


การออกแบบและพัฒนาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบ
ติสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา
DESIGN AND DEVELOPMENT OF TEMPERATURE DIFFERENCE
BETWEEN THE DISPLACER CYLINDER AND POWER CYLINDER OF
THE STIRLING ENGINE TYPE GAMMA



นายจิรภัทร วงศ์เสถียร
นายนทีเทพ สุวรรณภูมิ
นายปัทวี มีทรัพย์สิน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การออกแบบและพัฒนาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบ
ดิสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา
DESIGN AND DEVELOPMENT OF TEMPERATURE DIFFERENCE
BETWEEN THE DISPLACER CYLINDER AND POWER CYLINDER OF
THE STIRLING ENGINE TYPE GAMMA



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบลงนอกราย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

DESIGN AND DEVELOPMENT OF TEMPERATURE DIFFERENCE
BETWEEN THE DISPLACER CYLINDER AND POWER CYLINDER OF
THE STIRLING ENGINE TYPE GAMMA



MR. JIRAPHAT WONGSATIEN
MR. NATEETHAP SUWANNAPHOOM
MR. PATTAWEE MEESAPSIN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS

DEPARTMENT OF PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การออกแบบและพัฒนาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบ
ดิสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิด
แกมมา

DESIGN AND DEVELOPMENT OF TEMPERATURE
DIFFERENCE BETWEEN THE DISPLACER CYLINDER AND
POWER CYLINDER OF THE STIRLING ENGINE TYPE
GAMMA

ชื่อนักศึกษา

นายจิรภัทร วงศ์เสถียร รหัสนักศึกษา 54050494

นายนทีเทพ สุวรรณภูมิ รหัสนักศึกษา 54050539

นายปวี มีทรัพย์สิน รหัสนักศึกษา 54050552

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์

ภาควิชา

ฟิสิกส์

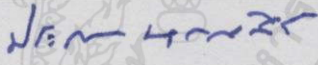
ปีการศึกษา

2557

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. สาหรัย เล็กชะอุม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. ประธาน บุรณศิริ	
ดร. อนุรักษ์ พรหมรส	
ดร. เชษฐา รัตนพันธ์	
รศ. สาหรัย เล็กชะอุม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบและพัฒนาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา
ชื่อนักศึกษา	นายจิรภัทร วงศ์เสถียร รหัสนักศึกษา 54050494 นายนทีเทพ สุวรรณภูมิ รหัสนักศึกษา 54050539 นายปทิวี มีทรัพย์สิน รหัสนักศึกษา 54050552
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา โดยพัฒนาเรื่องของวัสดุในการนำมาออกแบบและสร้างชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง คือ แก้ว สแตนเลส ทองเหลือง และอลูมิเนียม มาสร้างเป็นชิ้นส่วนของกระบอกสูบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง การทดสอบการพัฒนาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังโดยใช้โปรแกรม Solidworks ในการช่วยวิเคราะห์ทดสอบ การวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การนำความร้อนของวัสดุ การไหลของอากาศภายในกระบอกสูบ และ การหาแรงผลึกของลูกสูบ ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Solidworks พบว่าการนำความร้อนของวัสดุต่างชนิดกันจะนำความร้อนได้น้อยกว่าการใช้วัสดุชนิดเดียวกัน มีความต่างของการนำความร้อน 14°C การไหลของอากาศภายในกระบอกสูบ หาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลัง เปรียบเทียบกับรุ่น 1 และรุ่น 3 ซึ่งรุ่นที่ 1 มีความต่างอุณหภูมิที่ อุณหภูมิ 70.85°C และรุ่น 3 ได้ความต่างของอุณหภูมิ 59.37°C ค่าความต่างไม่มากนักเมื่อเทียบกับรุ่นที่พัฒนาขึ้นใหม่ซึ่งมีค่าความต่างอุณหภูมิ 118.8°C จากผลที่ได้ยิ่งอุณหภูมิมีค่าสูงก็จะทำให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงเป็นผลดีต่อเครื่องยนต์สเตอร์ลิงซึ่งอาศัยหลักของความต่างอุณหภูมิ การวิเคราะห์ทางด้านเชิงกลโดยใช้โปรแกรม Solidworks ในการวิเคราะห์ เพื่อหา แรงที่ใช้ในการผลึกลูกสูบดิสเพลสเซอร์ต้องใช้แรงผลึก 0.1 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คำสำคัญ : การนำความร้อนของวัสดุ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ความต่างอุณหภูมิ
 ไม่ว่าจะพิมพ์ออกทางสีดอท หรือพิมพ์ทางสีดอทก็ตาม เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	DESIGN AND DEVELOPMENT OF TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN THE DISPLACER CYLINDER AND POWER CYLINDER OF THE STIRLING ENGINE TYPE GAMMA
Students	Mr. JIRAPHAT WONGSATIEN Student ID 54050494 Mr. NATEETHAP SUWANNAPHOOM Student ID 54050539 Mr. PATTAWEE MEESAPSIN Student ID 54050552
Degree	Bachelor of Science in Applied Physics
Department	Physics
Academic Year	2014
Advisor	Assoc.Prof. Sarai Lekchaum

Abstract

This project is design and development of temperature difference between the displacer cylinder and power cylinder of the stirling engine type gamma. Developing about materials to make parts of stirling engine. Parts of stirling made from glass brass stainless and aluminium. The test of the development temperature difference between the displacer cylinder and power cylinder and use SolidWorks program for analysis and testing. The analysis has three sections. Thermal conductivity of material, analysis air flow inlet cylinder, analysis mechanical. The analysis thermal conductivity result with SolidWorks program. Thermal conductivity of materials difference low temperature more than the same kind materials. The result difference temperature is 14°C . analysis air flow inlet result of temperature difference between the displacer cylinder and power cylinder compare generation one and three. Which generation one have difference temperature 70.85°C and generation three have difference temperature 59.37°C few temperature difference when compare new develop have difference temperature 118.8°C . Out of result more temperature high efficient thermal high be good for stirling engine which used principles temperature difference. The analysis mechanical SolidWorks program want force push displacer piston use force pushes 0.1N .

Keywords : Thermal conductivity, Stirling engine type gamma, Difference temperature

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนจากผู้ช่วยศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ผู้ให้คำแนะนำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดและยังเสนอแนะข้อสงสัยต่างๆ ทำให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจและแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการทำโครงการพิเศษนี้ด้วย

ขอขอบคุณ นายทองทศ แก้วกล้า นายไพฑูรย์ ไพศาล และพี่ๆพนักงานหน่วยผลิตอุปกรณ์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ที่ดูแลและอำนวยความสะดวกสถานที่สำหรับการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง สอนเทคนิคต่างๆในการใช้อุปกรณ์เครื่องกลโรงงานได้อย่างถูกต้อง และให้กำลังใจที่ดีในการทำโครงการพิเศษมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ อาจารย์สาโรจน์ ชูอำไพ และอาจารย์ประจำตึกซ่อมสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ปฏิบัติงานและเครื่องมือที่สำคัญในการทำโครงการพิเศษและเป็นที่ยอมรับพร้อมทั้งให้กำลังใจที่ดีตลอดมา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นายสุรเดช สุรดีศักดิ์ และพี่ๆพนักงานกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกสถานที่สำหรับการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่เมตตาตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน ตลอดจน กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ทุนทรัพย์และคอยเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำโครงการพิเศษซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการศึกษาและการทำโครงการพิเศษนี้

นายจิรภัทร วงศ์เสถียร

นายนทีเทพ สุวรรณภูมิ

นายปัทวี มีทรัพย์สิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้พื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	5
2.1.1 หลักทางกลศาสตร์	5
2.1.2 กฎทางอุณหพลศาสตร์	9
2.1.3 วัฏจักรสเตอร์ลิง (Stirling Cycle) ในทางอุดมคติ	12
2.2 ชนิดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	15
2.2.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟา (Stirling engine type Alpha)	16
2.2.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบต้า (Stirling engine type Beta)	17
2.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบขนาดเล็ก ชนิดแกมมา	18
2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในเมื่อลูกสูบติสเพลสเซอร์	23
2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมข้อเหวี่ยงที่มีผลต่อปริมาตรการบีบอัดและขยายตัวของอากาศ	24
2.3.3 การความสัมพันธ์ของอัตราเร่งเชิงมุม กำลังงาน แรงที่เกิดจากทอร์คที่มุมข้อเหวี่ยงของลูกสูบกำลัง	25
2.4 ทฤษฎีทางวัสดุศาสตร์	26
2.4.1 ทองเหลือง (Brass)	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 แสตนเลส (Stainless)

28

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาหาค่าความต่างอุณหภูมิ ในการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ชนิดแกมมาจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบขนาดเล็กชนิดแกมมา

3.1.1 ครอบอกสูบดิสเพลสเซอร์

32

3.1.2 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์และแกนดิสเพลสเซอร์

33

3.1.3 ลูกสูบกำลังและแกนลูกสูบกำลัง

33

3.1.4 ครอบอกสูบกำลัง

34

3.1.5 ข้อเหวี่ยง

34

3.1.6 ล้อเกียร์กระตุ้น

35

3.1.7 ท่อนำอากาศ

35

3.2 การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่พัฒนาโดยใช้โปรแกรม SolidWorks 35

3.2.1 ครอบอกสูบดิสเพลสเซอร์

39

3.2.1.1 ใช้คำสั่ง line ร่างเส้นตามขนาดของครอบอกสูบดิสเพลสเซอร์จริง

39

3.2.1.2 ใช้คำสั่ง Revolved Boss/Base

39

3.2.2 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์

40

3.2.3 ครอบอกสูบกำลัง

40

3.2.4 ลูกสูบกำลัง

41

3.2.5 แกนเหวี่ยง

41

3.2.6 ล้อเกียร์

41

3.2.6.1 ใช้คำสั่ง circle ในการขึ้นรูปร่างกลมโครงล้อ

41

3.2.6.2 ใช้คำสั่ง Extruded Boss/Base ในการขึ้นรูป 3 มิติ

43

3.2.7 ฐานรองครอบอกสูบ

43

3.2.7.1 ใช้คำสั่ง line สำหรับขึ้นรูปฐาน

43

3.2.7.2 ใช้คำสั่ง Extruded Boss/Base ในการขึ้นรูป 3 มิติ

44

3.3 การสร้างชิ้นส่วนและประกอบอุปกรณ์ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ชนิดแกมมาที่พัฒนา

44

3.3.1 เครื่องมือสำหรับการขึ้นส่วนของสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

44

3.3.2 การสร้างชิ้นส่วนและการประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

46

3.3.2.1 ครอบอกสูบดิสเพลสเซอร์

46

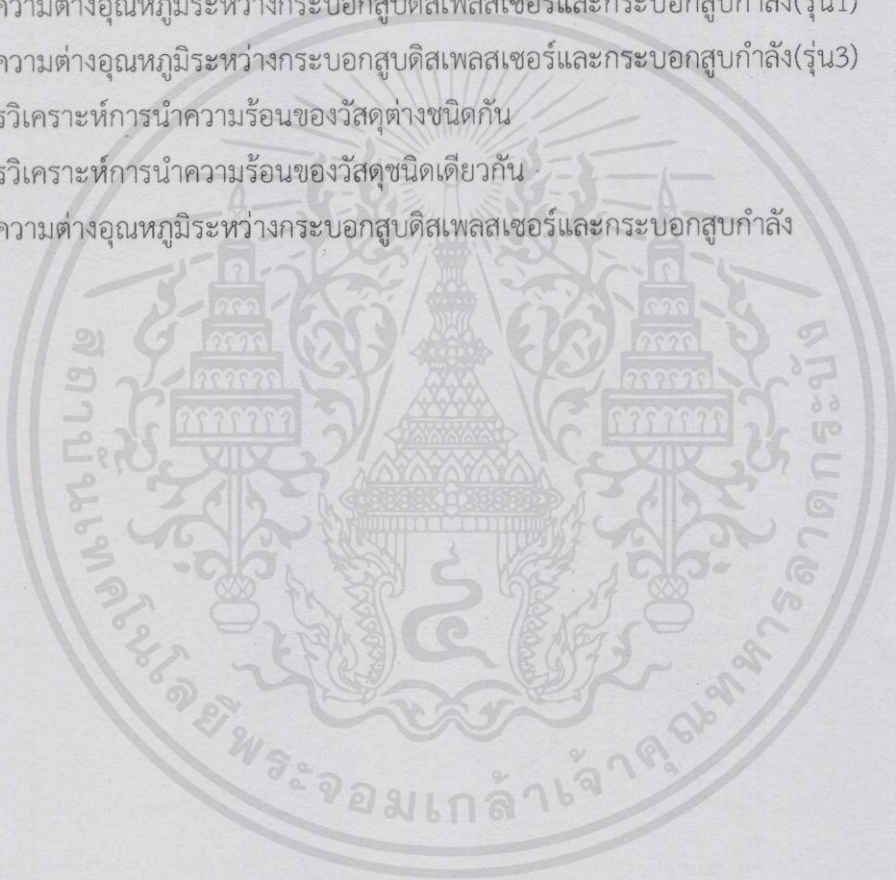
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2.2 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์และ แกนดิสเพลสเซอร์	47
3.3.2.3 ลูกสูบกำลัง	49
3.3.2.4 กระบอกสูบกำลัง	49
3.3.2.5 ข้อเหวี่ยง	49
3.3.2.6 ล้อเกียร์กระตุ้น	49
3.4 ทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความต่างอุณหภูมิ ในการเริ่มต้นการทำงานของ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่พัฒนาขึ้น	50
3.4.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ	51
3.4.2 ขั้นตอนการทดลองการทำงานเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา	51
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1 การวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์	52
4.1.1 วิเคราะห์การนำความร้อน	52
4.1.2 วิเคราะห์การไหลของอากาศภายในกระบอกสูบคำนวณหาปริมาตร เครื่องยนต์สเตอร์ลิง(ขณะยังไม่ใส่ลูกสูบ)	58
4.2 การวิเคราะห์ทางกลศาสตร์	68
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	
5.2 ผลการวิเคราะห์หาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์และ กระบอกสูบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	
5.3 ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินการ	3
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความแข็งแรงของทองเหลือง	28
4.1 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุต่างชนิดกัน	57
4.2 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุชนิดเดียวกัน	57
4.3 แสดงความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลัง	66
4.4 แสดงความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลัง(รุ่น1)	67
4.5 แสดงความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลัง(รุ่น3)	68
5.1 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุต่างชนิดกัน	72
5.2 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุชนิดเดียวกัน	72
5.3 แสดงความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลัง	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วัตถุที่ถูกกระทำด้วยแรงสองแรงซึ่งจะทำให้หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่	5
2.2 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง a ที่มีผลมาจากการกระทำของผลรวมของแรง	6
2.3 แรงเสียดทานที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ	6
2.4 แสดงทิศทางแรงสู่ศูนย์กลาง	7
2.5 แสดงการเคลื่อนที่แบบหมุน	7
2.6 แสดงทิศทางของทอร์กที่ตั้งฉากกับระนาบการหมุน	8
2.7 แสดงการเกิดงาน	8
2.8 งานของเพลลา (Shaft Work)	9
2.9 แผนภาพ P - V , T - S ของวัฏจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ (Ideal stirling cycle)	13
2.10 งานในระบบที่กักอัดได้	13
2.11 องค์ประกอบและชนิดเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	15
2.12 กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟา	17
2.13 กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบต้า	17
2.14 กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา	18
2.15 โครงสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา	18
2.16.1 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์ขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	19
2.16.2 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์ขณะเคลื่อนที่ถอยกลับ	19
2.16.3 แผนภาพ ความดัน-ปริมาตร	19
2.17.1 ลูกสูบกำลังขณะเคลื่อนที่	20
2.17.2 ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปจนสุดปลายกระบอก	20
2.17.3 แผนภาพ ความดัน - ปริมาตร	20
2.18.1 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์เริ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	21
2.18.2 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์ ขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	21
2.18.3 แผนภาพ ความดัน - ปริมาตร	21
2.19.1 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ไปจนสุดกระบอก ลูกสูบกำลังเริ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	22
2.19.2 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ถอยกลับ ลูกสูบกำลังเริ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	22
2.19.3 แผนภาพ ความดัน - ปริมาตร	22
2.20 ความสัมพันธ์ความดันภายในกระบอกสูบเมื่อไม่ให้ความร้อน	23
2.21 ความสัมพันธ์ความดันภายในกระบอกสูบให้ความร้อน	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
2.22 แสดงตำแหน่งระยะข้อเหวี่ยงของแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์บนล้อเกียร์กระตุ้นกำลังที่ทำมุมกับระนาบแกนนอนเป็นมุม $\theta = 0^\circ$ (View A) และที่นำหน้าตำแหน่งระยะข้อเหวี่ยงของแกนลูกสูบกำลังเป็นมุม $\Delta\theta = 90^\circ$ (View B) และทั้งสองหมุนตามเข็มนาฬิกา	24
2.23 ผลิตรังสีจากทองเหลือง	27
2.24 วัสดุที่ผลิตจากแอสตันเลส	31
3.1 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบขนาดเล็ก ชนิดแกมมา	31
3.2 ครอบลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (4) ฮีทเตอร์(5)และฮีทซิงค์(6)	32
3.3 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (2) และแกนดิสเพลสเซอร์ (7)	33
3.4 ลูกสูบกำลัง (6) และ แกนลูกสูบกำลัง (9)	33
3.5 ครอบลูกสูบกำลัง (3)	34
3.6 ข้อเหวี่ยง (10)	34
3.7 ล้อเกียร์กระตุ้น (11)	35
3.8 ท่อนำอากาศ (8)	35
3.9 รูปแสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (1)	36
3.10 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (2)	37
3.11 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (3)	37
3.12 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (4)	38
3.13 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (5)	39
3.14 แสดงภาพครอบลูกสูบดิสเพลสเซอร์ที่สมบูรณ์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (6)	39
3.15 แสดงขนาดครอบลูกสูบดิสเพลสเซอร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (7)	40
3.16 แสดงภาพลูกสูบดิสเพลสเซอร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (8)	40
3.17 แสดงขนาดลูกสูบดิสเพลสเซอร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (9)	40
3.18 แสดงภาพครอบลูกสูบกำลังที่สมบูรณ์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (10)	41
3.19 แสดงขนาดครอบลูกสูบกำลัง หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (11)	41
3.20 แสดงภาพลูกสูบกำลังที่สมบูรณ์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (12)	41
3.21 แสดงขนาดลูกสูบกำลังที่สมบูรณ์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (13)	42
3.22 แสดงภาพแกนเหวี่ยง หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (14)	42
3.23 แสดงขนาดแกนเหวี่ยง หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (15)	42
3.24 แสดงภาพล้อเกียร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (16)	43
3.25 แสดงขนาดล้อเกียร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (17)	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.26 แสดงภาพฐานรองกระบอกสูบ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (18)	44
3.27 แสดงขนาดฐานรองกระบอกสูบ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (19)	44
3.28 เครื่องกลึงแบบเดิม	45
3.29 เครื่องกลึง ชนิด NC	45
3.30 เครื่องกลึงชนิด CNC	45
3.31 เครื่องเจาะรู	46
3.32 กระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (4) ฮีทเตอร์ (5) และ ฮีทซิงค์(6)	46
3.33 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (2) และ แกนดิสเพลสเซอร์ (7)	47
3.34 ลูกสูบกำลัง (6) และ แขนเหวี่ยงกำลัง (9)	48
3.35 กระบอกลูกสูบกำลัง (3)	48
3.36 ข้อเหวี่ยง (10)	48
3.37 ล้อเกียร์กระตุ้น (11)	49
3.38 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา	50
3.39 ตะเกียงแอลกอฮอล์	51
3.40 นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิทัล	51
4.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา	52
4.2 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks ในการวิเคราะห์การนำความร้อนของกระบอก สูบดิสเพลสเซอร์(A)	53
4.3 แสดง (A)ส่วนของฮีทเตอร์(B)ชนิดวัสดุที่เลือก	53
4.4 แสดงการกำหนดชนิดวัสดุ	54
4.5 ตารางคุณสมบัติวัสดุ(สแตนเลส)	54
4.6 ตารางคุณสมบัติวัสดุ(ทองเหลือง)	55
4.7 Poisson's Ratio	55
4.8 แสดงหน้าต่างโปรแกรมในการ Simulation	56
4.9 แสดงผลการ Simulation การนำความร้อน(วัสดุต่างชนิด)	56
4.10 แสดงผลการ Simulation การนำความร้อน(วัสดุชนิดเดียวกัน)	57
4.11 แสดงปริมาตรภายในของระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	58
4.12 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่จะทำการวิเคราะห์ Flow Simulation	61
4.13 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ทำการสร้างฝาปิดเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation	61
4.14 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าการใช้งานเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าการใช้งานเพื่อทำการวิเคราะห์ FlowSimulation(2)	62
4.16 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าการใช้งานเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation(3)	63
4.17 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าการใช้งานเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation(4) การตั้งค่า Flow Simulation ในหน้าต่างโปรแกรมที่ 4 นี้เป็นการเลือกของไหลในระบบ	63
4.18 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการเมื่อทำการตั้งค่าเรียบร้อยแล้วเพื่อทำการวิเคราะห์ FlowSimulation	64
4.19 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการกำหนดขอบเขตทางเข้าของอากาศไหลเข้ามาทางด้านฮีทเตอร์ ด้วยมวล 0.0001 kg/s และมีอุณหภูมิ 90 °C	64
4.20 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการกำหนดขอบเขตของอากาศไหลออก ด้วยแรงดันปกติ อุณหภูมิ 30 °C	65
4.21 แสดงการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลในกระบอกสูบตามเฉดสี (เครื่องพัฒนา)	65
4.22 แสดงการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลในกระบอกสูบตามเฉดสี(รุ่น1)	66
4.23 แสดงการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลในกระบอกสูบตามเฉดสี(รุ่น3)	67
4.24 แสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่จะนำมาวิเคราะห์การหมุน	69
4.25 แสดงการใส่มอเตอร์ที่เพลาหมุนเพื่อทดสอบการหมุนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	69
4.26 แสดงการวิเคราะห์การหมุนของโปรแกรม	70
4.27 กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ทอร์ก (N-mm)กับ เวลา (s)	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
$l_{Cy,d}$	ความยาวของกระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (mm)
$d_{Cy,d}$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกลูกสูบ ดิสเพลสเซอร์ (mm)
$d_{out,ht}$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฮีทเตอร์ (mm)
$d_{in,ht}$	ความยาวของฮีทเตอร์ (mm)
$d_{out,hs}$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฮีทซิงค์ (mm)
$d_{in,hs}$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของฮีทซิงค์ (mm)
l_{hs}	ความยาวของฮีทซิงค์ (mm)
d_d	เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (mm)
A_d	พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (mm^2)
A_p	พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบกำลัง (mm^2)
l_d	ความยาวของลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (mm)
$d_{core,d}$	เส้นผ่านศูนย์กลางแกนดิสเพลสเซอร์ (mm)
$l_{core,d}$	ความยาวแกนดิสเพลสเซอร์ (mm)
d_p	เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบกำลัง (mm)
l_p	ความยาวของลูกสูบกำลัง (mm)
$d_{core,p}$	เส้นผ่านศูนย์กลางแกนลูกสูบกำลัง (mm)
$l_{core,p}$	ความยาวแกนลูกสูบกำลัง (mm)
$l_{Cy,p}$	ความยาวของกระบอกลูกสูบกำลัง (mm)
$V_{Cy,p}$	ปริมาตรภายในกระบอกลูกสูบกำลัง (mm^3)
$d_{Cy,p}$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกกระบอกสูบ (mm)
d_k	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในข้อเหวี่ยง (mm)
l_k	ความยาวข้อเหวี่ยง (mm)
d_F	เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง (mm)
l_F	ความหนาของล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง (mm)
$d_{in,tube}$	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเบื้องต้นเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ

