น ในกระบวนการขยายตัวเครื่องยนต์จะส่งงานไปยังลูกสูบและโดยปกติก็จะส่งต่อไปยัง ใบพัด (Flywheel) ต่อไปในความสัมพันธ์เชิงกล เช่นเดียวกันกับข้อเหวี่ยง และแท่งเชื่อมต่อ (Connecting Rod) อย่างไรก็ตาม ในทุกๆการทำงานของเครื่องยนต์ (Working Engine) งานจะถูกผลิตขึ้นในกระบวนการขยายตัวมากกว่างานที่ต้องการเพื่อใช้ในกระบวนการอัดตัว ความแตกต่างของทั้ง 2 คำนี้ ก็คือ การใช้งานที่เหมาะสม หรืองานสุทธิของวัฏจักรของเครื่องยนต์ (Engine Cycle) นั่นเอง

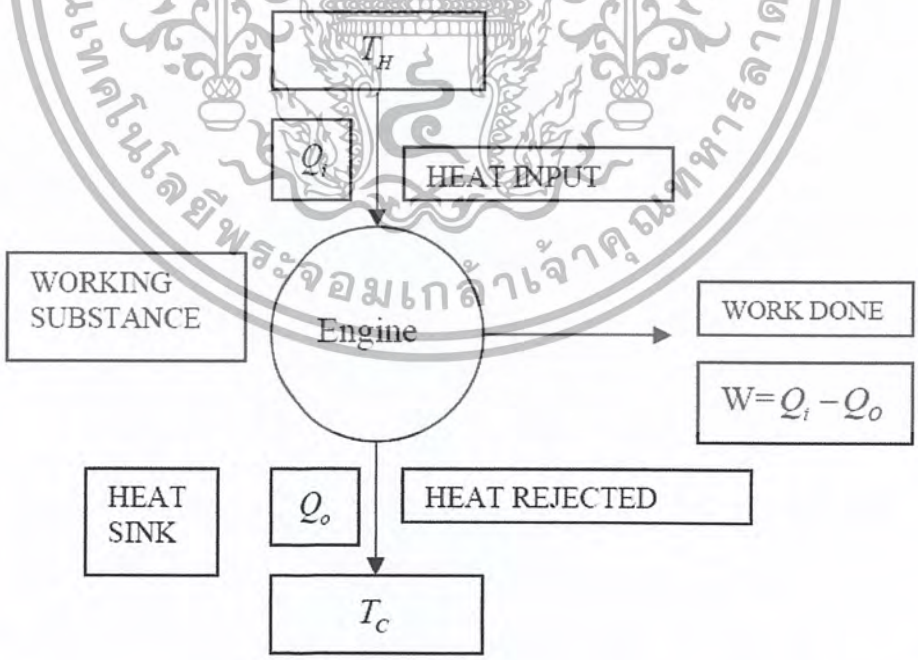
เดิมแล้วส่วนเกินของพลังงานก็คือ พลังงานความร้อน พลังงานที่ดูดซึมความร้อนจากแหล่งเก็บความร้อน (Hot Reservoir) จะมีมากกว่าที่ปล่อยไปที่แหล่งเก็บความเย็น (Cool Reservoir) และส่วนเกินนี้จะปรากฏในรูปของงาน เรียกว่ากฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (First Law of Thermodynamic) ซึ่งสำหรับเครื่องยนต์แล้วถูกกำหนดไว้ดังนี้คือ งานสุทธิที่ทำโดยเครื่องยนต์ใน วัฏจักรที่สมบูรณ์ (Complete Cycle) คือความแตกต่างระหว่างการดูดซึมความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน (Hot Source) และการปล่อยความร้อนสู่แหล่งเก็บความเย็น (Cool Sink) คือ $W= Q_i - Q_o$ ซึ่งก็คือ จะมีการดูดความร้อนเข้ามา แล้วปล่อยบางส่วนไปที่ แหล่งเก็บความเย็น (Cool Sink) และเปลี่ยนความแตกต่างนี้ไปเป็นงานนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ประสิทธิภาพและกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

การที่เครื่องยนต์ (Engine) จะดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับว่ามันจะสามารถผลิตกำลัง (Power) ได้เพียงพอต่อการทำให้เกิดงานได้เร็วแค่ไหน มันจะต้องใหญ่และหนักขนาดไหน ต้องน่าเชื่อถือขนาดไหน ต้องผลิตยากแค่ไหน และประสิทธิภาพที่จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงานจำเป็นต้องมีมากแค่ไหน การพิจารณาสิ่งเหล่านี้ค่อนข้างที่จะขึ้นอยู่กับการใช้เครื่องยนต์ ซึ่งการประยุกต์ในเครื่องยนต์ชนิดหนึ่ง อาจไม่สำคัญสำหรับเครื่องยนต์ชนิดอื่นๆเลยก็เป็นได้ แต่เครื่องยนต์เกือบทุกชนิดที่ประสิทธิภาพมีความสำคัญ ไม่มีใครที่ต้องการสูญเสียน้ำมันหรือการเผาไหม้เกินความจำเป็น ประสิทธิภาพคือการวัดว่าเครื่องยนต์จะสามารถให้งานออกมาเท่าไหร่สำหรับการให้ความร้อนหรือน้ำมันเพียงเล็กน้อย มันคือสัดส่วนของงานที่เครื่องยนต์ผลิตต่อความร้อนขาเข้า (Input) ที่ใช้ในการผลิตงานนั้น ($E_f = W/Q_i$) โดยค่า E_f มักแสดงในรูป %

ในความเป็นจริงแล้วไม่มีเครื่องยนต์ไหนที่จะให้ประสิทธิภาพได้ 100 % แม้แต่ลูกสูบที่ดีที่สุดก็ยังไม่สามารถผนึก (Seal) ได้อย่างสมบูรณ์ การรั่วไหลของวาล์ว และการเกิดแรงเสียดทาน (Friction) ในทุกแห่งที่มีการเคลื่อนที่สวนทางกัน แต่ว่าข้อบกพร่องเหล่านี้ก็อยู่ภายใต้กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ อย่างที่เห็นตอนต้นว่า กฎข้อที่ 2 ต้องการความร้อนบางส่วนไปปล่อยออกที่แหล่งเก็บความเย็น (Cool Reservoir) เสมอ ดังนั้นความร้อนทั้งหมดที่ดูดมาจากแหล่งเก็บความร้อน (Hot Reservoir) จะไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นงานได้ทั้งหมด นั่นหมายความว่า E_f จะไม่สามารถเท่ากับ 100% สำหรับเครื่องยนต์ใดก็ตาม



รูปที่ 2.14 แสดงการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงาน และมีการคายความร้อนเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันอาจจะแปลกที่ไม่มีเครื่องยนต์ใดๆ แม้แต่เครื่องยนต์ในอุดมคติ (Ideal Engine) ที่สามารถเปลี่ยนความร้อนที่ดูดซึมมาทั้งหมดไปเป็นงานได้ ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 โดยค่า E_f ที่ดีที่สุดนั้นขึ้นอย่กับค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างการเดินเครื่องยนต์ (Operate Engine) รู้จักกันในชื่อ Carnot $E_f = (T_H - T_C)/ T_H$; T_H และ T_C คืออุณหภูมิของแหล่งกำเนิดความร้อน (Heat Source) และแหล่งรับความร้อน (Heat Sink) ตามลำดับ มีหน่วยเป็นเคลวิน (Kelvin)

จากสูตรจะแสดงให้เห็นว่ายิ่ง ΔT_H มากเท่าไหร่ ก็จะยิ่งได้ E_f มากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นหากมีเครื่องยนต์ (Engine) ที่กำลังเดินเครื่องอยู่ และเราสามารถทำให้มันร้อนขึ้นได้มากเท่าไหร่ มันยิ่งจะทำให้ค่า E_f มากขึ้นเท่านั้น สรุปคือทุกสิ่งจะดีขึ้น เมื่อ ΔT_H ของแหล่งกำเนิดความร้อน และแหล่งรับความร้อนต่างกันมากๆ แต่ต้องจำไว้เสมอว่า Carnot E_f เป็นทฤษฎีที่มีขีดจำกัดสูงกว่าการทำงานจริง แม้ว่ามันไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เนื่องมาจากข้อบกพร่องที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ของเครื่องยนต์จริง โดยในความเป็นจริงแล้วจำเป็นต้องดูแลเอาใจใส่มากๆในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน เพื่อให้ได้สัดส่วนคาร์โน (Carnot) ที่เหมาะสม

ขั้นแรกในการได้มาซึ่งประสิทธิภาพที่ดีคือ พยายามหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อนโดยเปล่าประโยชน์ (Heat Waster) หรือการลัดวงจร (Short Circuit) โดยตรง ปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาในเครื่องยนต์หรือในวัฏจักร (Cycle) ที่ทำให้ความร้อนผ่านจากแหล่งเก็บความร้อน (Hot Reservoir) ไปยังแหล่งเก็บความเย็น (Cold Reservoir) โดยปราศจากงานที่เกิดจากอากาศซึ่งอยู่ภายในเครื่องยนต์ ในแต่ละ cycle ส่วนของความร้อนที่ดูดซึมจากเครื่องยนต์อันก่อนเพื่อกระบวนการขยายตัว จะไปอุ่นเครื่อง (Warm Up) วัสดุทรงกระบอก และในขั้นสุดท้ายของการขยายตัว ความร้อนจะถูกปล่อยไปยังแหล่งรับความร้อน เพื่อทำให้วัสดุทรงกระบอกเย็นตัวลง (Cool Down) พลังงานความร้อนนี้จะไม่ผลิตงานใดๆ โดยมันจะผ่านเข้าไปยังโลหะของเครื่องยนต์ (Engine Metal) และผ่านออกไป มีเพียงแค่การแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในเท่านั้นที่จะทำให้เกิดงานได้ นอกจากนั้นจะถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่มีประโยชน์ (Waste)

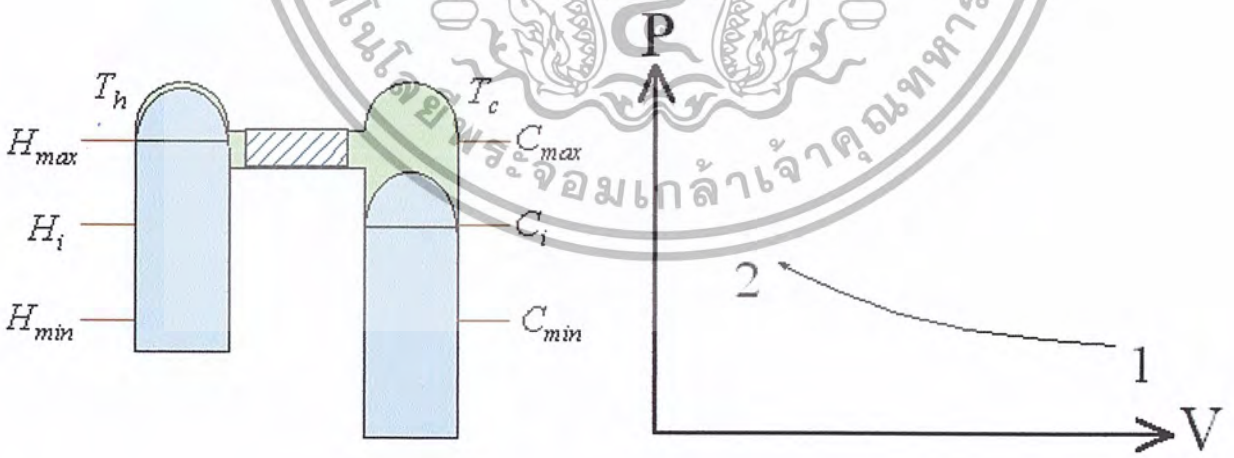
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 วัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ของสเตอร์ลิง

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างวัฏจักรของเครื่องยนต์แบบแอลฟา (Alpha Engine) โดยวัฏจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ ประกอบด้วยสี่กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่แตกต่างกัน แต่สามารถแสดงเอกลักษณ์ในส่วนของวัฏจักรหนึ่งกระบวนการอย่างง่ายๆให้เห็นได้ ข้างล่างนี้คือชื่อของกระบวนการต่างๆ ที่รวมอยู่ในวัฏจักร โดยจะต้องมีการเคลื่อนไหวทางกลตลอดจึงจะเกิดผลได้ กระบวนแต่ละกระบวนการจะมีการหมุนวนเป็นวัฏจักรกระทำซ้ำกันไปเรื่อยๆตามกำหนด ตำแหน่งของลูกสูบถูกแสดงที่ตำแหน่งสิ้นสุดของแต่ละกระบวนการ และได้แสดง P-V diagram แต่ละกระบวนการดังต่อไปนี้

2.4.3.1 Isothermal Compression

จากการอัดตัวทำให้ลูกสูบด้านเย็น (Cold Piston) เคลื่อนย้ายมายังตำแหน่งปานกลาง (Ci) และสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม Tc

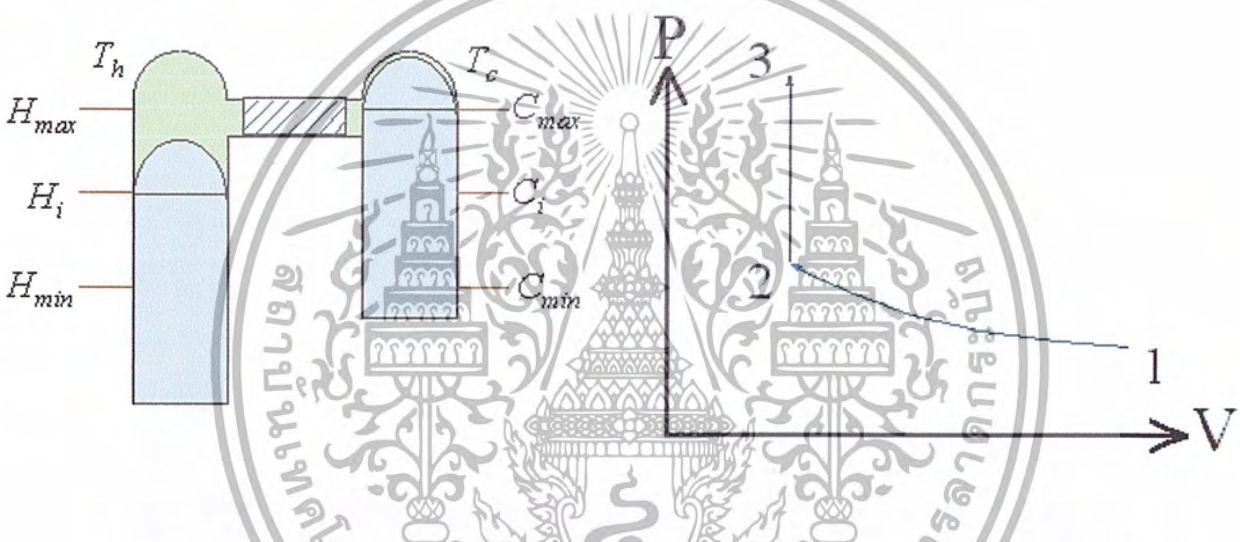


รูปที่ 2.15 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ P-V ของกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 Constant Volume Heating

ลูกสูบด้านเย็น (Cold Piston) เคลื่อนที่มาที่ตำแหน่งที่สูงสุด(Cmax) และลูกสูบด้านร้อน (Hot Piston) จะเคลื่อนที่ลงมาสู่ตำแหน่งที่ช่วงกลาง (Hi) ความร้อนถ่ายเทจากรีเจนเนอร์เรเตอร์ (Regenerator) สู่ของไหลทำงาน (Working Gas) ที่ปริมาตรคงที่และทำให้ความดันเพิ่มสูงขึ้น

