สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา

(DESIGN AND BUILD A BETA-TYPE STIRLING ENGINE)

T119360

โดย

นายพิทยา ชัยสวัสดิ์

นายยศวริศ ศุภประภาวณิชย์

นายอมร ชาวอบทม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุตาภัทร แดวันเบาเม็ง

b.12266126
i.

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.119360
วัน,เดือน,ปี.- 7 ส.ค. 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา

DESIGN AND BUILD A BETA-TYPE STIRLING ENGINE

ผู้จัดทำ

1. นายพิทยา ชัยสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 50011097
2. นายยศวริศ ศุภประภาวณิชย์ รหัสประจำตัว 50011247
3. นายอมร ชาวอบทม รหัสประจำตัว 50011874

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ศุตาภัทร แดว้นเขาเม็ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I

การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา

นายพิทยา ชัยสวัสดิ์ 50011097

นายยศวริศ ศุภประภาวณิชย์ 50011247

นายอมร ชาวอบทม 50011874

ผศ.ดร. สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้อากาศเป็นสารทำงานโดยเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่จะสร้างขึ้นเป็นเครื่องยนต์ชนิดเบตา การผลิตอาศัยวัสดุและเทคโนโลยีที่มีอยู่ในท้องถิ่นเป็นหลัก ซึ่งเครื่องยนต์มีขนาด 110 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบกำลัง 55.8 มิลลิเมตร ช่วงชัก 46.2 มิลลิเมตร และขนาดกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ 53.1 มิลลิเมตร และช่วงชัก 46.2 มิลลิเมตร การทดลองทำโดยการใช้แหล่งพลังงานความร้อนที่เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิทำงานที่สภาวะสมดุล เพื่อวัดหาความเร็วรอบ กำลัง แรงบิด และประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND BUILD A BETA-TYPE STIRLING ENGINE

Pittaya	Chaisawad	50011097
Yoswaris	Suphaprapawanich	50011247
Amorn	Chawobtom	50011874
Assis.Prof.Dr. Sutapat	Kwankaomeng	Advisor

Abstract

This project is aimed to design build and test of a beta-type Stirling engine with air as a working fluid. The engine is a Beta-type configuration with rhombic drive. The prototype was fabricated from available local materials. The beta-type Stirling engine has swept volume of 110 cc. The diameter and stroke of the power piston are 55.8 mm and 46.2 mm, respectively. The diameter and stroke of the displacer are 53.1 mm and 46.2 mm, respectively. The experiments were set up and conducted to investigate the engine speed, torque, power and thermal efficiency at variation of the temperature of heat source till the heat balance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณอาจารย์บรรเทิง ศิลป์สกุลสุข จากมหาวิทยาลัยสยาม ที่ช่วยให้คำแนะนำดีๆ และแนวคิดต่างๆในการทำงานครั้งนี้ รวมไปถึงรุ่นพี่นักศึกษาป.โทที่ห้องทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพี่เอฟ ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆเพื่อให้งานดำเนินไปอย่างราบรื่น

ขอขอบคุณบริษัท Part-rich และพี่ๆที่บริษัททุกคน โครงงานนี้จะไม่สำเร็จได้ถ้าไม่มีความช่วยเหลือจากที่แห่งนี้ ทั้งเรื่องการจัดหาวัสดุที่หายากๆ และช่วยทำชิ้นงานยากๆ ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

และสุดท้ายต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาและเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ซึ่งข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสูงประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายพิทยา ชัยสวัสดิ์
นายยศวริศ ศุภประภาวณิชย์
นายอมร ชาวอบทม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
สัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลักษณะของเครื่องยนต์	4
2.2 หลักการทำงานทั่วไปของเครื่องยนต์	6
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.4 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	15
2.5 หลักในการคำนวณและออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	17
2.6 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา	19
บทที่ 3 การคำนวณการเคลื่อนที่ภายในเครื่องยนต์	
3.1 การคำนวนระยะชัก	22
3.2 การคำนวณตำแหน่งและปริมาตรภายในกระบอกสูบ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การออกแบบและกำหนดขนาดของเครื่องยนต์

4.1 เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องยนต์ 26

4.2 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ 28

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดสอบหาแรงบิด (Torque) ด้วยชุดขดลวดสปริง 31

5.2 ขั้นตอนการทดลอง 33

บทที่ 6 สรุปโครงงานและข้อเสนอแนะ 37

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 39

ภาคผนวก ข 57

บรรณานุกรม 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1.1 ตารางแสดงเงื่อนไขในการออกแบบเครื่องยนต์	25
4.1.2 ตารางจำเพาะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ออกแบบ	32
5.1 ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิและความเร็วรอบของเครื่องยนต์	33
5.2 ตารางแสดงผลที่ได้จากการทดลองหาค่าแรงจาตาชั่งสปริง กำลังและแรงบิดที่ได้จากการคำนวณ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา	4
2.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิด เบตา	5
2.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา	5
2.4 แสดงการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงาน และมีการคายความร้อนเกิดขึ้น	11
2.5 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ PV ของกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่	13
2.6 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ PV ของกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงที่	13
2.7 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ PV ของกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่	14
2.8 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ PV ของกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่	14
2.9 ขั้นตอนที่ 1 ของการทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา	19
2.10 ขั้นตอนที่ 2 ของการทำงาน ในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา	19
2.11 ขั้นตอนที่ 3 ของการทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา	19
2.11 ขั้นตอนที่ 4 ของการทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา	20
2.12 แผนภูมิแสดงการเคลื่อนที่ของลูกสูบ	20
2.13 ลักษณะกลไกแบบรอมบิก	21
3.1 ภาพแสดงตัวแปรต่างๆ ในการคำนวณ	22
3.2 ภาพแสดงตัวแปรต่างๆ ในการคำนวณ	23
3.2 แผนภูมิแสดงปริมาตรของห้องอัดจากสมการ (3)	24
3.3 แผนภูมิแสดงปริมาตรของห้องอัดจากสมการ (4)	24
3.4 แผนภูมิแสดงการเคลื่อนที่ของลูกสูบ	25
4.1 ภาพแสดงแบบเครื่องยนต์ใน 2 มิติ	27
4.2 ภาพแสดงแบบเครื่องยนต์ใน 3 มิติ	27
4.3 กระบอกสูบด้านร้อน	28
4.4 กระบอกสูบด้านเย็นและครีบระบายความร้อน	28
4.5 ฐานของเครื่องยนต์	28
4.6 ดิสเพลสเซอร์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	กลไกการขับเคลื่อนแบบรอมบิก	29
4.8	ลูกสูบกำลัง	29
4.9	เฟืองที่ใช้ในการขับเคลื่อน	30
4.10	เครื่องยนต์พร้อมห้องเผาไหม้	30
5.1	ภาพตัวอย่างการหาค่าแรงบิดจากเครื่องวัดแบบเชือกรัด	31
5.2	เครื่องวัดความเร็วรอบ	31
5.3	เครื่องอุณหภูมิ	32
5.4	ชุดวัดแรงบิดจากตาชั่งสปริง	35
5.5	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเร็วรอบ	35
5.6	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ความเร็วรอบ แรงบิด และกำลัง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

s	ระยะชักของลูกสูบ
r	ระยะข้อเหวี่ยง
e	ระยะจากจุดศูนย์กลางเฟืองขับถึงจุดหมุนของก้านสูบ
L	ระยะข้อเหวี่ยงจากจุดหมุนถึงก้านสูบ
ε	Eccentricity ratio
Y_p	ตำแหน่งของลูกสูบกำลัง
Y_d	ตำแหน่งของลูกสูบดิสเพลสเซอร์
V_e	ปริมาตรของอากาศในห้องขยาย
V_c	ปริมาตรของอาคารในห้องอัด
F	แรงที่แตกต่างจากการอ่านค่าของตราชั่งสปริง
R	รัศมีของล้อช่วยแรง
n	ความเร็วรอบต่อวินาทีของเครื่องยนต์
ω	ความเร็วเชิงมุม
η	อัตราส่วนระหว่างกำลังของเครื่องยนต์ต่อกำลังที่ได้จากแหล่งความร้อน
E_f	อัตราส่วนระหว่างงานที่เครื่องยนต์ผลิตต่อความร้อนขาเข้าเป็นเปอร์เซ็นต์
W	งานที่เครื่องยนต์ผลิต
Q_i	ความร้อนขาเข้า
T_h	อุณหภูมิของแหล่งกำเนิดความร้อนเป็นเคลวิน
T_c	อุณหภูมิของแหล่งรับความร้อนเป็นเคลวิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่หลากหลาย เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์คือหนึ่งในพลังงานที่สำคัญ ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดสามารถสร้างประโยชน์ให้กับประชากรในท้องถิ่นจากการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ เป็นการเพิ่มศักยภาพในการใช้พลังงานหมุนเวียนอันจะส่งผลรวมไปถึง การลดการนำเข้าของพลังงานฟอสซิลจากต่างประเทศ ลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการสันดาปพลังงานปิโตรเลียม ทุกวันนี้มีหลากหลายวิธีที่จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกล หากมองถึงช่องว่างในการพัฒนาเครื่องต้นกำลังให้เหมาะสมกับประเทศแล้วนั้น ก็นับได้ว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็มีศักยภาพอยู่ไม่น้อย

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอกที่สามารถใช้อากาศหรือก๊าซต่างๆเป็นของไหลทำงาน (working fluid) สามารถใช้เชื้อเพลิงได้ทั้งชนิดเหลวและชนิดแข็ง ซึ่งเป็นเรื่องน่าสนใจมากในสถานการณ์ปัจจุบันที่เชื้อเพลิงปิโตรเลียมมีราคาแพงและขาดแคลน และเนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงบางชนิดมีโครงสร้างที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการนำมาใช้ประโยชน์เช่น การปั่นไฟ สูบน้ำ หรือใช้งานด้านต่างๆในประเทศที่กำลังพัฒนา

ประเทศไทยในปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังไม่แพร่หลาย แต่ก็มีบางงานวิจัยของบางสถาบันให้ความสนใจเกี่ยวกับเครื่องยนต์เพราะเห็นความสำคัญในการใช้พลังงานทดแทน จึงทำให้เริ่มมีการคิดพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขยายวงกว้างมากขึ้น

โครงงานนี้จึงจัดทำขึ้นมาเพื่อศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง สร้างเครื่องยนต์ต้นแบบเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง และสร้างทางเลือกในการใช้พลังงานทดแทนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1. ศึกษากลไก และระบบการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.2.2. ทำการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยใช้หลักการทำงานตามวัฏจักรสเตอร์ลิงและขับเคลื่อนโดยกลไกแบบรอมบิก

1.2.3. สามารถวิเคราะห์การทำงานของ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในเบื้องต้น หรือสามารถศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์ โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการช่วยออกแบบ

1.2.4. เพื่อให้ได้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สร้างขึ้นภายในประเทศไทย โดยฝีมือคนไทยและวัสดุที่หาง่ายและประยุกต์ใช้ได้กับประเทศไทย

1.2.5. พัฒนาเป็นเครื่องยนต์ต้นแบบในประเทศ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1. สามารถสร้างครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบตาที่ขับเคลื่อนโดยกลไกแบบรอมบิก ให้เป็นไปตามทฤษฎีได้

1.3.2. ทำการวิเคราะห์ พารามิเตอร์ในการทำงานของเครื่องยนต์

1.3.3. ทำการทดลองหาสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยอาศัยความร้อนในช่วง 200 – 600 องศาเซลเซียส และสารทำงานมีความดันบรรยากาศ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1. ศึกษาข้อมูลการทำงาน ลักษณะโครงสร้างรวมถึงศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหา ข้อดี ข้อเสีย ปัญหา เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์รวมทั้งปรับปรุงแก้ไข

1.4.2. ออกแบบเครื่องยนต์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณและเขียนแบบ เพื่อให้ได้แบบของเครื่องที่สมบูรณ์ก่อนนำไปสร้างเครื่องยนต์ต้นแบบ

1.4.3. สร้างเครื่องยนต์แก้ไขปัญหาหรือสิ่งบกพร่องที่เกิดขึ้น เพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.5.1 ทำให้ผู้วิจัยได้ศึกษาและหาคำตอบของปัญหา เพื่อให้โครงงานบรรลุวัตถุประสงค์

1.5.2 ทำให้ผู้วิจัยเข้าใจถึงวัฏจักรการทำงานของกลไกการทำงาน การทำงานตามทฤษฎีของเครื่องยนต์ได้

1.5.3 สามารถออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตาให้ทำงานได้จริง

1.5.4 สามารถนำความรู้ที่เรียนมาประยุกต์และใช้กับการทำงานจริง

1.5.5 สามารถนำเครื่องยนต์ต้นแบบประยุกต์ใช้งานจริง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่ทำงานตามทฤษฎีวัฏจักรสเตอร์ลิง โดยมีสารทำงานเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ ซึ่งเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่สร้างมลพิษต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปใน ปัจจุบันมีการพัฒนาขึ้นอย่างมากทำให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

2.1 ลักษณะของเครื่องยนต์

ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ต่างๆ ได้ถูกประกอบรวมกันเพื่อให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถทำงานได้ตามวัฏจักรสเตอร์ลิง ซึ่งวัฏจักรสเตอร์ลิงประกอบด้วยกระบวนปริมาตรคงที่ ขณะที่มีการไหลของสารทำงานระหว่างส่วนร้อนและส่วนเย็น และกระบวนการอุณหภูมิคงที่ ขณะที่มีการรับความร้อนและคายความร้อน ในช่วงที่มีการอัดและขยายตัว กระบวนการอัดและขยายตัวนี้จะเกิดในกระบอกสูบที่มีลูกสูบ (power piston) ส่วนลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (displacer) จะผลักดันแก๊สให้เคลื่อนที่ไปและกลับระหว่าง ส่วนร้อน รีเจนเนอร์เรเตอร์ และส่วนเย็น ที่ปริมาตรคงที่ เมื่อลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ไปยังส่วนเย็น จะดันแก๊สจากส่วนเย็นให้ไหลไปยังส่วนร้อนและเป็นเช่นนี้ในทางกลับกัน ลักษณะของเครื่องยนต์ต่างๆนั้นมีชื่อว่า แอลฟา (Alpha) เบตา (Beta) และ แกมมา (Gamma) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กัน มีวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิคที่เหมือนกัน แต่มีการออกแบบที่แตกต่างกัน

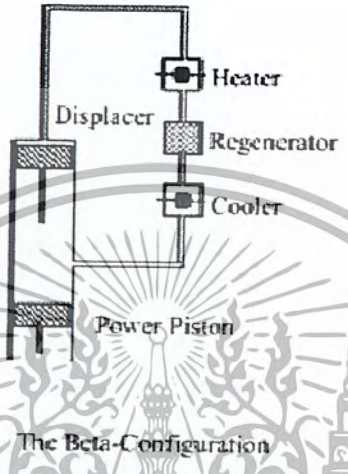
1) แบบแอลฟา ไม่มีดิสเพลสเซอร์ แต่เป็นสองลูกสูบ ซึ่งเรียกว่า ลูกสูบร้อนและลูกสูบเย็น ลูกสูบนี้มีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้มีปริมาตรในระบบคงที่ เมื่อสารทำงานทั้งหมดถูกดันให้อยู่ในกระบอกสูบเดียว ลูกสูบหนึ่งจะหยุด และอีกลูกจะเคลื่อนที่ขยายหรืออัดสารทำงาน งานได้จากการขยายตัวที่ลูกสูบร้อน