$d_{\text{out,tube}}$

l_{tube}

ความหมาย

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (mm)

ความยาวท่อ (mm)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การผลิตกระแสไฟฟ้าในชีวิตประจำวันใช้พลังงานหรือกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกระแสไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าส่งมาตามสายไฟ เข้าสู่อาคารบ้านเรือน หรือจากเซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งในสภาวะการณ์ปัจจุบัน ต้องพึ่งการใช้พลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าจาก ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน เชื้อเพลิง ถ่านหิน ส่วนใหญ่ในการผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานเหล่านี้ล้วนเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งสวนทางกับการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ทวีการใช้มากขึ้นเรื่อย ๆ จึงมีการคิดค้นวิธีการต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการโดยมีต้นทุนต่ำ และไม่เป็นมลพิษกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมก็คือพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์จัดว่าเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูงปราศจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อมและเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไป ในการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ สเตอริลิง ซึ่งเครื่องยนต์สเตอริลิงค์เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้หลักการแปลงพลังงานความร้อนให้อยู่ในรูปของพลังงานกลและสามารถปรับใช้กับหลักการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ และเป็นเครื่องยนต์ที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นมาจากในช่วงปี ค.ศ. 1816คือ เครื่องยนต์สเตอริลิง (Stirling Engine) ซึ่งผู้ประดิษฐ์คิดค้นคือบาทหลวงโรเบิร์ต สเตอริลิง (Robert Stirling) เครื่องยนต์สเตอริลิงทำงานโดยอาศัยหลักการของการขยายตัวของอากาศขณะอากาศอยู่ในปริมาตรจำกัดได้รับความร้อนและในขณะที่อากาศเย็นอากาศภายในปริมาตรจำกัดจะหดตัว ดังนั้นระบบการทำงานจะดำเนินไปภายในกระบอกสูบ จึงไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมเพราะเป็นระบบปิดและชิ้นส่วนต่างๆทำจากโลหะ ซึ่งสามารถหลอมแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นับว่าเป็นเครื่องยนต์ที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

เครื่องยนต์สเตอริลิงสามารถสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดซึ่งใช้หลักการทางอุณหพลศาสตร์เหมือนกันแต่มีความแตกต่างกันทางด้านรูปแบบทางกลศาสตร์ ได้แก่

1) เครื่องยนต์สเตอริลิงชนิด อัลฟา (Type alpha stirling engine) เป็นพื้นฐานของเครื่องยนต์ชนิดอื่นๆประกอบด้วย ลูกสูบกำลังสองลูกสูบในกระบอกสูบแยกและมีการจัดเรียงโดยมีลักษณะเป็นแบบแผนง่าย ๆ ซึ่งสองลูกสูบนี้ออกเป็นลูกสูบริ้อนและลูกสูบเย็น

2) เครื่องยนต์สเตอริลิงชนิดเบต้า (Type beta stirling engine) ประกอบด้วย ลูกสูบดิสเพลสเซอร์มีหน้าที่ในการส่งผ่านความร้อนให้ของไหลภายในทำงานและลูกสูบกำลังที่มีหน้าที่ส่งผ่านกำลังให้เครื่อง อาศัยอยู่ในกระบอกสูบเดียวกันและมีการจัดเรียงที่ซับซ้อน

3) เครื่องยนต์สเตอริลิงชนิดแกมมา (Type gamma stirling engine) ประกอบด้วย ลูกสูบดิสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลังในกระบอกสูบแยกและมีการจัดเรียงแบบง่าย ๆ โดยทั้งสองกระบอกสูบนี้อเชื่อมต่อกันและมีหลักการทำงานเช่นเดียวกันกับชนิดเบต้า

จากการศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ต้นแบบขนาดเล็กชนิดแกมมา (Type gamma – stirling engine) จากหลักการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ที่ใช้ความต่างของอุณหภูมิในการทำงานจึงได้ทำการวิจัยในเรื่องของอุณหภูมิในการทำงานเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง และการออกแบบตัวเครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังให้ทอร์กที่จะทำให้เกิดแรงบิดไม่เพียงพอในการนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นได้ ผู้ทำการวิจัยจึงจะทำการศึกษาค้นคว้าการใช้วัสดุในการทำกระบอกสูบทั้งด้านร้อนและเย็น ทำการเพิ่มระยะชักของลูกสูบให้มีความเหมาะสม ข้อเหวี่ยง การวิเคราะห์ความต่างของอุณหภูมิของกระบอกสูบทั้งด้านร้อน และเย็น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมา (Type gamma stirling engine)
- 2) เพื่อหาความสัมพันธ์ทางอุณหพลศาสตร์ และประสิทธิภาพทางความร้อน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องยนต์และวัฏจักรของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
- 2) ศึกษาวัสดุที่เหมาะสมในการออกแบบกระบอกสูบในการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
- 3) ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาต้นแบบ คำนวณทดสอบประสิทธิภาพ
- 4) วิเคราะห์ความต่างของอุณหภูมิของกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ และกระบอกสูบกำลัง
- 5) วิเคราะห์ข้อเหวี่ยงระยะลูกสูบที่เหมาะสม ต่อการเกิดงานในการหมุนทางเชิงกล

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทำ รวมทั้งสิ้น 11 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 ซึ่งมีการดำเนินการดังนี้จากแนวทางการดำเนินการข้างต้น สามารถแสดงระยะเวลาดำเนินงานได้ดังตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินการ

แผนการ ดำเนินการ	มี. ค.	เม. .ช.	พ. ค.	มิ. ย.	ก. ค.	ส. ค.	ก. ย.	ต. ค.	พ. ย.	ธ. ค.	ม. ค.	ก. พ.	มี. ค.	เม. ย.	พ. ค.
1. เสนอ งานวิจัย															
2. ศึกษาหา ข้อมูล															
3. ศึกษา เครื่องต้นแบบ															
4. จัดทำ อุปกรณ์และ วัสดุ															
5. ออกแบบ และสร้าง															
6. ทดสอบ ประสิทธิภาพ															

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ความรู้เรื่องการใช้เครื่องกล ในการทำงานจริงนำไปสู่การประกอบสัมมาอาชีพได้
- 2) ได้ความรู้เรื่องคุณลักษณะเฉพาะวัสดุชนิดต่างๆ
- 3) ได้รับแนวทางการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในอนาคตและเผยแพร่แก่ผู้ที่สนใจได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนระบบปิด 2 จังหวะใช้หลักการของการบีบอัดและการขยายตัวของของไหลภายในระบบ โดยใช้การเผาไหม้ภายนอกหรือเรียกว่าสันดาปภายนอก ประดิษฐ์ขึ้นเป็นเครื่องแรกในปี 1816 โดย บาทหลวงโรเบิร์ต สเตอร์ลิง (Robert Stirling) ชาวสกอตแลนด์ ซึ่งของไหลจะทำงานในระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของความร้อนกับพลังงานกล ทั้งหมดนี้เป็นหลักการถ่ายโอนความร้อนของไหลที่จะเกิดการดำเนินงานขึ้นผ่านบริเวณผนังเครื่องยนต์ (โดยทั่วไปของวัฏจักรเครื่องยนต์ความร้อนทั่วไปประกอบด้วย การบีบอัดก๊าซเย็น การขยายตัวก๊าซร้อนและสุดท้ายก๊าซเย็นลงก่อนการเกิดวัฏจักรซ้ำ) แตกต่างกับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่เป็นความร้อนโดยการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง และแตกต่างจากเครื่องจักรไอน้ำที่ (หรือโดยทั่วไปเรียกว่าเครื่องยนต์วัฏจักร Rankine) เมื่อเปรียบเทียบแล้วเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็มีข้อดีกว่าที่ว่า เครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็มีการใช้ของไหลที่ปริมาณคงที่ภายใน ทำงานได้เงียบและปลอดภัยกว่าเครื่องจักรไอน้ำซึ่งมีการระเบิดอยู่หลายครั้ง แต่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็มีข้อเสียตรงที่มีกำลังในการขับเคลื่อนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวมันเองอาจจะใช้ความร้อนให้สูงขึ้นได้แต่ถ้าความร้อนสูงเกินไปจะทำให้ส่วนของอุปกรณ์รับความร้อนเกิดความเสียหายได้ เกิดจากข้อจำกัดของวัสดุที่เลือกนำมาใช้ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นต่อๆมามีขนาดเล็กลงปลอดภัยและเงียบเป็นที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมขนาดเบาและตามบ้านเรือน เช่น พัดลม จักรเย็บผ้า และเครื่องสูบน้ำ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นแรก ๆ ใช้อากาศเป็นสารทำงาน (Working substance) และเป็นที่รู้จักกันในชื่อ เครื่องยนต์อากาศร้อน (Hot air engine) อากาศจะบรรจุอยู่ในกระบอกสูบลูกทรงกระบอกเพื่อรับความร้อน การขยายตัว การระบายความร้อน และการอัด โดยการเคลื่อนที่ของส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ เมื่อเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ผู้คนส่วนใหญ่จึงหันมานิยมใช้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในและมอเตอร์ไฟฟ้ากันมากขึ้น เพราะมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่า เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงเสื่อมความนิยมลงไป เมื่อเกิดภาวะราคาน้ำมันแพง ทำให้มีผู้สนใจนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เมื่อราวๆปี ค.ศ.1940 บริษัทฟิลลิปส์ ได้พัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงออกจำหน่ายเพื่อใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก จากนั้นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงเริ่มเป็นที่สนใจอีกทั้งทั่วทั้งยุโรปและอเมริกา เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในปัจจุบัน มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น และมีการเผาไหม้ที่สะอาดเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้เกิดขึ้นภายนอกกระบอกสูบ ทำให้ควบคุมคุณภาพอากาศเสียได้ง่ายกว่าสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด เช่น พลังงานความร้อนที่ได้จาก น้ำมันเชื้อเพลิง วัสดุที่ติดไฟได้ เช่น ขยะ ชีวมวลทางการเกษตร และแสงอาทิตย์ เป็นต้น ของไหลภายในที่ใช้ในการทำงานของเครื่องยนต์ ได้แก่ อากาศ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซฮีเลียม ก๊าซไนโตรเจน นีออนและก๊าซอื่นๆ โดยการการ

ทำงานจะอยู่ภายใต้ระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันและทำงานในวัฏจักรสเตอร์ลิง เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูง และเครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังมีชิ้นส่วนในการทำงานไม่มาก จึงทำให้การบำรุงรักษาทำได้ง่าย

นอกจากนี้ตามทฤษฎีเครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์ ใช้หลักการอุณหพลศาสตร์ทำให้เกิดวัฏจักรแบบผันกลับได้ ทำให้ในบางครั้งได้ถูกนำไปปรับใช้กับเครื่องปั๊มทางความร้อน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังคงมีประโยชน์อีกหลากหลายประการแต่ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่ได้ถูกศึกษาพัฒนามากนัก แต่เนื่องจากปัจจุบันมีความสนใจทางด้านพลังงานทดแทนมากขึ้น เครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์จึงเป็นเครื่องยนต์อีกชนิดหนึ่งที่ผู้คนให้ความสนใจในเรื่องของ การนำพลังงานความร้อนรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานกลและไฟฟ้าตามลำดับ

2.1 ความรู้พื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ความรู้พื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในที่นี้จะขอกล่าวที่สำคัญ คือ หลักทางกลศาสตร์ กฎทางอุณหพลศาสตร์ และเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในทางอุดมคติ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1.1 หลักทางกลศาสตร์

หลักทางกลศาสตร์ที่จะใช้นำมาวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

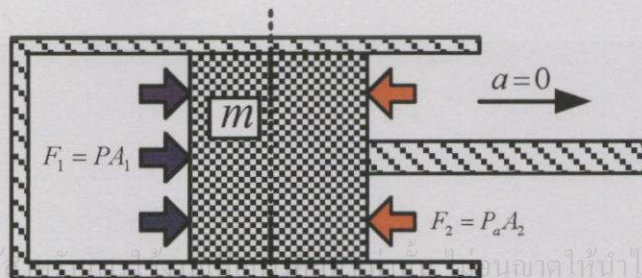
1) การเคลื่อนที่และแรง (Force)

จะแบ่งการพิจารณาการเคลื่อนที่และแรงเป็นรูปแบบได้ 2 แบบ คือ การเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นและการเคลื่อนที่แบบวงกลม ดังนี้

2) การเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้น

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน “วัตถุที่อยู่นิ่งจะคงสภาพนิ่งนั้นหรือวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยอัตราเร็วคงตัวก็จะคงสภาพการเคลื่อนที่นั้นต่อไป ยกเว้นมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำ” จากรูปที่ 2.1 สมการการเคลื่อนที่ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน คือ

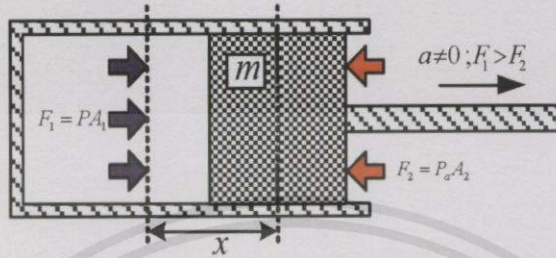
$$\sum F = 0 \quad \text{.....(2.1)}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 วัตถุที่ถูกกระทำด้วยแรงสองแรงซึ่งจะทำให้หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน “เมื่อมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเกิดอัตราเร่งในทิศเดียวกับแรงลัพธ์ที่มากระทำและขนาดของอัตราเร่งนี้จะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ” ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum F = ma \tag{2.2}$$

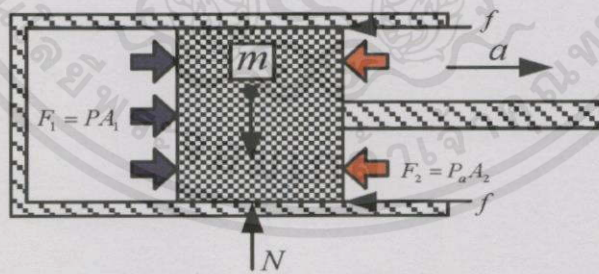


รูปที่ 2.2 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง a ที่มีผลมาจากการกระทำของผลรวมของแรง F

แรงเสียดทานกล่าวว่า “แรงที่พยายามต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ” ดังรูปที่ 2.3 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1) แรงเสียดทานสถิต f_s เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุยังไม่เคลื่อนที่ หาได้จากสมการ $f_s = \mu_s N$ (2.3) จะมีค่ามากที่สุดเมื่อวัตถุกำลังจะเคลื่อนที่พอดี $f_{s,max}$

2) แรงเสียดทานจลน์ f_k เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ หาได้จากสมการ $f_k = \mu_k N$ (2.4)

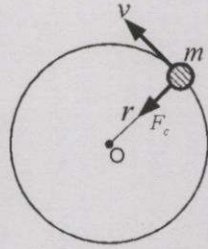


รูปที่ 2.3 แรงเสียดทานที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ

การเคลื่อนที่แบบวงกลม

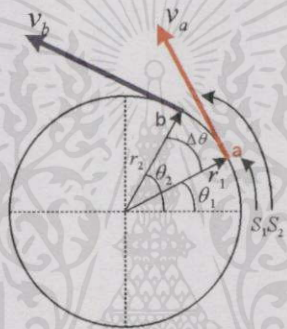
แรงสู่ศูนย์กลาง F_c กล่าวว่า “แรงที่มีทิศพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของการหมุน เพื่อรักษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคให้เป็นวงกลม” ดังรูปที่ 2.4 จะแสดงความสัมพันธ์ของสมการได้ดังนี้ โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา $F_c = \frac{mv^2}{r}$ (2.5) อย่างไรก็ดี



รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางการแรงสู่ศูนย์กลาง

การเคลื่อนที่เชิงมุมจะเกี่ยวข้องกับ มุมของการเคลื่อนที่ อัตราเร็วเชิงมุมและอัตราเร่งเชิงมุมที่มีความสัมพันธ์กับระยะการกระจัด อัตราเร็วเชิงเส้นและอัตราเร่งเชิงเส้น ดังรูปที่ 2.5 จะสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 แสดงการเคลื่อนที่แบบหมุน

ความสัมพันธ์ระหว่างมุม θ และระยะการกระจัด S หาได้จากสมการ

$$S = r\theta \quad \text{.....(2.6)}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุมกับความเร็วเชิงเส้น

ความเร็วเชิงมุม ω ก็คืออัตราการเปลี่ยนแปลงมุม ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad \text{.....(2.7)}$$

จากรูปที่ 2.5 จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วเชิงมุม ω กับ ความเร็วเชิงเส้น v ได้ดังนี้

จากสมการที่ (2.6) จะได้ว่า

$$\frac{dS}{dt} = r \frac{d\theta}{dt} \quad \text{.....(2.8)}$$

ซึ่งจะเท่ากับ

$$v = \omega r \quad \text{.....(2.9)}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งเชิงมุมกับความเร่งเชิงเส้น นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่า ความเร่งเชิงมุม α ก็คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมในหนึ่งหน่วยเวลา จากสมการที่ (2.9) ซึ่ง

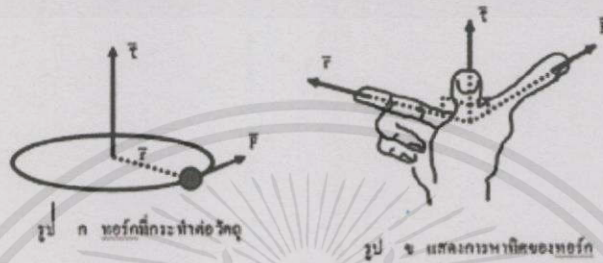
จะได้ว่า

$$\frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} \quad \text{.....(2.10)}$$

ซึ่งจะพบว่าความเร่งเชิงเส้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร่งเชิงมุม นั่นคือ

$$a = \alpha r \quad \text{.....(2.11)}$$

2. ทอร์กของแรง



รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางของทอร์กที่ตั้งฉากกับระนาบการหมุน