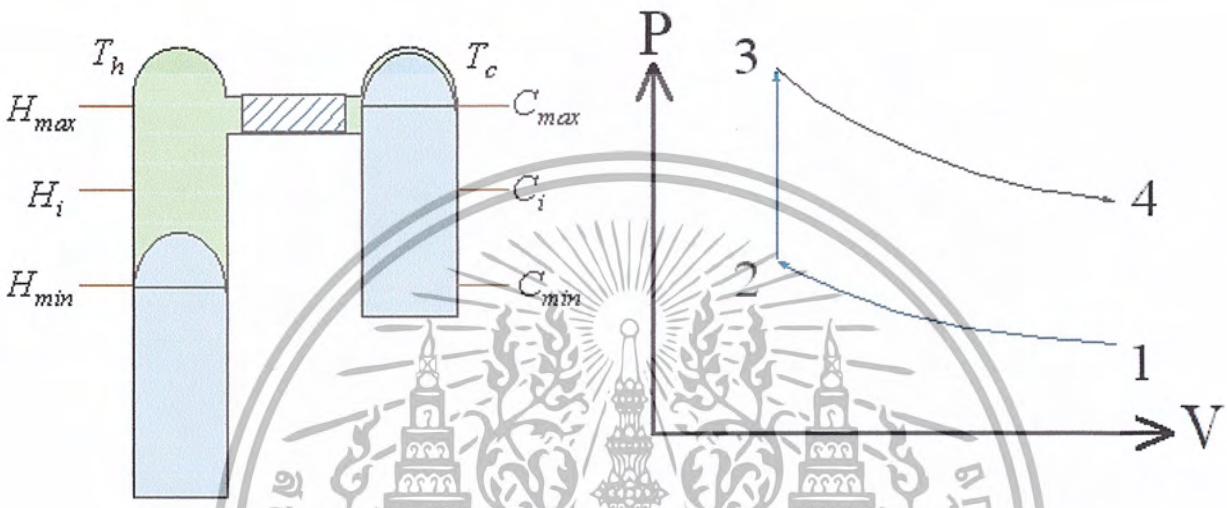


รูปที่ 2.16 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ P-V ของกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.3 Isothermal Expansion

รับความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ (Th) จากแหล่งจ่ายความร้อนภายนอก การขยายตัวทำให้ ลูกสูบ ด้านร้อน (Hot Piston) เคลื่อนที่มาอยู่ที่ตำแหน่ง (Hmin)

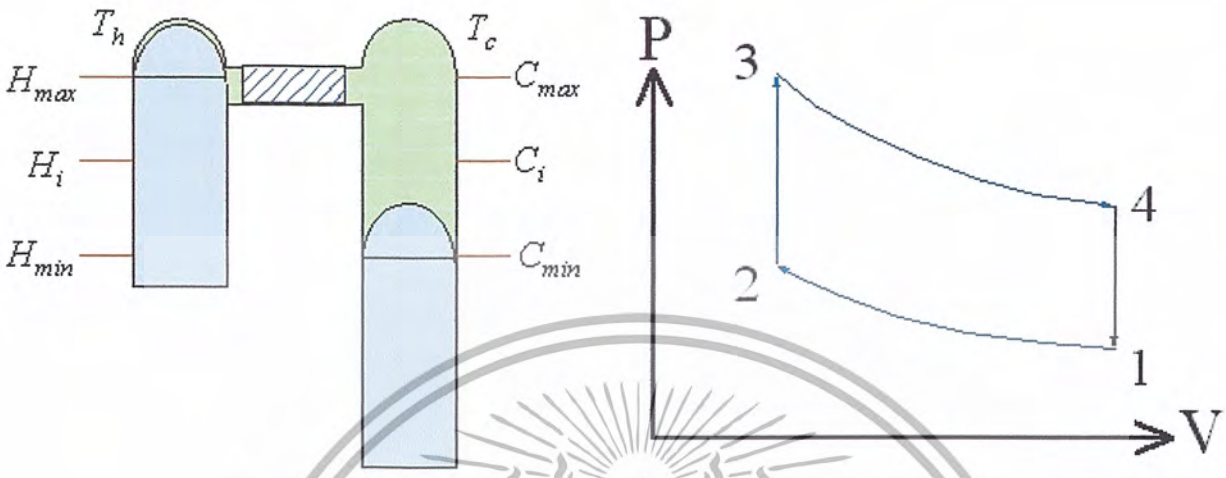


รูปที่ 2.17 แสดงตำแหน่งและแผนภาพลูกสูบของ P-V ของกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่

2.4.3.4 Constant Volume Cooling

ลูกสูบด้านร้อน (Hot Piston) เคลื่อนที่มาอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด (Hmax) และ ลูกสูบด้านเย็น (Cold Piston) เคลื่อนที่ลงมาอยู่ที่ตำแหน่ง(Cmin) และมีการถ่ายเทความร้อนจากของไหลทำงาน(Working Gas)ไปสู่รีเจนเนอร์เรเตอร์ (Regenerator) ที่ปริมาตรคงที่ เครื่องยนต์ก็จะทำงาน ครบ 4 วัฏจักรอย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ P-V ของกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่

2.5 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ปัจจัยพื้นฐาน 2 ประการที่จะกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์วัฏจักรสเตอร์ลิงประการแรก คือ การทำไม่ให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซภายในกระบอกสูบระหว่าง Displacer และด้านลูกสูบกำลัง ประการที่สอง คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศด้านร้อนและด้านเย็นของกระบอกสูบ

2.5.1 การป้องกันการรั่ว

มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพทางหนึ่งเมื่อก๊าซในกระบอกสูบขยายตัวความดันที่เพิ่มขึ้นจะผลักลูกสูบออกไป ซึ่งต้องให้เกิดความต้านทานภายในน้อยที่สุด ในกรณีของลูกสูบกำลังเป็นไปได้ว่าในขณะเคลื่อนที่กลับก๊าซจะรั่วออกไป ในแง่เทคนิคและอุดมคติคือผลรวมของก๊าซภายในกระบอกสูบควรจะไม่เปลี่ยนแปลง ในการทำงานจริงก๊าซจะหลุดออกไปบ้าง ถ้ามันเกิดขึ้นประสิทธิภาพของวัฏจักรก็จะตกลง และถ้าก๊าซรั่วเครื่องยนต์จะไม่ทำงาน หรือถ้าทำงานก็ทำได้แค่ 2-3 นาที นี่เป็นเรื่องสำคัญมากที่ลูกสูบกำลังควรจะไม่ให้เกิดก๊าซรั่วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ความแตกต่างของอุณหภูมิ

มักจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงของการขยายตัวและหดตัวของก๊าซ (การเพิ่มและลดของความดัน) ในกระบอกสูบ เป็นแรงทำงานจริงของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง แรงทำงานจะเกิดขึ้นได้ถ้ามีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของกระบอกสูบ การให้อุณหภูมิที่มากกว่ากับด้านร้อนและเย็นกว่ากับด้านเย็นจะมีประสิทธิภาพมากที่จะทำให้กลายเป็นแรงทำงาน (working force) ความร้อนและความเย็นจะสร้างปัญหาได้ ถ้าได้รับแบบรุนแรงมากและเป็นเวลานาน ๆ ดังตัวอย่าง โลหะธรรมดาที่ใช้ส่วนมาก เช่น เหล็ก มักจะผิดรูปเมื่อให้ความร้อนจนถึงจุด ๆ หนึ่งเป็นเวลานาน ๆ จากการวิจัยอัลลอยจะสามารถทนต่อความรุนแรงของอุณหภูมิสูงได้ดี เซรามิกก็น่าจะนำมาใช้ได้ อย่างไรก็ตามวิศกรที่สร้างแบบจำลองก็ยังต้องใช้เหล็กเพื่อไม่ให้เกิดความยุ่งยากและก็เป็นบทสรุปที่ดี

การเตรียมระบบความเย็นอย่างง่าย การเปิดพื้นที่ให้ความร้อนกระจายอยู่บรรยากาศเป็นวิธีหนึ่ง นี่คือสาเหตุที่ทำให้กระบวนการเกิดขึ้นช้าซึ่งสามารถทำให้เร็วขึ้นโดยขยายผิวหน้าการถ่ายเท การใช้ตัวทำความเย็น การใช้อากาศผ่านของแข็ง เช่น ฟิน หรือ cooling tank ซึ่งเป็นการทำให้ความร้อนกระจายออกไป การกระจายความร้อนของเหล็ก กระบอกสูบ ลูกสูบ ก้านสูบและรีเจนเนอร์เรเตอร์ (ถ้ามี) จะต้องได้สัดส่วนกัน การเตรียมระบบความร้อนความเย็นนั้นยังมีปัจจัยตัวอื่นอีกซึ่งมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพของแบบจำลองเครื่องยนต์เล็ก

2.5.3 รีเจนเนอเรชั่น

คือพลังงานส่วนใหญ่ที่ผ่านเข้าออกจากการออกแบบแล้วโครงสร้างของเครื่องยนต์ ในก๊าซทำงานที่ร้อนและเย็นที่หลายร้อยครั้งใน 1 นาที ไม่ได้หมายถึงความสามารถของเครื่องยนต์ ยกเว้นอุณหภูมิรุนแรงที่ควบคู่ของระดับร้อยหรือมากกว่าส่วนหนึ่ง งานนี้สามารถทำได้ง่ายโดยการเตรียมก๊าซร้อนให้ไหลไปที่ด้านเย็น ความร้อนสูญเสียจะแบ่งชั้นขึ้นในขณะที่ก๊าซเย็นไปทางด้านร้อน ความดันมากขึ้นตลอดทางจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดและก๊าซจำเป็นต้องขยายตัวที่ห้องร้อนในช่วงเวลาที่น้อยที่สุด เวลาชั่วครู่จนถึงบางระดับผลรวมของความร้อนจะยอมให้ความเร็วที่มากสุดในการถ่ายเทของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองวิธีพื้นฐานที่ใช้ในแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ช่วยให้ก๊าซร้อนแบ่งชั้นการสูญเสียความร้อน และก๊าซเย็นแบ่งชั้นการดูดกลืน วิธีแรกใช้ Displacer ที่ทำการถ่ายเทความร้อน ตัว Displacer ถูกทำให้ยาวพอสำหรับก๊าซร้อนเคลื่อนที่ตามมันและถ่ายเทความร้อนไปที่ตัวของ Displacer ในลักษณะของการแบ่งชั้นอุณหภูมิ ตัวของมันร้อนด้านหนึ่งและร้อนลดลงจนถึงอีกด้านหนึ่ง วิธีที่สอง ในแบบจำลองเครื่องยนต์บางแบบเป็นผลอย่างมาก วิธีนี้ก่อให้เกิดการสร้างรีเจนเนอร์เรเตอร์ด้านนอก หรือรอบกระบอกสูบหลัก ตลอดก๊าซที่ผ่าน หลักการเดียวกันของการดูดกลืนความร้อน เป็นการค้นพบของรีเจนเนอร์เรเตอร์ คือความร้อนถูกดูดกลืนในชั้นของมวลโลหะซึ่งใช้ทำรีเจนเนอร์เรเตอร์ และความร้อนนี้ถูกทำให้สูงขึ้นอีกโดยก๊าซเย็นที่กำลังจะขยายตัวในห้องขยายตัว

2.5.4 กลไกขับ

เป็นตัวแปรที่สามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้หรือทำให้เครื่องยนต์เสียได้ กลไกจะมีมุมต่างกัน 90 องศา ระหว่าง Displace และลูกสูบกำลัง ในแบบเก่า ๆ ก่อให้เกิดความยุ่งยากของระดับและข้อต่อที่เกิดการขัดกันระหว่างการเคลื่อนที่ของ 2 ลูกสูบ การศึกษาเรื่องนี้กลายเป็นเรื่องจุกจิกมาก เมื่อจำเป็นที่จะต้องมีความแตกต่างของความยาวช่วงชักสำหรับ 2 ส่วน

ถึงแม้ว่า เครื่องยนต์รุ่นเก่าจะมีชนิดของข้อต่อทั้งหมด ระบบคันโยก ข้อเหวี่ยง และbell-crank ที่เคลื่อนไปในทิศทางของมัน เครื่องยนต์จะช้าลงหมุนได้ไม่เกิน 200 rpm และมันจะไม่เกิน 100 rpm ย้อนกลับไปในปี ค.ศ. 1850-1900 เครื่องยนต์นี้ใช้สูบน้ำเป็นหลัก การเปลี่ยนแปลงที่สูง จะไม่สำคัญต่องานนี้และความเร็วควรจะไว้วางใจได้ กำลังอัดจะสร้างแรงเสียดทานและผู้ออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นใหม่ควรหลีกเลี่ยงระบบจุกจิกของระดับข้อเหวี่ยง

เป็นความหลักแหลมอย่างมากอย่างหนึ่งและความสมบูรณ์แบบของกลไกการขับ กลไกการขับรูปขนมเปียกปูน (Rhombic drive mechanism) ถูกแจกแจงความสมบูรณ์แบบโดย ฟิลลิปส์ กับวิธีก้าน Displacer ผ่านตลอดก้านลูกสูบกำลังยกเว้นความพยายามของ thrust ข้างเคียงบนสูบกำลัง มันเป็นกลไกที่บรรจุเอาการให้กำลังความดัน ซึ่งดีเยี่ยมกว่าการออกแบบอย่างอื่น เป็นกลไกแผ่นหนาซึ่งขับจำนวนของกระบอกสูบอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยการเคลื่อนที่ของวงกลม เช่น เครื่องยนต์ที่ออกแบบให้ทำงานในแนวขนานกับกระบอกสูบหลายตัว (มักจะเป็น 4-6 กระบอกสูบ) อย่างไรก็ตามเมื่อมาถึงกลไกการจัดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 เหตุผลที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงยุคโบราณขาดประสิทธิภาพ

2.5.5.1 แต่ก่อน Hot Air Engine จะใหญ่และดูเทอะทะมาก มันจะต้องเคลื่อนที่สมดุลกับการย้ายส่วนที่หนักมาก (กลไกการขับ) ซึ่งเป็นสาเหตุของแรงเสียดทานที่มาก

2.5.5.2 ผนังเหล็กของกระบอกสูบร้อนมีความหนา ความร้อนที่ให้จะเกิดการสูญเสียไปในโครงสร้างของกระบอกสูบนี้

2.5.5.3 อุณหภูมิของด้านร้อนยากที่จะเกิน 600 F

2.5.5.4 คู่ตัวทำความร้อนและทำความเย็นเป็นแบบเก่า และยากที่จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากสำหรับช่วงเวลาที่ยาวนาน เครื่องยนต์ในระยะต่อมาซึ่งมีการไหลของน้ำตลอดเวลาโดยใช้เครื่องสูบน้ำ ทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องยนต์แต่ก่อน

2.5.5.5 เครื่องยนต์หลายเครื่องมีการถ่ายโอนกำลังที่หนัก (ลูกสูบ) มักจะทำจากเหล็กมีแทนการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่หนักนี้เหมือนกับส่วนของความร้อนที่มากกว่า regenerative displacer ทำให้อุณหภูมิแตกต่างต่ำลงตลอดเวลา

2.6 คุณสมบัติบางประการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

2.6.1 การเริ่มสตาร์ท

โดยทั่วไปเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไม่สามารถเริ่มทำงานได้เองตั้งแต่ความร้อนที่ด้านร้อนของกระบอกสูบจนถึงการเตรียมอุณหภูมิแรงที่ส่งไปที่ล้อช่วยแรง (fly wheel) ซึ่งจะเป็นการทำงานในลักษณะของการเร่ง ในกรณีของเครื่องยนต์เล็กลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดการกระตุกที่ล้อช่วยแรงซึ่งจะเพียงพอสำหรับการเริ่มทำงานได้เองเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ต้องใช้มอเตอร์สตาร์ท (มีการพัฒนาอย่างเด่นชัด 2 อย่างในช่วงก่อน คือ TMG และ Fluidyne ที่สตาร์ทได้ด้วยตัวเอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การควบคุมความเร็ว