The Alpha-Configuration

รูปที่ 2.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา

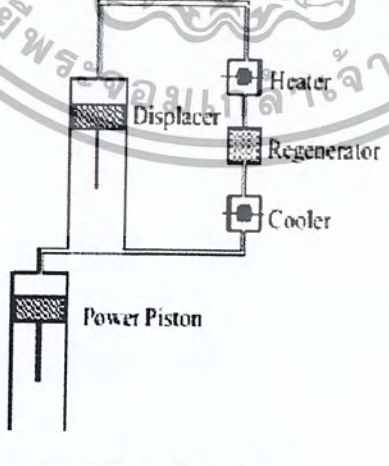
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แบบเบตา มีดิสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลังในกระบอกเดียวกัน ดิสเพลสเซอร์จะดันสารทำงานระหว่างส่วนร้อนและส่วนเย็นของกระบอกสูบให้ผ่าน ฮีทเตอร์ รีเจนเนอร์เรเตอร์ และคูลเลอร์ลูกสูบเย็นอยู่ในส่วนเย็นของกระบอกสูบ ทำหน้าที่อัดสารทำงานเมื่อสารทำงานอยู่ในส่วนเย็น และขยายตัวเมื่อสารทำงานเคลื่อนที่ไปยังส่วนร้อน



รูปที่ 2.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิด เบตา

3) แบบแกมมา มีกระบอกสูบแยกกันสำหรับดิสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลัง โดยทั้งสองกระบอกสูบเชื่อมต่อถึงกันและมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับแบบเบตา รูปแบบแกมมาที่มีการส่งกำลังจากทั้งสองลูกสูบไปที่เพลาข้อเหวี่ยงข้อเดียวกัน มีประสิทธิภาพทางกลที่สูงที่สุดในเชิงทฤษฎี อย่างไรก็ตามกระบอกสูบควรออกแบบให้อยู่ในแนวตั้งเพื่อลดแรงเสียดทาน



รูปที่ 2.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานทั่วไปของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงอากาศร้อน (The Stirling hot air engine) เป็นรูปแบบอย่างง่ายอีกแบบหนึ่งซึ่งใช้สารทำงานประเภทอัดตัวได้ (Compressible fluid) เนื่องจากสารทำงานอยู่ในระบบปิด จึงไม่มีปัญหาในการปนเปื้อนและสิ้นเปลืองสารทำงาน การถ่ายเทความร้อนให้สารทำงานเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อการถ่ายเทความร้อนที่ดีสารทำงานควรจะมีอัตราการไหลของมวลสูง และมีความหนืดต่ำเพื่อลดแรงเสียดทานจากความหนืด การใช้ความดันในระบบสูง หรือการใช้สารทำงานความหนืดต่ำและความดันสูงคู่กัน สามารถลดความต้องการอัตราการไหลของมวลที่สูงได้เช่นกัน

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีสมรรถภาพในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นงานทางกลได้สูงในทางทฤษฎีโดยใช้วัฏจักรคาร์โนท์ ขีดจำกัดของการทำงานจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้สร้างเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในช่วง 30% ถึง 40% จะมีอุณหภูมิทำงานระหว่าง 923-1073K และความเร็วรอบในช่วง 2000-4000 รอบต่อนาที

การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะทำงานในระบบปิด (closed-cycle) โดยสารทำงานคือ อากาศร้อนในกระบอกสูบปิดซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1. ในกระบอกสูบที่มีก๊าซหรืออากาศ เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้ก๊าซหรืออากาศเกิดการขยายตัวและความดันภายในก็จะเพิ่มขึ้น ถ้าให้ปลายด้านหนึ่งของกระบอกสูบมีลูกสูบที่เคลื่อนที่ได้โดยไม่มีการรั่วของก๊าซหรืออากาศ ความดันที่มากที่มากขึ้นภายในจะผลักลูกสูบให้เคลื่อนที่ออกไปทำให้ปริมาตรกระบอกสูบขยายตัวออกไป

2. เมื่อก๊าซภายในขยายตัวจนมีอุณหภูมิต่ำลงจะไม่สามารถขยายตัวได้อีกความดันก็จะตกลงทำให้มีการหดตัวของปริมาตรของก๊าซลงเป็นผลให้ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเดิมได้ ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะความดันภายนอกมีค่าสูงกว่าความดันภายในและภายนอกกระบอกสูบเกิดเป็นสูญญากาศขึ้นในช่วงที่ก๊าซขยายตัวดันลูกสูบออกมา

3. ถ้ากระบวนการในข้อที่ 1 เกิดขึ้นอีก แต่เราจะทำการเชื่อมก้านสูบติดกับลูกสูบและเชื่อมต่อก้านสูบไปติดกับล้อช่วยแรง ในการขยายตัวของก๊าซความดันก็จะทำให้เกิดแรงผลักลูกสูบให้เคลื่อนที่เป็นผลให้ล้อช่วยแรงหมุน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการในข้อที่ 1 นั้นจะส่งผลให้เป็นการเคลื่อนที่ได้

4. เมื่อกระบวนการในข้อที่ 1 ดำเนินมาถึงกระบวนการในข้อที่ 2 ซึ่งก๊าซจะมีอุณหภูมิต่ำลง ความดันก็จะตกลงและมีสูญญากาศเกิดขึ้นด้วยทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับได้ซึ่งจะอาศัยแรงที่เกิดจากการหมุนของล้อช่วยแรงช่วยในการเคลื่อนที่กลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engine) และกฎของเทอร์โมไดนามิกส์

2.3.2 ประสิทธิภาพและกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

2.3.3 วัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ของเครื่องยนต์เสตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ประเภทเครื่องยนต์ความร้อน ซึ่งเครื่องยนต์ความร้อนนั้นเป็นเครื่องยนต์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลหรืองานได้อย่างต่อเนื่องงานที่มีประโยชน์ จะถูกผลิตขึ้นมาเมื่อเครื่องยนต์ได้รับความร้อนนั่นก็คือเมื่อเครื่องยนต์ได้รับความร้อน เครื่องยนต์ก็จะผลิตพลังงานกลออกมา

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

เครื่องยนต์อีกชนิดหนึ่งที่แตกต่างออกไปก็คือ เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในและใช้กันทั่วไปในพวกรถยนต์ และ เครื่องตัดหญ้า ในกระบวนการสันดาปภายในความร้อนจะได้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรูปของเหลว เช่น แก๊สโซลีนซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ภายในเครื่องยนต์ และความร้อนบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นงานโดยการขยายตัวของแก๊สร้อนเพื่อดันลูกสูบ ความร้อนส่วนที่เหลือจะถูกปล่อยออกมาในรูปรังสี นั่นก็หมายความว่าหากมีน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อน เครื่องยนต์ก็จะสามารถให้งานออกมาได้

การดูดความร้อน (Heat Absorption) การผลิตงาน (Work Production) และ การปล่อยความร้อน (Heat Rejection) ทั้ง 3 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหลักของเครื่องยนต์ความร้อนทั้งหมด ขั้นตอนเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในการดำเนินงานของทุกๆเครื่องยนต์ความร้อน กฎของธรรมชาติต้องอาศัยกระบวนการเหล่านี้ นี่เป็นเหตุผลที่เราสามารถศึกษากระบวนการต่างๆจาก เครื่องยนต์ความร้อนที่มีรูปแบบง่ายๆได้h

จากข้อความข้างต้น เป็นการอธิบายลักษณะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงอย่างคร่าวๆ และเพื่อความเข้าใจมากขึ้น ให้พิจารณาทรงกระบอกปลายปิด ที่มีลูกสูบและอากาศอยู่ภายใน สมมติให้ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ แต่สามารถสัมผัสกับอากาศได้อย่างดีเยี่ยม สมมติให้ตอนเริ่มต้นอุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ที่อุณหภูมิห้องรวมถึงอากาศที่อยู่ภายในที่สมมติให้มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศด้านนอก ตามสภาวะดังกล่าวจะทำให้ลูกสูบยังไม่เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ขีดจำกัดจะเกิดเมื่ออุปกรณ์หรืออากาศไปถึงจุดที่มันไม่สามารถไปได้อีก ในตัวอย่างนี้ ขีดจำกัดถูกกำหนดจากอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดความร้อน และความยาวของทรงกระบอก หรือจากความดันบรรยากาศภายนอกทรงกระบอกนั่นเอง

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

และเพื่อที่จะได้งานมากขึ้นจากอุปกรณ์นี้ จึงจำเป็นที่จะต้องทำให้มันกลับคืนสู่สภาพเริ่มต้นอีกครั้ง ดังนั้นกระบวนการจะถูกวนซ้ำเป็นวัฏจักร เมื่อวัฏจักรดำเนินไปก็จะได้งานออกมา นี่คือเหตุผลว่าทำไม เครื่องยนต์ความร้อนจึงเป็นวัฏจักรที่มีประโยชน์ ดังนั้นการที่ทำให้อากาศอยู่ภายในวัฏจักรวนซ้ำ (Repeating Cycle) ได้นั้น ก็จะส่งผลให้เครื่องยนต์ความร้อนสามารถเปลี่ยนความร้อนไปเป็นงานได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้ทรงกระบอกกลับสู่สภาพเดิม (จากการขยายตัวจนกระทั่งความดันภายในเท่ากับความดันภายนอก) สามารถทำได้โดยเริ่มจากการเอาแหล่งกำเนิดความร้อนออกและปล่อยให้เย็นจนอุณหภูมิลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิห้อง ส่งผลให้ความดันภายในมีค่าลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศเพราะปริมาตรมากกว่าตอนเริ่มต้นและเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่อุณหภูมิห้องความดันที่แตกต่างระหว่างภายในและภายนอกจะดันลูกสูบเข้าด้านในทำให้ได้งานออกมาเช่นเดียวกับตอนดันลูกสูบออกด้านนอก ในเครื่องยนต์ส่วนใหญ่จะมีกลไกเชื่อมโยงระหว่างลูกสูบและเพลา เพื่อที่จะให้เครื่องยนต์ส่งผ่านงานที่ได้ออกมาอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดียว ระหว่างกระบวนการดันลูกสูบเข้าทรงกระบอกอาจมีการสูญเสียหรือเพิ่มพลังงานความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง การเพิ่มประสิทธิภาพของทรงกระบอกอาจทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนได้ โดยงานที่มากขึ้นจะได้รับระหว่างกระบวนการอัดซึ่งในความเป็นจริงแล้วสิ่งที่ดีที่สุดคือการทำให้อากาศภายในมีอุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิห้องตลอดกระบวนการอัด ในทำนองเดียวกันกับกระบวนการขยายตัวซึ่งให้งานออกมาเช่นเดียวกัน

ในกระบวนการอัดความดันภายในทรงกระบอกจะเพิ่มสูงขึ้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะยังคงต่ำอยู่ก็ตาม กระบวนการนี้จะยุติเมื่อความดันภายในเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก ถ้าลูกสูบมีความพอดีคือไม่มีการรั่วของอากาศเข้าและออก ลูกสูบจะกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม และอากาศภายในจะอยู่ที่สภาวะเริ่มต้น ดังนั้นอากาศภายในจะอยู่ในวัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์ที่สมบูรณ์ และอุปกรณ์อื่นๆจะทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องยนต์ความร้อน โดยปกติเครื่องยนต์ความร้อน จะถูกพิจารณารวมกับกลไกซึ่งเปลี่ยนการขยับไปมาของลูกสูบไปเป็นการหมุน การหมุนเป็นรูปแบบที่สะดวกสำหรับการขับเคลื่อนเครื่องมือโดยทั่วไป เช่น ปั๊มฟันเฟือง หรือ พัดลม เป็นต้น

2.3.1 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 ของเทอร์โมไดนามิก กล่าวว่าทุกเครื่องยนต์ ต้องการแหล่งเก็บความร้อนที่ร้อนกว่าสำหรับเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน และต้องการแหล่งเก็บความเย็น เป็นแหล่งรับความร้อน การสันดาปน้ำมันจะได้ก๊าซร้อน ซึ่งเป็นรูปแบบของแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีแนวโน้มว่าจะใช้งานได้จริง ในความเป็นจริงบางเครื่องยนต์อาจทำงานได้โดยการเผาไหม้น้ำมันเฉพาะ แต่บางเครื่องยนต์สามารถทำงานได้จากแหล่งความร้อนใดก็ได้ แหล่งรับความร้อน ที่จำเป็นต่อทุกๆเครื่องยนต์ คือ อากาศที่บรรยากาศคงที่หรือน้ำจากแม่น้ำหรือทะเลสาบ

ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ความร้อน คือ เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยการขยายตัวและหดตัวของของเหลวทำงานซึ่งอาจเป็น ก๊าซ ต่างๆ หรือก๊าซผสม เช่นอากาศก็ได้

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

ในส่วนหนึ่งของเครื่องยนต์จะมีการขยายตัวหรือการเพิ่มปริมาตรเกิดขึ้น และในอีกส่วนหนึ่งจะมีการลดปริมาตรหรือการอัดเกิดขึ้น ในกระบวนการขยายตัวเครื่องยนต์จะส่งงานไปยังลูกสูบและโดยปกติก็จะส่งต่อไปยังล้อช่วยแรง ต่อไปในความสัมพันธ์เชิงกล เช่นเดียวกันกับข้อเหวี่ยง และแท่งเชื่อมต่อ (Connecting Rod) อย่างไรก็ตามในทุกๆการทำงานของเครื่องยนต์ งานจะถูกผลิตขึ้นในกระบวนการขยายตัวมากกว่างานที่ต้องการเพื่อใช้ในกระบวนการอัดตัว ความแตกต่างของทั้ง 2 คำนี้ ก็คือ การใช้งานที่เหมาะสม หรืองานสุทธิของวัฏจักรของเครื่องยนต์นั่นเอง

เดิมแล้วส่วนเกินของพลังงานก็คือ พลังงานความร้อน พลังงานที่ดูดซึมความร้อนจากแหล่งเก็บความร้อนจะมีมากกว่าที่ปล่อยไปที่แหล่งเก็บความเย็น และส่วนเกินนี้จะปรากฏในรูปของงาน เรียกว่ากฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิก ซึ่งสำหรับเครื่องยนต์แล้วถูกกำหนดไว้ดังนี้คือ งานสุทธิที่ทำโดยเครื่องยนต์ในวัฏจักรที่สมบูรณ์ คือ ความแตกต่างระหว่างการดูดซึมความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน และการปล่อยความร้อนสู่แหล่งเก็บความเย็น คือ $W = Q_i - Q_o$ ซึ่งก็คือ จะมีการดูดความร้อนเข้ามา แล้วปล่อยบางส่วนไปที่ แหล่งเก็บความเย็น และเปลี่ยนความแตกต่างนี้ไปเป็นงานนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