ทอร์ก τ หรือขนาดของโมเมนต์ของแรง เท่าผลของแรงคูณกับระยะตั้งฉากจากจุดหมุนไปยังแนวแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังรูปที่ 2.6 และจะหาความสัมพันธ์ของสมการของทอร์ก คือ

$$\tau = \sum F \cdot R \sin \theta \quad \text{.....(2.12)}$$

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตันสำหรับการหมุนจะได้สมการของทอร์กใหม่ คือ

$$\tau = \alpha \sum_{i=1}^n m_i R_i^2 \quad \text{เมื่อ} \quad I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2$$

คือ โมเมนต์ความเฉื่อยดังนั้น

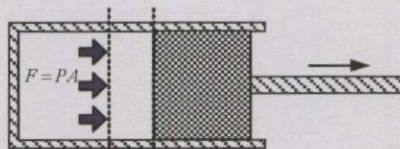
$$\tau = I\alpha = I \frac{d\omega}{dt} \quad \text{.....(2.13)}$$

3. งาน (Work)

งาน(Work) หมายถึง ผลที่เกิดจากแรง F กระทำต่อวัตถุและทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง x งานจะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงกับระยะทางที่อยู่ในทิศเดียวกันนั่นคือ $dW = Fdx$

ดังรูปที่ 2.7 จะได้ว่า

$$W = \int_{x_1}^{x_2} Fdx \quad \text{.....(2.14)}$$



รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

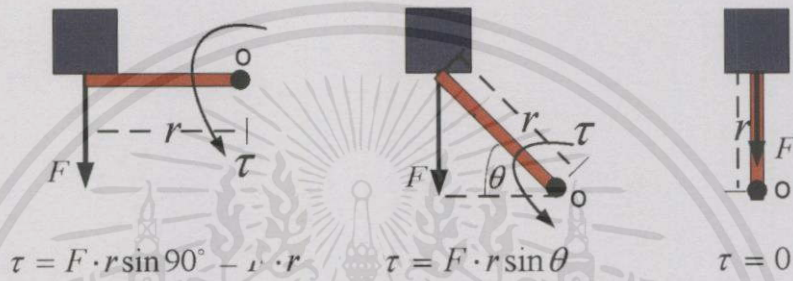
งานของเพลลา (Shaft Work, W_{sh})

ถ้า F มีค่าคงที่จะทำให้เกิดแรงบิด (τ , Torque) ที่มีค่าคงที่ และทำให้เพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบ N (RPM) ดังรูปที่ 2.8 งานของเพลลาจะหาได้ดังนี้ จากสมการ(2.12)

$$\tau = Fr \rightarrow F = \frac{\tau}{r}$$

$$x = 2\pi r \tag{2.15}$$

$$W_{sh} = Fx = \left[\frac{\tau}{r} \right] (2\pi r) = 2\pi\tau \tag{2.16}$$



รูปที่ 2.8 งานของเพลลา (Shaft Work)

และสามารถหาค่ากำลังงาน P_{sh} ที่เพลลาได้จากสมการ

$$P_{sh} = \frac{W_{sh}}{t} = Fv = Fr\omega$$

$$P_{sh} = \left[\frac{\tau}{r} \right] \left[\frac{2\pi Nr}{60} \right] = \frac{2\pi N\tau}{60} \tag{2.17}$$

2.1.2 กฎทางอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ (First law of thermodynamics)

พลังงานในระบบอุณหพลศาสตร์หนึ่งๆ จะมีค่ารวมเท่าเดิมเสมอ ความร้อนที่เกิดขึ้นคือกระบวนการนำพลังงานเข้าสู่ระบบจากแหล่งอุณหภูมิสูง หรือสูญเสียออกจากระบบโดยส่งออกไปยังแหล่งอุณหภูมิต่ำ พลังงานนี้อาจสูญเสียไปจากการเกิดงานทางกลต่อสิ่งแวดล้อมของระบบ หรืออาจกล่าวว่าการทำให้เกิดงานทางกลต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดพลังงานขึ้นก็ได้ กฎข้อที่หนึ่งกล่าวถึงพลังงานเหล่านี้ว่ามีผลรวมคงที่ นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายใน ย่อมจะเท่ากับปริมาณความร้อนที่นำเข้าสู่ระบบ ลบด้วยปริมาณความร้อนที่สูญเสียออกจากระบบ (ซึ่งทำให้เกิดงานทางกลต่อสิ่งแวดล้อม) กฎข้อที่หนึ่งนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$dU = dQ - dW \tag{2.18}$$

โดยที่ dU คือปริมาณการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในระบบ

dQ คือความร้อนที่เข้าสู่ระบบ และ dW คืองานที่เกิดจากระบบ

กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ (Second law of thermodynamics)

หลักฐานที่ได้จากการทดลองบอกเราว่ามันเป็นไปได้ที่จะสร้างเครื่องจักรความร้อนที่สามารถเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดไปเป็นงานได้ นั่นคือ “ไม่มีเครื่องจักรความร้อนใดที่มีประสิทธิภาพเป็น 100%” นี่เป็นที่มาของคำอธิบายหนึ่งของกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ดังนี้ “ไม่มีระบบใดที่สามารถเปลี่ยนสภาวะแบบวัฏจักร โดยดึงความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิหนึ่งแล้วเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดไปเป็นงานกล” คำอธิบายนี้เรียกว่า “Engine statement” ของกฎข้อที่สอง กฎข้อที่สองไม่ได้ขัดแย้งกับกฎข้อที่หนึ่ง นั่นคือถึงแม้ว่าในกฎข้อที่หนึ่งความร้อนที่ระบบได้รับอาจเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ トラบใดที่มีการอนุรักษ์ของพลังงาน กฎข้อที่สองจึงไม่ได้เป็นผลจากกฎข้อที่หนึ่ง แต่เป็นอีกกฎหนึ่งของธรรมชาติที่แยกออกมา กฎข้อที่หนึ่งพูดถึงการไม่สูญหายไปหรือการเปลี่ยนรูปของพลังงาน แต่กฎข้อที่สองให้ข้อจำกัดต่อการใช้และการเปลี่ยนรูปของพลังงาน ในการวิเคราะห์เรื่องของเครื่องทำความเย็นในหัวข้อที่แล้ว จะได้คำอธิบายอีกอันหนึ่งสำหรับกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ความร้อนไหลจากที่ที่ร้อนกว่าไปยังที่ที่เย็นกว่า ไม่มีการผันกลับ แต่เครื่องทำความเย็นนำเอาความร้อนจากที่ที่เย็นกว่าไปยังที่ที่ร้อนกว่าโดยมันต้องการพลังงานกลหรืองานจากภายนอก ซึ่งกล่าวได้ว่า “ไม่มีระบบการใดที่สามารถส่งผ่านความร้อนจากที่ที่เย็นกว่าไปยังที่ที่ร้อนกว่าด้วยตนเองได้” จะเรียกคำอธิบายนี้ว่า “Refrigerator statement” ของกฎข้อที่สอง

เอนโทรปี เป็นปริมาณที่ใช้วัดความไม่เป็นระเบียบ (Disorder) เราจะทำความเข้าใจ กับคำนี้ โดยพิจารณาจาก Infinitesimal isothermal expansion ของก๊าซอุดมคติ เมื่อเราให้ความร้อน dQ แก่ก๊าซ แล้วปล่อยให้ก๊าซขยายตัวโดยที่อุณหภูมิกคงที่ เนื่องจากพลังงานภายในของก๊าซอุดมคติขึ้นกับอุณหภูมิเท่านั้น พลังงานภายในจึงมีค่าคงที่ในกระบวนการ Isothermal นี้ ดังนั้นจากกฎข้อที่หนึ่งงาน dW ที่ทำโดยก๊าซจะเท่ากับความร้อน dQ ที่ใส่เข้าไป นั่นคือ

$$dQ = -dW = PdV = \frac{mRT}{V}dV \quad \text{.....(2.19)}$$

หรือ
$$\frac{dV}{V} = \frac{dQ}{mRT} \quad \text{.....(2.20)}$$

ก๊าซจะมีความไม่เป็นระเบียบมากขึ้น หลังจากที่มีมันขยายตัว เนื่องจากโมเลกุลกำลังเคลื่อนที่ในปริมาตรที่มากกว่า และมีตำแหน่งที่ไม่แน่นอนมากขึ้น ดังนั้นเราอาจใช้อัตราการเปลี่ยนของปริมาตร dV/V เป็นตัววัดการเพิ่มขึ้นของความไม่เป็นระเบียบได้ และจากสมการข้างต้นเนื่องจากมันแปรผันกับปริมาณ dQ/T ถ้าให้สัญลักษณ์ S แทนเอนโทรปีของระบบ และให้นิยามของเอนโทรปีปริมาณน้อยๆ (Infinitesimal entropy) dS สำหรับกระบวนการแบบผันกลับได้เล็ก ๆ (Infinitesimal reversible process) ที่อุณหภูมิตัมบูรณ์ T ว่าเป็น $dS = \frac{dQ}{T}$ ดังข้างล่างนี้

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad \text{.....(2.21)}$$

ถ้ามีความร้อนปริมาณ Q ใส่เข้าไปในช่วง Reversible isothermal process ที่อุณหภูมิสัมบูรณ์ T เอนโทรปีของระบบจะเปลี่ยนไปทั้งสิ้น $\Delta S = S_2 - S_1$ ดังนี้

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} \quad \text{.....(2.22)}$$

ถ้าสารอยู่ในที่เย็นตอนตั้งต้น โมเลกุลมีการเคลื่อนที่เล็กน้อย เมื่อใส่ความร้อน Q ให้กับมัน จะทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนที่มากขึ้นและความไม่เป็นระเบียบมีมากขึ้น แต่ถ้าสารร้อนอยู่แล้วตั้งแต่นั้น ใส่ความร้อนปริมาณเท่าเดิม ให้กับมันจะเพิ่มการเคลื่อนที่ และความไม่เป็นระเบียบให้กับโมเลกุล (ซึ่งมีความไม่เป็นระเบียบอยู่แล้ว) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้น Q/T จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสม ในการบรรยายถึงการเพิ่มขึ้นของความไม่เป็นระเบียบเมื่อมีความร้อนไหลเข้าไปในระบบ เราสามารถเขียนนิยาม ของการเปลี่ยนของเอนโทรปี ให้อยู่ในรูปทั่วไปสำหรับ กระบวนการแบบผันกลับได้ใด ๆ เมื่อระบบมีการเปลี่ยนจากสภาวะตั้งต้น ไปเป็นสภาวะสุดท้าย ไม่ว่าจะกระบวนการนั้นจะเป็นแบบ Isothermal หรือไม่ก็ตาม ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการเปลี่ยนสภาวะ ปริมาณความร้อนน้อย ๆ dQ จะถูกใส่เข้าไปในระบบที่อุณหภูมิสัมบูรณ์ T จากนั้นเราหาผลรวมโดยการอินทิเกรตอัตราส่วน dQ/T สำหรับทั้งกระบวนการ จะได้

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad \text{.....(2.23)}$$

ลิมิตของการอินทิเกรต 1 และ 2 หมายถึงสภาวะเริ่มต้นและสุดท้าย ตามลำดับ

- เอนโทรปีเป็นตัววัดความไม่เป็นระเบียบของระบบ ที่สภาวะใดสภาวะหนึ่ง มันจะต้องมีค่าขึ้นกับสภาวะปัจจุบันของระบบ ไม่ขึ้นกับสภาวะในอดีต
- เมื่อระบบเปลี่ยนจากสภาวะเริ่มต้นซึ่งมีเอนโทรปี S_1 ไปยังสภาวะสุดท้ายซึ่งมีเอนโทรปี S_2 การเปลี่ยนของเอนโทรปีคือ $\Delta S = S_2 - S_1$ ซึ่งไม่ขึ้นกับเส้นทางที่ใช้ในการเปลี่ยนสภาวะ นั่นคือ ΔS จะเท่ากันสำหรับทุกเส้นทางหรือทุกกระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนจากสภาวะที่ 1 ไปยังสภาวะที่ 2

เอนโทรปีกับกฎข้อที่สอง (Entropy and the second law)

และสามารถให้คำอธิบายอีกอันหนึ่งสำหรับกฎข้อที่สองโดยอาศัยเอนโทรปีได้ดังนี้ “กระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติ จะเกิดขึ้นในทิศทางที่ทำให้เอนโทรปีรวมของระบบมีค่าคงที่หรือไม่ก็เพิ่มขึ้นเท่านั้น” ซึ่งเราอาจเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้เป็น

$$\Delta S \geq 0 \quad \text{.....(2.24)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 'ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า' ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 วัฏจักรสเตอร์ลิง (Stirling Cycle) ในทางอุณหพลศาสตร์

เครื่องจักรสเตอร์ลิงมีการทำงานเป็นลักษณะวนไปมาภายใต้อุณหภูมิต่ำและสูง เรียกว่า วัฏจักรสเตอร์ลิง ซึ่งมีความแตกต่างจากเครื่องจักรสันดาปภายใน ดังต่อไปนี้

- ก๊าซที่บรรจุอยู่ในกระบอกสูบของเครื่องจักรสเตอร์ลิง จะอยู่ในระบบปิดอยู่ภายในกระบอกสูบ ไม่สามารถรั่วไหลออกมาได้ จึงต้องมีวาล์วโอเสี่ย เหมือนกับเครื่องจักรก๊าซโซลีน หรือดีเซล และไม่มีการจุดระเบิดของหัวเทียนหรือน้ำมันเชื้อเพลิง เครื่องจึงเดินเงียบมาก
- พลังงานของเครื่องจักรสเตอร์ลิงมาจากความร้อนภายนอกกระบอกสูบ จึงไม่มีการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ

เครื่องจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ คือ ไม่มีความฝืดหรือแรงเสียดทานจุดเคลื่อนที่ต่างและชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ต้องมีมวลเบา ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์สามารถคำนวณได้จากแผนภาพ $P-V$ ปริมาตรภายในเครื่องยนต์สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการหาค่าภายในของรูปทรงเรขาคณิต โดยเริ่มต้นจะสามารถหาค่าความดันของระบบเมื่อมีการกำหนดค่าของปริมาตร (V) มวลของก๊าซ (m) และค่าอุณหภูมิ (T) ค่าความดัน P ของระบบจะสามารถคำนวณได้จากทฤษฎีก๊าซในอุดมคติซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$PV = mRT \quad \text{.....(2.25)}$$

ค่าความดันของเครื่องยนต์จะสามารถคำนวณได้จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของสมมติฐานดังนี้

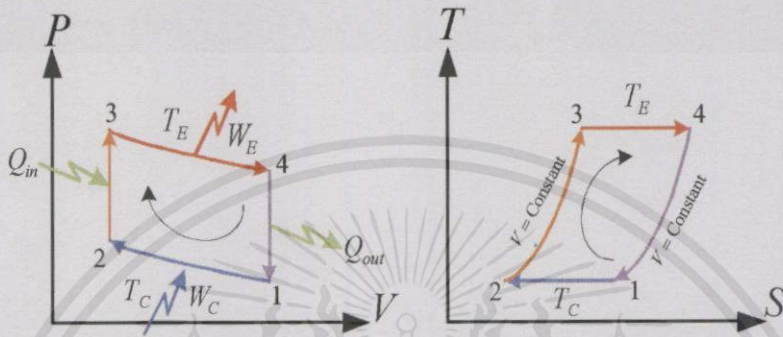
- 1) ไม่มีการสูญเสียความดันในการแลกเปลี่ยนความร้อนและไม่มีความแตกต่างของความดันภายใน
- 2) ในกระบวนการบีบอัดและการขยายตัวจะต้องเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- 3) เงื่อนไขในการทำงานของก๊าซนั้นจะต้องเปลี่ยนเป็นเงื่อนไขของก๊าซในอุดมคติทั้งหมดต้องมีการผันกลับที่สมบูรณ์แบบ
- 4) การขยายตัวของปริมาตรตายจะต้องมีการคงค่าของอุณหภูมิในการขยายตัวของก๊าซ (T_E) และอุณหภูมิในการบีบอัดตัวของก๊าซ (T_C) ระหว่างรอบวัฏจักร
- 5) อุณหภูมิในการผันกลับของก๊าซจะต้องเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิในการขยายตัวของก๊าซ (T_E) และอุณหภูมิในการบีบอัดตัวของก๊าซ (T_C)
- 6) ปริมาตรของการขยาย (V_E) และปริมาตรของการบีบอัด (V_C) จะเปลี่ยนแปลงตามสมการเส้นโค้งแบบไฮเพอร์โบลิก

วัฏจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติจะประกอบด้วยกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

4 กระบวนการ คือ Isothermal 2 กระบวนการ และ Isometric 2 กระบวนการ ซึ่งกระบวนการในวัฏจักรนี้ใช้อากาศเป็นสารตัวกลางและทุกกระบวนการจะเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับได้ (reversible process) ดังรูปที่ 2.9

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 เมื่อนำมาวิเคราะห์จะมีกระบวนการทั้งหมด 4 กระบวนการคือ
 กระบวนการที่ 1-2: Isothermal compression process
 กระบวนการที่ 2-3: Isometric heating process
 กระบวนการที่ 3-4: Isothermal expansion process
 กระบวนการที่ 4-1: Isometric cooling process



รูปที่ 2.9 แผนภาพ P-V, T-S ของวัฏจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ (Ideal stirling cycle)

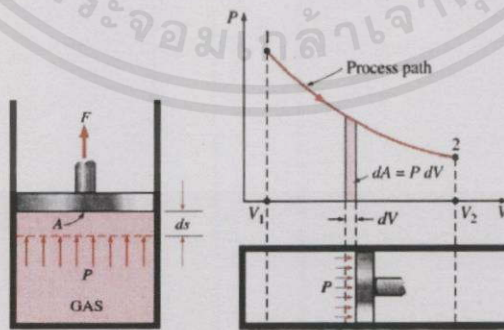
สมการที่ใช้พิจารณาการวิเคราะห์ในแต่ละกระบวนการมีดังนี้

คุณสมบัติของก๊าซที่ทำให้เกิดงานในทางอุณหพลศาสตร์

- ถ้าให้ปริมาตรของก๊าซที่อยู่ในกระบอกสูบคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ ความดันของก๊าซจะเพิ่มขึ้น

- ถ้าให้ความดันของก๊าซที่อยู่ในกระบอกสูบคงที่ เมื่อกดลูกสูบให้ปริมาตรในกระบอกสูบลดลง อุณหภูมิของก๊าซจะเพิ่มขึ้น

งานในระบบกักอัด (Work in Compressible System)



$$\delta W_{12} = Fds = PAds$$

$$W_{12} = \int_1^2 PdV = \text{Area on P - V diagram}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $= PdV$ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 งานในระบบที่กักอัดได้

งานในระบบกวดอัด (Work in Compressible System) เช่นงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบในกระบอกสูบจะได้สมการในรูปที่ 2.10

$$W_{12} = \int_1^2 PdV \quad \text{.....(2.26)}$$

งานในระบบกวดอัดที่มีกระบวนการอุณหภูมิคงที่ของสารตัวกลางเป็นก๊าซอุดมคติ คือ

$$PV = mRT_o = C \rightarrow P = \frac{C}{V} \quad \text{.....(2.27)}$$

$$W_{12} = \int_1^2 PdV = \int_1^2 \frac{C}{V} dV = C \ln \left[\frac{V_2}{V_1} \right]$$

$$W_{12} = PV_1 \ln \left[\frac{V_2}{V_1} \right] \quad \text{.....(2.28)}$$

จากพลังงานภายในของก๊าซคือ

$$U = \frac{3}{2} Nk_B T \quad \text{.....(2.29)}$$

เมื่อ U คือ พลังงานภายในของก๊าซ ในหน่วยจูล (J)

N คือ จำนวนโมเลกุลของก๊าซ

k_B คือ ค่าคงที่ของโบลซ์มานน์ ในหน่วยจูลต่อเคลวิน (J/K)

T คือ อุณหภูมิ ในหน่วยเคลวิน (K)

กระบวนการที่ 3-4: Isothermal expansion

ความร้อนเพิ่มในระหว่าง Isothermal Expansion ที่อุณหภูมิคงที่ T_E

$$Q_E = NkT_E \ln \left(\frac{V_4}{V_3} \right) \quad \text{.....(2.30)}$$

เมื่อ Q_E คือ ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้น ในหน่วยจูล (J)

T_E คือ อุณหภูมิในการขยายตัวของก๊าซ ในหน่วยเคลวิน (K)

V_3 เพิ่มขึ้นไปเป็น V_4 คือ ปริมาตรของการขยาย (V_E) ในหน่วยลูกบาศก์เมตร (m^3)

กระบวนการที่ 1-2: ความร้อนลดลงในระหว่างอัดตัวของกระบอกสูบที่อุณหภูมิคงที่ T_C

$$-Q_C = NkT_C \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad \text{.....(2.31)}$$