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงบางแบบถูกออกแบบมาให้ทำงานที่ความเร็วคงที่กับภาระคงที่ เช่น รีเจนเนอเรเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องสูบน้ำ เครื่องยนต์อื่นเตรียมความเร็วที่ปรับค่าได้คือการเพิ่มหรือลดความเร่ง ในการพัฒนาแต่ก่อนการทำงานของเครื่องยนต์ปรับที่การเพิ่มหรือเปลี่ยนความร้อนที่ให้ วิธีนี้ยุ่งยากและไม่มีประสิทธิภาพต่อมาได้พยายามใช้วาล์วควบคุมความเร็วเครื่องยนต์สมัยใหม่ได้ออกแบบให้มีการตอบสนองต่อกำลังภาระและเปลี่ยนตามวิธีการใช้ แต่สำหรับแบบจำลอง 2 วิธีที่ใช้ในในขอบเขตของการทดลอง คือ การเพิ่มความดันก๊าซและการปรับระยะชักของส่วนทำงาน ซึ่งในการหมุนตามความดัน 2 วิธีเป็นขอบเขตสำหรับการพัฒนาและเป็นความรู้ที่ใช้กับแบบจำลองที่เป็นโครงงาน

2.6.3 ศักย์ของความดัน

การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ความดันปกติ มีขีดจำกัดของพลังงานศักย์ในการพัฒนากำลัง ถ้าเครื่องยนต์มีความกดอากาศภายใน กำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยฮีเลียม หรือไฮโดรเจนและที่มีความกดอากาศภายในมากกว่าจะพัฒนากำลังง่ายเปรียบ ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งกำลังขึ้นกับอัตราส่วนน้ำหนักที่นำมาพิจารณา

2.6.4 เชื้อเพลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงหรือที่เรียกว่า "เครื่องยนต์ในอนาคตแห่งโลกที่สาม" บรรจุแร่เชื้อเพลิงได้หลายชนิดและเมื่อพิจารณาถึงพลังแสงอาทิตย์ที่สามารถจัดหาได้เป็นทางเลือกหนึ่งของเชื้อเพลิงสำหรับการทดลองกับเครื่องยนต์เพื่อพัฒนา สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในรอบ 10 ปีข้างหน้า มันมักจะเป็นการทำแบบจำลองที่เกิดจากความคิดประจำตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักในการคำนวณและออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความต่างอุณหภูมิต่ำ

ก๊าซอุดมคติ คือ ก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำมีอิสระในการเคลื่อนที่ โมเลกุลไม่มีปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน การชนกันแบบยืดหยุ่น ไม่อยู่ภายใต้แรงดึงดูดระหว่างกันและการชนกันนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนรูปของพลังงาน ความสัมพันธ์ของความดัน ปริมาตรจำเพาะ และอุณหภูมิสามารถแสดงสภาวะของก๊าซอุดมคติได้ คือ

$$\frac{PV}{T} = R \tag{3.1}$$

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ

ค่าคงที่ของก๊าซ R ยังมีความสัมพันธ์กับค่า universal gas constant ($\bar{R}$) คือ

$$\frac{\bar{R}}{M} = R \tag{3.2}$$

M คือ มวลโมเลกุลของสาร

$\bar{R}$ = 8.31451 J/(kmol.K)

R มีหน่วยเป็น kJ/(kg.K)

สมการของก๊าซอุดมคติยังสามารถจัดรูปแบบอื่น ๆ ได้อีก คือ

$$PV = mRT \tag{3.3}$$

$$P = \rho RT \tag{3.4}$$

$$PV = n\bar{R}T \tag{3.5}$$

n คือ จำนวนโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการอุณหภูมิคงที่ คือ กระบวนการที่ดำเนินการแล้วอุณหภูมิคงที่ตลอดตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการ เรียกกระบวนการนี้ว่า Isothermal

จากกฎของก๊าซอุดมคติ

$$P_1V_1 / T_1 = P_2V_2 / T_2 \qquad (3.6)$$

เมื่อ T = ค่าคงที่

$$P_1V_1 = P_2V_2 = PV \qquad (3.7)$$

2.7.2 กระบวนการปริมาตรคงที่

กระบวนการปริมาตรที่ คือ กระบวนการที่ดำเนินการแล้วปริมาตรคงที่ตลอดตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการ เรียกกระบวนการนี้ว่า Isometric

จากกฎของก๊าซอุดมคติ

$$P_1V_1 / T_1 = P_2V_2 / T_2 \qquad (3.8)$$

เมื่อ V = ค่าคงที่

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2 = P / T \qquad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบ Power Piston และระยะชัก

เลือกใช้หลอดฉีดยาแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 mm. และกำหนดระยะชักที่ 11 mm.

สมการคำนวณปริมาตรการกวาด หรือ Swept volume

$$\text{swept volume}_P = \frac{\pi D^2}{4} \times \text{stroke} \quad (3.1)$$

$$\text{swept volume}_P = \frac{\pi 9.5^2}{4} \times 11 \quad (3.2)$$

$$\text{swept volume}_P = 777.79\ \text{mm}^3$$

3.1.2 การออกแบบ Displacer และระยะชัก

เนื่องจาก เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดความต่างอุณหภูมิต่ำ ควรมีอัตราส่วนของปริมาตรการกวาดระหว่าง displacer กับ power piston มากกว่า 40:1 จึงเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 84 mm. และระยะชัก 12 mm.

$$\text{swept volume}_D = \frac{\pi D^2}{4} \times \text{stroke} \quad (3.3)$$

$$\text{swept volume}_D = \frac{\pi 84^2}{4} \times 12 \quad (3.4)$$

$$\text{swept volume}_D = 66501.23\ \text{mm}^3$$

ได้อัตราส่วนของปริมาตรการกวาดระหว่าง displacer กับ power piston

$\frac{66501.23\ mm^3}{779.79\ mm^3}$ = 85.28:1 ซึ่งมากกว่า 40:1

ความหนาของ displacer เลือกใช้ 8 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การออกแบบกระบอกสูบDisplacer

ความหนาของกระบอกสูบDisplacer = ผลรวมระหว่าง ความหนาของ displacer กับระยะชักของ displacer 8+12=20mm.

สมการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบDisplacer

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของ } displacer\ cylinder \leq \frac{2 \times clearance}{0.036} \quad (3.5)$$

$$\text{clearance} \leq \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของ displacer}}{2(\frac{1}{0.036} - 1)} \quad (3.6)$$

$$\text{clearance} \leq \frac{84}{2(\frac{1}{0.036} - 1)}$$

$$\text{clearance} \leq 1.568\ \text{mm}^3$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของ displacer cylinder} \leq \frac{2 \times 1.568}{0.036}$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของ displacer cylinder} \leq 87.11$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของ displacer} < \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของ displacer cylinder} \leq 87.11$$

ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ Displacer 85 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ

อุณหภูมิต่ำสุดในระบบ 30 °C = 303 K

อุณหภูมิสูงสุดในระบบ 50 °C = 323 K

ความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ (atm) ที่25 °C = 101.325 kPa

$V_{max} = V_1 = V_d + V_p = (\pi \times 4.2^2 \times 1.2) + (\pi \times 0.475^2 \times 1.1)$

$= 67.280\ cm^3$

$V_{min} = V_2 = V_d = \pi \times 4.2^2 \times 1.2$

$= 66.501\ cm^3$

ความเร็วรอบ = 60 rpm

อัตราส่วนการอัด $= V_1 / V_2 = V_4 / V_3$

$= 1.011$

เมื่อ $r_d = 4.2$ cm , $r_p = 0.475$ cm

3.2.1 กระบวนการที่ 1-1 เป็นกระบวนการปริมาตรคงที่

$$PV = RT$$

$$V_1 = RT_1 / P_1$$

$$V_{อากาศ} = RT_{อากาศ} / P_{อากาศ}$$

$$V_1 = V_{อากาศ}$$

$$P_1 = (T_1 \times P_{อากาศ}) / T_{อากาศ}$$

$$P_1 = (101.325 \times 303) / 298$$

$$P_1 = 103.025\ kPa$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 กระบวนการที่ 1-2 เป็นกระบวนการอุณหภูมิคงที่

$$T_1 = P_1V_1 / R$$

$$T_2 = P_2V_2 / R$$

$$T_1 = T_2$$

$$P_2 = P_1V_1 / V_2$$

$$P_2 = 103.025 \times 1.011$$

$$P_2 = 104.1582 \text{ kPa}$$

เมื่อ $V_1 / V_2 = 1.011$

3.2.3 กระบวนการที่ 2-3 เป็นกระบวนการปริมาตรคงที่

$$V_2 = RT_2 / P_2$$

$$V_3 = RT_3 / P_3$$

$$V_2 = V_3$$

$$P_3 = (T_3 \times P_2) / T_2$$

$$P_3 = (104.1582 \times 323) / 303$$

$$P_3 = 111.033 \text{ kPa}$$

3.2.4 กระบวนการที่ 3-4 เป็นกระบวนการอุณหภูมิคงที่

$$T_3 = P_3V_3 / R$$

$$T_4 = P_4V_4 / R$$

$$T_3 = T_4$$

$$P_4 = P_3V_3 / V_4$$

$$P_4 = 111.033 / 1.011$$

$$P_4 = 109.824 \text{ kPa}$$

เมื่อ $V_4 / V_3 = 1.011$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 มวลอากาศ M_a

$$M_a = V_1 / v_1$$

เมื่อ $V_3 = RT_3 / P_3$

$$V_3 = (0.287 \times 323) / 111.033$$

$$V_3 = 0.834 \ m^3/kg$$

จาก $v_4 / v_3 = 1.011$

เมื่อ $v_4 = v_1 = 1.011 \times v_3$

$$v_1 = 1.011 \times 0.834$$

$$v_1 = 0.8431 \ m^3/kg$$

จาก $M_a = V_1 / v_1$

จะได้ $M_a = (67.28 \times 10^{-6})/0.8431$

$$M_a = 7.98 \times 10^{-5} \ kg$$

3.2.6 ความร้อนที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อม Q_{in}

$$Q_{in} = Q_{34}$$

$$Q_{in} = T \triangle s$$

เมื่อ $\triangle s = M_a R \ln(v_4/v_3)$

จะได้ $Q_{in} = M_a R T_h \ln(v_4/v_3)$

$$Q_{in} = (7.98 \times 10^{-5}) \times 0.287 \times 323 \times \ln(1.011)$$

$$Q_{in} = 0.0809 \ J$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 ความร้อนที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม Q_{out}

$$Q_{out} = Q_{12}$$

$$Q_{out} = T\triangle s$$

เมื่อ $\triangle s = M_a R \ln(v_1/v_2)$

จะได้ $Q_{out} = M_a R T_L \ln(v_1/v_2)$

$$Q_{out} = (7.98 \times 10^{-5}) \times 0.287 \times 303 \times \ln(1.011)$$

$$Q_{out} = 0.0759 \text{ J}$$

3.2.8 งานที่ได้

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out}$$

$$W_{net} = 0.0809 - 0.0759$$

$$W_{net} = 0.005 \text{ J}$$

3.2.9 กำลังงานที่ได้

$$P = W_{net} \times \text{speed}$$

$$P = 0.005 \times (60/60)$$

$$P = 0.005 \text{ J/s}$$

3.2.10 ทอร์ค T

$$T = P/(2 \times \text{speed})$$

$$T = 0.005/(2 \times 1)$$

$$T = 7.95 \times 10^{-4} \text{ N.m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.11 ประสิทธิภาพทางความร้อน

$$\eta_{th} = 1 - (T_L / T_h)$$

$$\eta_{th} = 1 - (303/323)$$

$$\eta_{th} = 0.06191 \ (6.191\ \%)$$

จากทฤษฎีจะทำให้เราสามารถหาค่า Q_{in} , Q_{out} , W_{net} , Power , η_{th} , Tourqe ได้

จาก ; $Q_{in} = M_a R T_H \ln(V_4/V_3)$

$Q_{out} = M_a R T_L \ln(V_1/V_2)$

$W_{net} = Q_{in} - Q_{out}$

$P = W_{net} \times n$

$\eta_{th} = 1 - (T_L/T_H)$

$Tourqe = P/2\pi n$

เมื่อ ; $M_a = 7.98 \times 10^{-5}$ kg

$R = 0.287$ kJ/kg.K

$V_4/V_3 = V_1/V_2 = 1.011$

วางบนบีกเกอร์น้ำร้อน

ตางรางที่ 3.1 แสดงผลการคำนวณหาทอร์กบนบีกเกอร์น้ำร้อน

Time(S)	Q_{in}(J)	Q_{out}(J)	W_{net} (J)	P(W)	η_{th}(%)	Tourqe(N.m)
30	8.25×10^{-5}	7.55×10^{-5}	0.70×10^{-5}	1.31×10^{-5}	8.50	5.27×10^{-6}
60	8.29×10^{-5}	7.56×10^{-5}	0.73×10^{-5}	1.88×10^{-5}	8.80	1.16×10^{-6}
90	8.21×10^{-5}	7.54×10^{-5}	0.67×10^{-5}	1.54×10^{-5}	8.08	1.06×10^{-6}
120	8.29×10^{-5}	7.61×10^{-5}	0.68×10^{-5}	1.43×10^{-5}	8.10	1.08×10^{-6}
150	8.28×10^{-5}	7.62×10^{-5}	0.66×10^{-5}	1.31×10^{-5}	8.00	1.05×10^{-5}
180	8.24×10^{-5}	7.57×10^{-5}	0.67×10^{-5}	1.38×10^{-5}	8.05	1.07×10^{-6}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางบนน้ำแข็ง

ตางรางที่ 3.2 แสดงผลการคำนวณหาทอร์กบนน้ำแข็ง

Time(S)	Q_{in}(J)	Q_{out}(J)	W_{net} (J)	P(W)	η_{th}(%)	Tourqe(N.m)
30	7.55×10^{-5}	7.42×10^{-5}	0.13×10^{-5}	0.07×10^{-5}	1.60	2.10×10^{-7}
60	7.55×10^{-5}	7.38×10^{-5}	0.17×10^{-5}	0.19×10^{-5}	2.20	2.67×10^{-7}
90	7.53×10^{-5}	7.29×10^{-5}	0.24×10^{-5}	0.305×10^{-5}	3.16	3.82×10^{-7}
120	7.53×10^{-5}	7.24×10^{-5}	0.29×10^{-5}	0.37×10^{-5}	3.80	4.57×10^{-7}
150	7.53×10^{-5}	7.23×10^{-5}	0.30×10^{-5}	0.39×10^{-5}	3.99	4.77×10^{-7}
180	7.52×10^{-5}	7.20×10^{-5}	0.32×10^{-5}	0.42×10^{-5}	4.32	5.05×10^{-7}