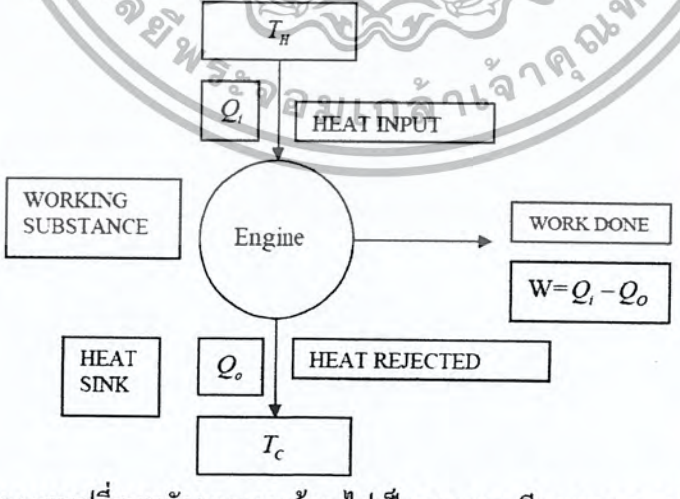
2.3.2 ประสิทธิภาพและกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

การที่เครื่องยนต์จะดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับว่ามันจะสามารถผลิตกำลังได้เพียงพอต่อการทำให้เกิดงานได้เร็วแค่ไหน 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 และการเกิดแรงเสียดทานในทุกแห่งที่มีการเคลื่อนที่สวนทางกัน แต่ว่าข้อบกพร่องเหล่านี้ก็อยู่ภายใต้กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิก อย่างที่เห็นตอนต้นว่า กฎข้อที่ 2 ต้องการความร้อนบางส่วนไปปล่อยออกที่แหล่งเก็บความเย็นเสมอ ดังนั้นความร้อนทั้งหมดที่ดูดมาจากแหล่งเก็บความร้อนจะไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นงานได้ทั้งหมด นั่นหมายความว่า E_f จะไม่สามารถเท่ากับ 100% สำหรับเครื่องยนต์ ใดก็ตาม



รูปที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงาน และมีการคายความร้อนเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันอาจจะแปลกที่ไม่มีเครื่องยนต์ใดๆ แม้แต่เครื่องยนต์ในอุดมคติที่สามารถเปลี่ยนความร้อนที่ดูดซึมมาทั้งหมดไปเป็นงานได้ ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 ค่า โดยค่า E_f ที่ดีที่สุดนั้นขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างการเดินเครื่องยนต์รู้จักกันในชื่อ Carnot

$$E_f = (T_H - T_C)/T_H$$

T_H และ T_C คืออุณหภูมิของแหล่งกำเนิดความร้อนและแหล่งรับความร้อนมีหน่วยเป็นเคลวิน

จากสูตรจะแสดงให้เห็นว่ายิ่ง ΔT_H มากเท่าไหร่ ก็จะยิ่งได้ E_f มากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นหากมีเครื่องยนต์ ที่กำลังเดินเครื่องอยู่ และเราสามารถทำให้มันร้อนขึ้นได้มากเท่าไหร่ มันยิ่งจะทำให้ค่า E_f มากขึ้นเท่านั้น สรุปคือทุกสิ่งจะดีขึ้น เมื่อ ΔT_H ของแหล่งกำเนิดความร้อน และ แหล่งรับความร้อนต่างกันมากๆ แต่ต้องจำไว้เสมอว่า Carnot E_f เป็นทฤษฎีที่มีขีดจำกัดสูงกว่าการทำงานจริง แม้ว่ามันไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องมาจากข้อบกพร่องที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ของเครื่องยนต์จริง โดยในความเป็นจริงแล้วจำเป็นต้องดูแลเอาใจใส่มากๆในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน เพื่อให้ได้สัดส่วนคาร์โนที่เหมาะสม

ขั้นแรกในการได้มาซึ่งประสิทธิภาพที่ดีคือ พยายามหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อนโดยเปล่าประโยชน์ หรือการลัดวงจรโดยตรง ปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาในเครื่องยนต์หรือในวัฏจักร (Cycle) ที่ทำให้ความร้อนผ่านจากแหล่งเก็บความร้อนไปยังแหล่งเก็บความเย็นโดยปราศจากงานที่เกิดจากอากาศซึ่งอยู่ภายในเครื่องยนต์ในแต่ละวัฏจักร ส่วนของความร้อนที่ดูดซึมจากเครื่องยนต์อันก่อนเพื่อกระบวนการขยายตัวจะไปอุ่นเครื่องวัสดุทรงกระบอก และในขั้นสุดท้ายของการขยายตัว ความร้อนจะถูกปล่อยไปยังแหล่งรับความร้อน เพื่อทำให้วัสดุทรงกระบอกเย็นตัวลง พลังงานความร้อนนี้จะไม่ผลิตงานใดๆ โดยมันจะผ่านเข้าไปยังโลหะของเครื่องยนต และผ่านออกไป มีเพียงแค่การแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในเท่านั้นที่จะทำให้เกิดงานได้ นอกจากนั้นจะถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่มีประโยชน์

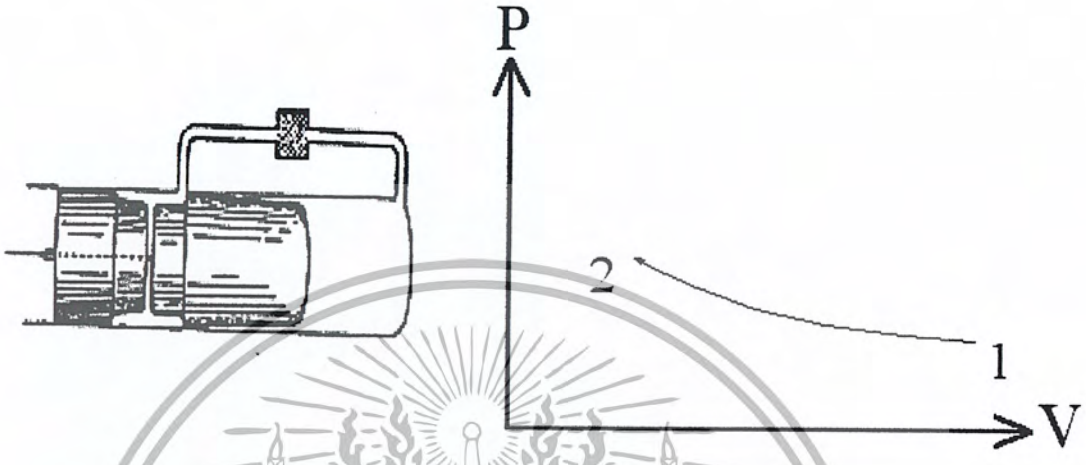
2.3.3 วัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ของสเตอร์ลิง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Isothermal Compression

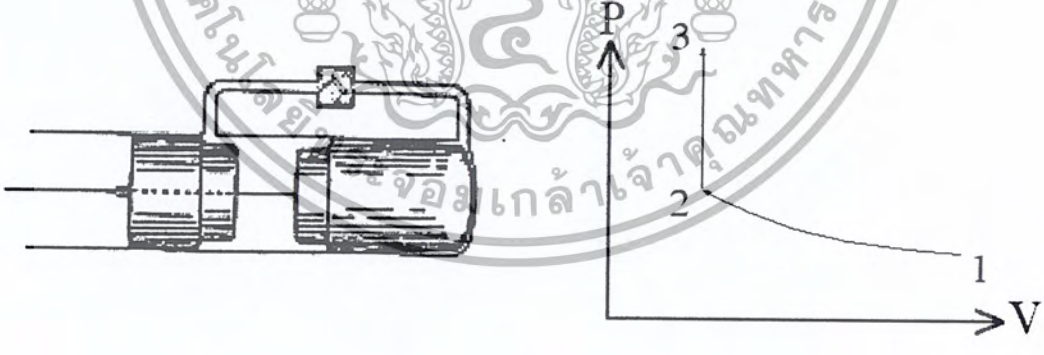
จากการอัดตัวทำให้ลูกสูบด้านเย็นเคลื่อนย้ายมายังตำแหน่งปานกลาง และสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ PV ของกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่

2) Constant Volume Heating

ลูกสูบด้านเย็นเคลื่อนที่มาที่ตำแหน่งที่สูงสุดและลูกสูบด้านร้อนจะเคลื่อนที่ลงมาสู่ตำแหน่งที่ช่วงกลาง ความร้อนถ่ายเทจากรีเจนเนอร์เรเตอร์สู่ของไหลทำงานที่ปริมาตรคงที่และทำให้ความดันเพิ่มสูงขึ้น

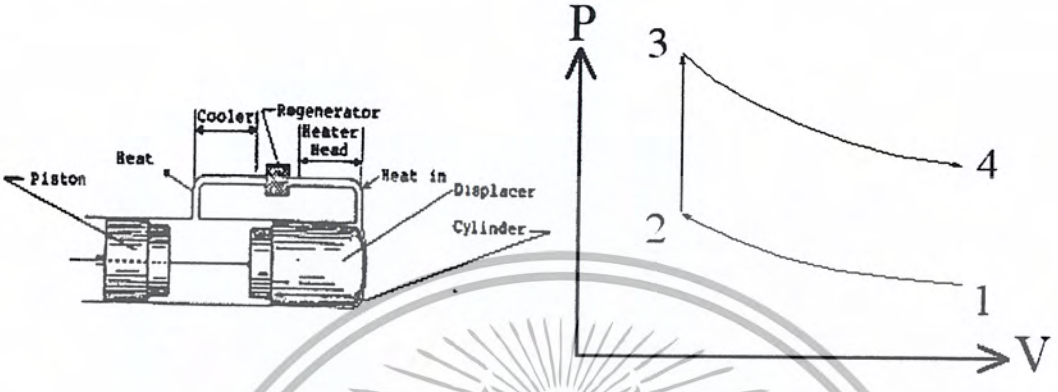


รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ PV ของกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Isothermal Expansion

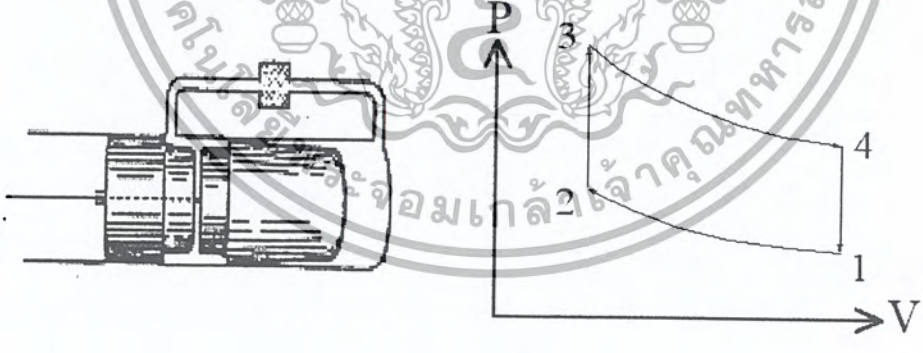
รับความร้อนที่อุณหภูมิคงที่จากแหล่งจ่ายความร้อนภายนอก การขยายตัวทำให้ลูกสูบด้านร้อนเคลื่อนที่มาอยู่ที่ตำแหน่งกลาง



รูปที่ 2.7 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ PV ของกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่

4) Constant Volume Cooling

ลูกสูบด้านร้อนเคลื่อนที่มาอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุดและลูกสูบด้านเย็นเคลื่อนที่ลงมาอยู่ที่ตำแหน่งกลางและมีการถ่ายเทความร้อนจากของไหลทำงานไปสู่รีเจนเนอร์เรเตอร์ที่ปริมาตรคงที่เครื่องยนต์ก็จะทำงานครบ 4 วัฏจักรอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งของลูกสูบและแผนภาพ PV ของกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ปัจจัยพื้นฐาน 2 ประการที่จะกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์วัฏจักรสเตอร์ลิงประการแรก คือ การทำไม่ให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซภายในกระบอกสูบระหว่างดิสเพลสเซอร์และด้านลูกสูบกำลัง ประการที่สอง คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศด้านร้อนและด้านเย็นของกระบอกสูบ

2.4.1 การป้องกันการรั่ว

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

2.4.2 ความแตกต่างของอุณหภูมิ

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

การเตรียมระบบความเย็นอย่างง่าย การเปิดพื้นที่ให้ความร้อนกระจายอยู่บรรยากาศเป็นวิธีหนึ่ง นี่คือสาเหตุที่ทำให้กระบวนการเกิดขึ้นช้าซึ่งสามารถทำให้เร็วขึ้นโดยขยายผิวหน้าการถ่ายเท การใช้ตัวทำความเย็น การใช้อากาศผ่านของแข็ง เช่น ครีบระบายความร้อนซึ่งเป็นการทำให้ความร้อนกระจายออกไป การกระจายความร้อนของเหล็ก กระบอกสูบ ลูกสูบ ก้านสูบและรีเจนเนอเรเตอร์ จะต้องได้สัดส่วนกัน การเตรียมระบบความร้อนความเย็นนั้นยังมีปัจจัยตัวอื่นอีกซึ่งมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพของแบบจำลองเครื่องยนต์เล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 รีเจนเนอเรชั่น

คือพลังงานส่วนใหญ่ที่ผ่านเข้าออกจากการออกแบบแล้วโครงสร้างของเครื่องยนต์ ในก๊าซทำงานที่ร้อนและเย็นที่หลายร้อยครั้งใน 1 นาที ไม่ได้หมายถึงความสามารถของเครื่องยนต์ ยกเว้นอุณหภูมิรุนแรงที่ควบคู่ของระดับร้อยหรือมากกว่าส่วนหนึ่ง งานนี้สามารถทำได้ง่ายโดยการเตรียมก๊าซร้อนให้ไหลไปที่ด้านเย็น ความร้อสูญเสียจะแบ่งชั้นขึ้นในขณะที่ก๊าซเย็นไปทางด้านร้อน ความดันมากขึ้นตลอดทางจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดและก๊าซจำเป็นต้องขยายตัวที่ห้องร้อนในช่วงเวลาที่น้อยที่สุด เวลาชั่วครู่จนถึงบางระดับผลรวมของความร้อนจะยอมให้ความเร็วที่มากสุดในการถ่ายเทของก๊าซ