เมื่อ Q_C คือ ปริมาณความร้อนที่ลดลง ในหน่วยจูล (J)

T_C คือ อุณหภูมิในการบีบอัดตัวของก๊าซ ในหน่วยเคลวิน (K)

V_1 ลดลงไปเป็น V_2 คือ ปริมาตรของการบีบอัด (V_C) ในหน่วยลูกบาศก์เมตร (m^3)

ความร้อนจากกระบวนการผันกลับได้ ในระหว่างกระบวนการ Isothermal expansion ความร้อนที่

ผันกลับคือ

$$Q_E = \int_E PdV$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_E = nRT_E \ln(V_E/V_C) \quad \dots\dots(2.32)$$

ในระหว่างกระบวนการ Isochoric heating จะได้ว่า

$$Q_{heat} = nC_v(T_E - T_C) \quad \dots\dots(2.33)$$

เมื่อ C_v คือค่าปริมาตรคงที่ของแก๊ส เมื่อมีการให้ความร้อนจาก $T_C - T_E$ ดังนั้นผลรวมของความร้อนคือ

$$Q_{total} = nC_v(T_E - T_C) + nRT_E \ln(V_E/V_C) \quad \dots\dots(2.34)$$

ค่าประสิทธิภาพของวัฏจักร จะสามารถเขียนสมการค่าประสิทธิภาพของวัฏจักรสเตอร์ลิงได้ดังนี้

$$\eta = [R(T_E - T_C) \ln(V_E - V_C)] \quad \dots\dots(2.35)$$

ซึ่งค่าประสิทธิภาพดังกล่าวมีค่าเทียบเท่ากับประสิทธิภาพคาร์โน

ประสิทธิภาพคาร์โนมีค่าเป็น

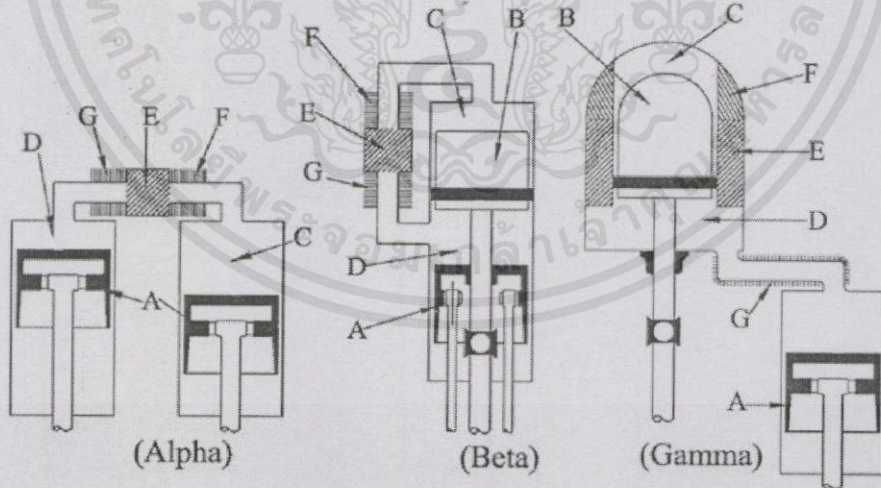
$$\eta_{carnot} = 1 - (T_C/T_E) \quad \dots\dots(2.36)$$

ค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในกรณีที่นำมาใช้กับ Regenerator จะมีค่าดังนี้

$$\eta_{stirling} = 1 - (T_C/T_E) \quad \dots\dots(2.37)$$

2.2 ชนิดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

- A - Piston
- B - Displacer
- C - Expansion space
- D - Compression space
- E - Regenerator
- F - Hot side heat exchanger
- G - Cold side heat exchanger

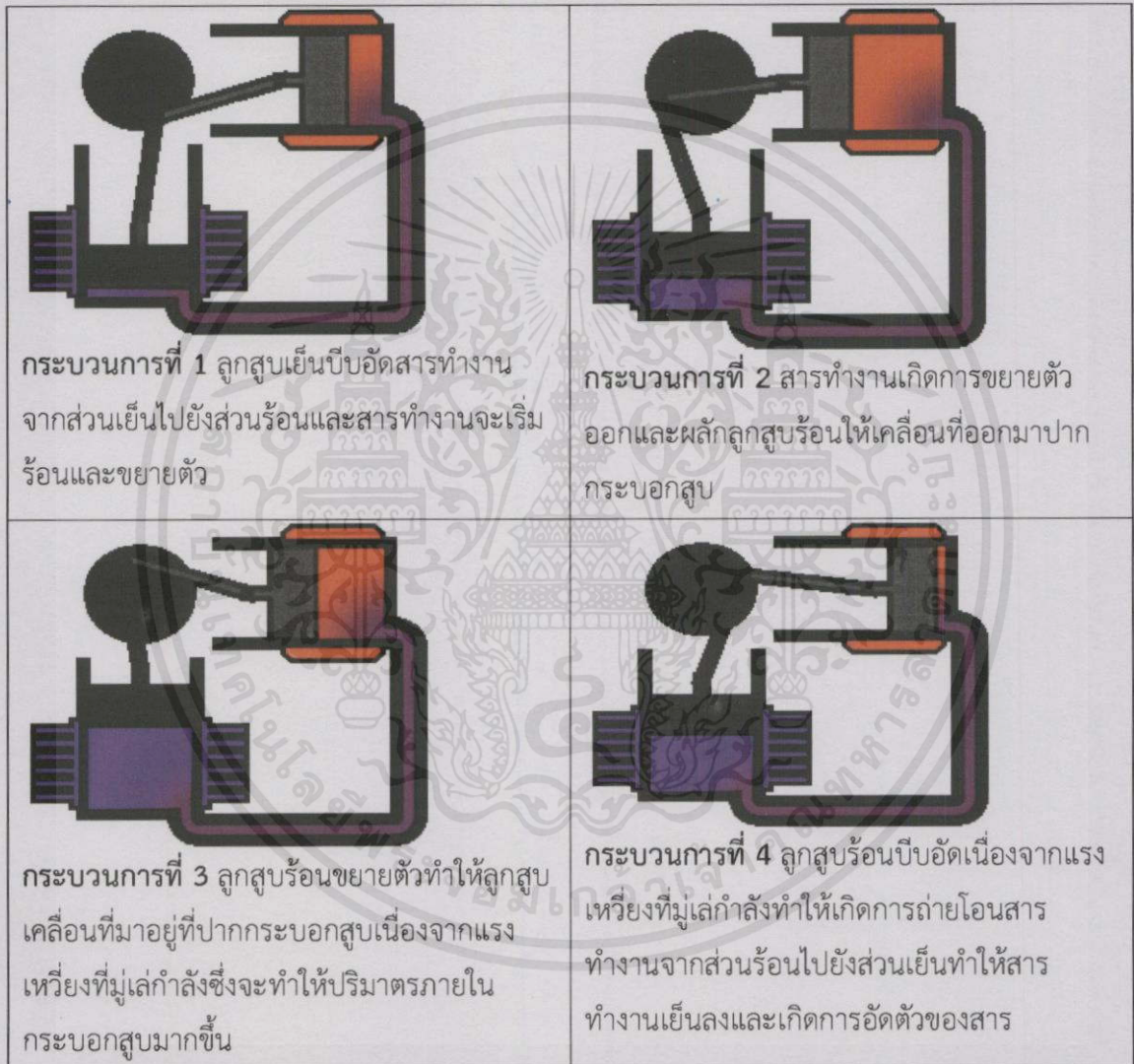


รูปที่ 2.11 องค์ประกอบและชนิดเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เอกสารนี้เป็น จากรูปที่ 2.11 แสดงองค์ประกอบในส่วนต่างๆและชนิดเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ซึ่งแบ่งออกเป็นงานการกำ
 ไม้ว่าสามชนิด คือ อัลฟา เบต้า และแกมมา ที่มีการจัดเรียงลูกสูบที่แตกต่างกัน แต่ลักษณะการทำงานยังปใช้
 เหมือนกัน ดังนี้

2.2.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟา (Stirling engine type Alpha)

ประกอบด้วย สองลูกสูบในกระบอกสูบแยกและมีการจัดเรียงโดยมีลักษณะเป็นแผนแบบง่าย ๆ ซึ่งสองลูกสูบนี้นับแยกออกเป็นลูกสูบร้อนและลูกสูบเย็น ลูกสูบเหล่านี้มีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้มีปริมาตรในระบบคงที่ เมื่อสารทำงานทั้งหมดถูกดันให้อยู่ในกระบอกสูบเดียวกัน ลูกสูบหนึ่งจะหยุดและลูกสูบหนึ่งจะเคลื่อนที่ขยายและอัดสารทำงาน งานได้จากการขยายตัวของลูกสูบร้อน ดังรูปที่ 2.4

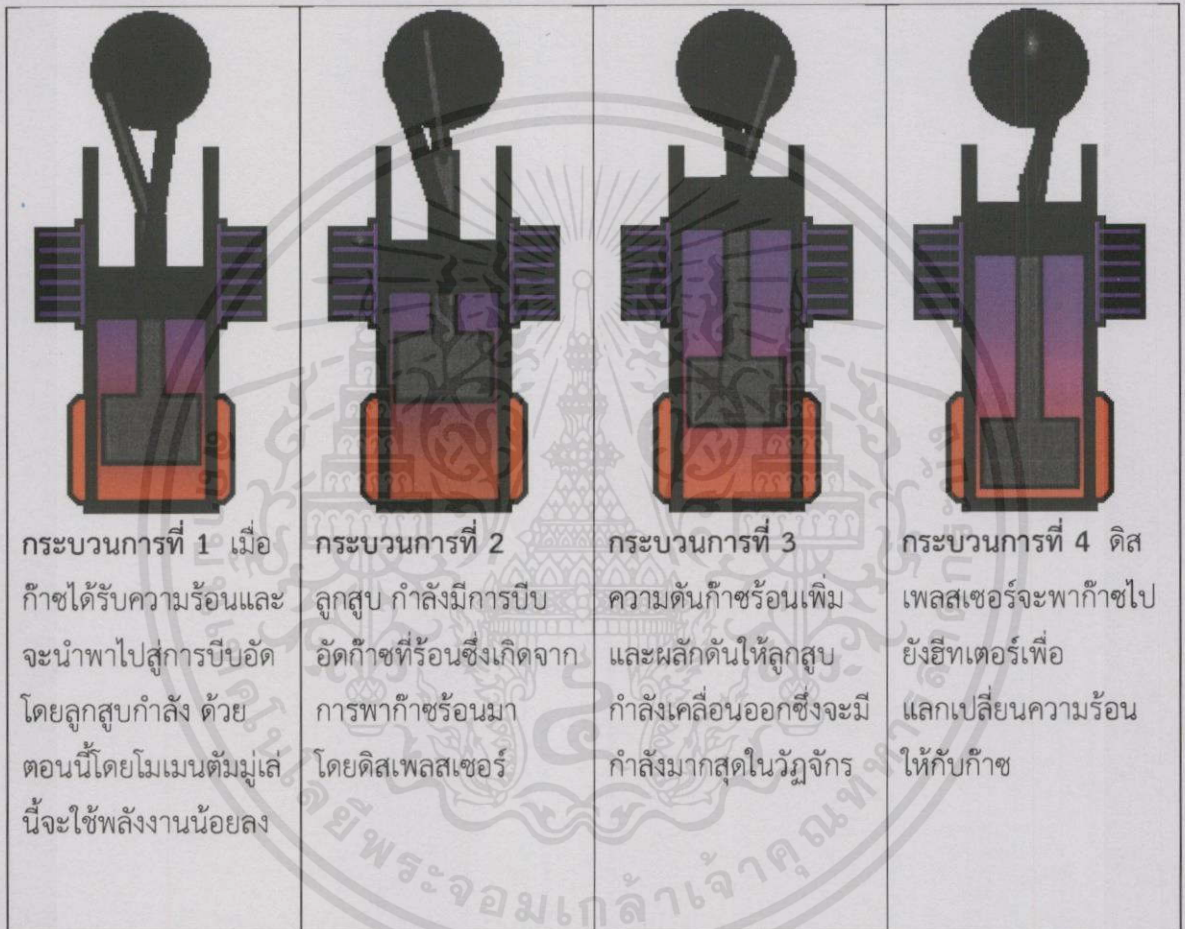


รูปที่ 2.12 กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบต้า (Stirling engine type Beta)

ประกอบด้วย ดิสเพลสเซอร์และลูกสูบที่อาศัยอยู่ในกระบอกสูบเดียวกันและมีการจัดเรียงที่ซับซ้อน ในลักษณะการทำงานดิสเพลสเซอร์จะดันสารทำงานระหว่างส่วนร้อนและส่วนเย็นของกระบอกสูบ ส่วนลูกสูบอยู่ในส่วนเย็นของกระบอกสูบซึ่งทำหน้าที่อัดเมื่อสารทำงานอยู่ในส่วนเย็นและขยายตัวเมื่อสารทำงานเคลื่อนที่ไปยังส่วนร้อนซึ่งสารทำงานเคลื่อนที่ไปมาจากส่วนร้อนไปส่วนเย็นและจากส่วนเย็นไปส่วนร้อนนี้เกิดจากการพาของดิสเพลสเซอร์ ดังรูปที่ 2.5

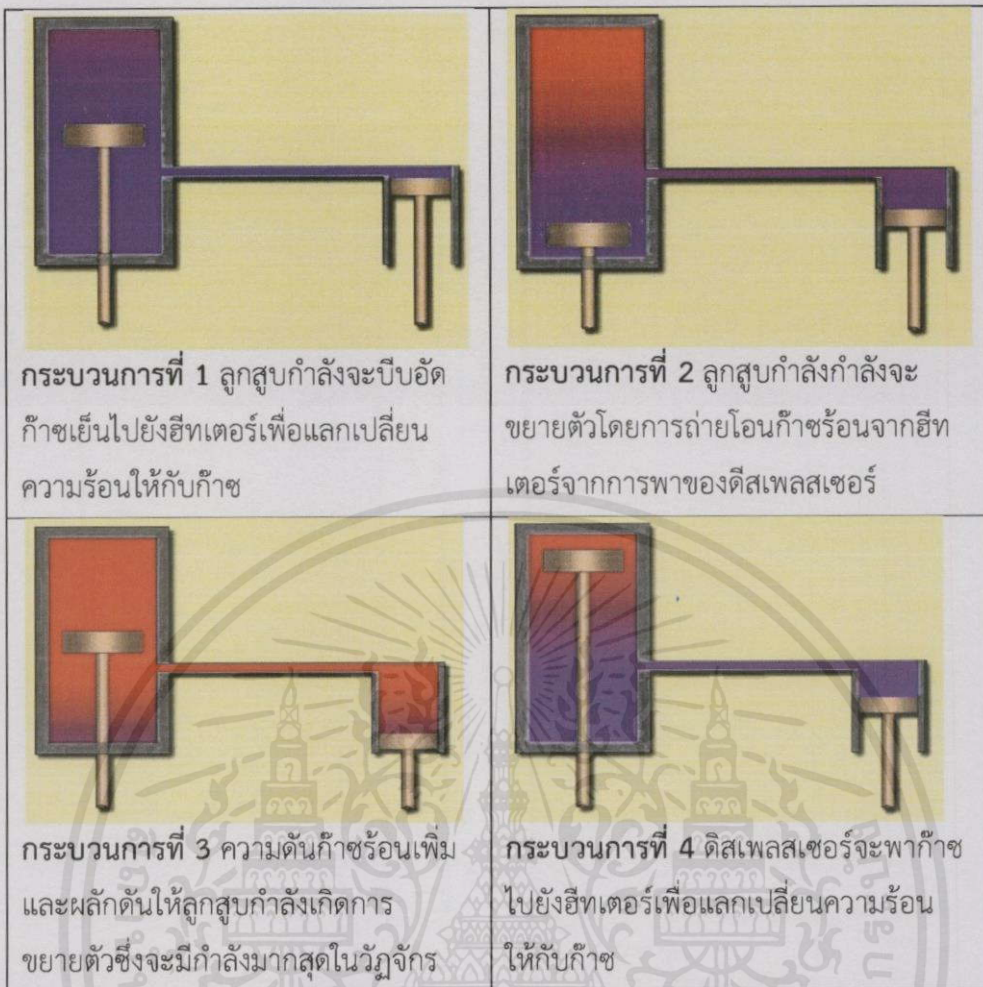


รูปที่ 2.13 กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบต้า

2.2.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา (Stirling engine type Gamma)

ประกอบด้วย ดิสเพลสเซอร์และลูกสูบในกระบอกสูบแยกและมีการจัดเรียงแบบง่าย ๆ โดยทั้งสองกระบอกสูบนี้เชื่อมต่อถึงกันและมีหลักการการทำงานเช่นเดียวกันกับชนิดเบต้า แต่มีประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดในทางทฤษฎี ดังรูปที่ 2.14

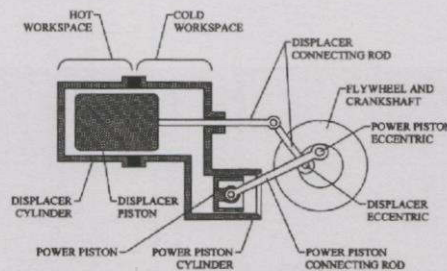
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

2.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบขนาดเล็ก ชนิดแกมมา

ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมาประกอบด้วย ลูกสูบดีสเพลสเซอร์และ ลูกสูบกำลังในกระบอกสูบแยกและมีการจัดเรียงแบบง่าย ๆ โดยทั้งสองกระบอกสูบนี้เชื่อมต่อถึงกัน และหลักการทำงานเช่นเดียวกับชนิดเบต้าแต่มีประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดในทางทฤษฎี ดังรูปที่ 2.15

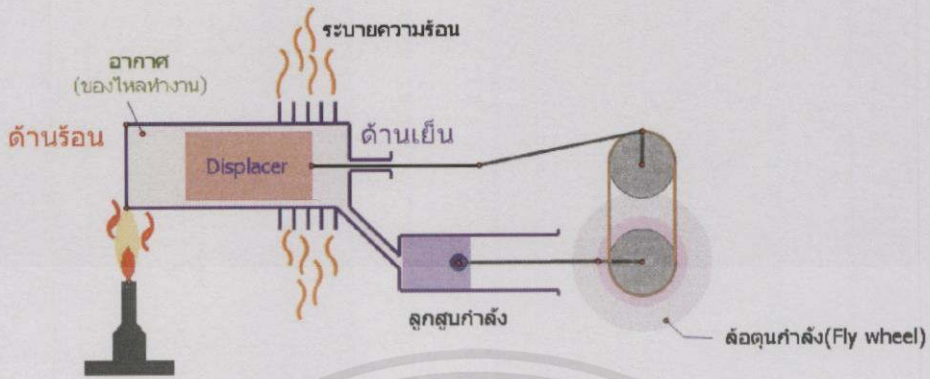


รูปที่ 2.15 โครงสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

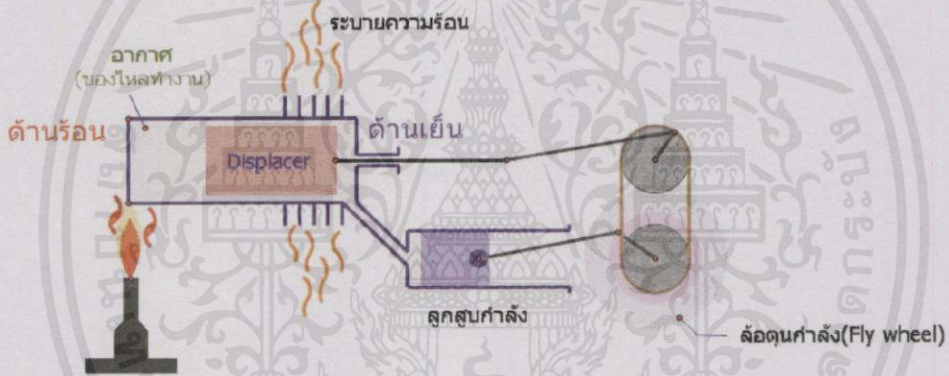
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในทางวิชาการเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีลำดับการทำงานง่าย ๆ อยู่ 4 ขั้นตอน คือ

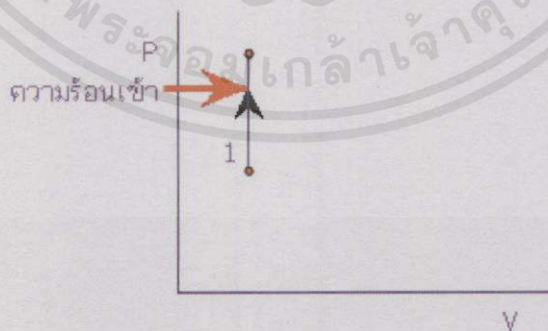
ชั้นที่ 1



รูปที่ 2.16.1 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์ขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า