วางบนจานรวมแสง

ตางรางที่ 3.3 แสดงผลการคำนวณหาทอร์กจานรวมแสง

Time(S)	Q_{in}(J)	Q_{out}(J)	W_{net} (J)	P(W)	η_{th}(%)	Tourqe(N.m)
30	1.00×10^{-4}	7.67×10^{-5}	0.233×10^{-4}	3.39×10^{-5}	23.7	3.7×10^{-6}
60	9.67×10^{-5}	7.76×10^{-5}	1.91×10^{-5}	3.68×10^{-5}	19.7	3.03×10^{-6}
90	1.15×10^{-4}	0.78×10^{-4}	0.37×10^{-4}	0.79×10^{-4}	32.2	5.98×10^{-6}
120	1.15×10^{-4}	0.774×10^{-4}	0.376×10^{-4}	0.982×10^{-4}	32.8	5.97×10^{-6}
150	1.10×10^{-4}	0.78×10^{-4}	0.32×10^{-4}	0.88×10^{-4}	29.2	5.10×10^{-6}
180	1.18×10^{-4}	0.76×10^{-4}	0.42×10^{-4}	1.365×10^{-4}	35	1.76×10^{-6}

หมายเหตุ : 1. เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบความต่างอุณหภูมิต่ำเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็กจึงไม่สามารถวัด tourqe จากเครื่องยนต์ได้เพราะหากเกิดแรงเสียดทานเครื่องยนต์ก็ไม่สามารถทำงานต่อไปได้

2. ค่าการคำนวณต่างๆในตารางมีค่าไม่ค่อยเสถียรเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การสร้างเครื่องยนต์

หลังจากทำการออกแบบและคำนวณเรียบร้อยแล้ว จึงลงมือสร้างชิ้นส่วนตามแบบพร้อมประกอบดังนี้

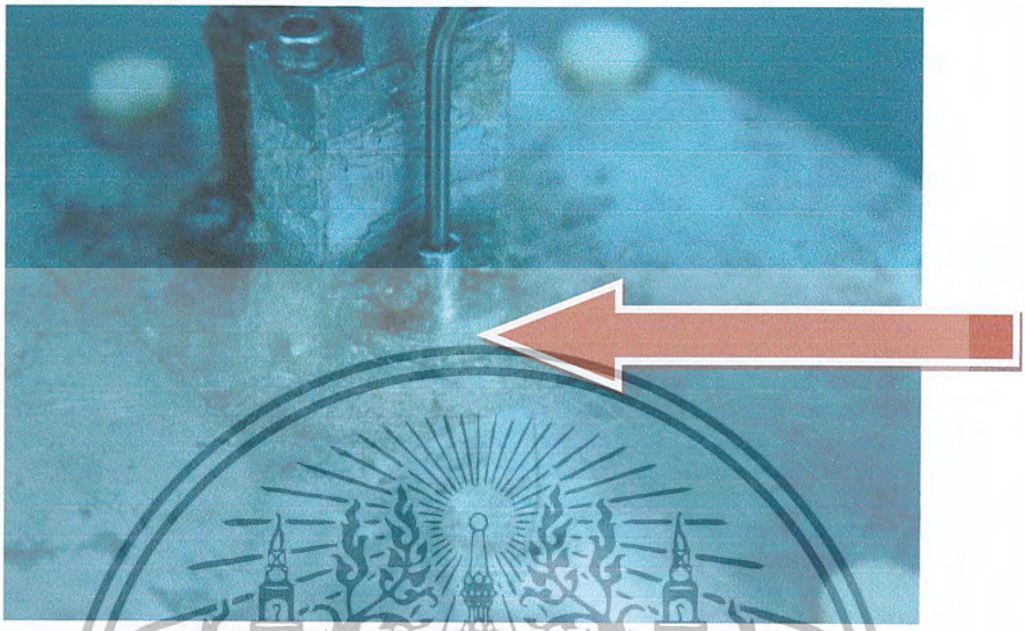
4.1 ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

4.1.1 Displacer (ลูกสูบเบา) ทำหน้าที่แทนที่อากาศ ทำมาจาก ไม้บัลซ่ากับโฟม

รูปที่ 4.1 แสดงรูปของ Displacer

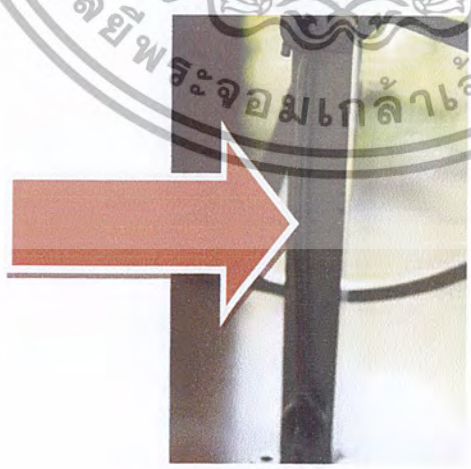
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 Displacer core ทำมาจากอลูมิเนียม



รูปที่ 4.2 แสดงรูปของ Displacer core

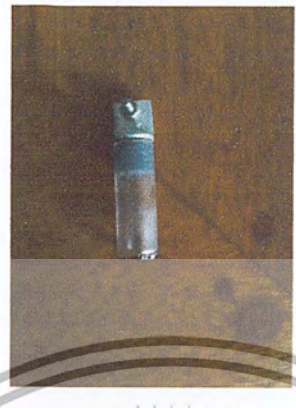
4.1.3 Displacer rod ทำจากเหล็กเส้น



รูปที่ 4.3 แสดงรูปของ Displacer rod

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 Power piston (ลูกสูบกำลัง) ทำมาจากหลอดฉีดยาขนาด 2 มม.



รูปที่ 4.4 แสดงรูปของ Power piston

4.1.5 Power piston core ทำมาจากทองเหลือง

รูปที่ 4.5 แสดงรูปของ Power piston core

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 Power piston rod ทำมาจากเหล็กเส้น

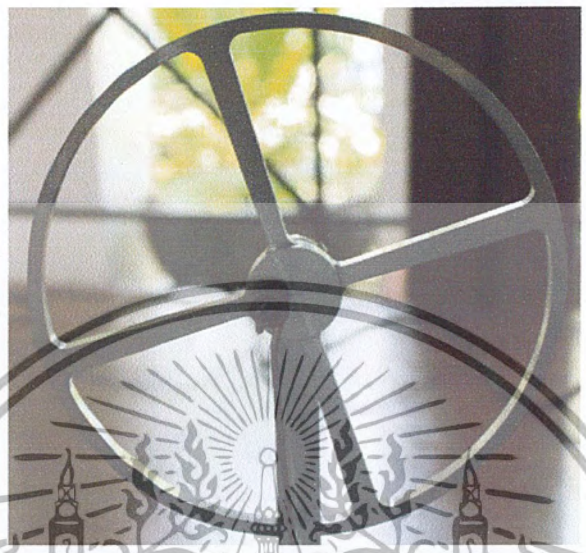
รูปที่ 4.6 แสดงรูปของ Power piston rod

4.1.7 Crank ทำมาจากอลูมิเนียม

รูปที่ 4.7 แสดงรูปของ Crank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 Fly wheel ทำมาจากอลูมิเนียม



รูปที่ 4.8 แสดงรูปของ Fly wheel

4.1.9 Nut

รูปที่ 4.9 แสดงรูปของน๊อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.10 Stirling Engine

รูปที่ 4.10 แสดงรูปของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

4.2 การเลือกใช้วัสดุ

4.2.1 Displacer เลือกใช้ไม้บัลซ่ากับโฟม เนื่องจากเป็น ไม้ที่มีน้ำหนักเบาซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งกับเครื่องยนต์

4.2.2 Displacer core เลือกใช้อลูมิเนียมเนื่องจาก อลูมิเนียมมีน้ำหนักเบาและง่ายในการขึ้นรูป สำหรับวัสดุชิ้นเล็ก

4.2.3 Displacer rod เลือกใช้อลูมิเนียมเส้นเนื่องจาก อลูมิเนียมเส้นสามารถดัดงอได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา

4.2.4 Power piston เลือกใช้หลอดฉีดยาแก้วขนาด 2 ml เนื่องจากหลอดฉีดยามีค่าความเสียดทานน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 Power piston core เลือกใช้กระบอกหลอดฉีดยาแก้วขนาด 2 ml เนื่องจากมีค่าความเสียดทานน้อย

4.2.6 Power piston rod เลือกใช้อลูมิเนียมเส้นเนื่องจาก อลูมิเนียมเส้นสามารถดัดงอได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา

4.2.7 Crank เลือกใช้อลูมิเนียมเนื่องจาก อลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา และง่ายในการขึ้นรูป สำหรับวัสดุชิ้นเล็ก

4.2.8 Fly Wheel เลือกใช้อลูมิเนียมเนื่องจาก มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และขึ้นรูปได้ง่ายสำหรับวัสดุที่มีความละเอียด

4.2.9 Base เลือกใช้อลูมิเนียมเนื่องจาก มีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการขึ้นรูป และนำความร้อนได้ดี

4.2.10 Top plate เลือกใช้อลูมิเนียมเนื่องจากมีน้ำหนักเบา และแข็งแรง

4.2.11 Bearing เลือกใช้ Ball bearing เพราะมีความสามารถในการรับน้ำหนักในแนวแกน และแนวรัศมีได้โดยตรงโดยสัมพันธ์กับความเร็ว ง่ายสำหรับการประกอบและเก็บรักษา

4.2.12 Nut เลือกใช้น๊อตพลาสติก เนื่องจากน๊อตพลาสติกทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีการขึ้นรูป, ผลิตชิ้นส่วน

4.3.1 Displacer ไม้บัลซ่า และโฟม เป็นวัสดุที่อ่อนสามารถตัดขาดได้ง่ายจึง ใช้วิธีขึ้นรูปโดยการใช้คัตเตอร์ หรือกรรไกร

4.3.2 Displacer core ใช้วิธีการขึ้นรูปโดยเครื่องกลึงมือ Milling machine และเก็บผิวหน้าโดยการรีมเมอร์

4.3.3 Power piston ขึ้นรูปโดยตัดหลอดฉีดยาแก้วด้วยการเจีย

4.3.4 Power piston core ขึ้นรูปโดยตัดหลอดฉีดยาแก้วด้วยการเจีย

4.3.5 Crank ใช้วิธีการขึ้นรูปโดยเครื่องกลึงมือ และMilling machine

4.3.6 Fly wheel ใช้วิธีการขึ้นรูปโดยเครื่องกลึงอัตโนมัติ(CNC)

4.3.7 Base ใช้วิธีการขึ้นรูปโดยเครื่องกลึงอัตโนมัติ(CNC) และMilling machine

4.3.8 Top plate ใช้วิธีการขึ้นรูปโดยเครื่องกลึงอัตโนมัติ(CNC) และMilling machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบความต่างอุณหภูมิต่ำสามารถเลือกใช้พลังงานทางเลือกได้หลากหลาย เช่น ความร้อนจากไอน้ำร้อน ความร้อนจากจานรวมแสง หรือแม้แต่ความเย็นจากน้ำแข็งซึ่งทำให้เครื่องยนต์ทำงานในด้านตรงข้ามกับเครื่องยนต์เมื่อได้รับความร้อน เราจะป้อนพลังงานความร้อนให้แก่เครื่องยนต์ในส่วนของฝั่งร้อนเมื่อเวลาผ่านไปอากาศภายในกระบอกสูบจะขยายตัวขึ้น และจะดันดิสเพลสเซอร์ให้เคลื่อนที่ขึ้น และระบบก็จะเข้าสู่วัฏจักรสเตอร์ลิง

5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

5.1.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine)

5.1.2 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

รูปที่ 5.1 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

5.1.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ แบบอินฟราเรด (Infrared Thermometer)

รูปที่ 5.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ แบบอินฟราเรด (Infrared Thermometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 นาฬิกาจับเวลา

รูปที่ 5.3 นาฬิกาจับเวลา

5.1.5 จานรวมแสง (Solar disk)

รูปที่ 5.4 จานรวมแสง (Solar disk)

5.1.6 เตาไฟฟ้า

รูปที่ 5.5 เตาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.7 บีกเกอร์

รูปที่ 5.6 บีกเกอร์

5.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบความต่างอุณหภูมิต่ำนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยแยกตามแหล่งความร้อนที่ให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไว้ 3 แบบดังนี้

5.2.1 วางบนบีกเกอร์น้ำร้อน

5.2.2 วางบนน้ำแข็ง

5.2.3 วางบนจานรวมแสง

ขั้นตอนการทดสอบเครื่องยนต์ มีดังนี้

5.2.1 ตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องมือให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน โดยการตรวจการหล่อลื่นของเครื่องยนต์ การรั่วซึมของอากาศ การตั้งมุม crank disk ว่าทำมุมกัน 90°

5.2.2 เมื่อทำการตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องมือเรียบร้อยแล้ว ก็เริ่มทำการทดลองโดยการเริ่มให้ความร้อนแก่ดิสเพลสเซอร์ที่ส่วนร้อน

5.2.3 วัดอุณหภูมิทางด้าน heating และทางด้าน cooling ลงในตารางทุกๆ 30 วินาที

5.2.4 วัดความเร็วรอบ

5.2.5 ทดสอบเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 และ 4 โดยเปลี่ยนแหล่งความร้อนที่ให้แก่เครื่องยนต์และวัดอุณหภูมิกับความเร็วรอบ แล้วทำการบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมม่า ชนิดความต่างอุณหภูมิต่ำนั้น สามารถวัดได้เฉพาะค่า อุณหภูมิด้านร้อน ด้านเย็น และค่าความเร็วรอบ เนื่องจากเครื่องยนต์มีขนาดเล็กมากจึงทำให้การวัดค่าทอร์กนั้นไม่สามารถทำได้ แต่เราสามารถหาค่าทอร์กได้จากทางทฤษฎี เราสามารถนำค่า ทอร์กไปคำนวณหากำลัง และประสิทธิภาพ ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้

1. ทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อน

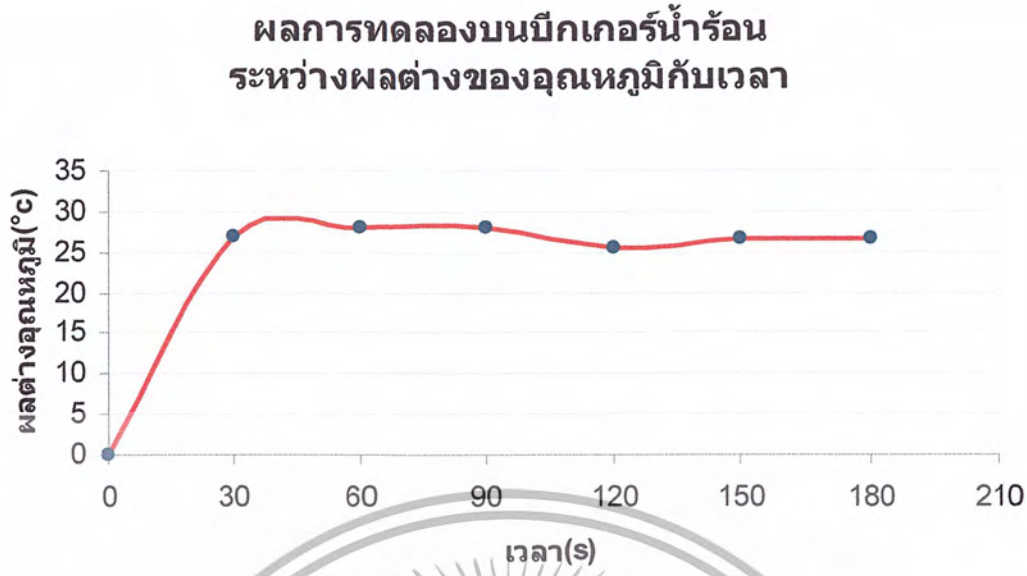
รูปที่ 5.7 แสดงรูปของการทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อน