สองวิธีพื้นฐานที่ใช้ในแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ช่วยให้ก๊าซร้อนแบ่งชั้นการสูญเสียความร้อน และก๊าซเย็นแบ่งชั้นการดูดกลืน วิธีแรกใช้ ดิสเพลสเซอร์ ที่ทำการถ่ายเทความร้อน ตัว ดิสเพลสเซอร์ ถูกทำให้ยาวพอสำหรับก๊าซร้อนเคลื่อนที่ตามมันและถ่ายเทความร้อนไปที่ตัวของ ดิสเพลสเซอร์ ในลักษณะของการแบ่งชั้นอุณหภูมิ ตัวของมันร้อนด้านหนึ่งและร้อนลดลงจนถึงอีกด้านหนึ่ง วิธีที่สอง ในแบบจำลองเครื่องยนต์บางแบบเป็นผลอย่างมาก วิธีนี้ก่อให้เกิดการสร้งรีเจนเนอเรเตอร์ด้านนอก หรือรอบกระบอกสูบหลัก ตลอดก๊าซที่ผ่านหลักการเดียวกันของการดูดกลืนความร้อน เป็นการค้นพบของรีเจนเนอเรเตอร์ คือความร้อนถูกดูดกลืนในชั้นของมวลโลหะซึ่งใช้ทำรีเจนเนอเรเตอร์ และความร้อนนี้ถูกทำให้สูงขึ้นอีกโดยก๊าซเย็นที่กำลังจะขยายตัวในห้องขยายตัว

2.4.4 กลไกขับ

เป็นตัวแปรที่สามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้หรือทำให้เครื่องยนต์เสียได้ กลไกจะมีมุมต่างกัน 90 องศาระหว่างดิสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลัง ในแบบเก่าๆก่อให้เกิดความยุ่งยากของระดับและข้อต่อที่เกิดการขัดกันระหว่างการเคลื่อนที่ของ 2 ลูกสูบ การศึกษาเรื่องนี้กลายเป็นเรื่องจุกจิกมาก เมื่อจำเป็นที่จะต้องมีความแตกต่างของความยาวช่วงชักสำหรับ 2 ส่วน

ถึงแม้ว่า เครื่องยนต์รุ่นเก่าจะมีชนิดของข้อต่อทั้งหมด ระบบคันโยก ข้อเหวี่ยง ที่เคลื่อนไปในทิศทางของมัน เครื่องยนต์จะช้าลงหมุนได้ไม่เกิน 200 รอบต่อนาทีและมันจะไม่เกิน 100 รอบต่อนาที ย้อนกลับไปในปี ค.ศ. 1850-1900 เครื่องยนต์นี้ใช้สูบน้ำเป็นหลัก การเปลี่ยนแปลงที่สูง จะไม่สำคัญต่องานนี้และความเร็วควรจะไว้วางใจได้ กำลังอัดจะสร้างแรงเสียดทานและผู้ออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นใหม่ควรหลีกเลี่ยงระบบจุกจิกของระดับข้อเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เป็นความหลักแหลมอย่างมากอย่างหนึ่งและความสมบูรณ์แบบของกลไกการขับ กลไกการขับรูปขนมเปียกปูน (Rhombic drive mechanism) ถูกแจกแจงความสมบูรณ์แบบโดยฟิลลิปส์ กับวิธีก้านดิสเพลสเซอร์ ผ่านตลอดก้านลูกสูบกำลังยกเว้นความพยายามของแรงผลักข้างเคียงบนสูบกำลัง มันเป็นกลไกที่บรรจุเอาการให้กำลังความดัน ซึ่งดีเยี่ยมกว่าการออกแบบอย่างอื่น เป็นกลไกแผ่นหนาซึ่งขับจำนวนของกระบอกสูบอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยการเคลื่อนที่ของวงกลม เช่น เครื่องยนต์ที่ออกแบบให้ทำงานในแนวขนานกับกระบอกสูบหลายตัว (มักจะเป็น 4-6 กระบอกสูบ) อย่างไรก็ตามเมื่อมาถึงกลไกการจัดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

2.5 หลักในการคำนวณและออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ก๊าซอุดมคติ คือ ก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำมีอิสระในการเคลื่อนที่ โมเลกุลไม่มีปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน การชนกันแบบยืดหยุ่น ไม่อยู่ภายใต้แรงดึงดูดระหว่างกันและการชนกันนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนรูปของพลังงานความสัมพันธ์ของความดัน ปริมาตรจำเพาะ และอุณหภูมิสามารถแสดงสภาวะของก๊าซอุดมคติได้ คือ

$$\frac{Pv}{T} = R \tag{2.1}$$

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ

ค่าคงที่ของก๊าซ R ยังมีความสัมพันธ์กับค่า universal gas constant คือ R'

$$R = \frac{R'}{M} \tag{2.2}$$

M คือ มวลโมเลกุลของสาร

R' = 8.31451 J/(kmol.K)

R มีหน่วยเป็น kJ/(kg.K)

สมการของก๊าซอุดมคติยังสามารถจัดรูปแบบอื่น ๆ ได้อีก คือ

$$PV = mRT \tag{2.3a}$$

$$P = \rho RT \tag{2.3b}$$

$$PV = nR'T \tag{2.3c}$$

n คือ จำนวนโมล

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
119360

2.5.1 กระบวนการอุณหภูมิคงที่

กระบวนการอุณหภูมิคงที่ คือ กระบวนการที่ดำเนินการแล้วอุณหภูมิคงที่ตลอดตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการ เรียกขบวนการนี้ว่า Isothermal

จากกฎของก๊าซอุดมคติ

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \tag{2.4}$$

เมื่อ T = ค่าคงที่

$$P_1V_1 = P_2V_2 = PV \tag{2.5}$$

2.5.2 กระบวนการปริมาตรคงที่

กระบวนการปริมาตรที่ คือ กระบวนการที่ดำเนินการแล้วปริมาตรคงที่ตลอดตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการ เรียกขบวนการนี้ว่า Isometric

จากกฎของก๊าซอุดมคติ สมการ (2.4)

เมื่อ V = ค่าคงที่

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P}{T} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา

ขั้นตอนที่ 1 ให้ความร้อนกับเครื่องยนต์ที่ด้านลูกสูบร้อน ก๊าซจะความดันเพิ่มขึ้น ดันให้ลูกสูบร้อนเคลื่อนที่ ลูกสูบกำลังจะอยู่ในตำแหน่งศูนย์ตายบน

รูปที่ 2.9 ขั้นตอนที่ 1 ของการทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา

ขั้นตอนที่ 2 ลูกสูบเย็นจะเคลื่อนที่ไปจนถึงศูนย์ตายล่าง ก๊าซจะเคลื่อนที่มาระบายความร้อนที่ด้านลูกสูบกำลัง และเมื่อปริมาตรระหว่างลูกสูบทั้ง 2 ลดลง ความดันจะสูงขึ้นทำให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่

รูปที่ 2.10 ขั้นตอนที่ 2 ของการทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา

ขั้นตอนที่ 3 ลูกสูบกำลังจะเคลื่อนที่ไปศูนย์ตายล่างและผลิตกำลังทางกล แรงดันจึงลดลง ทำให้สูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้นได้ง่ายโดยอาศัยแรงจากล้อช่วยแรง

รูปที่ 2.11 ขั้นตอนที่ 3 ของการทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา

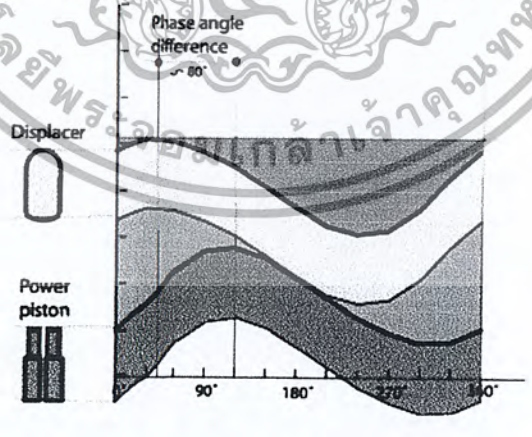
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 ขณะที่สูบเย็นเคลื่อนที่ขึ้น ความดันของก๊าซลดลงมาก ทำให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้นได้ง่ายด้วยแรงเหวี่ยงของล้อช่วยแรง ก๊าซจะไหลกลับไปที่ลูกสูบฝั่งร้อนและรับความร้อนมากขึ้น และจะกลับเข้าสู่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง

รูปที่ 2.11 ขั้นตอนที่ 4 ของการทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา

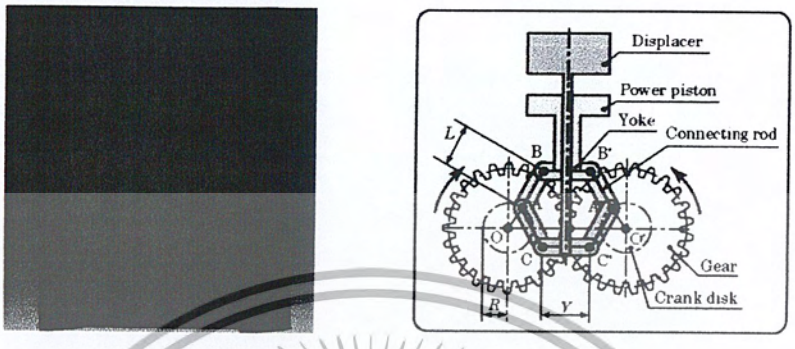
กลไกแบบรอมบิก

การเคลื่อนที่ของลูกสูบกำลังและดิสเพลสเซอร์ต้องมีการเคลื่อนที่ต่างกัน และมีการคำนวณระยะห่างระหว่างเวลาและการเคลื่อนที่ เพื่อไม่ให้ลูกสูบกำลังลังและดิสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าและข้างหลังในเวลาเดียวกัน ดังนั้นระยะห่างนี้ควรจะเป็น 90 องศา โดยที่ระยะชักของดิสเพลสเซอร์ต้องนำหน้าลูกสูบกำลังประมาณ 90 องศา เพื่อทำหน้าที่ในการถ่ายเทสารทำงานจากกระบอกสูบหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง และหน้าที่ของลูกสูบกำลังคือ การเปลี่ยน การขยายตัวของสารทำงานที่ความดันสูง และการอัดตัวที่อุณหภูมิต่ำไปสู่การเคลื่อนที่โดยผ่านเพลาข้อเหวี่ยงและล้อช่วยแรง ดังรูป



รูปที่ 2.12 แผนภูมิแสดงการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ลักษณะกลไกแบบรอมบิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณขนาดและการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์

ในการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์นั้นเราจำเป็นต้องคำนวณหาค่าต่างที่จำเป็นในการออกแบบ เช่น ระยะชักตำแหน่งลูกสูบในกระบอกสูบ ปริมาตรอากาศในห้องอัดและขยาย และขนาดชิ้นส่วนต่างๆ

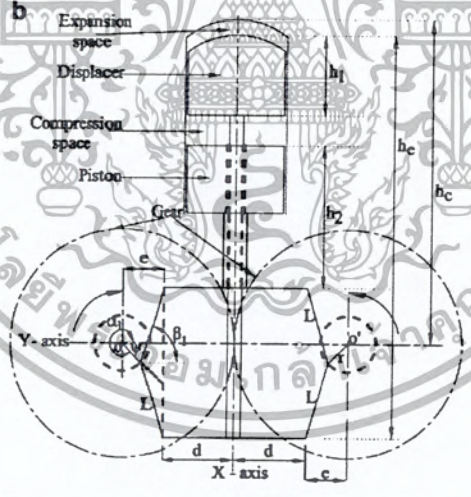
3.1 การคำนวน ระยะชัก

สมการคำนวน ระยะชัก

$$\frac{S}{r} = \frac{1}{\lambda}\left(\sqrt{(1+\lambda)^2 - \varepsilon^2\lambda^2} - \sqrt{(1-\lambda)^2 - \varepsilon^2\lambda^2}\right) \tag{3.1}$$

$$\varepsilon = \frac{e}{r} \quad ; (\varepsilon > 1) \tag{3.2}$$

$$\lambda = \frac{r}{L} \quad ; (\varepsilon + r) < L \tag{3.3}$$



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงตัวแปรต่างๆในการคำนวณ

เมื่อ s คือ ระยะชักของลูกสูบ

r คือ ระยะข้อเหวี่ยง

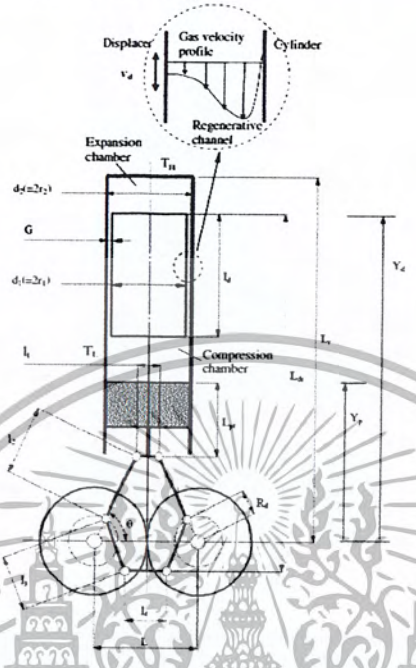
e คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางเฟืองขับถึงจุดหมุนของก้านสูบ ดังรูป

L คือ ระยะจากข้อเหวี่ยงถึงจุดหมุนของก้านสูบ ดังรูป

ε คือ Eccentricity ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การคำนวณตำแหน่งและปริมาตรภายในกระบอกสูบ



รูปที่ 3.2 ภาพแสดงตัวแปรต่างๆในการคำนวณ

สมการในการคำนวณตำแหน่งลูกสูบภายในกระบอกสูบ

$$Y_p(t) = L_{pt} + R_d \sin\theta + \left[l_2^2 - \left(\frac{L}{2} - \frac{l_1}{2} - R_d \cos\theta\right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

$$Y_d(t) = L_{dt} + R_d \sin\theta + \left[l_3^2 - \left(\frac{L}{2} - \frac{l_4}{2} - R_d \cos\theta\right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

เมื่อ Y_p คือตำแหน่งของลูกสูบกำลัง

เมื่อ Y_d คือตำแหน่งของลูกสูบดิสเพลสเซอร์

สมการในการคำนวณปริมาตรภายในกระบอกสูบ

$$V_e(t) = \pi r_2^2 (l_t - Y_p(t)) \quad (3.6)$$

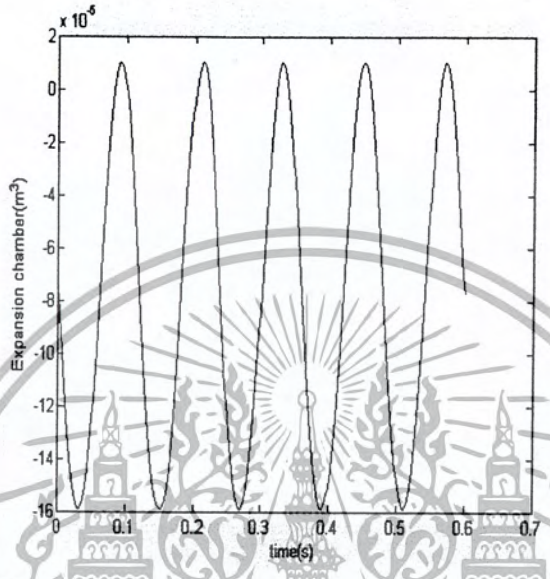
$$V_c(t) = \pi r_2^2 (Y_d(t) - l_d - Y_p(t)) \quad (3.7)$$