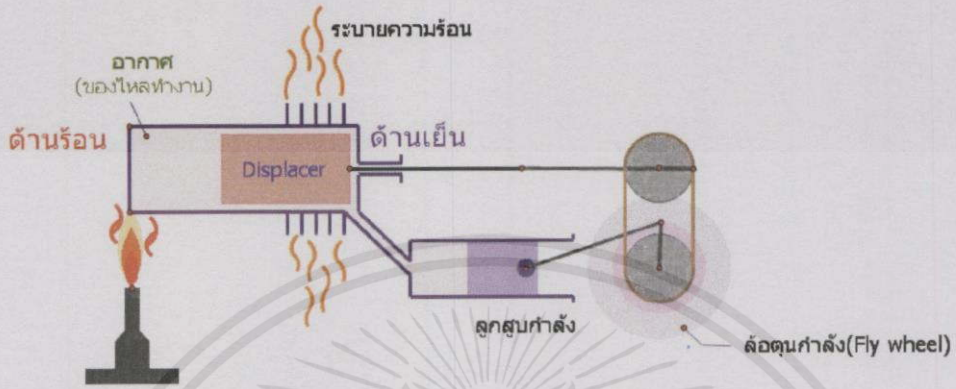
รูปที่ 2.16.2 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์ขณะเคลื่อนที่ถอยกลับ



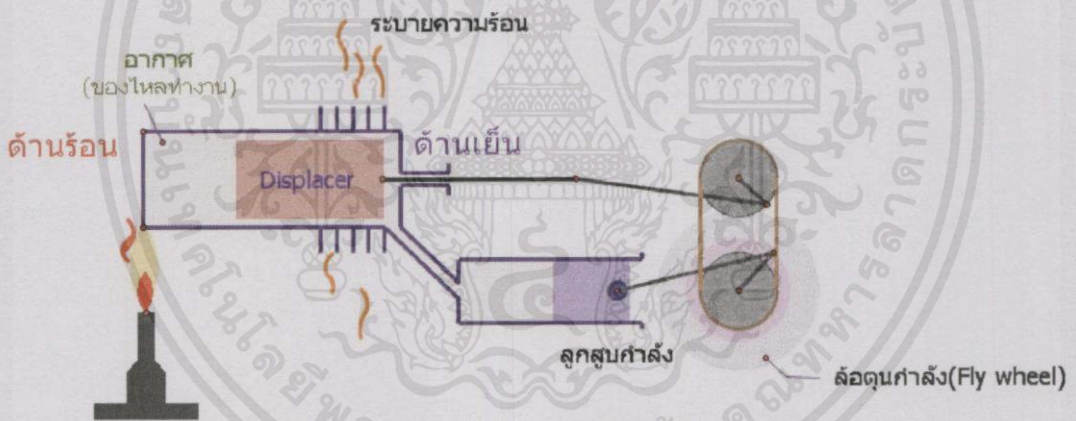
รูปที่ 2.16.3 แผนภาพ ความดัน-ปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ลูกสูบกำลังอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบนขั้นนี้เป็นการให้ความร้อนกับอากาศภายในกระบอกสูบ
 ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้
 โดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบไล (Displacer piston) เพื่อให้อากาศส่วนใหญ่ไปรวมอยู่ทางด้านร้อน
 อากาศได้รับความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความดันเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.16.1) ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการ

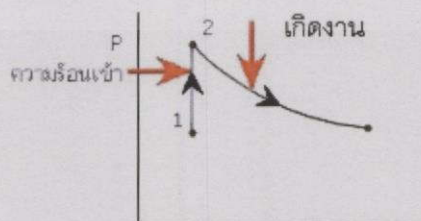
ให้ความร้อนที่ปริมาตรคงตัว (รูปที่ 2.16.2) (Isovolumetric heating process) สังเกตได้จากรูปที่ 2.16.3 แผนภาพความดัน-ปริมาตร
 ชั้นที่ 2



รูปที่ 2.17.1 ลูกสูบกำลังขณะเคลื่อนที่



รูปที่ 2.17.2 ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปจนสุดปลายกระบอก

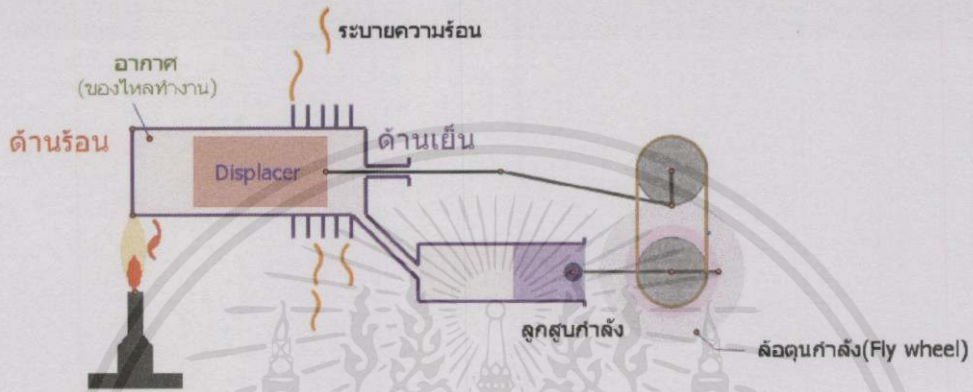


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงสื่อออนไลน์หรือสิ่งพิมพ์อื่นใดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

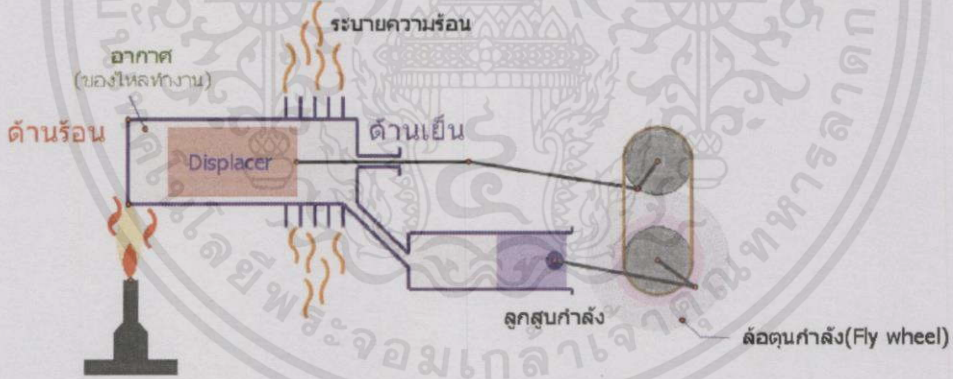
รูปที่ 2.17.3 แผนภาพ ความดัน - ปริมาตร

เมื่ออากาศทางด้านร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความดันเพิ่มขึ้น เกิดแรงดันลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปที่ศูนย์ตายล่าง อากาศยังคงได้รับความร้อนขณะที่ปริมาตรของอากาศเพิ่มขึ้นความดันลดลงโดยที่อุณหภูมิกงตัว ขั้นที่ 2 เป็นกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิกงตัว (Isothermal expansion process)

ขั้นที่ 3



รูปที่ 2.18.1 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์เริ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้า



รูปที่ 2.18.2 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์ ขณะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า



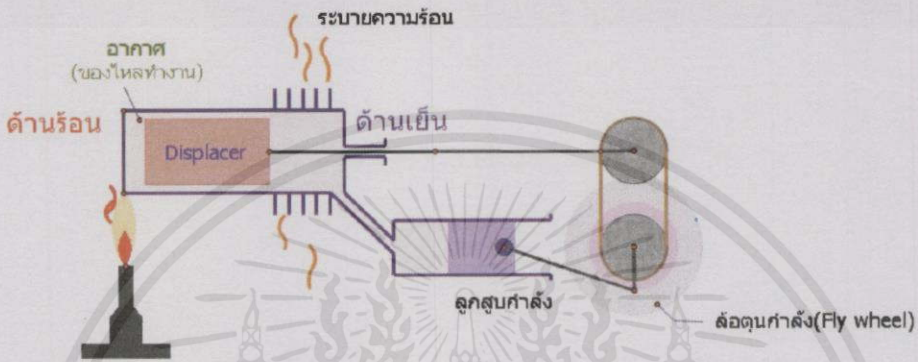
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

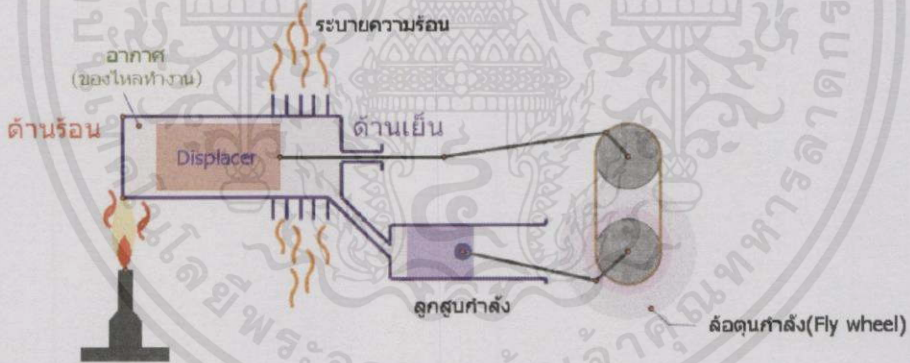
รูปที่ 2.18.3 แผนภาพ ความดัน - ปริมาตร

ผลของความต่างเฟส 90° ระหว่างลูกสูบทั้งสองทำให้ลูกสูบไล่เคลื่อนที่และไล่อากาศจากด้านร้อนไปทางด้านเย็นเพื่อทิ้งความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง ความดันลดลง ลูกสูบกำลังอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง ขั้นที่ 3 เป็นกระบวนการระบายความร้อนที่ปริมาตรคงตัว (Isovolumetric cooling process)

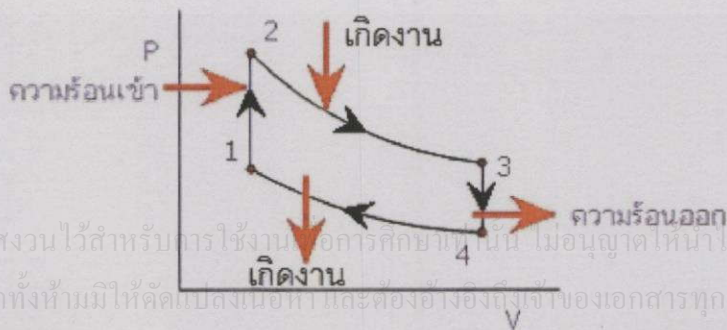
ขั้นที่ 4



รูปที่ 2.19.1 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ไปจนสุดกระบอก ลูกสูบกำลังเริ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้า



รูปที่ 2.19.2 ลูกสูบดีสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ถอยกลับ ลูกสูบกำลังเริ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19.3 แผนภาพ ความดัน - ปริมาตร

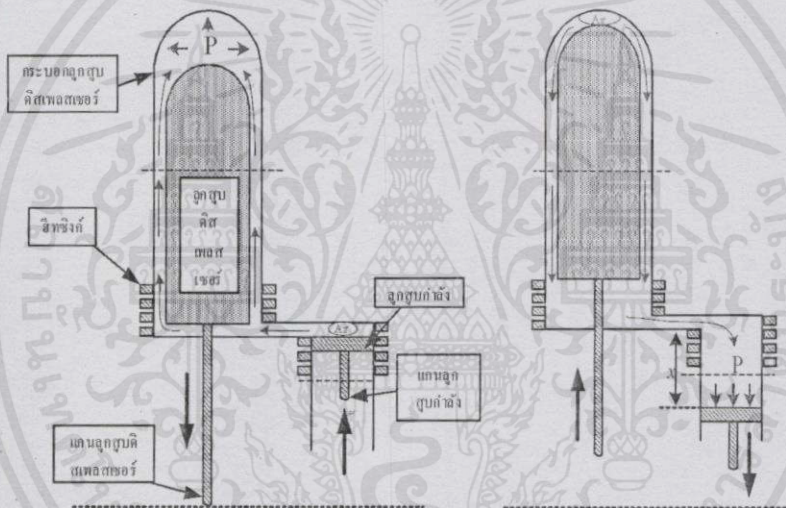
ลูกสูบกำลังเลื่อนไปที่ศูนย์ตายบนอากาศถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลง และระบายความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมด้วยอุณหภูมิคงตัว ผลของความต่างเฟส 90° ทำให้ลูกสูบไล่เคลื่อนที่ไล่อากาศจากด้านเย็นกลับไปทางด้านร้อน แล้วเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็กลับไปสู่จุดตั้งต้นขั้นที่ 1 ขั้นที่ 4 เป็นกระบวนการอัดที่อุณหภูมิคงตัว (Isothermal compression process)

การหาความสัมพันธ์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบขนาดเล็ก ชนิดแกมมา

2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในเมื่อลูกสูบดิสเพลสเซอร์ และลูกสูบกำลังเป็นอิสระต่อกัน

แบ่งการพิจารณาความสัมพันธ์เป็น 2 รูปแบบ คือ

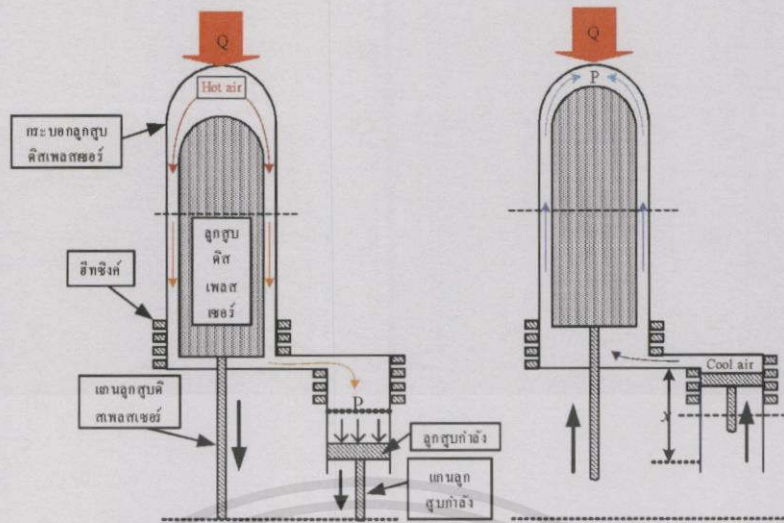
1) แบบไม่ให้ความร้อนแก่ระบบ



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ความดันภายในกระบอกสูบเมื่อไม่ให้ความร้อน

โดยการใช้มือชักลูกสูบด้านหนึ่งอย่างต่อเนื่องสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของลูกสูบอีกฝั่งหนึ่ง ซึ่งผลที่ได้คือจะเห็นว่าเมื่อลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ลงจะทำให้อากาศถูกไล่จากกระบอกลูกสูบกำลังไปยังกระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์ซึ่งจะเกิดความดันที่จุดปลายกระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์และจะทำให้ลูกสูบมีกำลังถูกดูดเข้าไปในกระบอกสูบ ทำให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้น และจะกลับกันเมื่อลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ขึ้นซึ่งจะทำให้อากาศถูกไล่จากกระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์ไปยังกระบอกลูกสูบกำลังซึ่งจะเกิดความดันที่กระบอกลูกสูบกำลัง และทำให้ลูกสูบกำลังถูกดันออกมาด้วยความดันภายใน ทำให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ลง ซึ่งจะพบว่าถ้าเป็นไปดังผลการทดสอบนี้เป็นอย่างดี จะบ่งบอกถึงการทำงานของลูกสูบดิสเพลสเซอร์ สามารถทำงานไล่อากาศได้ดี เป็นไป ดังรูปที่ 2.20

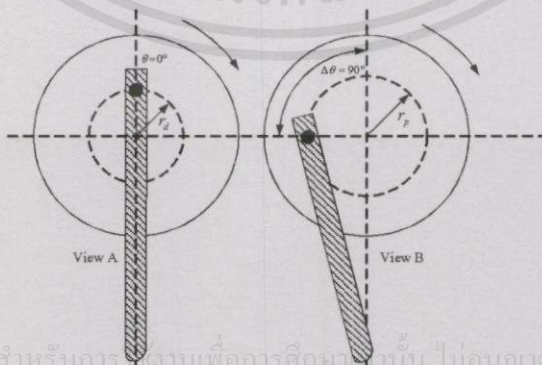
2) แบบการให้ความร้อนแก่ระบบ



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ความดันภายในกระบอกสูบให้ความร้อน

เมื่อให้ความร้อน บริเวณฮีตเตอร์เร็วสังเกิดการเคลื่อนที่ ผลที่ได้การตอบสนองระหว่าง ลูกสูบกำลังและลูกสูบดิสเพลสเซอร์จะตอบสนองมากขึ้น กระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์และกระบอก ลูกสูบกำลังจะทำให้เกิดความดันภายใน เนื่องจากความร้อนภายในระบบถูกบีบอัดจนเกิดเป็นความ ดันสูงและขยายให้เกิดความดันต่ำเมื่อลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งความดันเหล่านี้ จะไปผลัก และดูดลูกสูบให้ทำงาน ดังนั้นลูกสูบดิสเพลสเซอร์ที่ตีควมไม่ใหญ่จนพอดีกับกระบอกลูกสูบดิสเพลส เซอร์จะทำให้ไม่มีการถ่ายเทอากาศร้อนไปยังกระบอกลูกสูบกำลังและไม่มีการถ่ายเทอากาศเย็นไปยัง กระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์ไม่เกิดเป็นวัฏจักร แต่ถ้าลูกสูบดิสเพลสเซอร์เล็กมากเกินไปเมื่อเทียบกับ กระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์ซึ่งจะทำให้การบีบอัดความร้อนได้ไม่ดีทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ลดลง ดังรูปที่ 2.21

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมข้อเหวี่ยงที่มีผลต่อปริมาตรการบีบอัดและขยายตัวของ อากาศ



รูปที่ 2.22 แสดงตำแหน่งระยะข้อเหวี่ยงของแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์บนล้อเกียร์กระตุนกำลังที่ทำมุม กับระนาบแกนนอนเป็นมุม $\theta = 0^\circ$ (View A) และที่นำหน้าตำแหน่งระยะข้อเหวี่ยงของ แกนลูกสูบกำลังเป็นมุม $\Delta\theta = 90^\circ$ (View B) และทั้งสองหมุนตามเข็มนาฬิกา

2.3.3 การหาความสัมพันธ์ของอัตราเร่งเชิงมุม กำลังงาน แรงแรงที่เกิดจากทอร์กที่มุมข้อเหวี่ยงของลูกสูบกำลัง

การคำนวณหาอัตราเร่งเชิงมุมของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชุดเครื่องยนต์ออกแบบที่ $r_p = 7.5 \text{ mm}$ สตาร์ทเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชุดเครื่องยนต์ออกแบบจนได้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงสุดแล้วหยุดการหมุนของเครื่องยนต์และให้แรงแก่เครื่องยนต์เพื่อเริ่มการหมุนใหม่และวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ (N_0) ที่เวลา 0.00 วินาที ($t_0 = 0.00 \text{ s}$) ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (N_1) ที่เวลา t_1 วินาที บันทึกผลการวัดจะสามารถหาอัตราเร่งเชิงมุมของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชุดเครื่องยนต์ออกแบบได้จากสมการ

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \text{เมื่อ } \omega = \frac{2\pi N}{60} \quad \text{.....(2.40)}$$

ดังนั้นจะได้

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{2\pi(N_1 - N_0)}{(t_1 - t_0)(60 \text{ s})}$$

การคำนวณหาทอร์กจากอัตราเร่งเชิงมุม จะสามารถหาได้จากสมการ คือ

$$\tau = I\alpha = I \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \text{.....(2.41)}$$

สามารถคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยได้จากสมการ

$$I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2 = \frac{1}{2} m R^2 \quad \text{.....(2.42)}$$

เนื่องจากรูปร่างวัตถุเป็นแผ่นกลมมีมวล m_F และรัศมี R_F และอีกวัตถุหนึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตันมีมวล m_{rod} รัศมี R_{rod} และยาว l โมเมนต์ความเฉื่อยรวมทั้งหมด คือ

$$I = I_F + I_{rod} + I_{r_p} \quad \text{.....(2.43)}$$

การคำนวณหาค่ากำลังงานของเครื่องยนต์ ได้คือ

$$P_{sh} = \frac{W_{sh}}{t} = Fv = Fr\omega$$

$$P_{sh} = \left[\frac{\tau}{r} \right] \left[\frac{2\pi Nr}{60} \right] = \frac{2\pi N\tau}{60} \quad \text{.....(2.44)}$$

การหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงแรงกับแรงดันภายในจากค่าทอร์กแรงที่กระทำต่อลูกสูบกำลังจะหาได้คือ

$$\tau = \sum F \cdot R \sin \theta$$

ที่ระยะข้อเหวี่ยง คำนวณที่มุม $\theta = 90^\circ$ ซึ่งจะให้แรงมากที่สุด นั่นคือ

$$F = \frac{\tau}{r_p \sin \theta} \quad \text{.....(2.45)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ศูนย์วิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ดังนั้นสามารถคำนวณความดันจากค่าของแรงได้ดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = P_a + \frac{F}{A} \quad \text{.....(2.46)}$$