ตารางการทดลอง

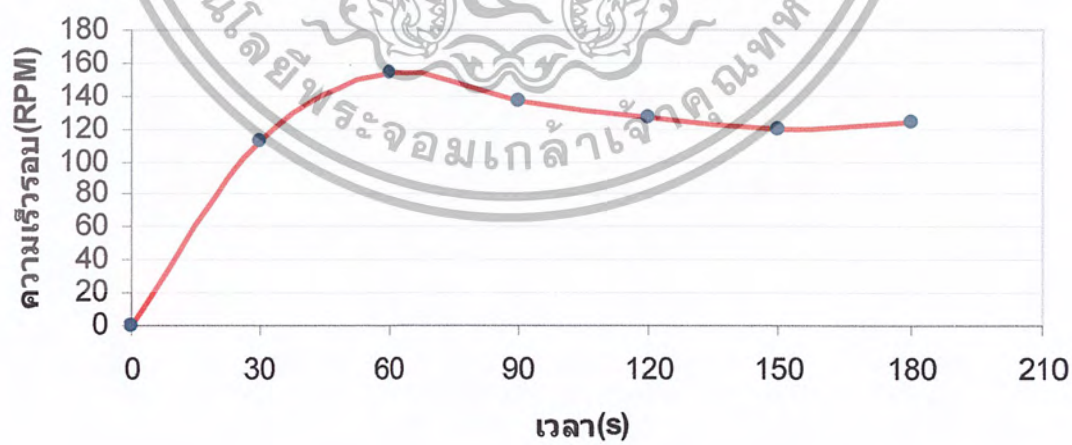
Time(s)	TH(°c)	TL(°c)	RPM
0	28.5	28.5	0
30	56.33	28.33	112.67
60	58.16	29	154.67
90	54.66	28.16	138.25
120	57.83	31	126.52
150	57.66	31.16	119.13
180	55.83	29.33	123.18

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 กราฟผลการทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อนระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลา



รูปที่ 5.9 กราฟผลการทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อนระหว่างความเร็วรอบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทดลองบนน้ำแข็ง

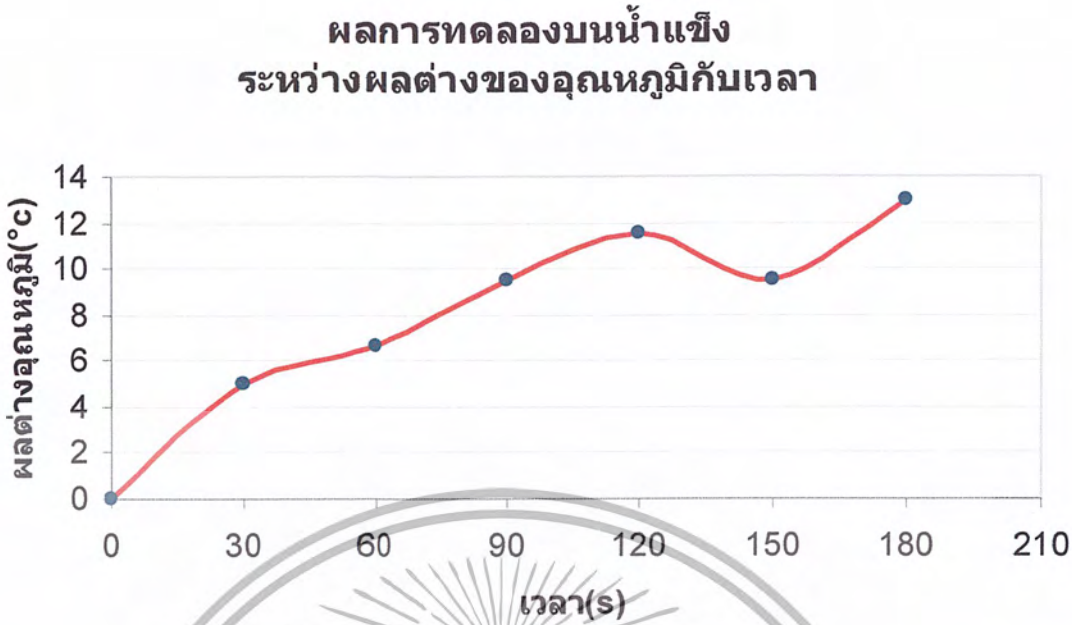
รูปที่ 5.10 แสดงรูปของการทดลองบนน้ำแข็ง

ตารางการทดลอง

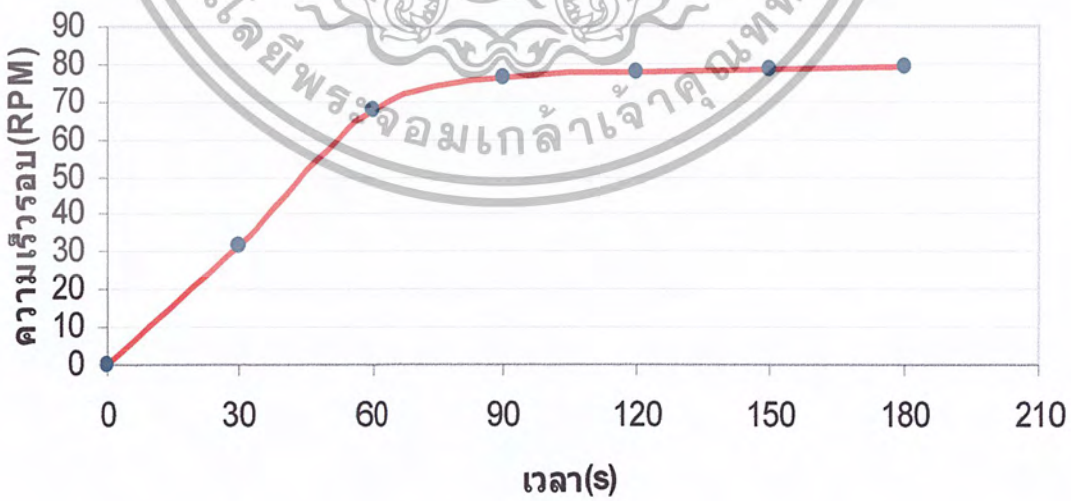
Time(s)	TH(°c)	TL(°c)	RPM
0	30.66	30.66	0
30	28.30	23.33	31.83
60	28.33	21.66	67.83
90	27.66	18.16	76.25
120	27.66	16.16	77.33
150	27.66	15.66	78
180	27.33	14.33	79.41

ตารางที่ 5.2 ตารางผลการทดลองบนน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 กราฟผลการทดลองบนน้ำแข็งระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลา



รูปที่ 5.12 กราฟผลการทดลองบนน้ำแข็งระหว่างความเร็วรอบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดลองบนจานรวมแสง

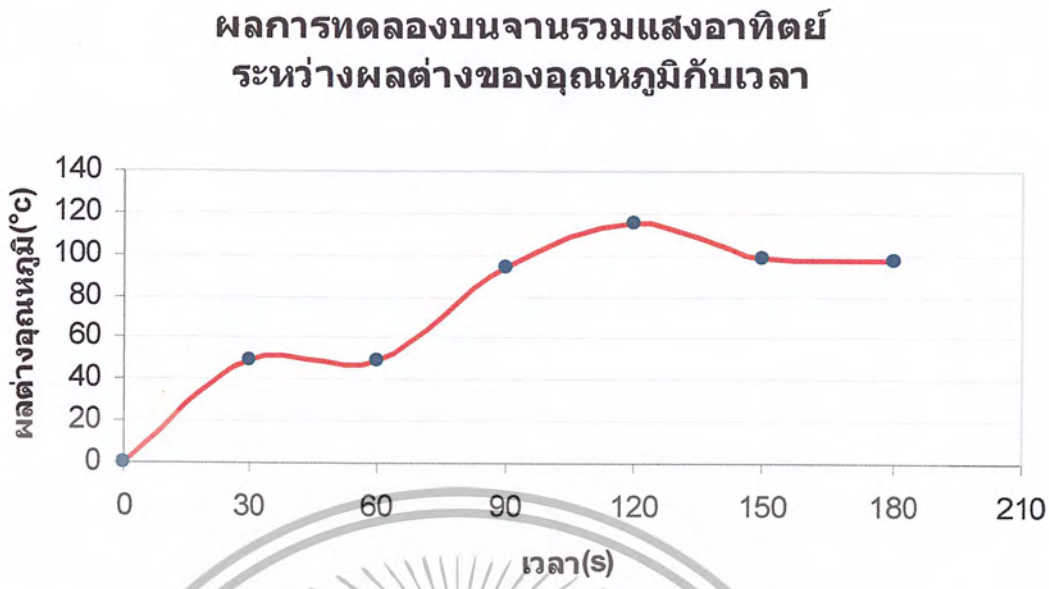
รูปที่ 5.13 แสดงรูปของการทดลองบนจานรวมแสง

ตารางการทดลอง

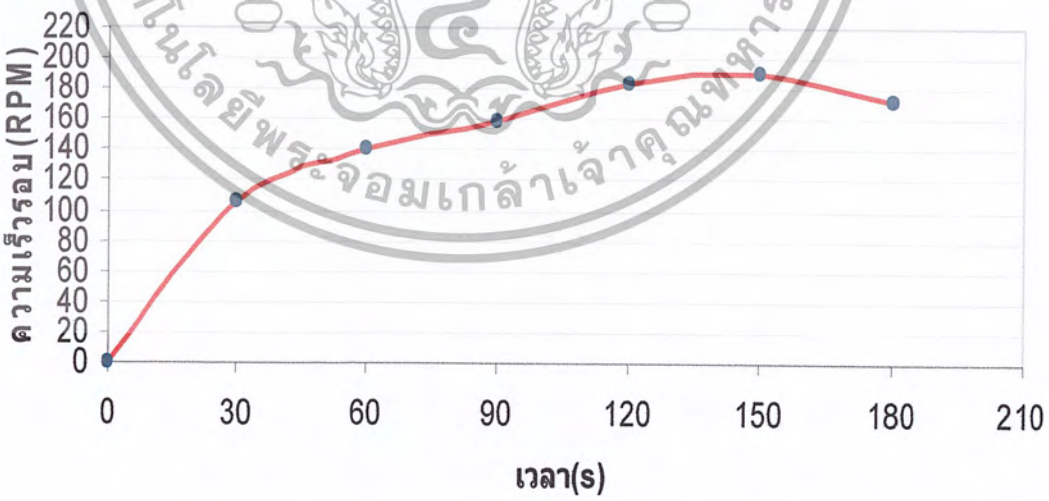
Time(s)	TH(°c)	TL(°c)	RPM
0	34	34	0
30	128	33	87.5
60	113	37	115.75
90	186	38	126.25
120	187	36	156.75
150	168	39	164.75
180	198	33	195

ตารางที่ 5.3 ตารางผลการทดลองบนจานรวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 กราฟผลการทดลองบนจานรวมแสงอาทิตย์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิกับเวลา



รูปที่ 5.15 กราฟผลการทดลองบนจานรวมแสงอาทิตย์ระหว่างความเร็วรอบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผล

การทดลองบนบีกเกอร์น้ำร้อนเครื่องยนต์สามารถเริ่มทำงานได้ที่เวลา 2 วินาที เมื่อความต่างอุณหภูมิเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านร้อน 49 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านเย็น 29 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบเริ่มต้น 65 รอบต่อนาที

การทดลองบนน้ำแข็งเครื่องยนต์สามารถเริ่มทำงานได้ที่เวลา 15 วินาที เมื่อความต่างอุณหภูมิเท่ากับ 5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านร้อน 28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านเย็น 23 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบเริ่มต้น 32 รอบต่อนาที

การทดลองบนจานรวมแสงเครื่องยนต์สามารถเริ่มทำงานได้ที่เวลา 10 วินาที เมื่อความต่างอุณหภูมิเท่ากับ 95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านร้อน 128 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านเย็น 33 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบเริ่มต้น 87 รอบต่อนาที

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานโดยไม่มีภาระเครื่องยนต์สามารถทำความเร็วรอบสูงสุดที่ 308 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิด้านร้อน 80 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิด้านเย็น 1 องศาเซลเซียส กำลังสูงสุด 1.01×10^{-4} วัตต์ ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด 22.37 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะเปลี่ยนแปลงตามความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยจากผลการทดลองเมื่ออุณหภูมิทั้งสองด้านแตกต่างกันมากจะทำให้ความเร็วรอบ ประสิทธิภาพทางความร้อน และกำลังเพิ่มขึ้น

จากการทดลอง กำลัง และประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่าไม่มาก เนื่องจากเกิดการสูญเสียความร้อนที่ให้กับระบบ และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผล วิจารณ์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเครื่องยนต์จะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิแตกต่างระหว่างด้าน heating และด้าน cooling ประมาณ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้น ความเร็วรอบงาน และกำลังก็จะสูงขึ้นด้วย เครื่องยนต์นี้สามารถที่จะรับแหล่งความร้อนได้หลากหลาย รวมทั้งยังสามารถทำงานด้วยวัฏจักรผันกลับได้อีกด้วย

สรุปผล

1. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่แบบความต่างอุณหภูมิต่ำ เครื่องยนต์เริ่มทำงานเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ 5-95 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบระหว่าง 31-87 รอบ/นาที ที่สภาวะความดันบรรยากาศ

2. เมื่อความต่างอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเร็วรอบและกำลังเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

3. จากการทดลองที่แหล่งพลังงานความร้อนแตกต่างกันจะพบว่า

- การวางบนบีกเกอร์จะเป็นการพาความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยอาศัยตัวกลางที่ได้รับความร้อนแล้วเคลื่อนที่เอาความร้อนนั้นไปด้วย ในที่นี้มีอากาศเป็นสื่อกลางในการเคลื่อนที่
- การวางบนน้ำแข็งจะเป็นการนำความร้อนออกจากเครื่องยนต์ คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำ
- การวางบนจานรวมแสงจะเป็นการแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนออกไปโดยรอบ ไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ ทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ควรปรับปรุง

1. หาวัสดุที่สามารถทนความร้อนและเป็นฉนวนได้ดีกว่านี้
2. ป้องกันการรั่วของอากาศเพื่อให้ความดันภายในคงที่
3. ลดความฝืดระหว่าง power piston cylinder กับ power piston และ displacer core กับ displacer rod

ข้อเสนอแนะ

1. สารทำงานที่ใช้อยู่เป็นอากาศซึ่งหาง่ายและทำงานได้ในระดับปานกลาง การพัฒนานั้นสามารถเลือกใช้ ไฮโดรเจนหรือฮีเลียม เพราะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีขึ้นแต่ทั้งสองมีราคาสูง
2. การสูญเสียพลังงานในเครื่องยนต์ พลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์จริงจะได้ค่าน้อยกว่าตามทฤษฎีที่ออกแบบ จึงควรระมัดระวังในเรื่องของการรั่วไหลของอากาศ ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาที่สำคัญมากสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทุกประเภท จึงควรมีการออกแบบให้ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่ประกอบกันมีระยะช่องว่าง ให้น้อยที่สุดเพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศหรืออาจใช้ประเก็นช่วยในการกั้นระหว่างการประกอบชิ้นส่วนสองชิ้นต่อกัน แต่ประสิทธิภาพอาจไม่ดีนัก ทางที่ดีควรออกแบบให้ชิ้นส่วนสวมกันได้พอดีหรือเป็นสลักเกลียวในและเกลียวนอก
3. ต้องตั้งจุดศูนย์ถ่วงของเครื่องยนต์ให้ดีเพราะจะช่วยทำให้เครื่องไม่สั่น และลดการเสียหายจากการเสียดสีภายในเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] G.Walker , STIRLING ENGINE , Oxford University Press , New York , 1980

[2] Kongtragool B ,A Performance Evaluation of a Solar-Powered Low Temperature Differrential Stirling Egine, 2007