เมื่อ V_e คือ ปริมาตรของอากาศในห้องขยาย (Expansion chamber)

เมื่อ V_c คือ ปริมาตรของอากาศในห้องอัด (Compression chamber)

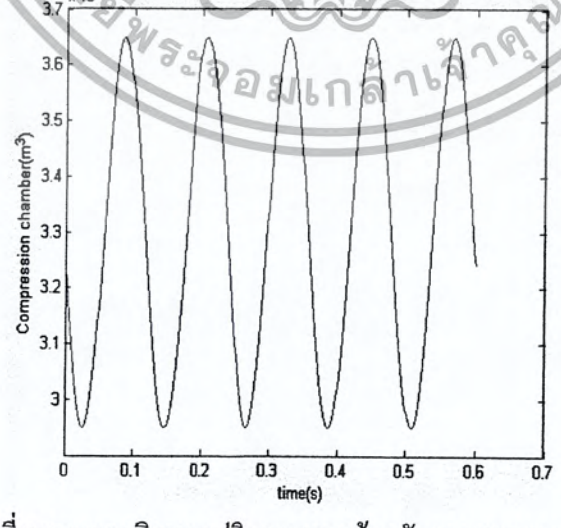
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำสมการ (3.6) มาทำการวิเคราะห์ใน โปรแกรมสำเร็จรูป จะทำให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของการขยายตัวได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงปริมาตรของห้องอัดจากสมการ (3.6)

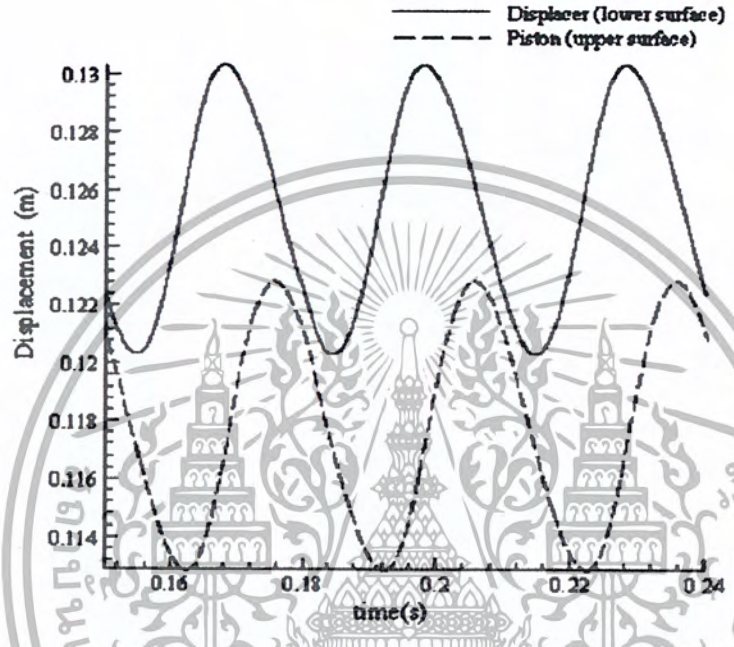
เมื่อนำสมการ (3.7) มาทำการวิเคราะห์ใน โปรแกรมสำเร็จรูป จะทำให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของการอัดตัวได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงปริมาตรของห้องอัดจากสมการ (3.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาสมการที่ 3.4 และ 3.5 จะทำให้เห็นตำแหน่งการเคลื่อนที่ของลูกสูบทั้ง 2 เมื่อเขียนแผนภูมิตำแหน่งของลูกสูบเทียบกับเวลาจะได้ดังรูปที่3.4



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบและกำหนดขนาดของเครื่องยนต์

ในการออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงนั้น เราได้ทำการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับงบประมาณและเพื่อให้ได้เครื่องยนต์ต้นแบบที่ใช้ในการทำการทดลอง ซึ่งวัสดุต่างๆที่ใช้จะเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไปและในท้องถิ่นโดย เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องยนต์เป็นดังนี้

4.1 เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.1.1 เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องยนต์

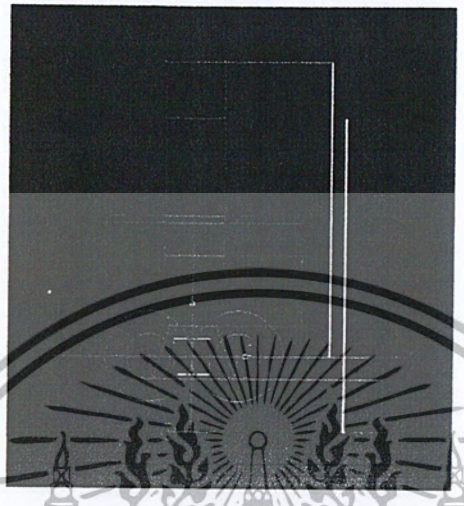
ลักษณะของโครงร่าง	เบตาโดยกลไกแบบรอมบิค
แหล่งพลังงานความร้อนที่ป้อนให้	ก๊าซหุงต้มหรือชีวมวล
การระบายความร้อน	อากาศและน้ำ
อัตราส่วนปริมาตร	1.58
ปริมาตร Power cylinder	73.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ปริมาตร Displacer cylinder	199.30 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ระยะชักของ Power piston	4.6 เซนติเมตร
ระยะชักของ Displacer piston	4.6 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.1.2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ออกแบบ

ส่วนประกอบ	วัสดุ	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ยาว (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)
ลูกสูบกำลัง	อลูมิเนียม	55.8	30	80
กระบอกสูบลูกสูบกำลัง	เหล็กกล้าไร้สนิม	55.8	104	420
ดิสเพลสเซอร์	อลูมิเนียม	53.1	90	150
กระบอกสูบดิสเพลสเซอร์	อลูมิเนียม	55	57	640
ล้อช่วยแรง	เหล็ก	250	-	6000
เฟือง	เหล็ก	87	-	-

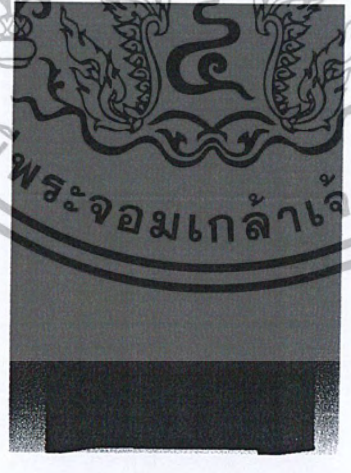
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบนั้นเราจะเขียนแบบเป็นภาพ 2 มิติก่อน เพื่อตรวจสอบขนาดและการเคลื่อนที่ของกลไกการทำงานในเครื่องยนต์ว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ ดังในรูป 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงแบบเครื่องยนต์ใน 2 มิติ

จากนั้นเมื่อแก้ไขจนได้ขนาดที่เหมาะสมแล้วก็เริ่มเขียนแบบในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อนำแบบที่ได้ไปทำการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต่อไป ดังในรูป 4.2



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงแบบเครื่องยนต์ใน 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์

ส่วนประกอบของเครื่องยนต์แต่ละส่วนได้ออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่ต่างกันไป จึงต้องให้วัสดุต่างประเภทกัน ซึ่งรายละเอียดของขนาดและแบบของเครื่องยนต์สามารถดูเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ก.

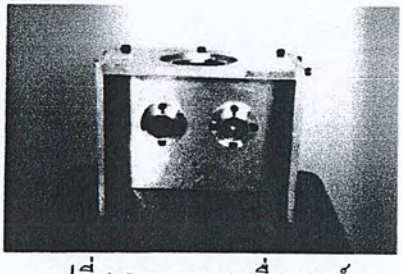
4.2.1 กระบอกสูบด้านร้อน ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม กลึงด้านในให้เป็นทรงกระบอกมีความหนา 2 มิลลิเมตร เพื่อให้ความร้อนจากแหล่งความร้อนถ่ายเทสู่อากาศภายในกระบอกสูบได้ง่าย

รูปที่ 4.3 กระบอกสูบด้านร้อน

4.2.2 กระบอกสูบด้านเย็นและครีบระบายความร้อน ทำจากอลูมิเนียมอัลลอย 7075 โดยการกลึงด้านในให้เป็นกระบอกสูบและกลึงด้านนอกให้เป็นครีบเพื่อใช้ในการระบายความร้อน

รูปที่ 4.4 กระบอกสูบด้านเย็นและครีบระบายความร้อน

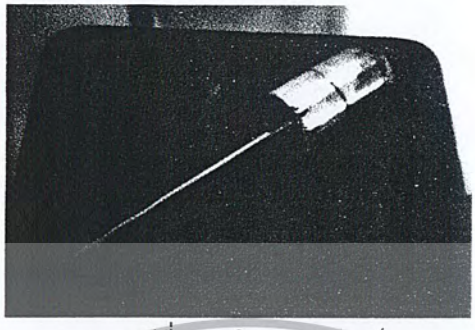
4.2.3 ฐานของเครื่องยนต์ ทำจากอลูมิเนียม เพื่อเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างกลไกการขับเคลื่อนกับลูกสูบทั้ง 2 ตัว



รูปที่ 4.5 ฐานของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ดิสเพลสเซอร์ ทำจากอลูมิเนียมอัลลอย กลึงภายในให้กลวงเพื่อให้น้ำหนักของลูกสูบเบาแล้วเชื่อมฝาปิดอีกครั้งหนึ่ง และเชื่อมต่อกับก้านสูบที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม

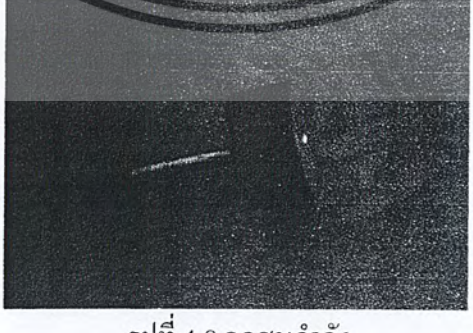


รูปที่ 4.6 ดิสเพลสเซอร์

4.2.5 กลไกการขับเคลื่อนแบบรอมบิก ทำจากอลูมิเนียมอัลลอย ประกอบด้วยแขน 4 แขนที่เป็นตัวขับเคลื่อน 2 แขนจะเป็นตัวยึดกับลูกสูบเพื่อให้เคลื่อนที่ตามกลไก

รูปที่ 4.7 กลไกการขับเคลื่อนแบบรอมบิก

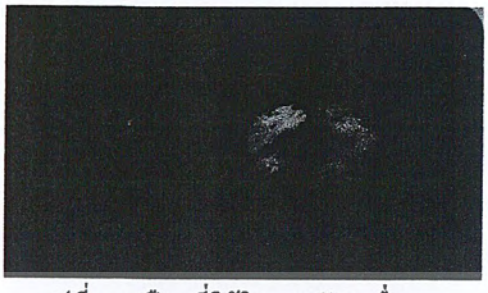
4.2.6 ลูกสูบกำลัง ทำจากอลูกมิเนียมอัลลอย แล้วนำไปเคลือบด้วยเทปลอนเพื่อเป็นการลดแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบ เพราะเทปลอนจะมีผิวที่ลื่นกว่า



รูปที่ 4.8 ลูกสูบกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 เฟือง ทำจากเหล็ก ใช้ในการขับเคลื่อนกลไกในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ



รูปที่ 4.9 เฟืองที่ใช้ในการขับเคลื่อน

4.2.8 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำจากอิฐมวลเบาเพื่อให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สามารถถ่ายเทสู่กระบอกสูบได้มากขึ้น

รูปที่ 4.10 เครื่องยนต์พร้อมห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

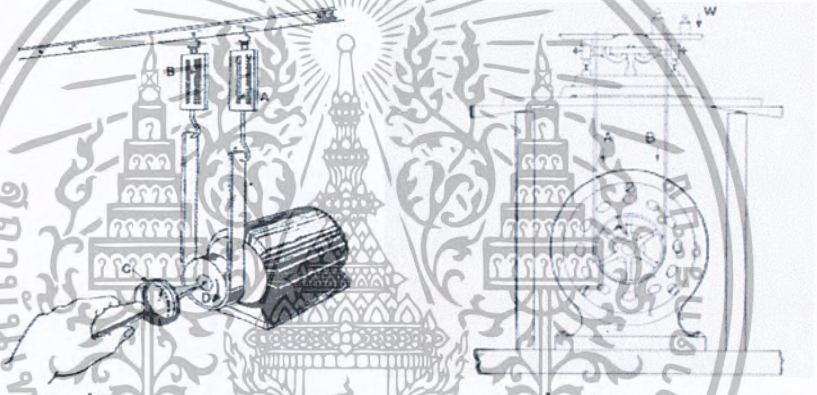
บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้ความดันภายในเครื่องเท่ากับความดันบรรยากาศ โดยทดลองจะเป็นการทดลองหาแรงบิดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาแล้ว

5.1 การทดสอบหาแรงบิด (Torque) ด้วยชุดขดลวดสปริง

ในการทดลองนี้ทางกลุ่มจะวัดแรงบิด โดยใช้วิธีไดนาโมมิเตอร์แบบเชือกรัด ซึ่งเครื่องวัดแบบเชือกรัด (rope brake) จะใช้สายหนัง หรือสายพานพันรอบล้อช่วยแรง และวัดค่าโดยผลต่างของแรงที่อ่านค่าได้จากสองข้าง



รูปที่ 5.1 ภาพตัวอย่างการหาค่าแรงบิดจากเครื่องวัดแบบเชือกรัด

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาแรงบิดและกำลัง

แรงบิด (τ)

$$T = FR = (A-B)R \tag{5.1}$$

กำลัง (P)

$$P = T\omega \tag{5.2a}$$

$$P = T(2\pi n)/60 \tag{5.2b}$$

โดยที่ F คือ แรงที่แตกต่างจากการอ่านค่าของตาชั่งสปริง

R คือ รัศมีของล้อช่วยแรง

n คือ ความเร็วรอบต่อวินาทีของเครื่องยนต์

ω คือ ความเร็วเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบเครื่องวัดแรงบิดชุดขดลวดสปริงเข้ากับโครงเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
2. ประกอบสายวัดแรงบิดเข้ากับล้อช่วยแรง
3. ให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้มจนเครื่องเดินแล้ววัดรอบโดยใช้เครื่องวัดรอบจนถึงจุดที่ต้องการ จึงทำการดึงขดลวดสปริงให้ล้อช่วยแรงหยุดหมุนแล้วนำค่าที่ได้มาหาแรงบิด