2.4 ทฤษฎีทางวัสดุศาสตร์

วัสดุศาสตร์(Materials Science) เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวกับการค้นคว้าหาความรู้ขั้นพื้นฐาน (basic knowledge) เกี่ยวกับลักษณะของโครงสร้างภายใน สมบัติต่างๆ และกระบวนการผลิตวัสดุเหล่านั้น วัสดุวิศวกรรม(Materials Engineering) เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นทางการเป็นหลักของการใช้หลักการพื้นฐานและการประยุกต์ความรู้ของวัสดุ เพื่อปรับปรุงสมบัติแล้วนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ หรือให้เป็นไปตามความต้องการของสังคม ดังนั้นชื่อของวิชา materials science and engineering นี้จึงได้มาจากการรวมกันของทั้ง materials science และ materials engineering วัสดุศาสตร์เป็นความรู้พื้นฐานทั้งหมดของวัสดุ และวัสดุวิศวกรรมเป็นการประยุกต์ความรู้ทั้งหมดให้เป็นประโยชน์ดังนั้นวิชาทั้งสองนี้จึงไม่มีเส้นแบ่งขอบเขตอย่างชัดเจน เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์ มีผลจากอุณหภูมิจำนวนมาก กระบวนการทางความร้อน การถ่ายเททางความร้อน ดังนั้นวัสดุที่เลือกนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์พลังงานความร้อนนั้น จะต้องเลือกวัสดุที่สามารถรองรับทางอุณหภูมิสูงๆ นอกจากนั้นวัสดุที่นำมาใช้จะต้องคำนึงถึงกลไกทางกลศาสตร์ เช่น การเคลื่อนที่ของล้อยกier์กระตุ้น ก็กับการเคลื่อนตัวของลูกสูบ ในแง่ของวัสดุที่มีส่วนสำคัญ เช่น น้ำหนักของวัสดุ โดยหากวัสดุทำลูกสูบนี้น้ำหนักหนักเกินความเหมาะสม ลูกสูบอาจเคลื่อนที่ไม่ได้เนื่องจากพลังงานทางความร้อนไม่เพียงพอ หรืออาจเคลื่อนที่ได้แต่ใช้พลังงานสูงมาก หรือหากใช้ลูกสูบน้ำหนักเบาเกินไปลูกสูบอาจเคลื่อนที่ได้จากพลังงานทางความร้อน แต่อาจเสียดสีกับล้อยกier์คือไม่มีแรงพอที่จะผลักหรือจากห่วงล้อยกier์ให้หมุนได้ ทั้งหมดนี้เป็นความสำคัญทางเรื่องวัสดุศาสตร์ที่มีผลโดยตรงกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์พลังงานความร้อน โดยส่วนองค์ประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์ที่ได้นำมาวิเคราะห์เรื่องวัสดุได้แก่ ลูกสูบดีสเพลสเซอร์(displacer) ระบายความร้อน ระบายสูบลเย็น (ฮีทซิงค์) ฮีตเตอร์(Heater) เป็นต้น วัสดุเดิมที่ใช้ทำระบายสูบลร้อน ลูกสูบดีสเพลสเซอร์ และ ฮีตเตอร์(Heater) ใช้วัสดุประเภททองเหลือง และสแตนเลส

2.4.1 ทองเหลือง (Brass)

ทองเหลือง คือโลหะผสมชนิดหนึ่งที่มีส่วนประกอบระหว่างทองแดงและสังกะสี โดยสัดส่วนของสังกะสีในทองเหลืองนั้น มีได้ตั้งแต่ร้อยละ 5-45 ปริมาณของสังกะสีที่เปลี่ยนไปในทองแดงนั้นย่อมทำให้ทองเหลืองเปลี่ยนตามไปด้วย ลักษณะโดยทั่วไปของทองเหลืองจะมีสีเหลืองตามชื่อ จึงมีส่วนคล้ายเนื้อทองคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ผลิตภัณฑ์จากทองเหลือง

ทองเหลืองมีความทนทานต่อสนิม ทนต่อทุกสภาพอากาศ และทนต่อรอยขีดข่วนจากการใช้งานทองเหลืองแบบปกติ ทำให้นิยมใช้ทำเป็นของตกแต่งภายในบ้าน ทองเหลือง เป็นโลหะที่รู้จักกันมาแต่โบราณและมีการผลิตขึ้นเองด้วย โดยการผลิตทองเหลืองนั้นอาศัยการหลอมละลายระหว่างทองแดงกับแร่คาลาไมน์ซึ่งมีส่วนผสมของสังกะสีทำให้ได้ทองเหลืองออกมา ทองเหลืองมีหลายประเภท ได้แก่ Admiralty brass, Alpha brasses, Alpha-beta brass, Aluminum brass, Arsenical brass, Beta brasses, Cartridge brass, Common brass, DZR brass, Gilding metal High brass, Leaded brass, Low brass, Naval brass, Red brass, Rich low brass, White brass Yellow brass

ข้อดีของทองเหลืองที่มีต่ออุตสาหกรรม

ข้อดีของทองเหลืองที่มีต่ออุตสาหกรรม ทั้งผลิตภัณฑ์ทองเหลืองชนิดแผ่นและผลิตภัณฑ์ทองเหลืองชนิดข้อต่อและตัววาล์ว ที่มีขนาดและคุณสมบัติต่างๆ กันนั้น สามารถนำไปใช้สำหรับเครื่องจักรผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ การผลิตกุญแจ บานพับประตู และป้ายต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำทองเหลืองมาทำเป็นอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ท่อทองเหลือง ข้อต่อทองเหลืองวาล์วทองเหลืองที่นำไปใช้ในระบบนิวเมติกส์ เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องฉีดยาฆ่าแมลง และอุตสาหกรรมยานยนต์ สามารถใช้ผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ได้ หลากหลาย และเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยานยนต์ ที่นำทองเหลืองไปผลิตหม้อน้ำรถยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่นำทองเหลืองไปเป็นชิ้นส่วนไฟฟ้า ใช้ผลิตขาปลั๊กไฟ คัทเอาท์ สวิตซ์ไฟ สายเคเบิล Connector อุตสาหกรรมผลิต เช่น ตัววาล์วนิวเมติกส์ ข้อต่อและวาล์วต่างๆ ในระบบนิวเมติกส์และไฮดรอลิก คุณสมบัติทองเหลือง

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและสังกะสี ซึ่งสังกะสีจะละลายในทองแดงได้ โดยให้สารละลายเป็นของแข็ง ปริมาณของสังกะสีที่สามารถละลายได้อยู่ที่ 39% ทองเหลืองแต่ละชนิดที่ทำ การผลิตออกมาจะมีปริมาณในการผสมสังกะสีลงไปแตกต่างกันตามความต้องการของผู้ผลิต ถ้า มีทองแดงผสม 50 % ถ้าผสมมากกว่านี้ เช่น มีทองแดง 70 % ขึ้นไปจะทำให้เนื้อทองแดงอ่อน

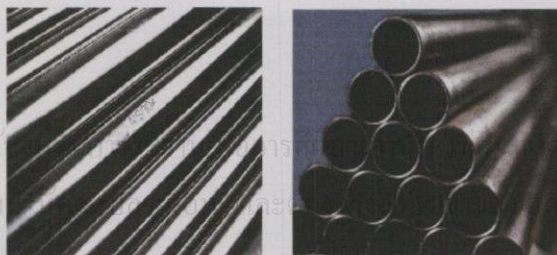
มาก เรียกว่า ทอมบัค (Tombak) โดยคุณสมบัติของทองเหลืองที่ดีคือ มีความแข็งแรง ทนทาน มีความเหนียว สามารถทนต่อการถูกกัดกร่อน และทุกสภาพอากาศ อีกทั้งรอยขีดข่วนจากการใช้งานปกติของทองเหลืองด้วย สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตได้แบ่งทองเหลือง ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ทองเหลืองประเภทรีดเป็นแท่ง หรือทองเหลืองประเภทรีดเป็นแผ่น และทองเหลืองประเภทหล่อ ทองเหลืองทั้งสองประเภทนี้สามารถแยกคุณภาพและคุณสมบัติเชิงกลออกได้ตามราย ละเอียดคู่มือ ASTM (American Society for Testing and Materials) หรือ JIS (Japanese Industrial-Standards) ที่เป็นมาตรฐานภายใต้ข้อกำหนดที่ตกลงร่วมกันระหว่างผู้ผลิตทองเหลืองภายในประเทศและต่างประเทศเพื่อเป็นการสร้างความเข้าใจให้ตรงกัน ทั้งเรื่องคุณภาพ รูปร่าง น้ำหนัก ฯลฯ ทั้งนี้คุณสามารถขอคำแนะนำเกี่ยวกับทองเหลืองได้ตามแหล่งซื้อขายทองเหลือง ทั่วไป

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความแข็งแรงของทองเหลือง

สัญลักษณ์มาตรฐาน	ลักษณะความแข็ง	ความเค้นแรงดึง กก./มม. ²	อัตรายืดตัว %
MS 60 E 29	อ่อน	29 - 33	45
MS 60 F 35	กึ่งแข็ง	35 - 45	25
MS 60 F 41	แข็ง	41 - 50	18
MS 60 F 52	แข็งสปริง	ต่ำกว่า 25	5
MS 60 F 37	อ่อน	37 - 45	28
MS 58 F 44	กึ่งแข็ง	44 - 54	12
MS 52 F 51	แข็ง	51 - 63	6

2.4.2 สแตนเลส (Stainless)

สแตนเลส หรือ เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ(น้อยกว่า 2%) ของน้ำหนัก มีส่วนผสมของโครเมียม อย่างน้อย 10.5% กำเนิดขึ้นในปี พ.ศ.1903 เมื่อ การเติมนิเกิล โมบิตินัม ไททาเนียม ไนโอเนียม หรือโลหะอื่นแตกต่างกันไปตามชนิด ของคุณสมบัติเชิงกล และการใช้ลงในเหล็กกล้าธรรมดา ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการเกิดสนิมได้



รูปที่ 2.24 วัสดุที่ผลิตจากสแตนเลส

ประเภทของสแตนเลส

เกรด ออสเทนิติก (Austenitic) แม่เหล็กดูดไม่ติด นอกจากส่วนผสมของโครเมียม 18% แล้ว ยังมีนิกเกิลที่ช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนอีกด้วย ชนิดออสเทนิติกเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด ในบรรดาสแตนเลสด้วยกัน ส่วนออสเทนิติกที่มีโครเมียมผสมอยู่สูง 20% ถึง 25% และนิกเกิล 1% ถึง 20% จะสามารถทนการเกิดออกซิไดซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งใช้ในส่วประกอบของเตาหลอม ท่อนำความร้อน และแผ่นกันความร้อนในเครื่องยนต์ จะเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดทนความร้อน (Heat Resisting Steel)

เกรดเฟอร์ริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด มีส่วนผสมของคาร์บอนต่ำ และมีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลัก คือประมาณ 13% หรือ 17%

เกรดมาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ 12% และมีส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง มักนำไปใช้ทำส้อม มีด เครื่องมือตัด และเครื่องมือวิศวกรอื่นๆ ซึ่งต้องการคุณสมบัติเด่นในด้าน การต้านทานการสึกกร่อน และความแข็งแรงทนทาน

เกรดดูเพล็กซ์ (Duplex) แม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์ และ ออสเทนไนต์ มีโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 18-28% และนิกเกิล 4.5-8% เหล็กชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอรีนสูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน ที่เป็นรอยร้าวอันเนื่องมาจากแรงกดดัน (Stress corrosion cracking resistance) เหล็กกล้าชุบแข็งแบบตกผลึก (Precipitation Hardening Steel) มีโครเมียมผสมอยู่ 17 % และมีนิกเกิล ทองแดง และไนโอเบียมผสมอยู่ด้วย เนื่องจากเหล็กชนิดนี้สามารถชุบแข็งได้ในคราวเดียว จึงเหมาะสำหรับทำแกน ปั๊ม หัววาล์ว และส่วนประกอบของอากาศยาน สแตนเลส สตีล ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ออสเทนิก และเฟอร์ริติก ซึ่งคิดเป็น 95%ของเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

คุณสมบัติทั่วไปและคุณสมบัติทางกายภาพ

ในส่วนของคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนความสามารถ ทนความร้อนของสแตนเลส มีข้อสังเกต 3 ประการคือ

- 1) การที่มีจุดหลอมเหลวสูงทำให้มีอัตราความคืบตี เมื่อเทียบกับเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000°C
- 2) การที่มีค่านำความร้อนระดับปานกลาง ทำให้สแตนเลสเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องทนความร้อน (คอนเทนเนอร์) หรือต้องการคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี (เครื่องถ่ายความร้อน)
- 3) การมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระดับปานกลาง จึงสามารถใช้ความยาวมากๆได้ โดยใช้ตัวเชื่อมน้อย (เช่น ในการทำหลังคา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาแนวทางการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบขนาดเล็ก ชนิดแกมมา

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมาที่พัฒนาด้วยโปรแกรม SolidWork และรูปแบบการออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างชิ้นส่วนและประกอบอุปกรณ์ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมาที่พัฒนา

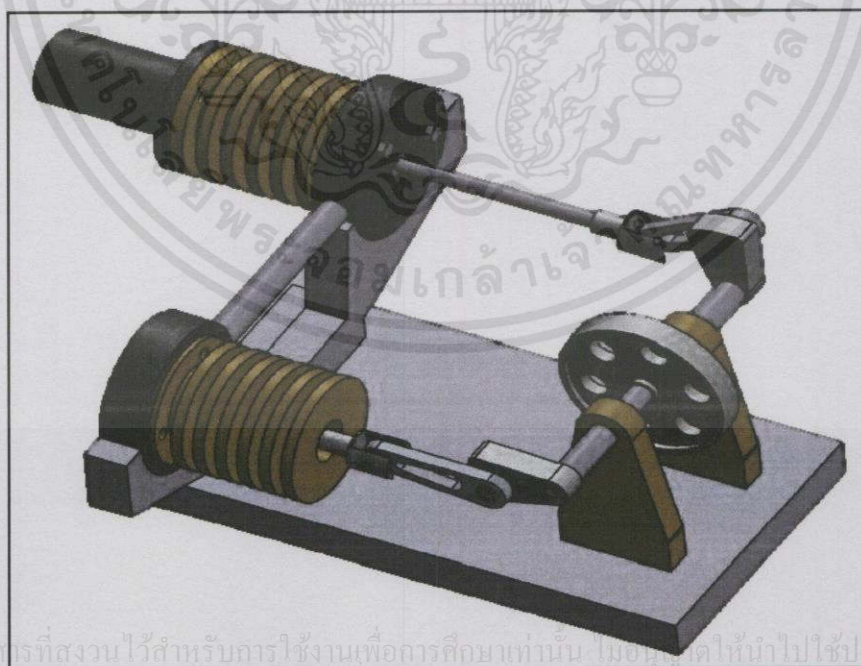
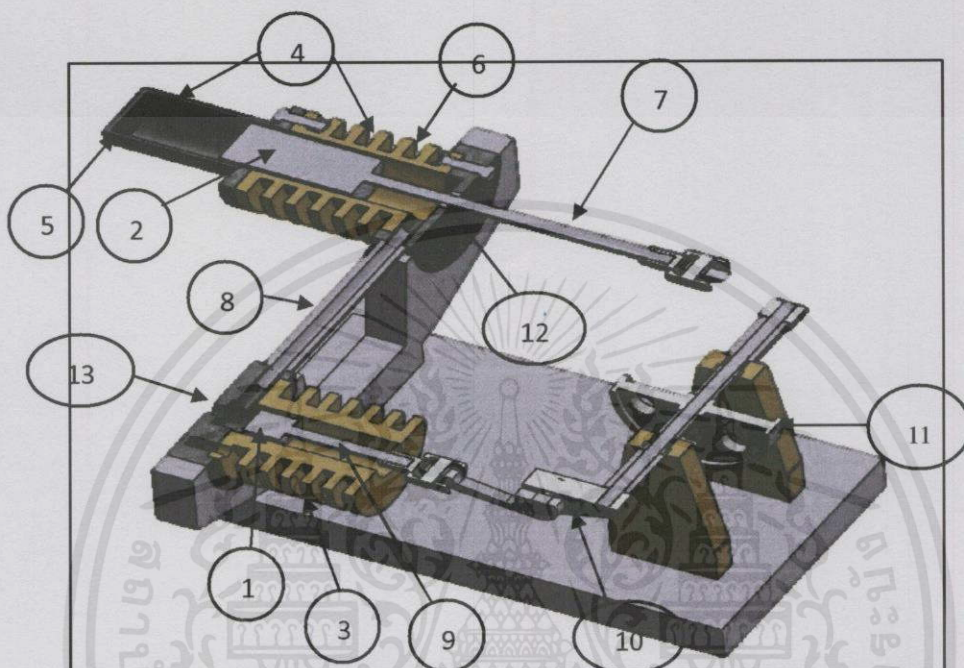
ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบและวิเคราะห์ผลการสร้างชิ้นส่วนและการประกอบชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่พัฒนาขึ้น

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความต่างอุณหภูมิ ในการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมาที่พัฒนา
ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาหาค่าความต่างอุณหภูมิ ในการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมาจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบขนาดเล็ก ชนิดแกมมา

การศึกษาหาค่าความต่างอุณหภูมิ ในการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมา จากเครื่องยนต์ต้นแบบดังรูปที่ 3.1 สามารถแบ่งส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์ได้แก่ องค์ประกอบหลักอย่าง ลูกสูบกำลัง(1) ลูกสูบดิสเพลสเซอร์(2) ทั้งสองส่วนนี้ทำงานแยกกัน ภายในกระบอกสูบกำลัง(3) และกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์(4) ในส่วนของการสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ ได้ทำการแยกวัสดุที่ได้รับความร้อนฮีเตอร์เป็นสแตนเลส(5)และฮีทซิงค์เป็นทองเหลือง(6) และนำมา รวบรวมเป็นชิ้นเดียวกันฮีเตอร์ทำหน้าที่เป็นส่วนรับความร้อนจากภายนอกโดยตรง เพื่อใช้ในกระบวนการบีบอัดและขยายตัวของของไหลภายในกระบอกสูบ ลูกสูบดิสเพลสเซอร์จะต่อแกนดิสเพลสเซอร์(7) ออกมาต่อกับข้อเหวี่ยง ทำหน้าที่เป็นส่วนสำคัญในการรับแรงและส่งแรงให้ลูกสูบดิสเพลสเซอร์ให้เกิดการบีบอัดและขยายตัว โดยข้อเหวี่ยงของดิสเพลสเซอร์จะต้องทำมุม 90 องศา กับลูกสูบกำลัง โดยการบีบอัดนี้จะทำให้เกิดความดันของของไหลผ่านท่อ(8)ไปผลักดันลูกสูบกำลังให้เคลื่อนที่ แล้วเกิดแรงส่งไปยังก้านลูกสูบกำลัง(9) และข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง(10)เพื่อกระตุ้นให้ล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง(11) หมุนอย่างต่อเนื่องซึ่งความคล่องตัวของล้อเกียร์กระตุ้นกำลังจะขึ้นอยู่การวางสมดุล แกนระหว่างล้อเกียร์กับข้อเหวี่ยงกำลัง การชิลเพื่อป้องกันการร้าวของอากาศภายในกระบอกสูบเพื่อ

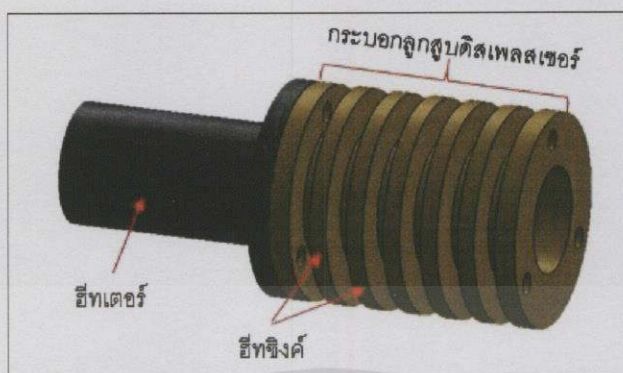
ไม่ให้เกิดการสูญเสียความดันภายในกระบอกสูบต้องอาศัยบูช(12)ที่มีการปิดอย่างสนิทและจะเกิดการสึกหรอและรั่วซึมของอากาศเนื่องจากการใช้งาน และเกิดจากการเสียดสีของแกนลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ที่เคลื่อนที่ตลอดการทำงานและได้ทำการเจาะรู(13) เพื่อใช้หาค่าความต่างอุณหภูมิในการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบขนาดเล็ก ชนิดแกมมา

3.1.1 ครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์



รูปที่ 3.2 ครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ (4) ฮีทเตอร์(5)และฮีทซิงค์(6)