[3] เบญจพล โตโหมด, พรพรรณ เชี่ยวชาญกิจการ, ภาณุวัฒน์ พรวันชาติ, "การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กแบบแกมม่า", ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ , พ.ศ.2552

[4]โศภนิศ พิฑูรมานิต, วัลยา วงษาหาร, เรืองฤทธิ์ จิตรโท, "การนำหลักการพื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาใช้เพื่อเป็นทางเลือกในการทดแทนพลังงาน", ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกกรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, พ.ศ.2548

[5] เฉลิมศักดิ์ ซื่อสัตย์, ธนภูมิ จันทเขต, วัชระ ใยผุย "การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ", ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ , นครนายก , พ.ศ. 2543

[6] http://www.logicsys.com.tw/ltdeng.htm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างการคำนวณค่าในตารางราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างผลการคำนวณค่าในตาราง (ตารางที่ 3.1 วางบนบีกเกอร์น้ำร้อน วินาทีที่ 60)

T_H = 58.16 °c = 331.16 K

T_L = 29 °c = 302 K

n = 154.67 rpm

ความร้อนที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อม $Q_{in} = M_a R T_H \ln(V_4/V_3)$

$= (7.98\times10^{-5})(0.287)(331.16)\ln(1.011)$

$= 8.29 \times 10^{-5}$ J

ความร้อนที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม $Q_{out} = M_a R T_L \ln(V_1/V_2)$

$= (7.98\times10^{-5})(0.287)(302)\ln(1.011)$

$= 7.56\times10^{-5}$ J

งานที่ได้ $W_{net} = Q_{in} - Q_{out}$

$= 0.73 \times 10^{-5}$ J

กำลังที่ได้ $P = W \times n$

$= (0.73\times10^{-5})(154.67/60)$

$= 1.88 \times 10^{-5}$ W

ประสิทธิภาพทางความร้อน $= 1 - (T_L/T_H)$

$= 1 - (302/331.16)$

$= 0.088 = 8.8\ \%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แสดงภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

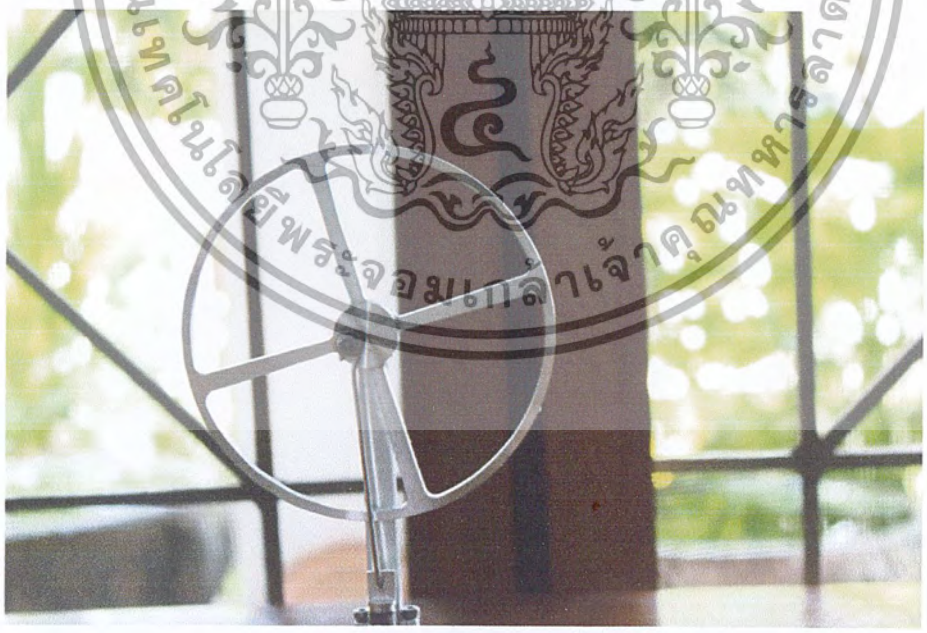
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.1 แสดงรูปด้านหน้าของเครื่องยนต์

รูปที่ ข.2 แสดงรูปด้านหลังของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 แสดงรูปด้านข้างของเครื่องยนต์



รูปที่ ข.4 แสดงรูปล้อช่วยแรงของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.5 แสดงรูปของลูกสูบกำลัง (Power piston) ของเครื่องยนต์

รูปที่ ข.6 แสดงรูปของดิสเพลสเซอร์ (Displacer)

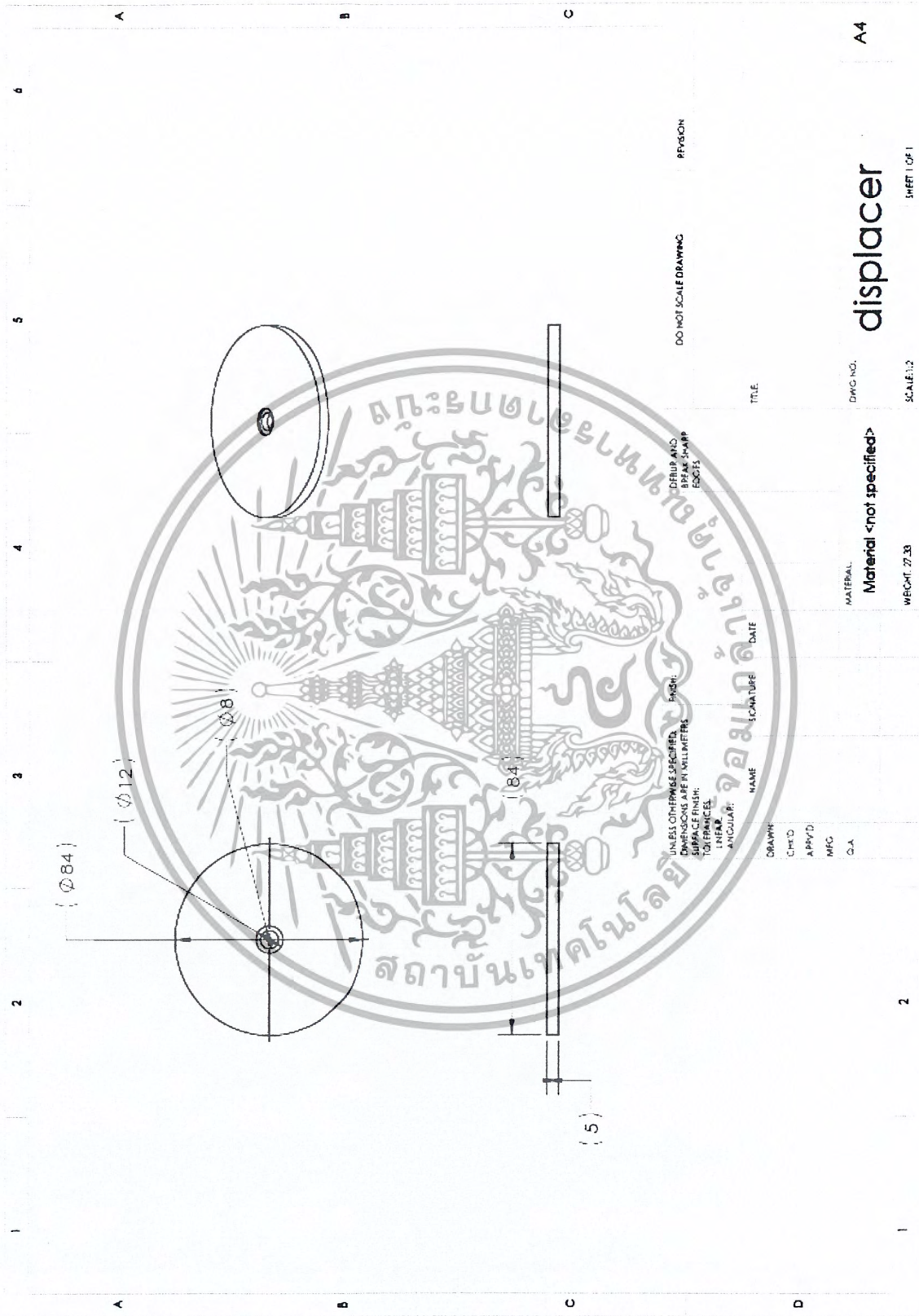
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แบบเขียนและขนาดส่วนประกอบต่างๆของเครื่องยนต์

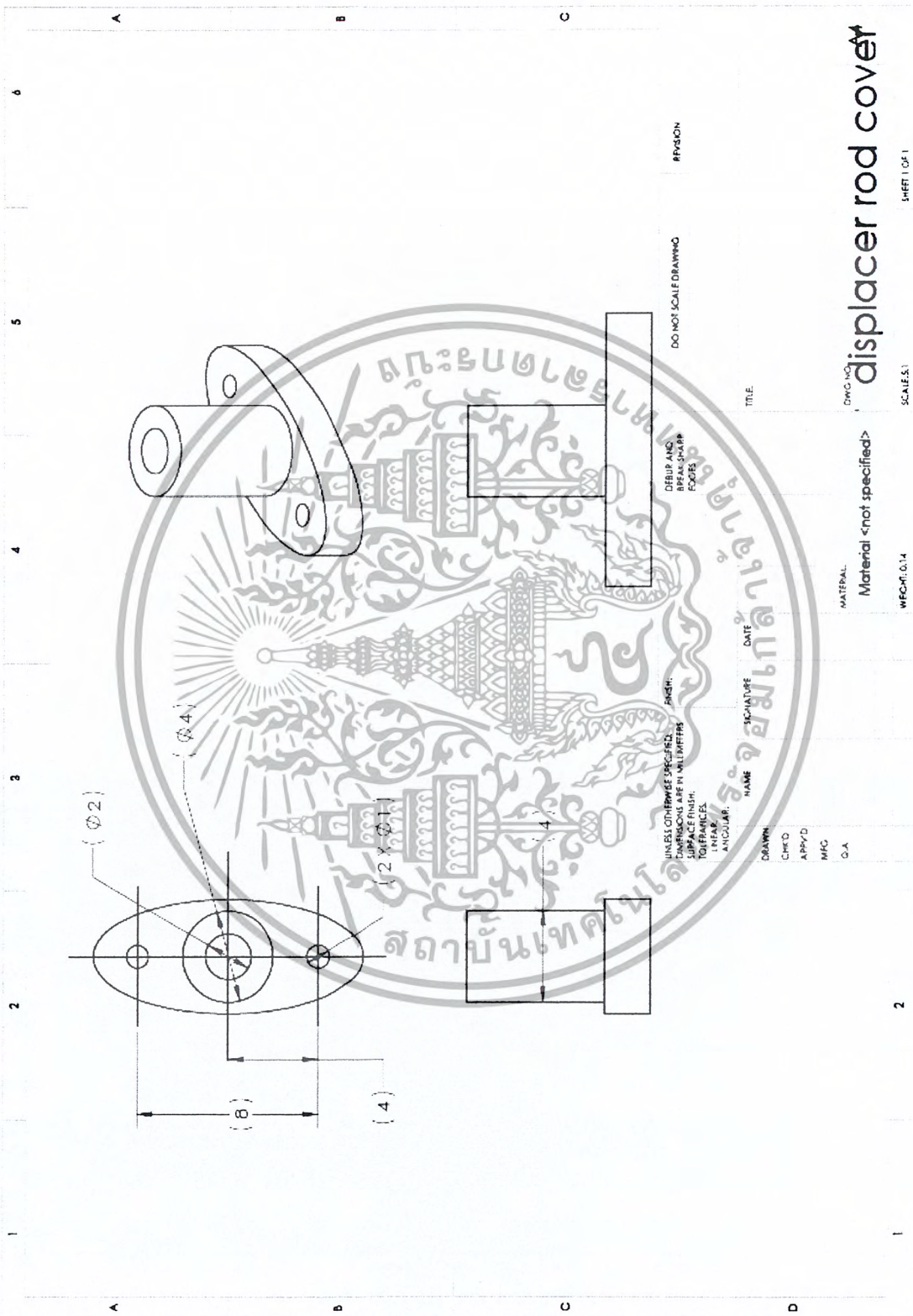
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Displacer