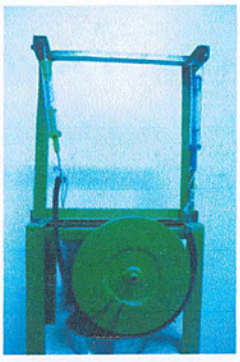
5.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องวัดความเร็วรอบ ดังรูป 5.2
2. ตาชั่งสปริง ดังรูป 5.4
3. เครื่องยนต์ที่ได้สร้างขึ้นมา ดังรูป 5.4
4. สายพาน ดังรูป 5.4
5. เครื่องวัดอุณหภูมิ ดังรูป 5.3

รูปที่ 5.2 เครื่องวัดความเร็วรอบ

รูปที่ 5.3 เครื่องอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ชุดวัดแรงบิดจากตาชั่งสปริง

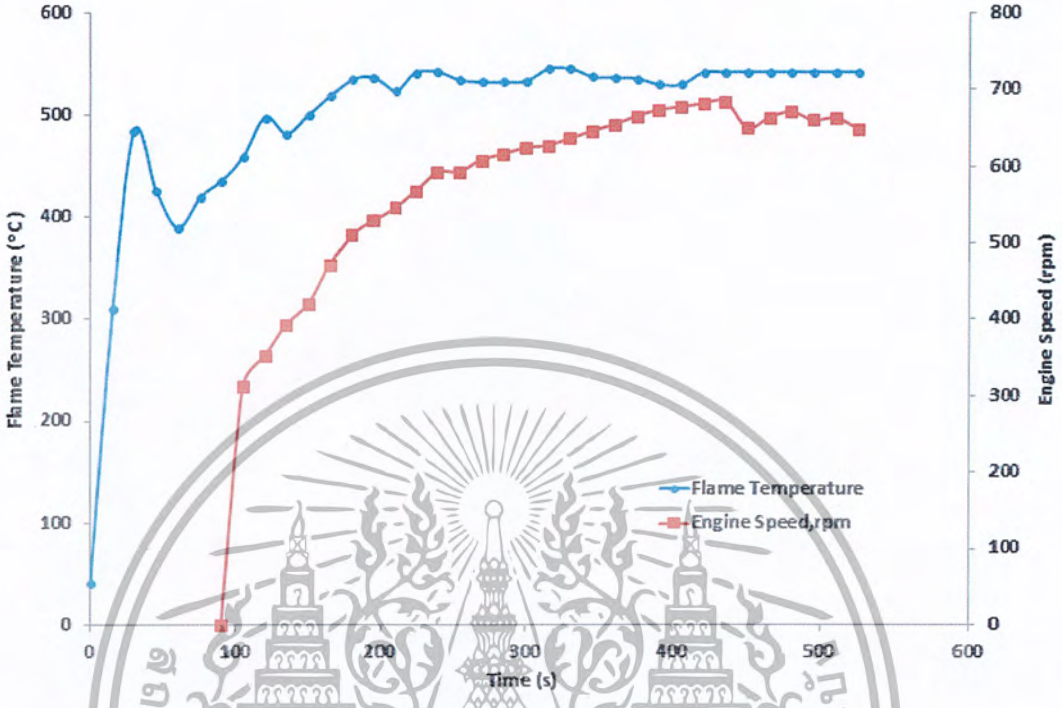
ในส่วนการวัดอุณหภูมิและความเร็วรอบนั้นทางกลุ่มได้ทำวัดทุกๆ 15 ตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์หลังจากและทำการเดินเครื่องยนต์ในเวลาต่อมา ซึ่งแสดงในตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิและความเร็วรอบของเครื่องยนต์

Time (s)	Temp.(C)	Speed(rpm)	Time(s)	Temp.(C)	Speed(rpm)
0	41	-	270	533	609
15	310	-	285	533	617
30	485	-	300	534	625
45	426	-	315	546	628
60	390	-	330	546	637
75	419	-	345	538	647
90	436	0	360	537	655
105	460	312	375	536	666
120	498	352	390	530	674
135	482	393	405	530	678
150	501	421	420	542	682
165	519	471	435	542	685
180	535	510	450	542	650
195	537	529	465	542	664
210	524	546	480	542	671
225	542	567	495	542	660
240	543	593	510	542	663
255	535	594	525	542	649

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลผลการทดลองจะพบได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบเทียบกับเวลา ดังในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิความเร็วรอบและเวลา

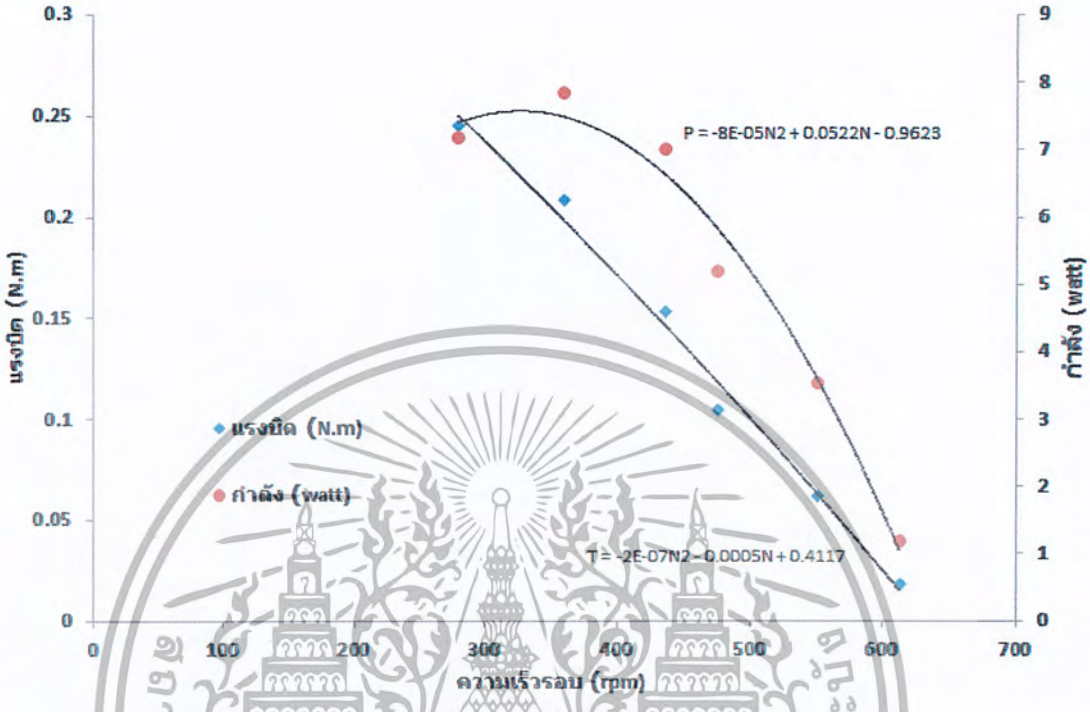
ในการทดลองทางกลุ่มได้ทำการทดลองเพื่อหาแรงบิดจากสมการ (5.1) และ (5.2b) โดยการเพิ่มน้ำหนักของตาชั่งสปริงที่กระทำต่อล้อช่วยแรงให้มากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งแสดงในตาราง 5.2

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงผลที่ได้จากการทดลองหาค่าแรงจากตาชั่งสปริง

ค่าจากตาชั่งสปริง1 (g)	ค่าจากตาชั่งสปริง2 (g)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (N.m)	กำลัง (watt)
50	35	613	0.018394	1.180754
100	50	551	0.061313	3.537767
150	65	475	0.104231	5.184659
200	75	436	0.153281	6.998487
250	80	360	0.208463	7.858851
300	100	280	0.24525	7.191106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นแผนภูมิจะทำให้เห็นแนวโน้มของแรงบิดและกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ดังในภาพแผนภูมิที่ **5.5**



รูปที่ 5.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ความเร็วรอบกับแรงบิดและกำลัง

จากการทดลองหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเริ่มเดินเครื่องยนต์พบว่าใช้ความร้อน 460 องศาเซลเซียส และเมื่อทดลองต่อไปจนเข้าสู่สภาวะที่ความร้อนคงที่ทำให้ทราบว่า ความเร็วของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเมื่อได้ความเร็วที่คงที่ค่าหนึ่งเราก็ทำการหาค่าแรงบิดสูงสุดเท่ากับ 0.24525 นิวตัน.เมตร เมื่อความเร็วรอบของเครื่องอยู่ที่ 280 รอบต่อนาที และกำลังจากการทดลองทำให้ทราบว่าเมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้นค่าความเร็วจะลดลง เมื่อทราบแรงบิดแล้วก็สามารถหากำลังที่แท้จริงได้จากแรงบิดได้

ซึ่งผลจากการทดลองหาค่ากำลังของเครื่องยนต์มีค่าสูงสุดคือ 7.85 วัตต์ มีค่าที่สอดคล้องกับการคำนวณทางทฤษฎี

โดยค่ากำลังทางทฤษฎีหาได้จาก

$$P = 0.015pVf \qquad (5.3)$$

โดยที่

P = กำลัง (watt)

p = ความดันภายในกระบอกสูบ (bar)

V = ปริมารถกวาดของลูกสูบ (cm^3)

f = ความเร็วของเครื่องยนต์ (Hz)

จากสมการ 5.3 ทำให้คำนวณกำลังของเครื่องยนต์ในทางทฤษฎีได้ 10.95 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. แรงบิดสูงสุด 0.24525 นิวตัน.เมตร เมื่อความเร็วรอบของเครื่องอยู่ที่ 280 รอบต่อนาที

2. ค่ากำลังที่ได้สูงสุดคือ 7.85 วัตต์ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องอยู่ที่ 360 รอบต่อนาที

เมื่อดูจาผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความเร็วรอบนั้นแปรผันตามเวลาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความเร็วรอบก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ความเร็วรอบที่เกิดขึ้นจริงของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเครื่องนี้จะขึ้นลงอย่างไม่คงที่ เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและเย็นไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งความเร็วรอบของเครื่องยนต์นั้นจะส่งผลต่อแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเครื่องนี้สามารถทำงานได้ตามวัฏจักรสเตอร์ลิง ซึ่งในการทดลอง ถ้าเปลี่ยนแหล่งพลังงานความร้อนที่สามารถให้ความร้อนได้อย่างคงที่ เช่น ฮีทเตอร์ (Heater) จะทำให้ค่าต่างๆที่วัดได้จะมีความแม่นยำมากกว่านี้ เนื่องจากให้ความร้อนได้โดยตรงและสามารถวัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนที่จ่ายได้ตรงมากกว่าถ่านไม้ ที่ทางกลุ่มได้ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปโครงงานและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา สำหรับใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตาที่ขับเคลื่อนด้วยกลไกแบบรอมบิก โครงงานนี้จึงเน้นในเรื่องของการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตาและกลไกการทำงานแบบรอมบิกเป็นหลัก

จากการออกแบบและได้ทำการทดลองรวมถึงการแก้ไขปรับปรุงเครื่องยนต์ที่ได้สร้างขึ้นมาแล้วนั้น จะพบว่าขนาดของล้อช่วยแรงและน้ำหนักมีผลอย่างมาก สำหรับแรงบิดและความเร็วรอบ แต่การควบคุมอุณหภูมิยังไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากใช้เชื้อเพลิงตามธรรมชาติ (ถ่านไม้)

ดังนั้นในการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตาของโครงการนี้จะพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานและต้นทุนการสร้างเป็นหลัก

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตาที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมานี้ไม่ได้มีการออกแบบทางด้านการควบคุมอุณหภูมิดังนั้นควรจะเพิ่มอุปกรณ์เสริมบางส่วนเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตาที่ได้ออกแบบและสร้างมานี้ให้มากขึ้น เช่น

1. ใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน จะทำให้ควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย และทราบพลังงานที่จ่ายให้แก่เครื่องยนต์อย่างแน่นอน
2. ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน ในส่วนครีบระบายความร้อน เพื่อให้ครีบระบายความร้อนได้ทันเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน
3. อัดความดันภายในกระบอกสูบเพื่อเพิ่มอัตราการขยายตัวของอากาศส่งผลให้กำลังที่ได้มากขึ้น
4. เนื่องด้วยเครื่องยนต์ชนิดนี้ใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน ปัญหาเรื่องการรั่วซึมจึงเป็นปัญหาที่พบกันมาก ในการออกแบบจึงต้องให้ความสำคัญกับเรื่องนี้ให้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

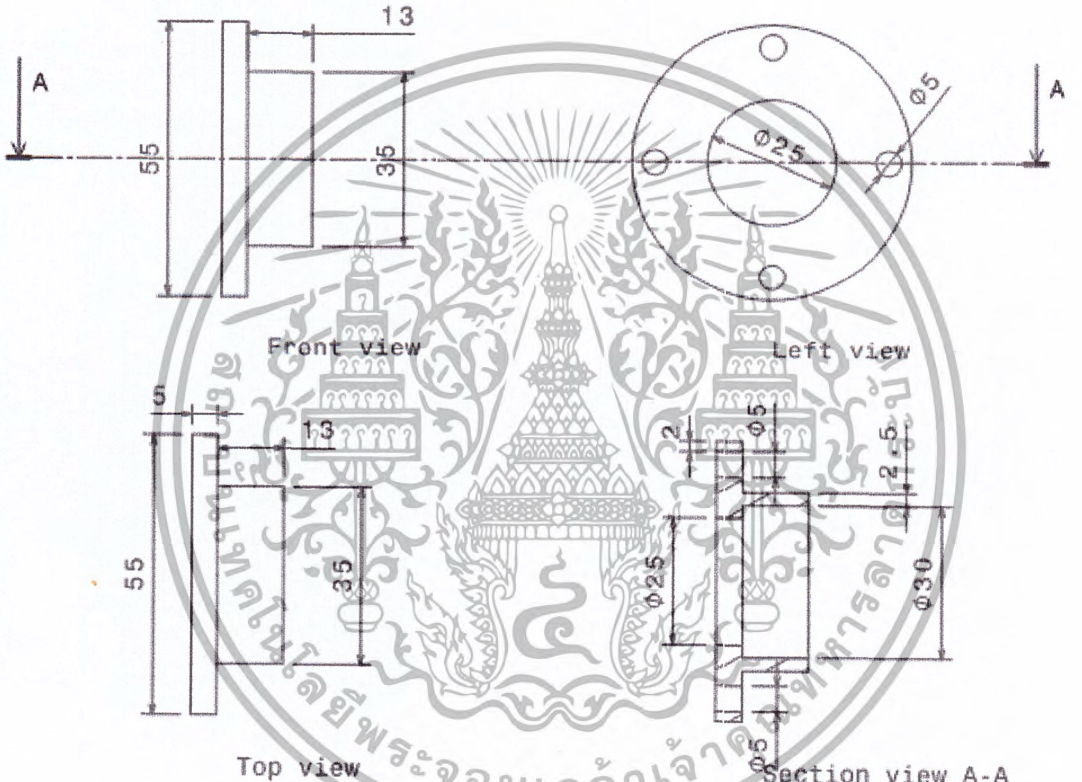
แบบแสดงชิ้นส่วนและขนาดของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