จากรูปที่ 3.2 คือ ครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆด้วยกัน โดยในส่วนของ ครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ทำจากวัสดุทองเหลือง ฮีทเตอร์ทำจากวัสดุสแตนเลส และฮีทซิงค์ ในส่วนของครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์กับฮีทซิงค์จะเป็นวัสดุชิ้นเดียวกัน คือเป็น ครอบลูกสูบแล้วทำการกลึงให้เกิดเป็นฟินหรือเป็นร่องนั่นเอง

ครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์เป็นส่วนที่มีไว้ใส่ลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ให้เคลื่อนที่ ขนาดของครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์(4)

ความยาวของครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ $l_{Cy,d} = 155 \text{ mm}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ $d_{Cy,d} = 25 \text{ mm}$

ฮีทเตอร์เป็นส่วนที่ถูกให้ความร้อนจากภายนอกเพื่อทำให้อากาศภายในครอบลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์เกิดการขยายตัว

ขนาดของฮีทเตอร์(5)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฮีทเตอร์ $d_{out,ht} = 50 \text{ mm}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของฮีทเตอร์ $d_{in,ht} = 25 \text{ mm}$

ความยาวของฮีทเตอร์ $l_{heat} = 55 \text{ mm}$

ฮีทซิงค์หรือส่วนของครอบลูกสูบที่ทำการกลึงให้เกิดเป็นครีบริบหรือร่อง เพื่อระบายความร้อน ขนาดของฮีทซิงค์(6)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฮีทซิงค์ $d_{out,hs} = 50 \text{ mm}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของฮีทซิงค์ $d_{in,hs} = 25 \text{ mm}$

ความยาวของฮีทซิงค์

$$L_{\text{heat}} = 60 \text{ mm}$$

3.1.2 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์และแกนดิสเพลสเซอร์



รูปที่ 3.3 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (2) และแกนดิสเพลสเซอร์ (7)

จากรูปที่ 3.3 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์และแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์ทำจากวัสดุอลูมิเนียม
ขนาดของลูกสูบดิสเพลสเซอร์(2)

เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบดิสเพลสเซอร์ $d_d = 22 \text{ mm}$

พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบดิสเพลสเซอร์ $A_d = \pi \left(\frac{d_d}{2} \right)^2 = 379.94 \text{ mm}^2$

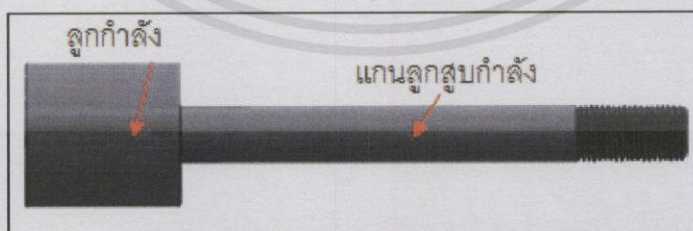
ความยาวของลูกสูบดิสเพลสเซอร์ $l_d = 50 \text{ mm}$

ขนาดของแกนดิสเพลสเซอร์(7)

เส้นผ่านศูนย์กลางแกนดิสเพลสเซอร์ $d_{\text{core,d}} = 5 \text{ mm}$

ความยาวแกนดิสเพลสเซอร์ $l_{\text{core,d}} = 115 \text{ mm}$

3.1.3 ลูกสูบกำลังและแกนลูกสูบกำลัง



รูปที่ 3.4 ลูกสูบกำลัง (6) และ แกนลูกสูบกำลัง (9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆจากรูปที่ 3.4 ลูกสูบกำลังและแกนลูกสูบกำลังทำจากวัสดุอลูมิเนียม การทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของลูกสูบกำลัง (1)

เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบกำลัง

$$d_p = 13 \text{ mm}$$

พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบกำลัง

$$A_p = \pi \left(\frac{d_p}{2} \right)^2 = 132.665 \text{ mm}^2$$

ความยาวของลูกสูบกำลัง

$$l_p = 14 \text{ mm}$$

ขนาดของแกนลูกสูบกำลัง (9)

เส้นผ่านศูนย์กลางแกนลูกสูบกำลัง

$$d_{core,p} = 5 \text{ mm}$$

ความยาวแกนลูกสูบกำลัง

$$l_{core,p} = 46 \text{ mm}$$

3.1.4 ครอบอกสูบกำลัง



รูปที่ 3.5 ครอบอกลูกสูบกำลัง (3)

ขนาดของครอบอกลูกสูบกำลัง (3)

ความยาวของครอบอกลูกสูบกำลัง

$$l_{cy,p} = 55 \text{ mm}$$

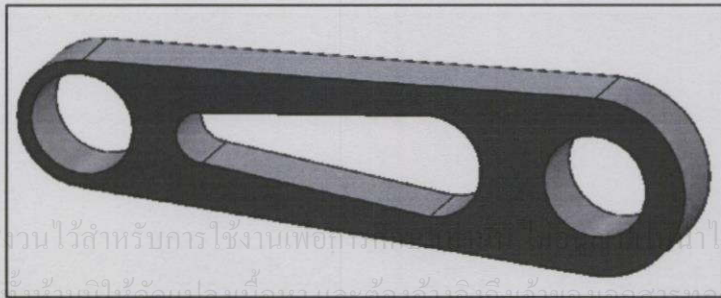
ปริมาตรภายในครอบอกลูกสูบ

$$V_{cy,p} = A_p l_{cy,p} = 7296.575 \text{ mm}^3$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกครอบอกสูบ

$$d_{cy,p} = 50 \text{ mm}$$

3.1.5 ข้อเหวี่ยง



รูปที่ 3.6 ข้อเหวี่ยง (10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและก๊อปปี้เนื้อหาเข้าสู่ระบบเอกสารใดๆทั้งนี้มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 ข้อเหวี่ยงเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างแกนลูกสูบและล้อเกียร์กระตุ้น โดยข้อเหวี่ยงทำจากวัสดุอลูมิเนียม ขนาดข้อเหวี่ยง (10)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในข้อเหวี่ยงกำลัง

$$d_k = 8 \text{ mm}$$

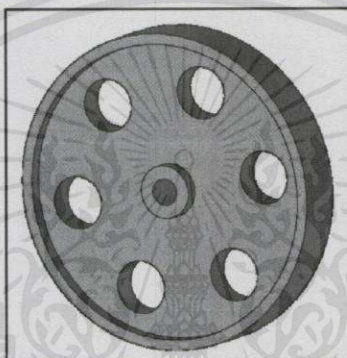
ความยาวข้อเหวี่ยง

$$l_f = 52 \text{ mm}$$

ระยะจุดศูนย์กลางระหว่างรูข้อเหวี่ยง

$$40 \text{ mm}$$

3.1.6 ล้อเกียร์กระตุ้น



รูปที่ 3.7 ล้อเกียร์กระตุ้น (11)

จากรูปที่ 3.7 ล้อเกียร์กระตุ้นเป็นส่วนที่ใช้ถ่วงน้ำหนักให้ลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์และลูกสูบกำลังเกิดการเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกันของลูกสูบทั้งสอง ขนาดของล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง (13)

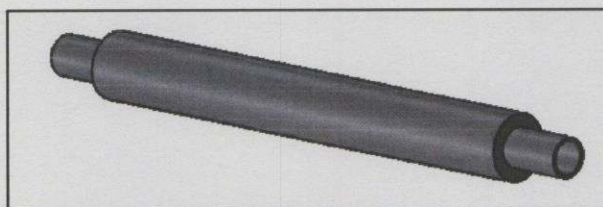
เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง

$$d_f = 60 \text{ mm}$$

ความหนาของล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง

$$l_f = 10 \text{ mm}$$

3.1.7 ท่อนำอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.8 ท่อนำอากาศ (8) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆก็ตาม จากรูปที่ 3.8 ท่อนำอากาศทำหน้าที่แลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ปัสและกระบอกสูบกำลังผ่านตัวกลางชนิดหนึ่ง โดยในการทดลองนี้ใช้อากาศ

ขนาดท่ออากาศ (8)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

$$d_{in,tube} = 5 \text{ mm}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ

$$d_{out,tube} = 8 \text{ mm}$$

ความยาวท่อ

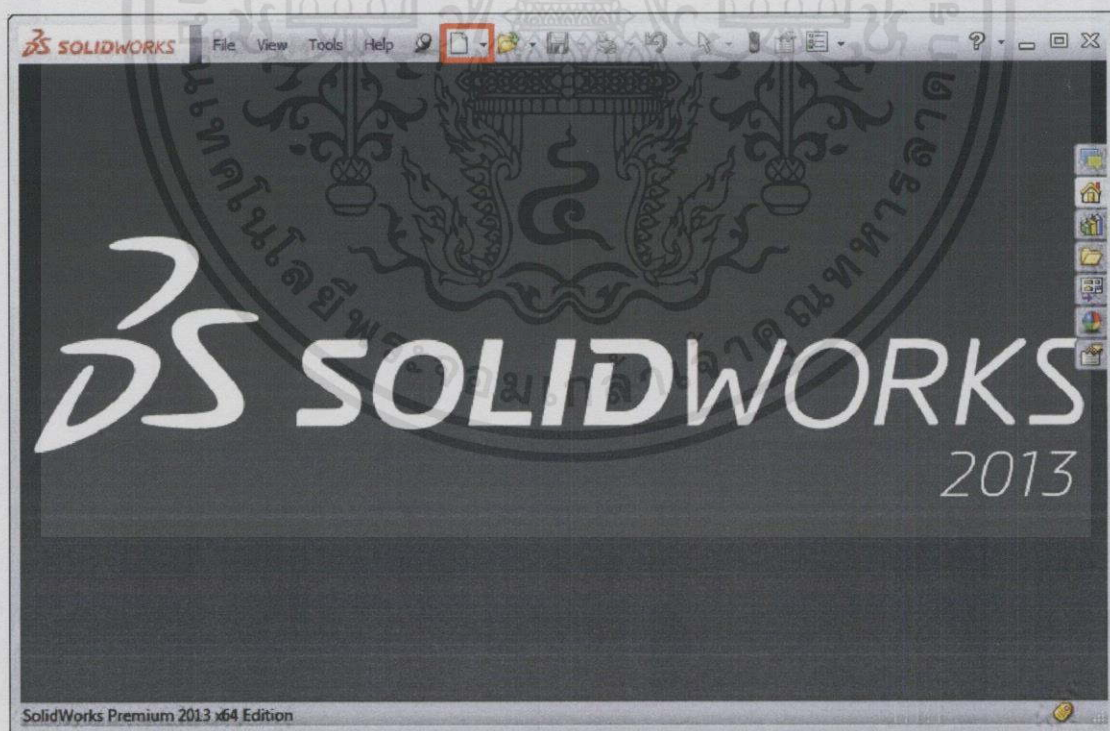
$$l_{tube} = 100 \text{ mm}$$

3.2 การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแก๊สที่พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Solid Works

การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแก๊สโดยโปรแกรม Solidworks การใช้โปรแกรม Solidworks เบื้องต้นในการเขียนแบบเพื่อสร้างชิ้นงานและจำลองการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเบื้องต้นเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของขนาดที่จะนำมาสร้างชิ้นงานเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

โปรแกรม Solidworks เป็นโปรแกรมออกแบบโดยการวาดเส้นให้เกิดรูปภาพตามขนาด หรือตามความต้องการได้ ซึ่งรูปภาพที่ได้ จะเป็นลักษณะ 2 มิติ และ 3 มิติ

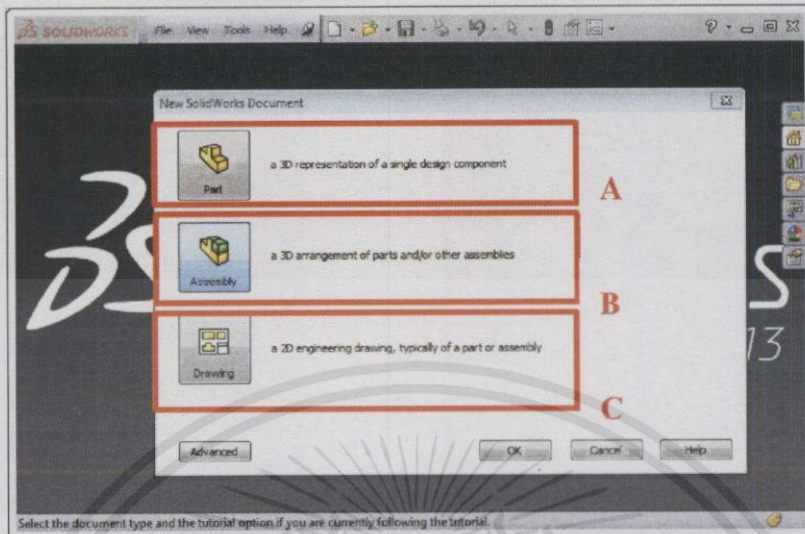
เริ่มใช้งานโปรแกรม Solidworks โดยการเปิดไอคอน Solidworks หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Solidworks ดังรูปที่ 3.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ รูปที่ 3.9 รูปแสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (1) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นการวาดภาพ 2 มิติและ 3 มิติ บนพื้นผิวที่แบนเรียบเริ่มจากการคลิกที่ ไอคอน New

รูปที่ 3.9 จะปรากฏหน้าต่างดังรูป 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (2)

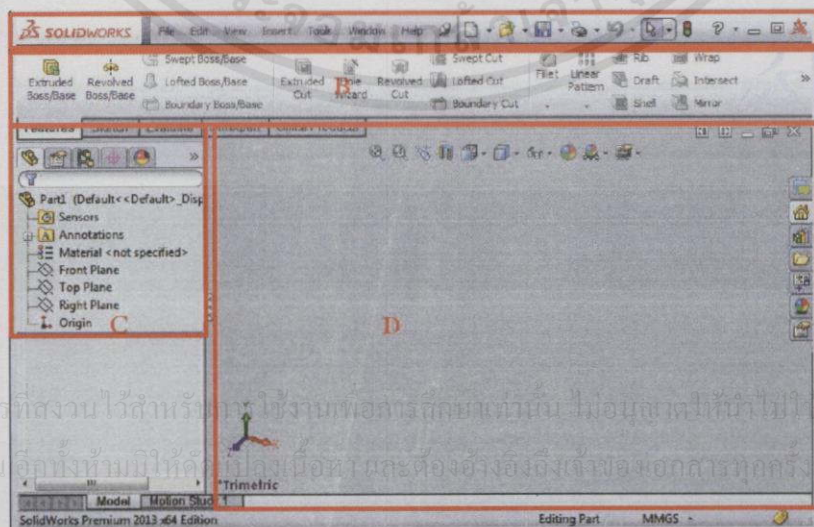
จากรูปที่ 3.10 จะมีรายละเอียดได้ดังนี้

A โหมด Part เป็นส่วนของการสร้างชิ้นงานที่เป็น 3 มิติ เป็นโหมดเริ่มต้นในการร่างแบบภาพสำหรับออกแบบเบื้องต้น และนำไปสู่การประกอบชิ้นส่วน

B โหมด Assembly เป็นส่วนของการนำชิ้นส่วนที่ได้สร้างไว้มาประกอบชิ้นส่วนงานได้ รวมถึงการจำลองการทำงานของเครื่องจักรด้วย

C โหมด Drawing เป็นส่วนที่สำคัญเป็นส่วนที่นำชิ้นส่วนจากส่วนที่ A นำมาเป็นภาพ 2 มิติ สำหรับการเป็นแบบสร้างงานจริง

เริ่มต้นโหมด Part ออกแบบเบื้องต้น จะเห็นภาพดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูที่ลิงก์เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 จะมีรายละเอียดดังนี้

A: เป็นส่วนของคำสั่งหลักของโปรแกรมส่วนนี้จะมียูในลักษณะ Top-Down Menu

B: ส่วนนี้จะเป็นคำสั่งที่ต้องใช้งาน (โหมดเครื่องมือ) กับโหมดที่เราเลือกเสียส่วนใหญ่ จะเห็นว่าคำสั่งที่มีตัวอักษรกำกับอยู่ข้างล่างนั้นเป็นคำสั่งหลักที่เราต้องใช้ขึ้นรูป 3D

C: ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เรียกได้ว่าจัดการระบบการทำงานให้รู้ถึงขั้นตอนการขึ้นรูป ต่าง ๆ เพื่อการแก้ไขติดตาม

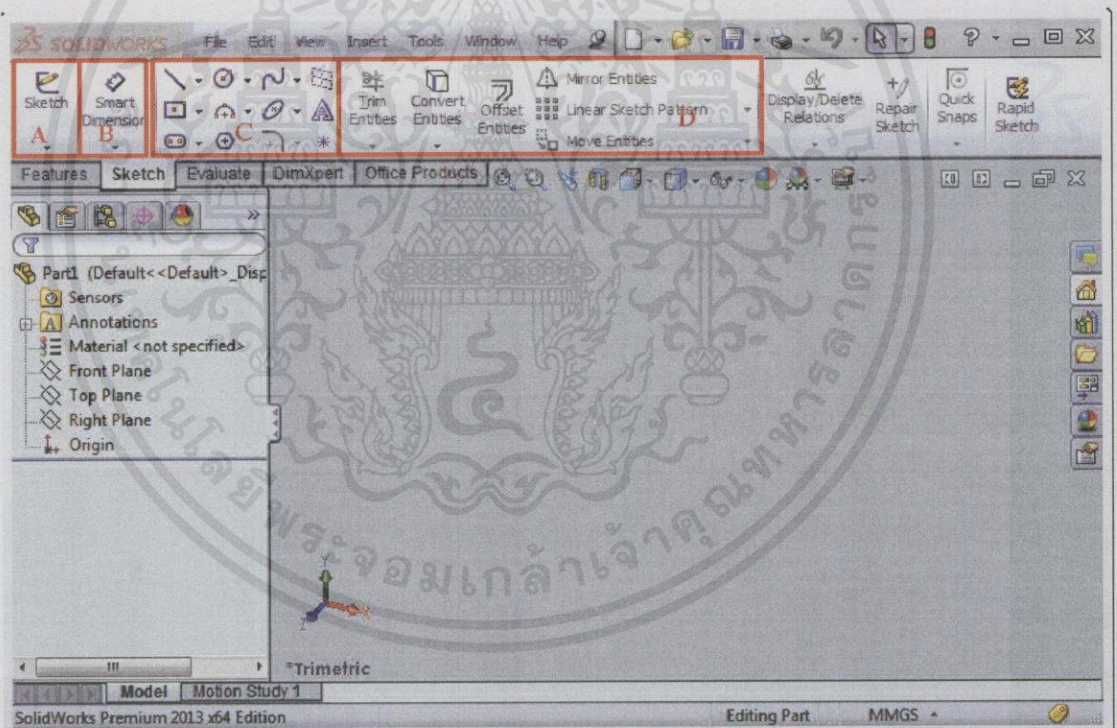
D: พื้นที่แสดงผล

การใช้คำสั่งในการสร้างชิ้นงาน

ลองสร้างแบบในลักษณะ 2 มิติ และ 3 มิติ หน่วยมิลลิเมตร

การวาดรูป

Toolbars สำหรับใช้วาดภาพใน Solidworks ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (4)

A เป็นคำสั่งเมื่อต้องการสเก็ตภาพ 2 มิติลงบนระนาบหรือพื้นผิวแบนเรียบ

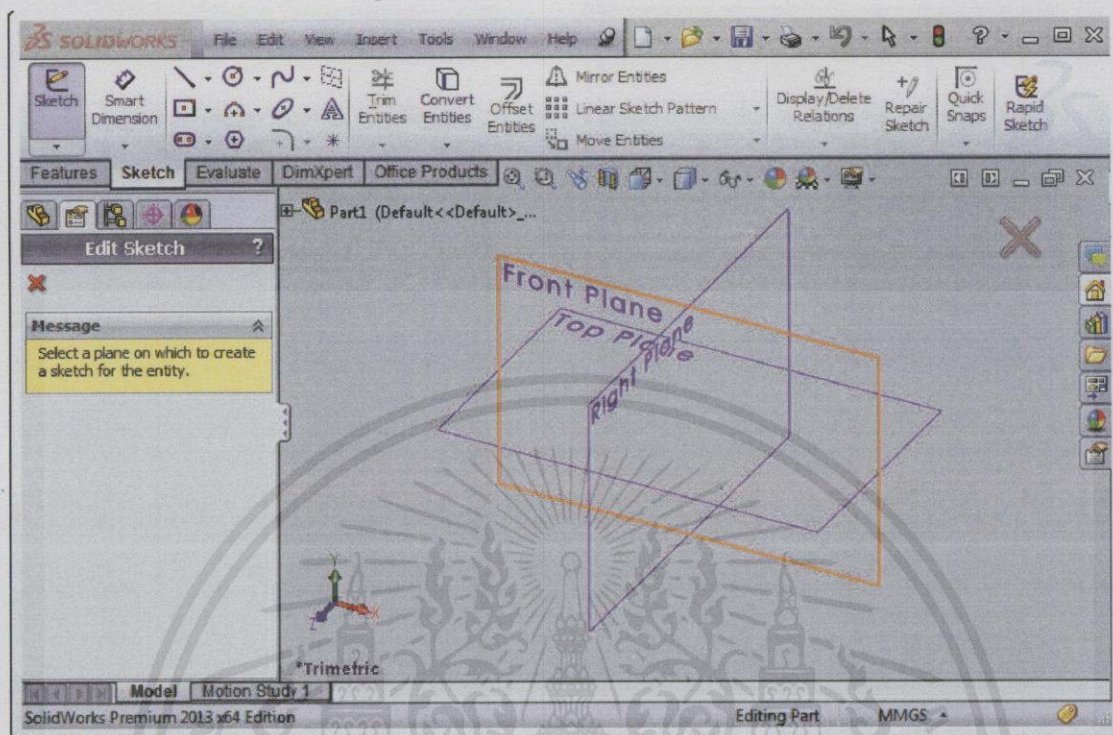
B เป็นคำสั่งในการให้ขนาด

C เป็นชุดคำสั่งในการสร้างเส้นทางเรขาคณิต

D การตกแต่งเส้นที่มีการวาดมาก่อนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามไปคัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