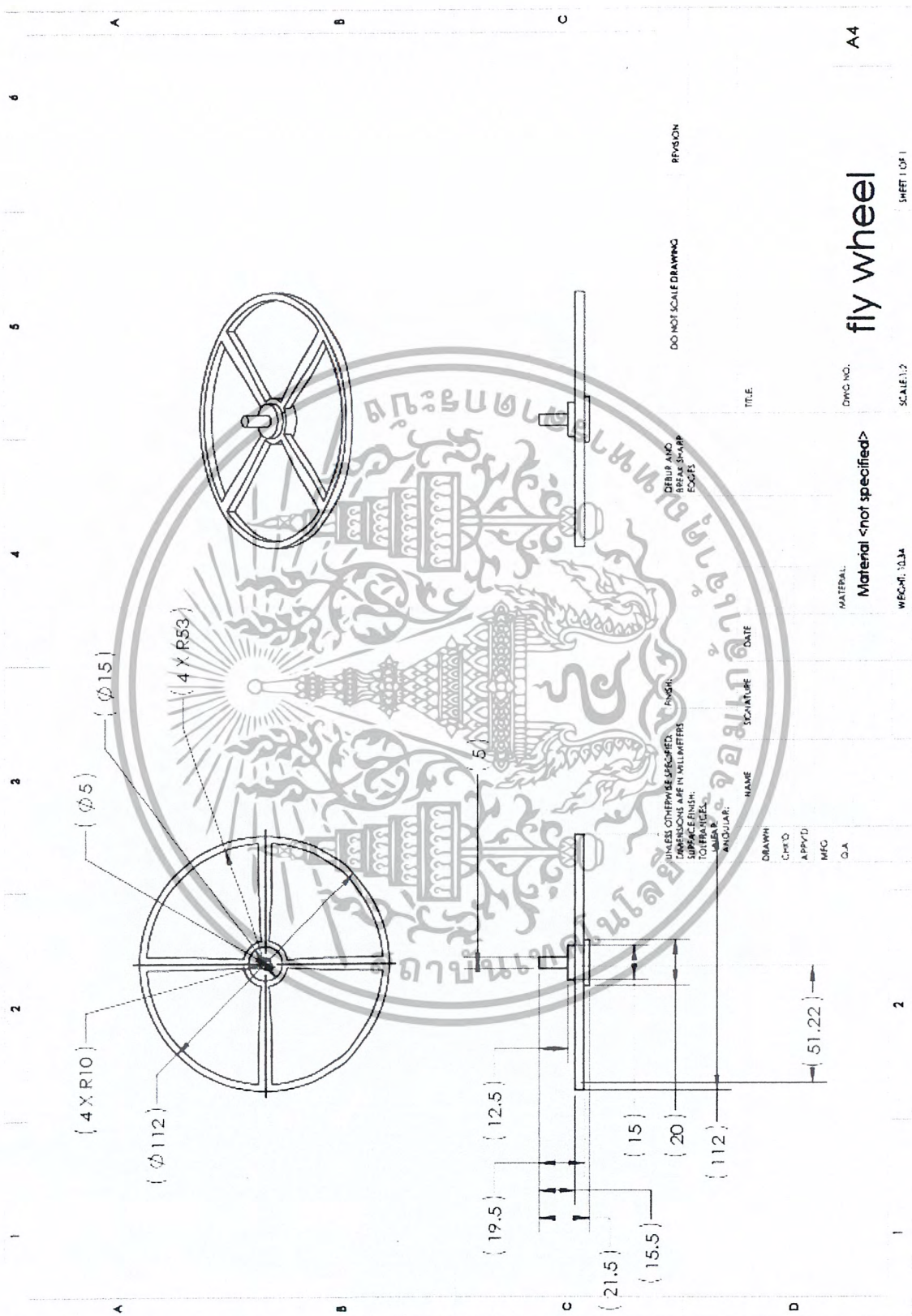
รูปที่ ค.1 แบบเขียนและขนาดของ Displacer

Displacer rod cover



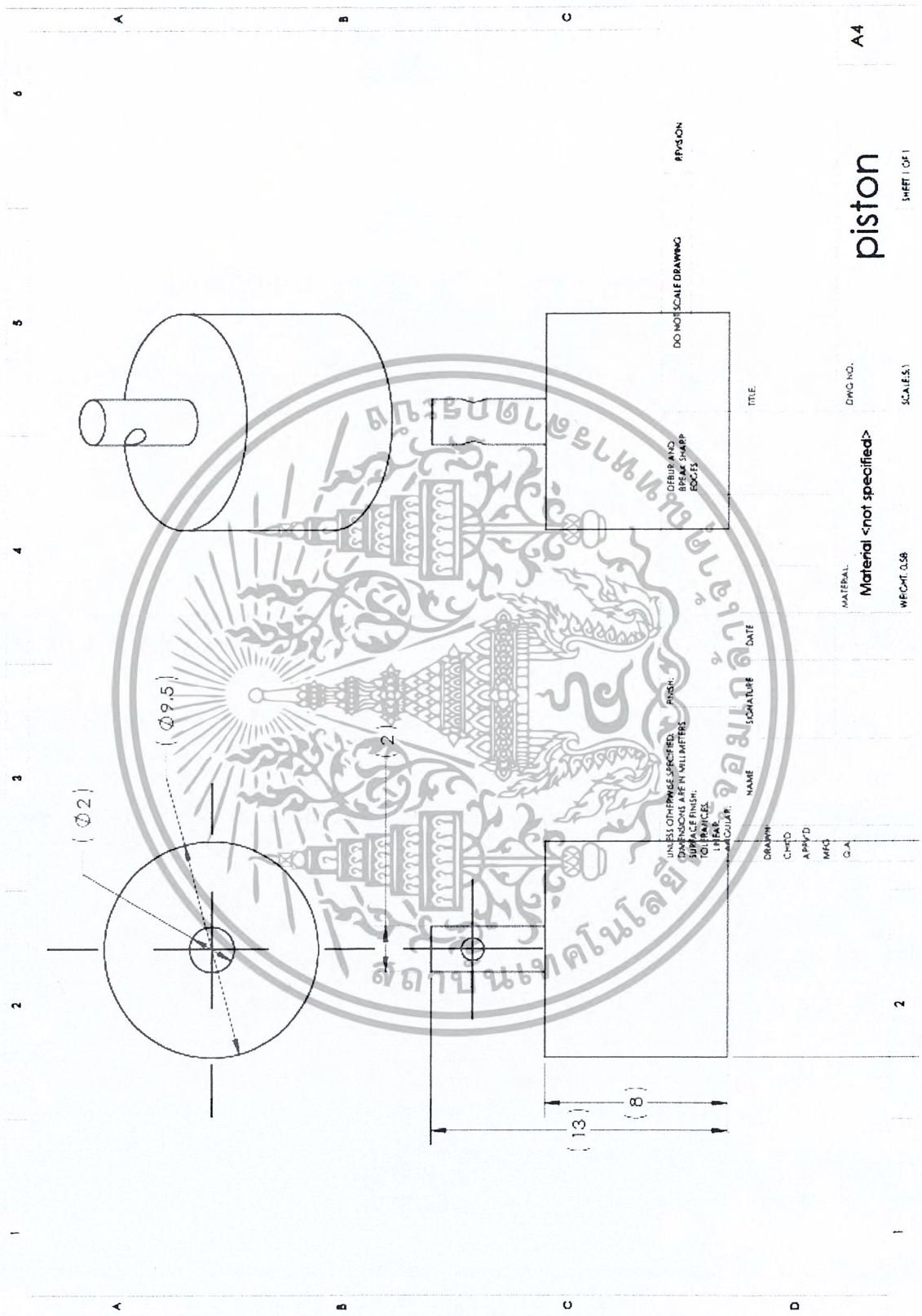
รูปที่ ค.2 แบบเขียนและขนาดของ Displacer rod cover

Fly Wheel



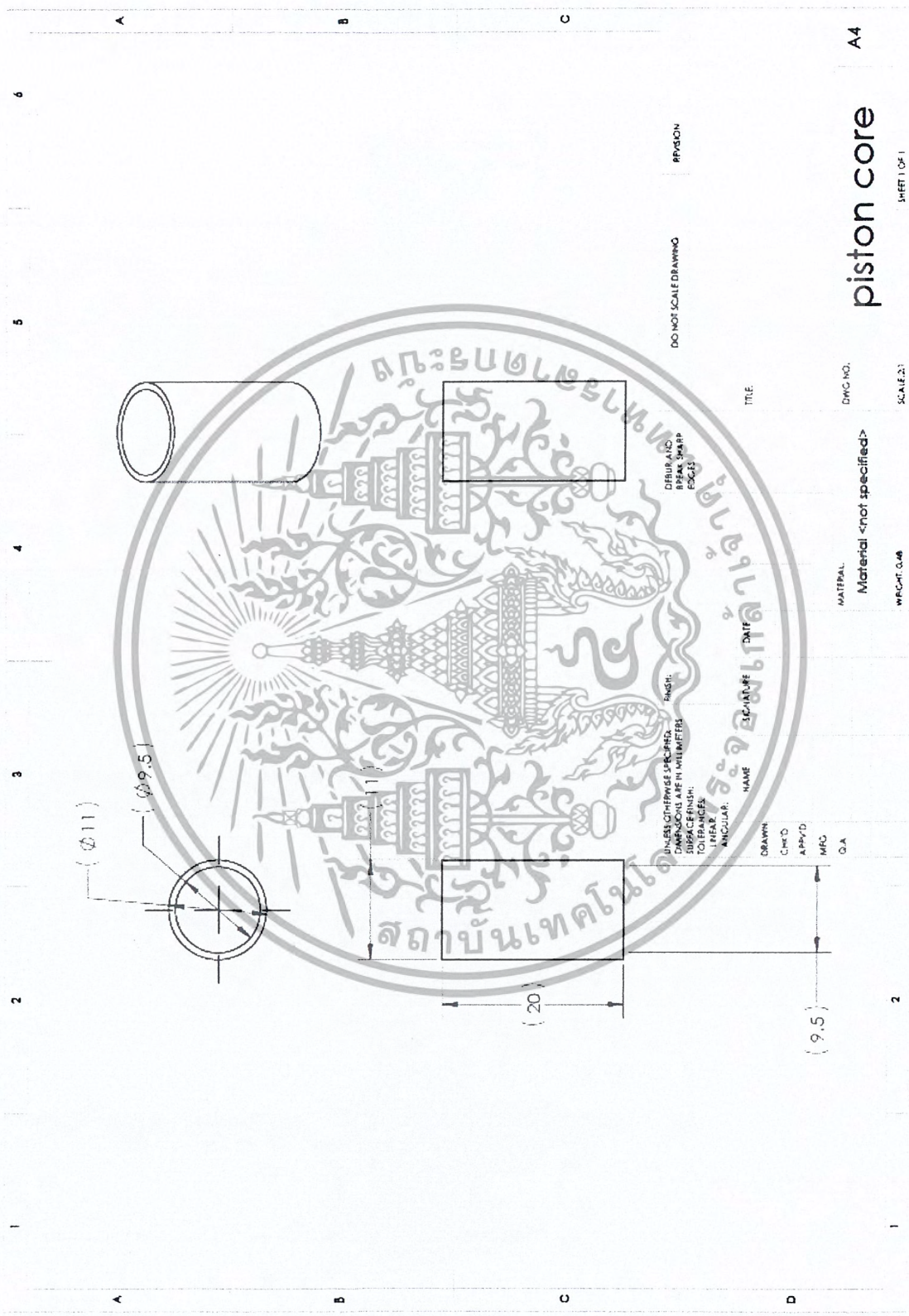
รูปที่ ค.3 แบบเขียนและขนาดของ Fly wheel

Piston



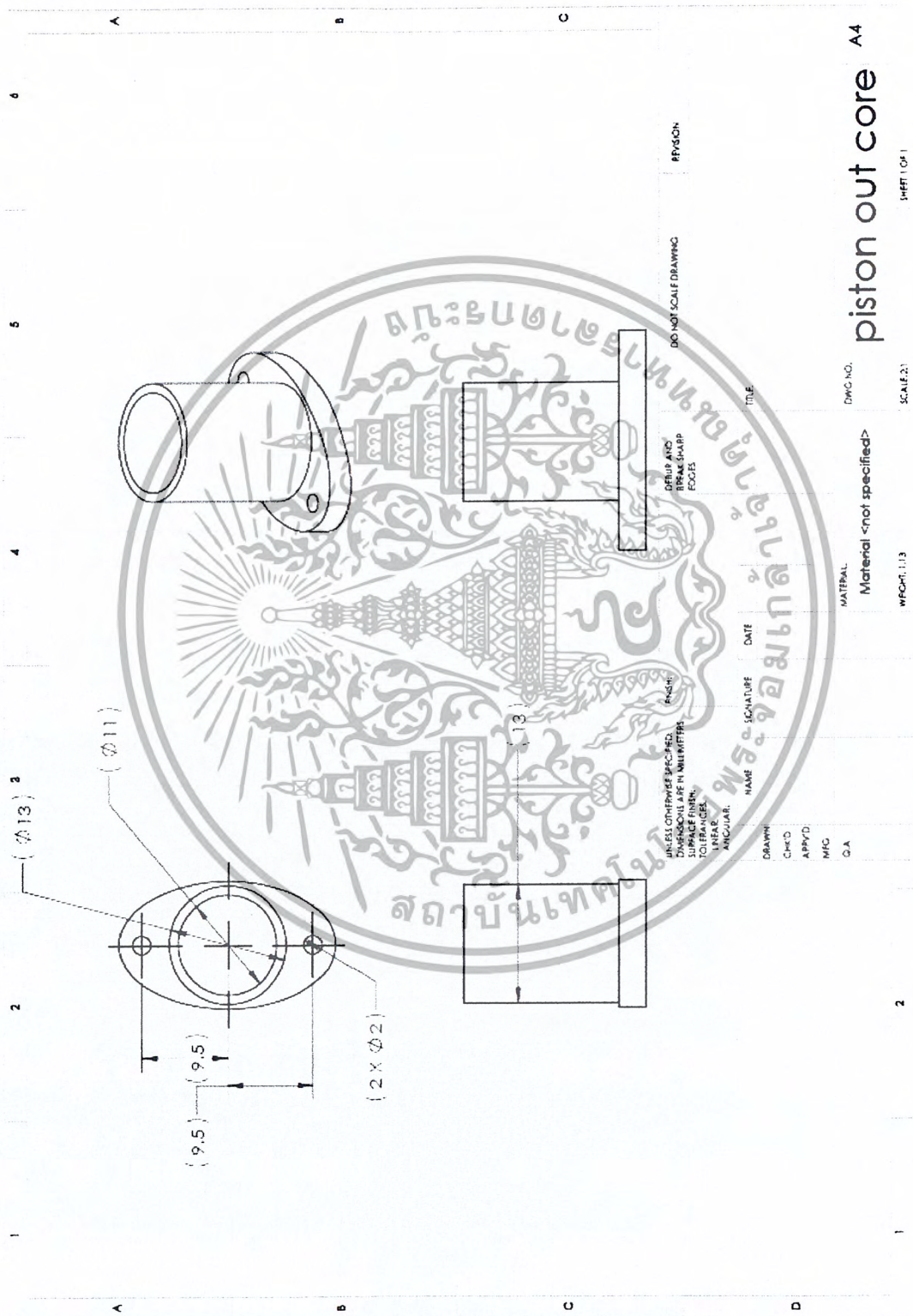
รูปที่ ค.4 แบบเขียนและขนาดของ Piston

Piston core



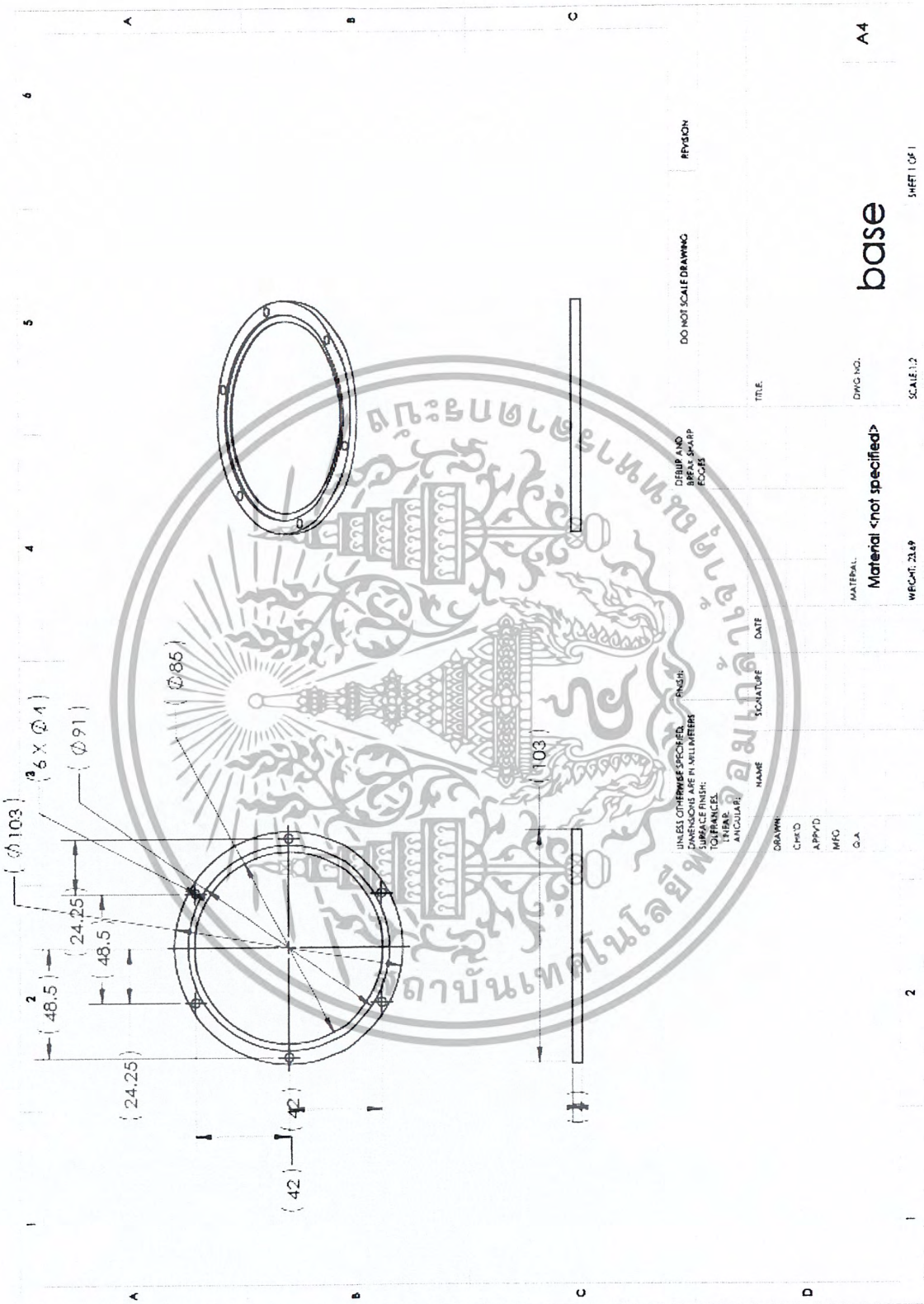
รูปที่ ค.5 แบบเขียนและขนาดของ Piston core