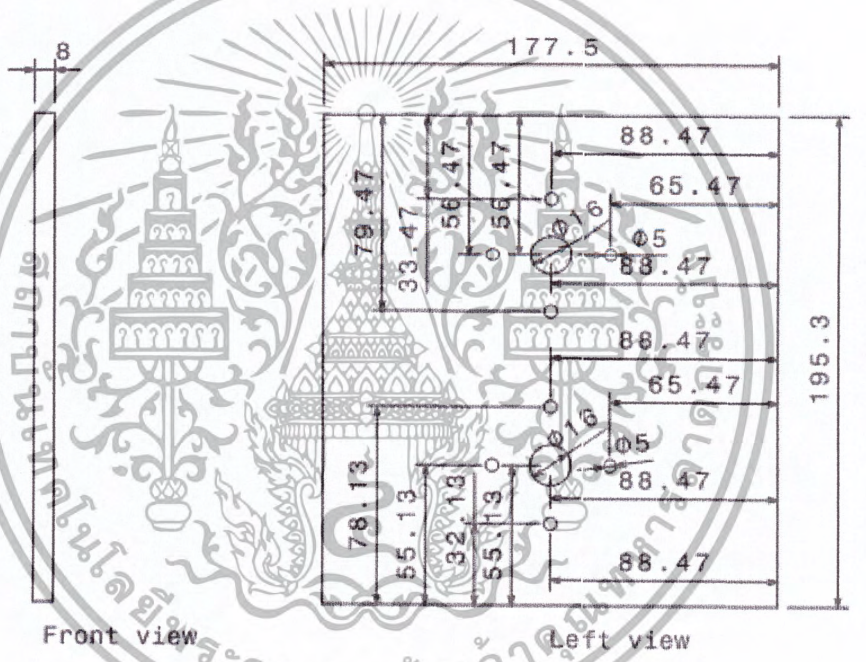
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Bearing M 5

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Bearing M 8

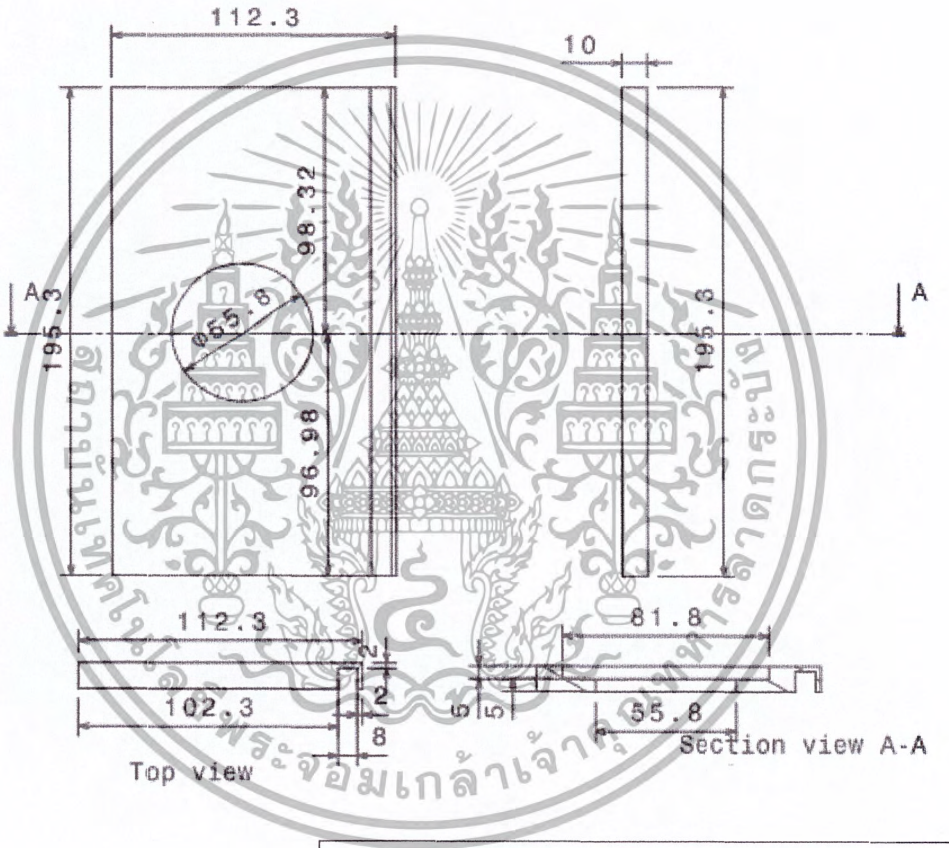
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Bearing M 10



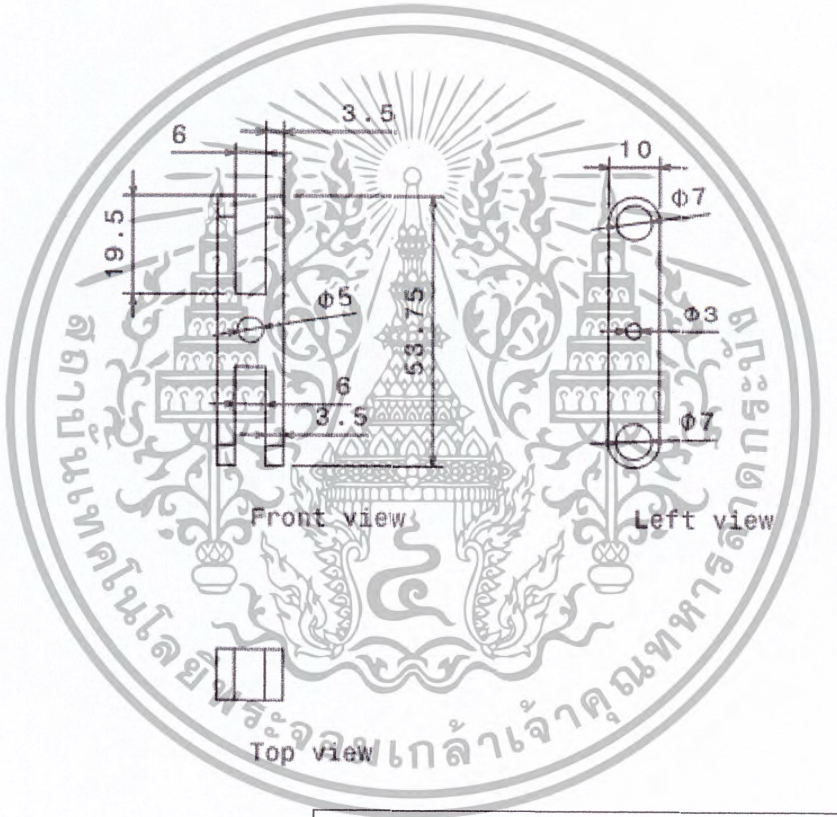
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Body of Bearing M10



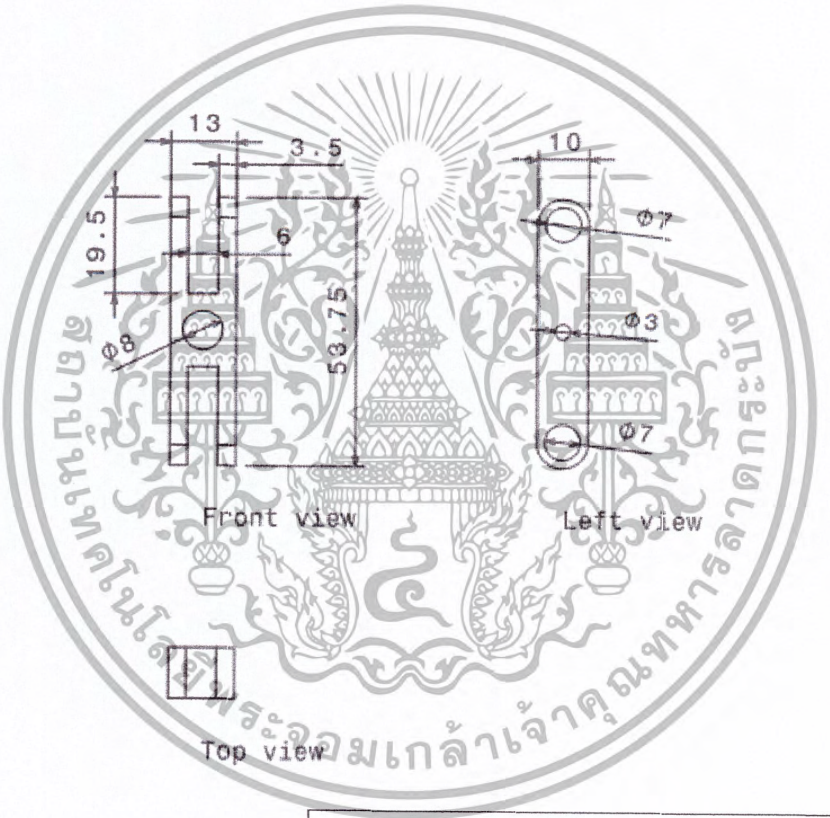
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Body of Engine (side)



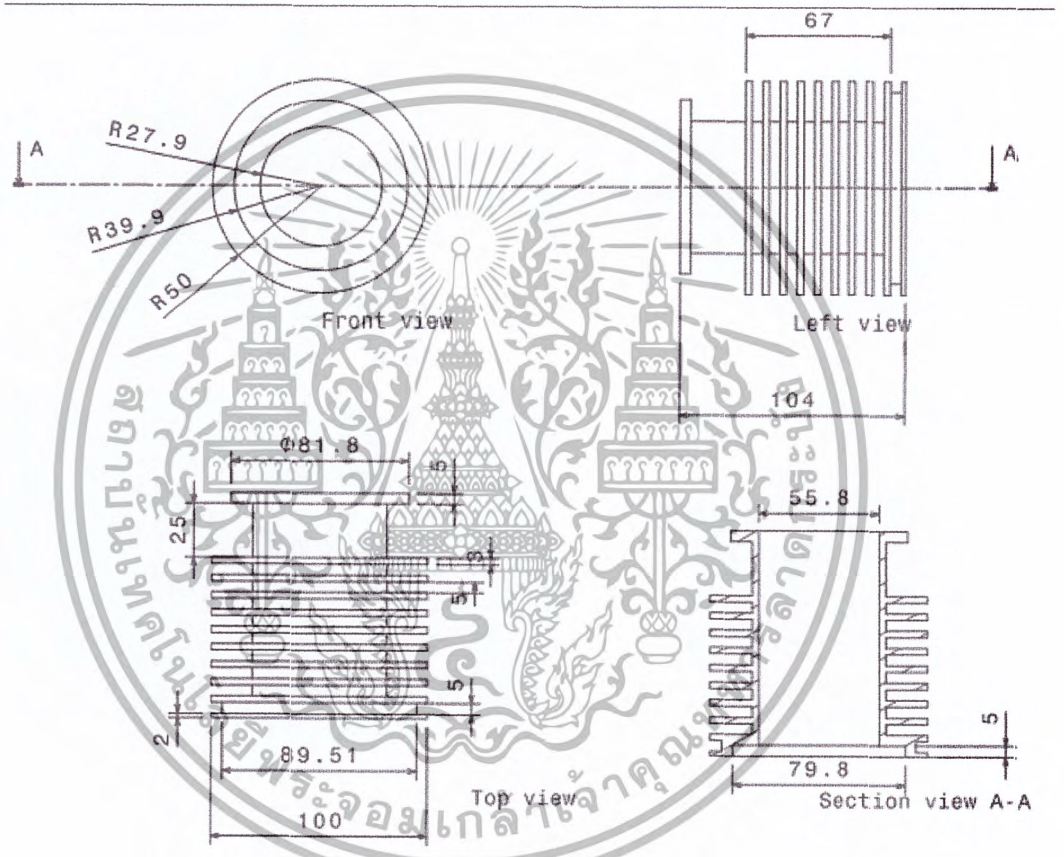
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Body of Engine (Top)



KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Displacer connecter



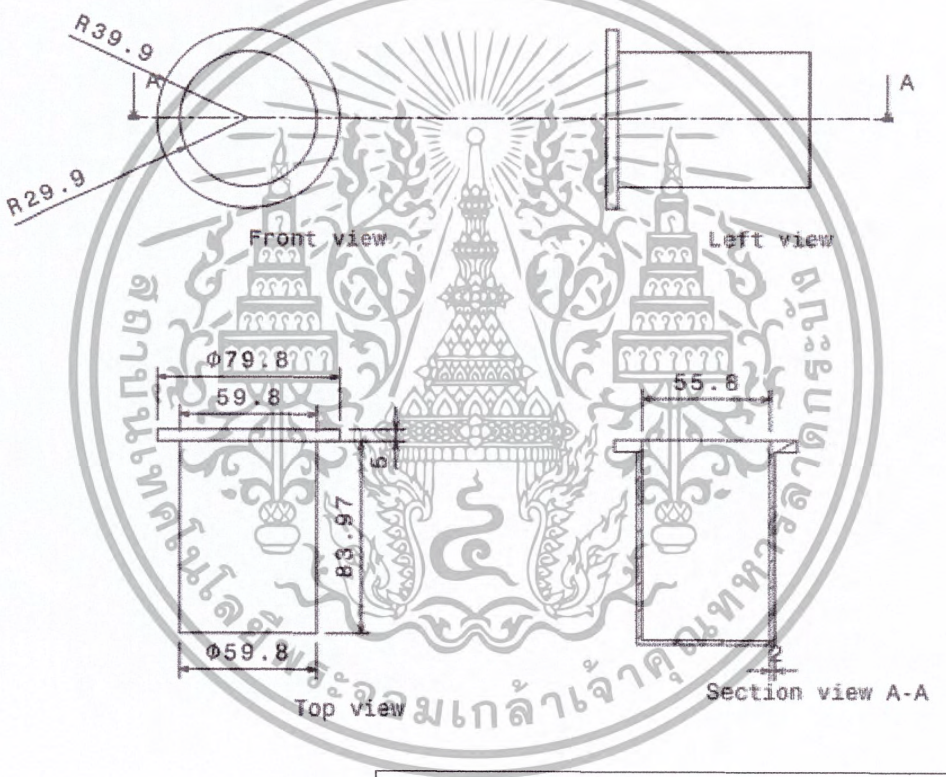
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Power piston connecter



KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Cooler

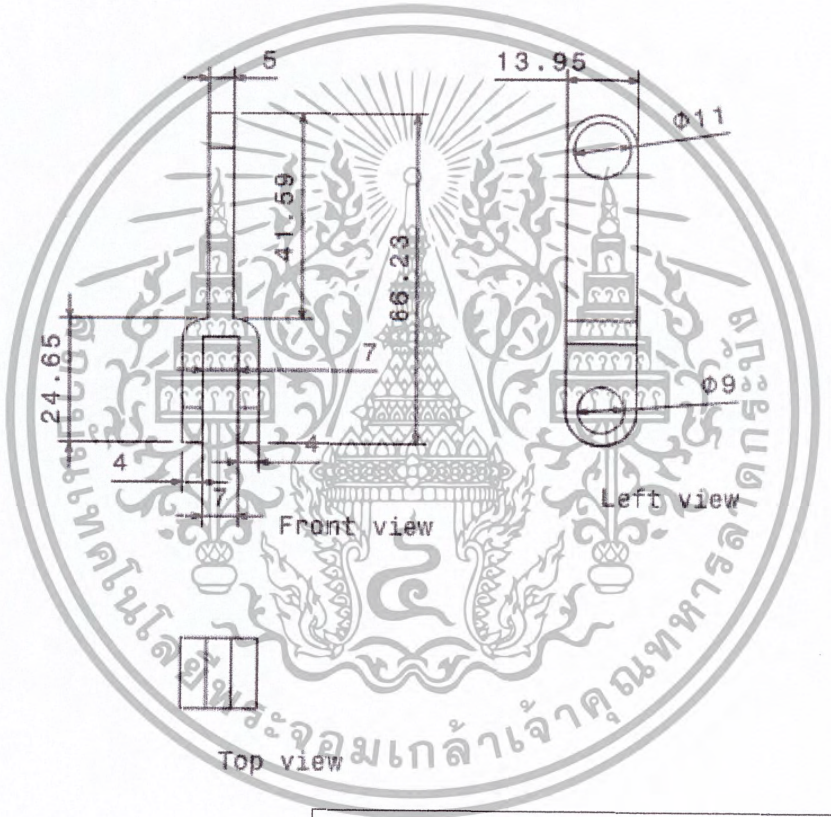
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Gear

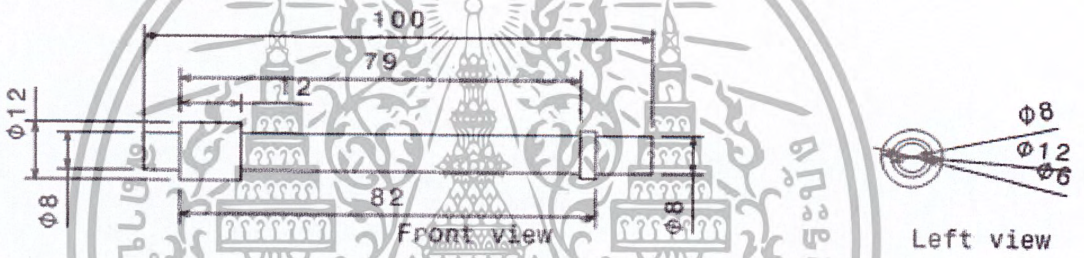


KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Heater

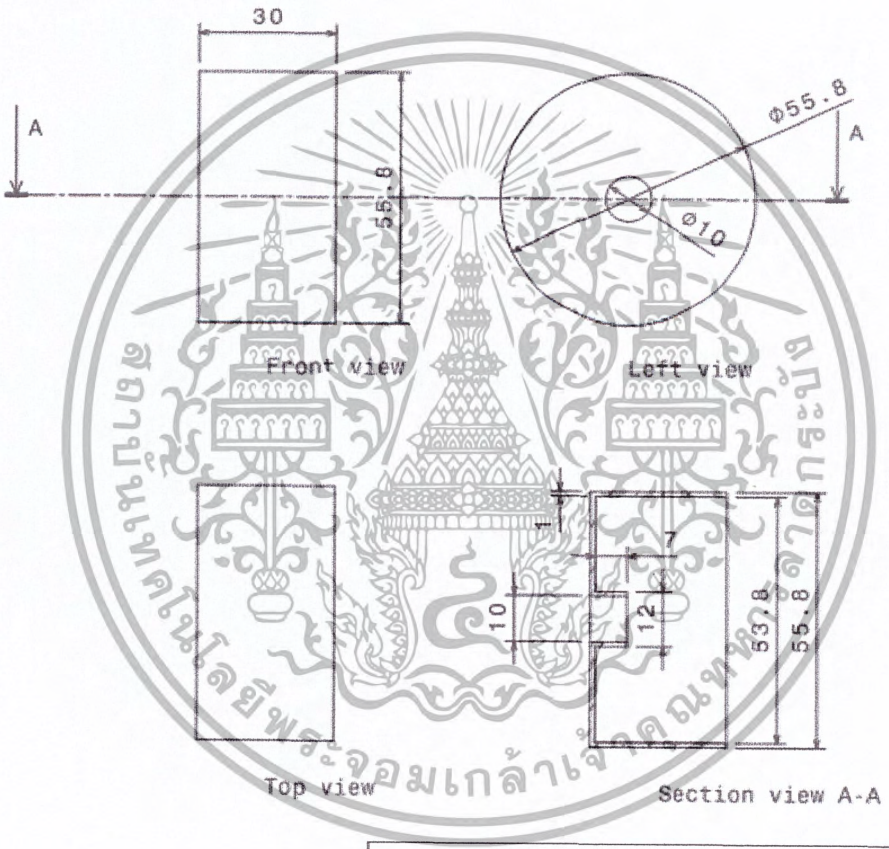
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Link 1



KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Link 2



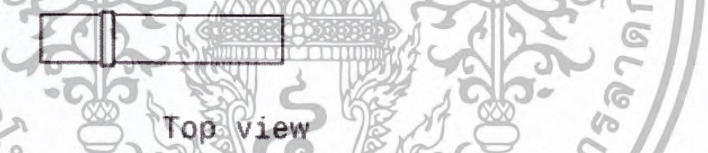
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Pin



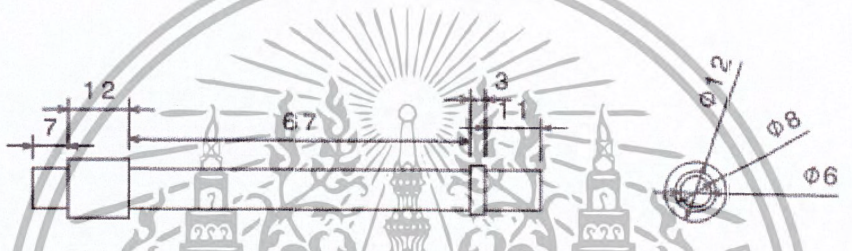
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Power piston

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Displacer rod

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Gear rod



KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Link rod



KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Power piston rod

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
BETA-TYPE STIRLING ENGINE	Fly wheel

ภาคผนวก ข

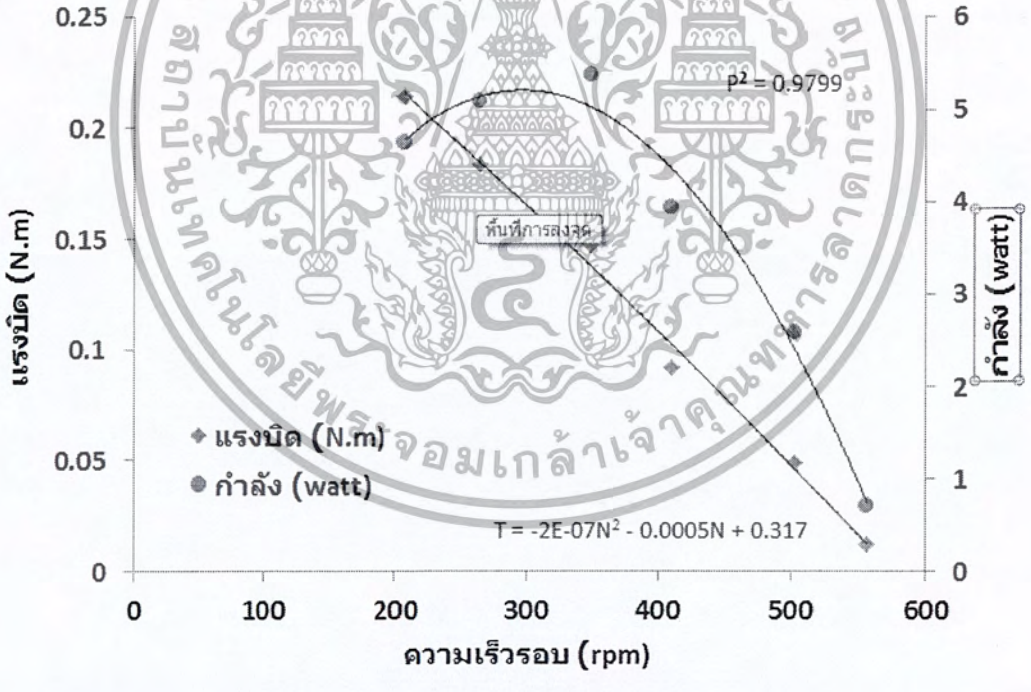
การคำนวณแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์จากผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 1

ค่าจากตาชั่งสปริง1 (g)	ค่าจากตาชั่งสปริง2 (g)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด(N.m)	กำลัง (watt)
50	40	556	0.012263	0.713974
100	60	502	0.04905	2.578525
150	75	410	0.091969	3.948687
200	80	349	0.14715	5.37792
250	100	265	0.183938	5.104401
300	125	207	0.214594	4.651746

เมื่อเขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดละกำลังเทียบกับความเร็วรอบจะได้ดังแผนภูมิ ข.1



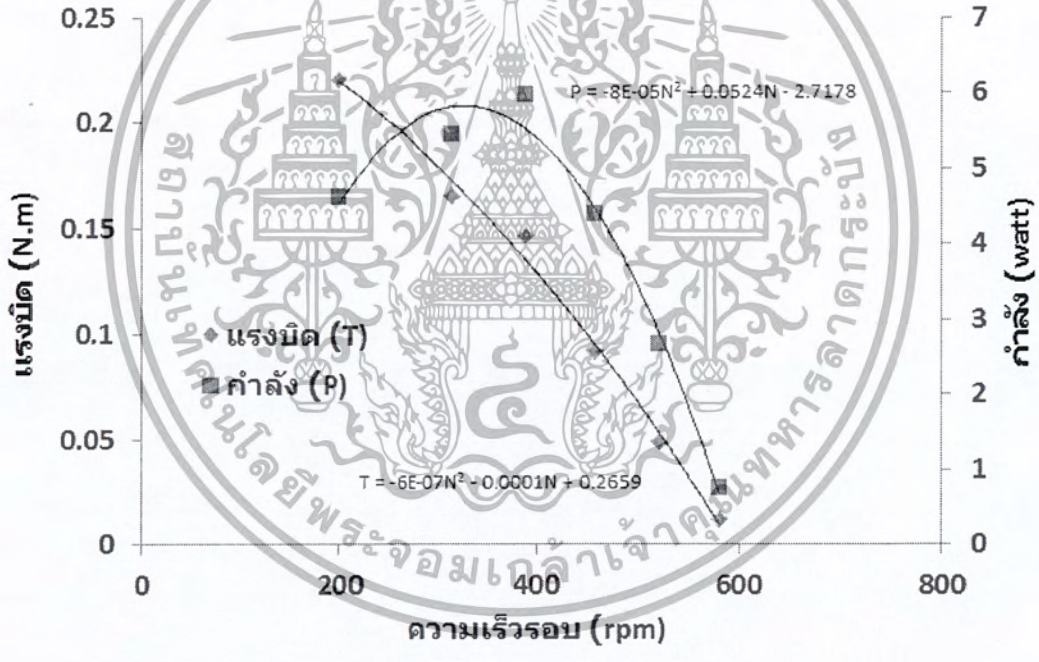
รูป ข.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดละกำลังเทียบกับความเร็วรอบของผลการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 2

ค่าจากตาชั่งสปริง1 (g)	ค่าจากตาชั่งสปริง2 (g)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด(N.m)	กำลัง (watt)
50	40	580	0.012263	0.744793
100	60	520	0.04905	2.670982
150	75	457	0.091969	4.401342
200	80	388	0.14715	5.978891
250	115	315	0.165544	5.460746
300	120	200	0.220725	4.622854

เมื่อเขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดละกำลังเทียบกับความเร็วรอบจะได้ดังแผนภูมิ ข.2



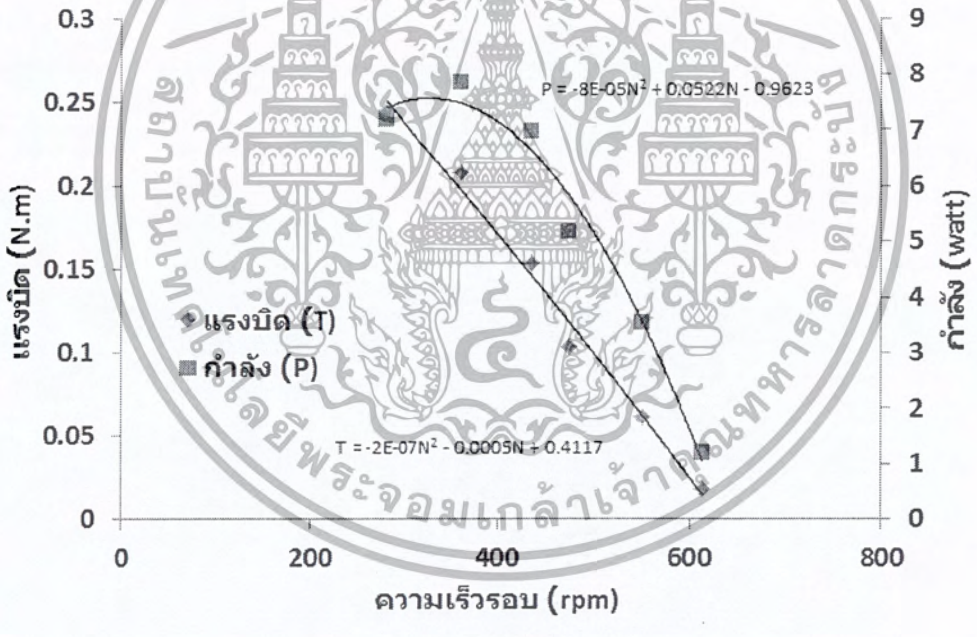
รูป ข.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดละกำลังเทียบกับความเร็วรอบของผลการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 3

ค่าจากตาชั่งสปริง1 (g)	ค่าจากตาชั่งสปริง2 (g)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (N.m)	กำลัง (watt)
50	35	613	0.018394	1.180754
100	50	551	0.061313	3.537767
150	65	475	0.104231	5.184659
200	75	436	0.153281	6.998487
250	80	360	0.208463	7.858851
300	100	280	0.24525	7.191106

เมื่อเขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดละกำลังเทียบกับความเร็วรอบจะได้ดังแผนภูมิ ข.3



รูป ข.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดละกำลังเทียบกับความเร็วรอบของผลการทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 4

ค่าจากตาชั่งสปริง1 (g)	ค่าจากตาชั่งสปริง2 (g)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงบิด (N.m)	กำลัง (watt)
50	45	673	0.006131	0.432108
100	65	586	0.042919	2.633742
150	75	528	0.091969	5.085139
200	80	429	0.14715	6.610681
250	120	357	0.159413	5.959629
300	130	291	0.208463	6.352571

เมื่อเขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดละกำลังเทียบกับความเร็วรอบจะได้ดังแผนภูมิ ข.3

รูป ข.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดละกำลังเทียบกับความเร็วรอบของผลการทดลองครั้งที่ 4

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] http://www.logicsys.com.tw/ltdeng.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้