Piston out core



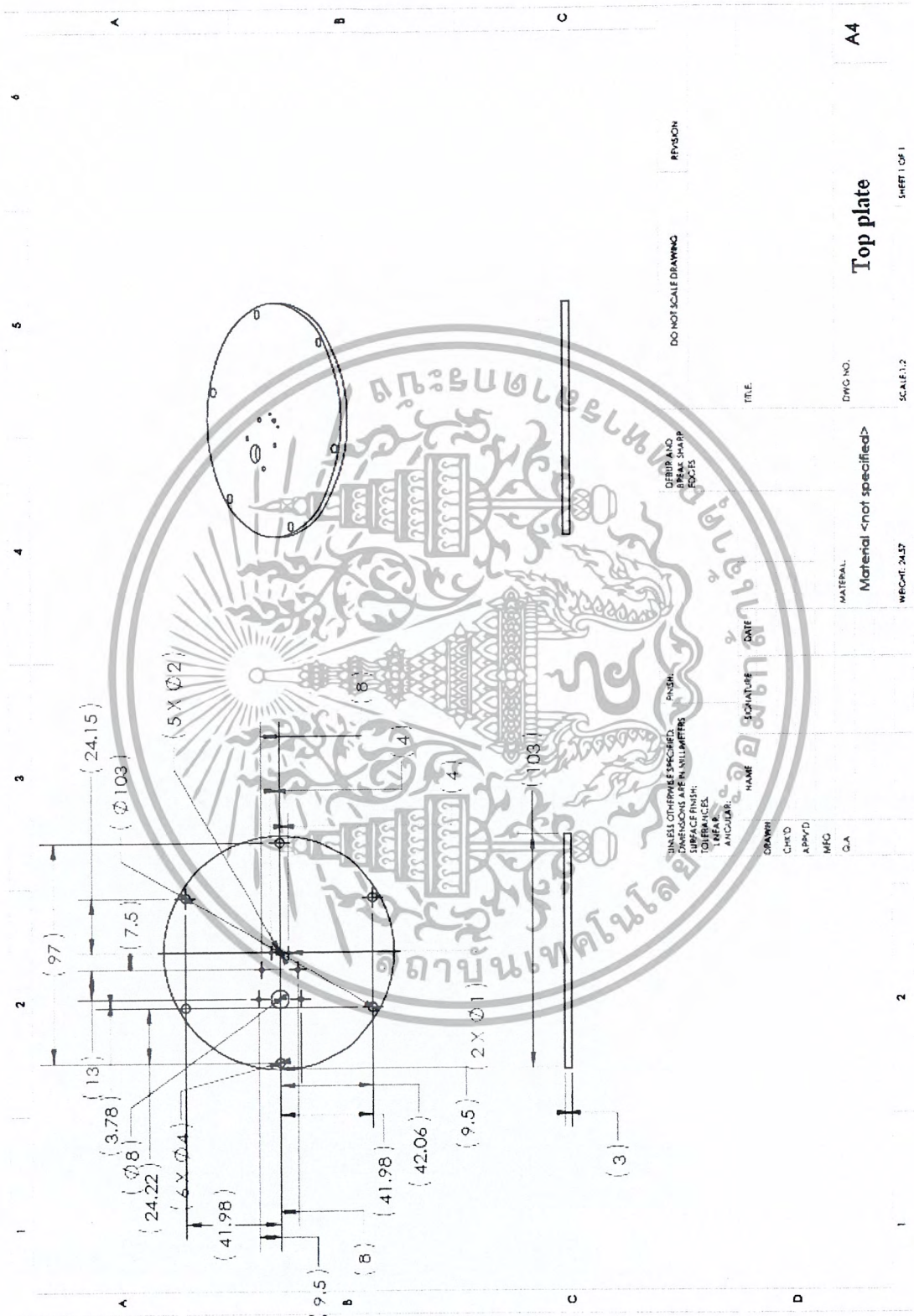
รูปที่ ค.6 แบบเขียนและขนาดของ Piston out core

Base



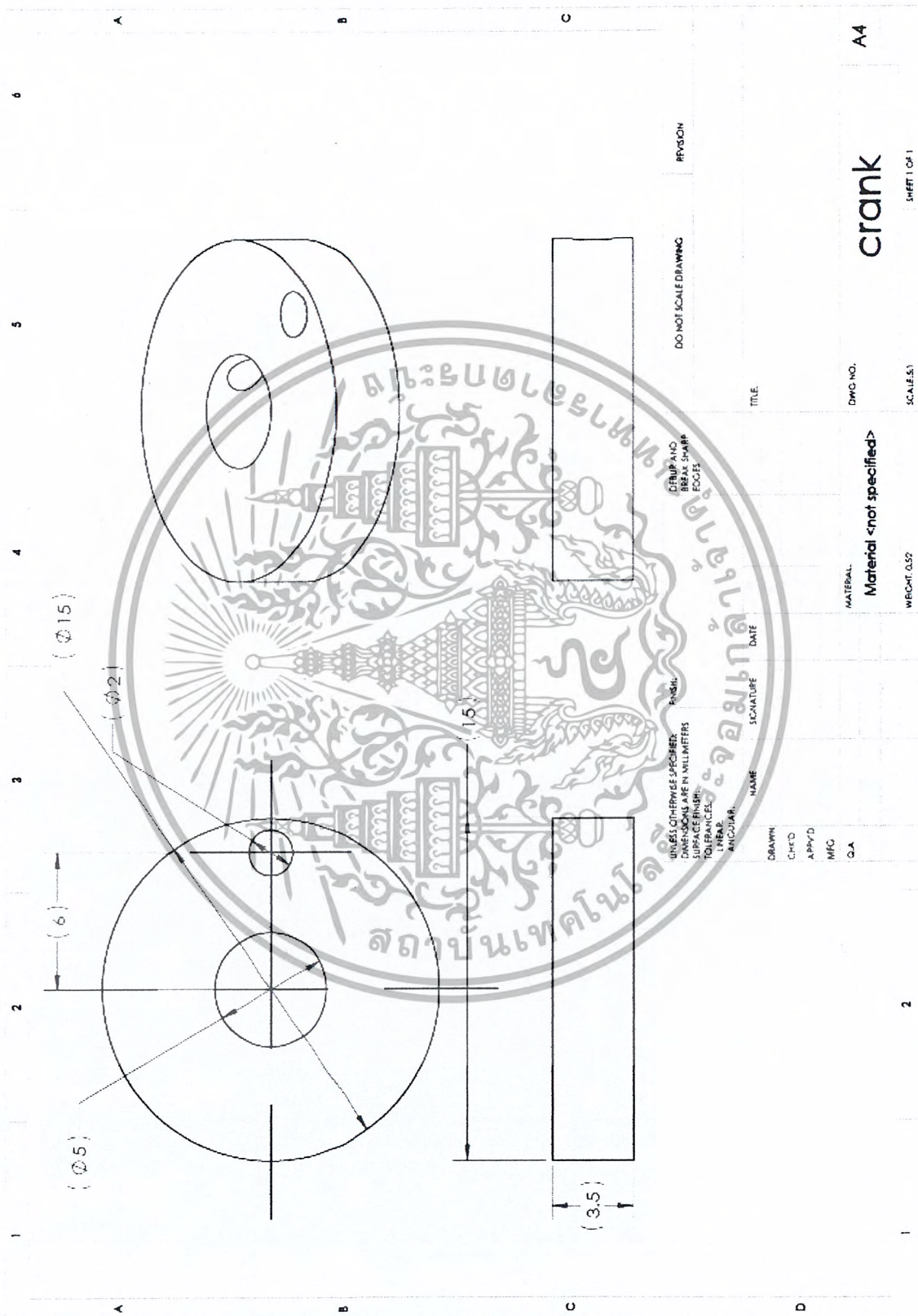
รูปที่ ค.7 แบบเขียนและขนาดของ Base

Top plate



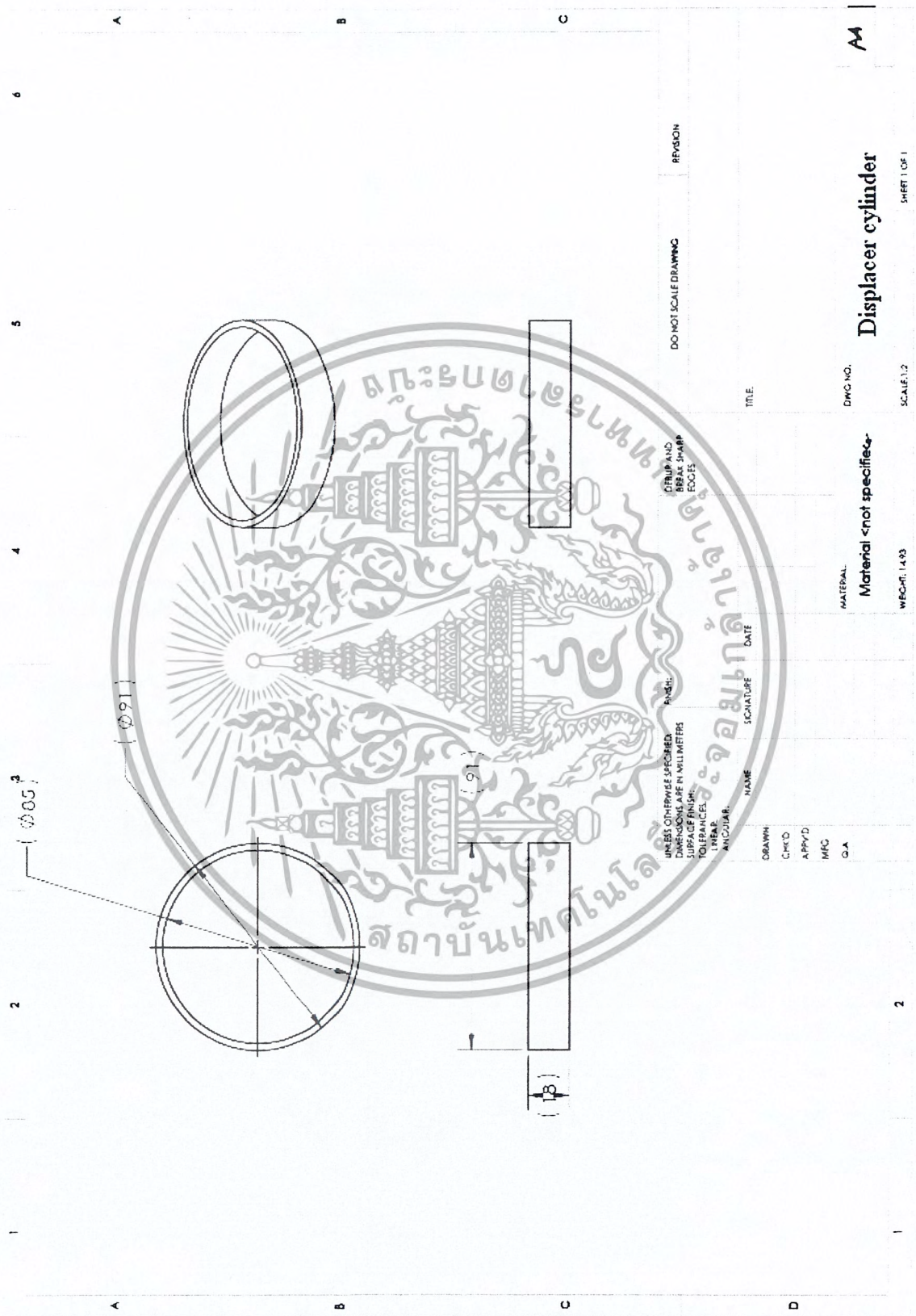
รูปที่ ค.8 แบบเขียนและขนาดของ Top plate

Crank



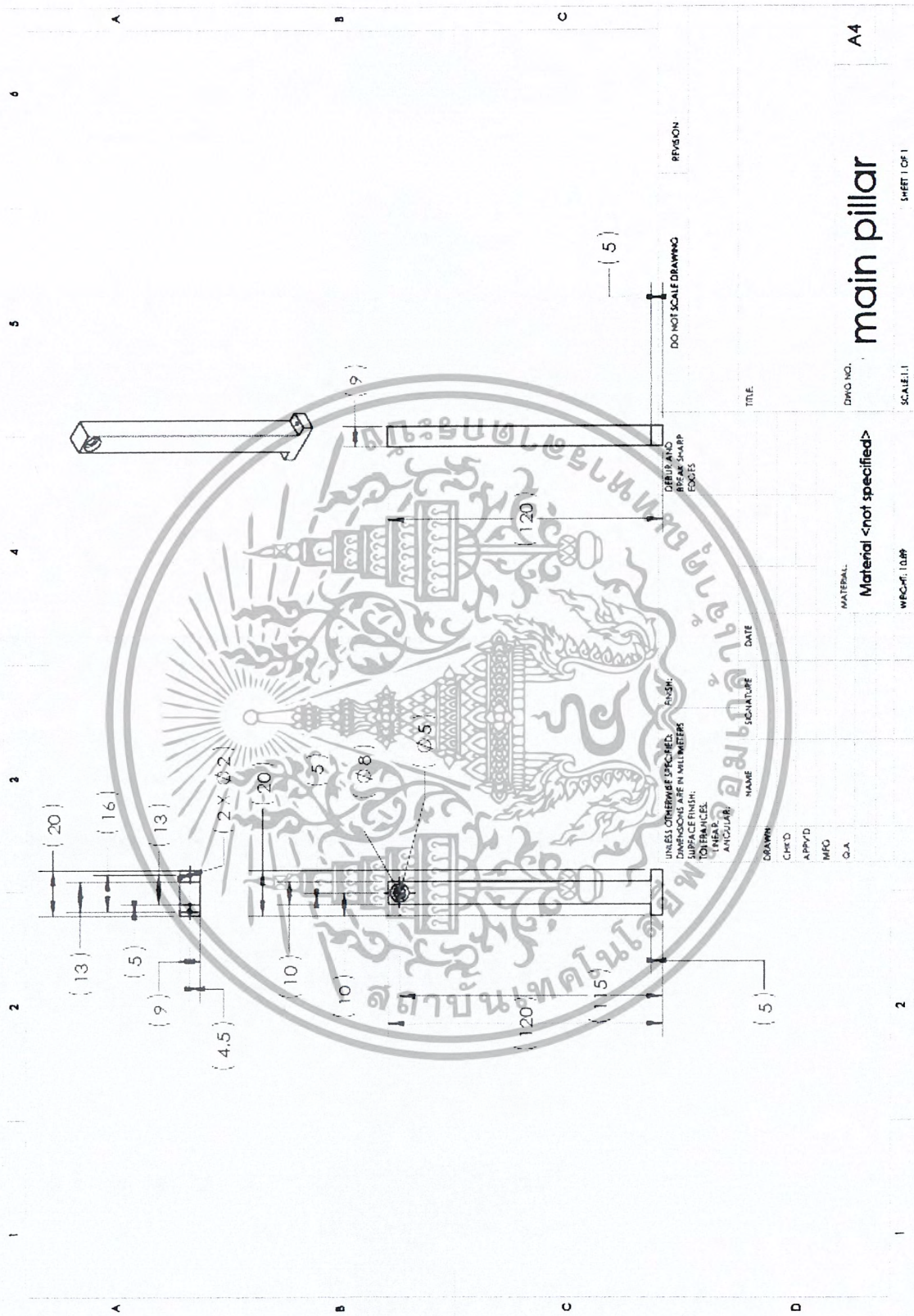
รูปที่ ค.9 แบบเขียนและขนาดของ Crank

Displacer cylinder



รูปที่ ค.10 แบบเขียนและขนาดของ Displacer cylinder

Main pillar



รูปที่ ค.11 แบบเขียนและขนาดของ Main pillar