เริ่มต้นในการวาดรูปคลิก ส่วนการทำงาน A หน้าจอจะขึ้นให้เลือกระนาบการใช้งานให้เลือกระนาบตามเนื้องานที่จะใช้จริงดังรูปที่ 3.13




รูปที่ 3.13 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks (5)

การสร้างชิ้นส่วนอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม Solid Works

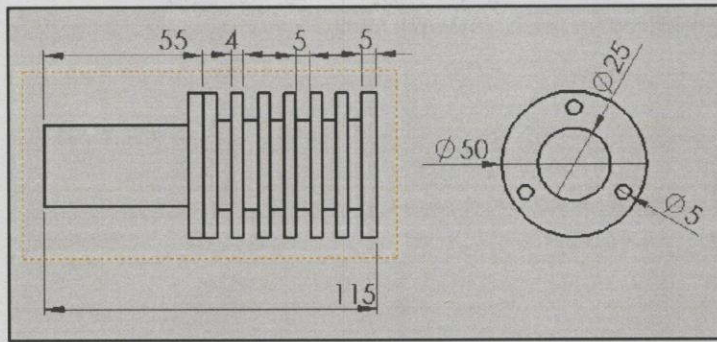
3.2.1. กระบอกสูบดิสเพลสเซอร์

3.2.1.1 ใช้คำสั่ง line  ร่างเส้นตามขนาดของกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์จริง

3.2.1.2 ใช้คำสั่ง Revolved Boss/Base  สร้างภาพซ้ำหมุนรอบแกน โดยการเลือกบริเวณที่ต้องการทำซ้ำ 1 ครั้ง จากนั้นเลือกเส้นแกนที่จะหมุนรอบ โดยแกนที่จะหมุนรอบนั้นจะต้องสร้างขึ้นด้วยเส้นปะเท่านั้น และจะได้ภาพกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงภาพกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ที่สมบูรณ์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (6)



รูปที่ 3.15 แสดงขนาดกระบอกลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (7)

3.2.2. ลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์

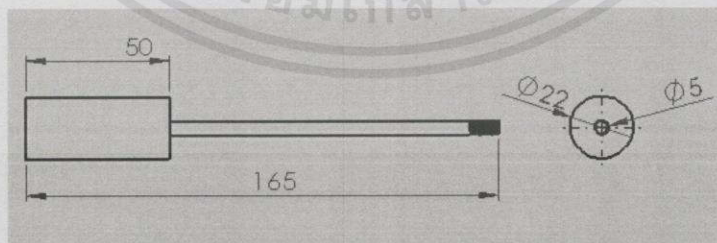
3.2.2.1 ใช้คำสั่ง line ร้างเส้นตามขนาดของลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์

3.2.2.2 ใช้คำสั่ง Revolved Boss/Base สร้างภาพซ้ำหมุนรอบแกน โดยการเลือกบริเวณที่ต้องการทำซ้ำ 1 ครั้ง จากนั้นเลือกเส้นแกนที่จะหมุนรอบ โดยแกนที่จะหมุนรอบนั้นจะต้องสร้างขึ้นด้วยเส้นปะเท่านั้น จะได้ภาพลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงภาพลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (8)

ขนาดลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์




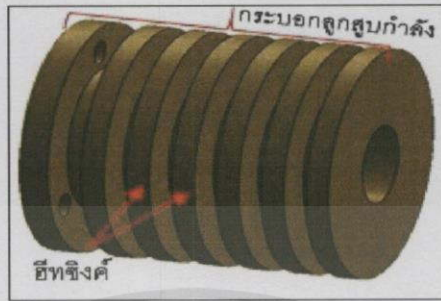
รูปที่ 3.17 แสดงขนาดลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (9)

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

3.2.3. กระบอกลูกสูบกำลัง

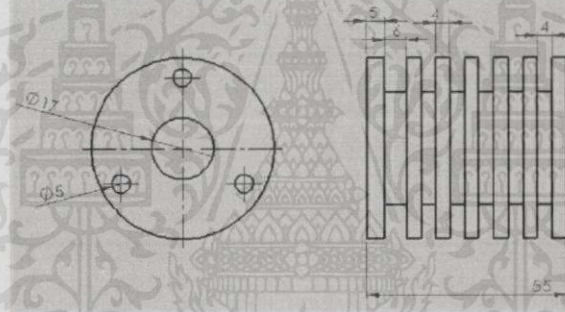
3.2.3.1 ใช้คำสั่ง line ร้างเส้นตามขนาดของกระบอกลูกสูบกำลังจริงดังรูปที่ 3.18

3.2.3.2 ใช้คำสั่ง Revolved Boss/Base  สร้างภาพซ้ำหมุนรอบแกน โดยการเลือกบริเวณที่ต้องการทำซ้ำ 1 ครั้ง จากนั้นเลือกเส้นแกนที่จะหมุนรอบ โดยแกนที่จะหมุนรอบนั้นจะต้องสร้างขึ้นด้วยเส้นปะเท่านั้น และจะได้ภาพกระบอกลูกสูบกำลังที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.18




รูปที่ 3.18 แสดงภาพกระบอกลูกสูบกำลังที่สมบูรณ์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (10)


ขนาดกระบอกลูกสูบกำลัง



รูปที่ 3.19 แสดงขนาดกระบอกลูกสูบกำลัง หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (11)

3.2.4. ลูกสูบกำลัง

3.2.4.1 ใช้คำสั่ง line  ร่างเส้นตามขนาดของกระบอกลูกสูบกำลังจริงดังรูปที่ 3.20

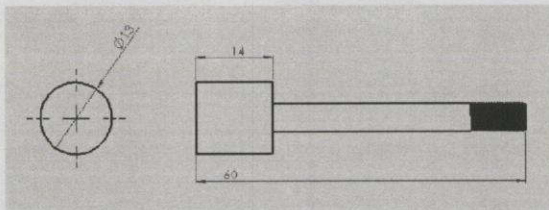
3.2.4.2 ใช้คำสั่ง Revolved Boss/Base  สร้างภาพซ้ำหมุนรอบแกน โดยการเลือกบริเวณที่ต้องการทำซ้ำ 1 ครั้ง จากนั้นเลือกเส้นแกนที่จะหมุนรอบ โดยแกนที่จะหมุนรอบนั้นจะต้องสร้างขึ้นด้วยเส้นปะเท่านั้น และจะได้ภาพลูกสูบกำลังที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงภาพลูกสูบกำลังที่สมบูรณ์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (12)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ขนาดลูกสูบกำลัง

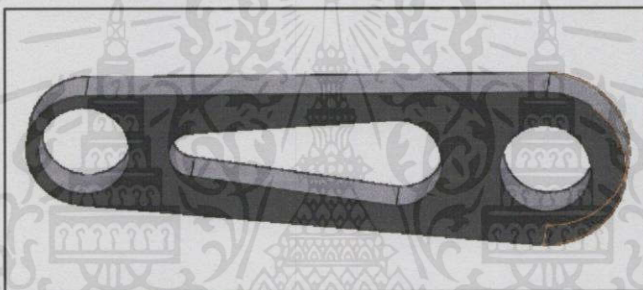


รูปที่ 3.21 แสดงขนาดลูกสูบกำลังที่สมบูรณ์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (13)

3.2.5. แกนเหวี่ยง

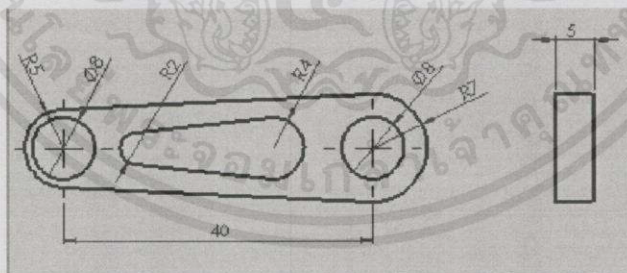
3.2.5.1 ใช้คำสั่ง line  ร่างเส้นตามขนาดของแกนเหวี่ยงดังรูปที่ 3.22

3.2.5.2 ใช้คำสั่ง Revolved Boss/Base  สร้างภาพซ้ำหมุนรอบแกน โดยการเลือกบริเวณที่ต้องการทำซ้ำ 1 ครั้ง จากนั้นเลือกเส้นแกนที่จะหมุนรอบ โดยแกนที่จะหมุนรอบนั้นจะต้องสร้างขึ้นด้วยเส้นปะเท่านั้น และจะได้ภาพแกนเหวี่ยงดังรูปที่ 3.22





รูปที่ 3.22 แสดงภาพแกนเหวี่ยง หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (14)

ขนาดแกนเหวี่ยง

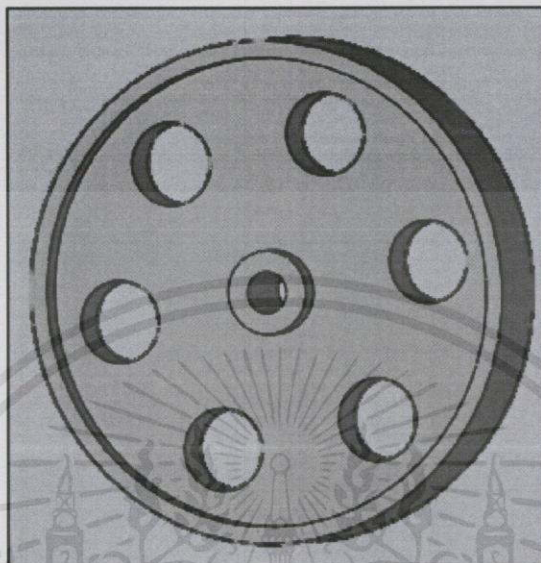


รูปที่ 3.23 แสดงขนาดแกนเหวี่ยง หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (15)

3.2.6. ล้อเกียร์

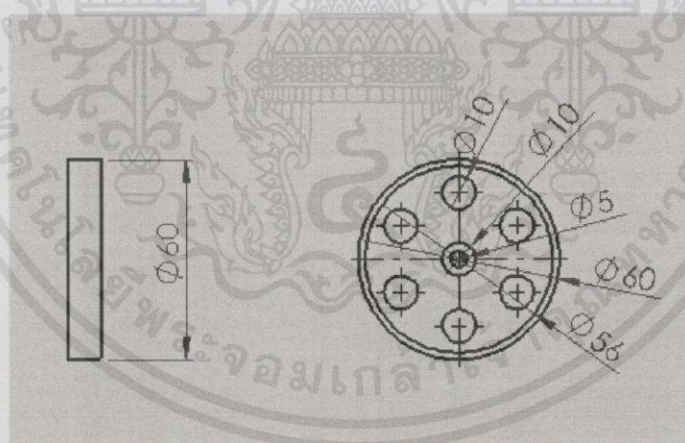
3.2.6.1 ใช้คำสั่ง circle  ในการขึ้นรูปร่างกลมโครงล้อ และ สร้างวงกลมสำหรับจะสร้างรูของล้อเกียร์ต่างๆ รูรอบๆล้อเกียร์ 6 รู เป็นรูช่วยในการเคลื่อนที่ ซึ่งหากถ้าวาดปกติก็จะยุ่งยาก ดังนั้นจึงใช้คำสั่ง line  ในการกำหนดระยะห่างรู จากจุดศูนย์กลาง 1 รูหลักจากนั้นใช้คำสั่ง array รอบจุดศูนย์กลางล้อ จะได้วงกลมลักษณะเดียวกันรอบจุดศูนย์กลางล้อเกียร์

3.2.6.2 ใช้คำสั่ง Extruded Boss/Base ในการขึ้นรูป 3 มิติโดยการเลือกเฉพาะส่วนที่ต้องการให้ยื่นออกมาเป็นลักษณะ 3 มิติ แล้วกำหนดระยะที่ยืดออกมา ส่วนที่ไม่ได้เลือกก็จะเกิดเป็นรู หรือช่องว่าง ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงภาพล้อเกียร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (16)

ขนาดล้อเกียร์



รูปที่ 3.25 แสดงขนาดล้อเกียร์ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (17)

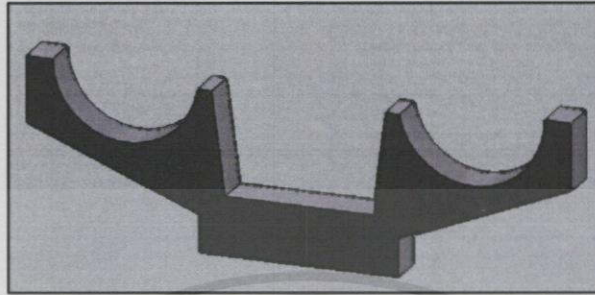
3.2.7. ฐานรองกระบอกลูกสูบ

3.2.7.1 ใช้คำสั่ง line สำหรับขึ้นรูปฐาน และสร้างระยะของวงกลมสำหรับเจาะรูวาง

อุปกรณ์ในส่วนต่างๆ และใช้คำสั่ง circle ในการขึ้นรูปวงกลมสำหรับเจาะรู

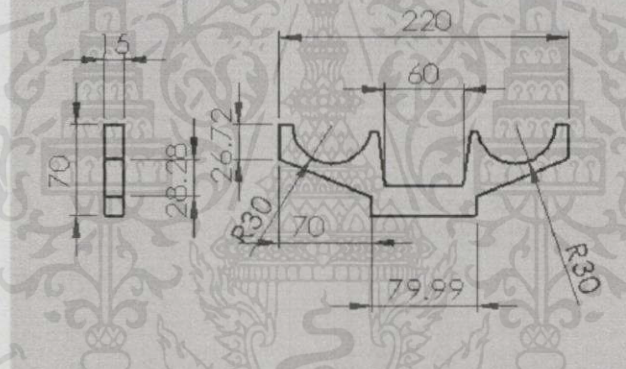
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7.2 ใช้คำสั่ง Extruded Boss/Base ในการขึ้นรูป 3 มิติโดยการเลือกเฉพาะส่วนที่ต้องการให้ยื่นออกมาเป็นลักษณะ 3 มิติ แล้วกำหนดระยะที่ยืดออกมา ส่วนที่ไม่ได้เลือกก็จะเกิดเป็นรู หรือช่องว่าง ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แสดงภาพฐานรองกระบอกสูบ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (18)

ขนาดฐานรองกระบอกสูบ



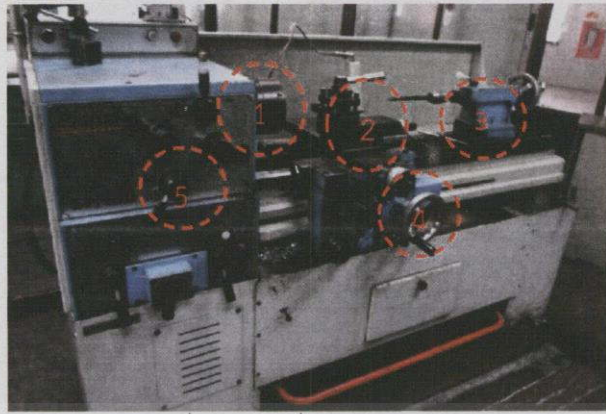
รูปที่ 3.27 แสดงขนาดฐานรองกระบอกสูบ หน้าต่างโปรแกรม Solidworks (19)

3.3 การสร้างชิ้นส่วนและประกอบอุปกรณ์ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมาที่พัฒนา

3.3.1 เครื่องมือสำหรับการขึ้นส่วนของสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1. เครื่องกลึง ใช้สำหรับขึ้นรูปร่างชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์ เครื่องกลึงมีหลายประเภท ได้แก่ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์แบบเดิม เครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์แบบนิวเมอร์ริคัลคอนโทรล (NC) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์แบบคอมพิวเตอร์นิวเมอร์ริคัลคอนโทรล โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องกลึงมีดังรูปที่ 3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

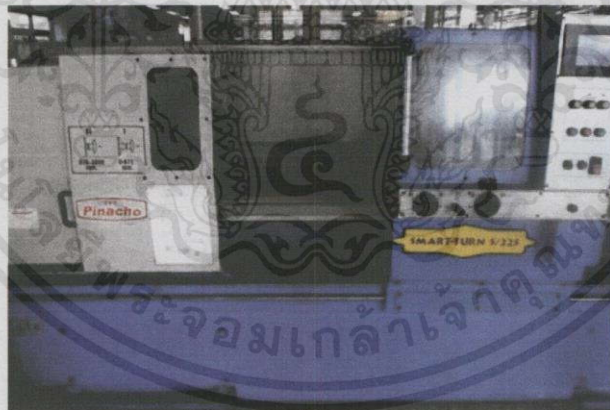


รูปที่ 3.28 เครื่องกลึงแบบเดิม

ส่วนประกอบของเครื่องกลึงจากภาพ

- 1) หัวจับชิ้นงาน
- 2) ส่วนรับใบมีดกลึงและใบมีดกลึงชิ้นงาน
- 3) หัวจับสว่านสำหรับเจาะรู และ ตั้งจุดศูนย์กลางของชิ้นงาน
- 4) ส่วนป้อนระยะการกลึงชิ้นงาน
- 5) ส่วนปรับความเร็วรอบ ความเร็วป้อนงาน

นอกจากนี้ยังมีเครื่องกลึงชนิดที่ควบคุมอัตโนมัติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.34 และรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.29 เครื่องกลึง ชนิด NC



รูปที่ 3.30 เครื่องกลึงชนิด CNC

2. เครื่องเจาะรู



รูปที่ 3.31 เครื่องเจาะรู

3.3.2 การสร้างชิ้นส่วนและการประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

จากผลการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบขนาดเล็กชนิดแกมมาจะพบว่ายังมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำซึ่งเป็นผลมาจากขนาดของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ออกแบบนั้นเมื่อนำมาประกอบกันยังไม่เป็นระบบปิดที่สมบูรณ์ ดังนั้นในการสร้างชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่พัฒนาขึ้นนี้จะพิจารณาในส่วนการทำให้เป็นปริมาตรปิดมากที่สุดซึ่งจุดที่สำคัญที่ต้องป้องกันไม่ให้อากาศรั่วมากที่สุดคือแกนชักของลูกสูบดิสเพลสเซอร์

การกำหนดขนาดของชิ้นส่วน

การกำหนดขนาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่พัฒนานี้จะประกอบด้วย ครอบอกสูบดิสเพลสเซอร์ลูกสูบดิสเพลสเซอร์และแกนดิสเพลสเซอร์ ลูกสูบกำลังครอบอกสูบกำลังข้อเหวี่ยงสำหรับลูกสูบกำลัง ล้อเกียร์กระตุ้นตั้งมีรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.2.1 ครอบอกสูบดิสเพลสเซอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น หากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงเนื้อหาใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.32 ครอบอกลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ (4) ฮีทเตอร์ (5) และ ฮีทซิงค์(6)

ขนาดของครอบอกลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์(4)

ความยาวของครอบอกลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ $l_{Cy,d} = 155 \text{ mm}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครอบอกลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ $d_{Cy,d} = 25 \text{ mm}$

ขนาดของฮีทเตอร์(5)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฮีทเตอร์ $d_{out,ht} = 50 \text{ mm}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของฮีทเตอร์ $d_{in,ht} = 25 \text{ mm}$

ความยาวของฮีทเตอร์ $l_{heat} = 55 \text{ mm}$

ขนาดของฮีทซิงค์(6)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฮีทซิงค์ $d_{out,hs} = 50 \text{ mm}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของฮีทซิงค์ $d_{in,hs} = 25 \text{ mm}$

ความยาวของฮีทซิงค์ $l_{heat} = 60 \text{ mm}$

3.3.2.2 ลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์และ แกนดีเซลเพลสเซอร์



รูปที่ 3.33 ลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ (2) และแกนดีเซลเพลสเซอร์ (7)

ขนาดของลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์(2)

เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ $d_d = 22 \text{ mm}$

พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ $A_d = \pi \left(\frac{d_d}{2} \right)^2 = 379.94 \text{ mm}^2$

ความยาวของลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ $l_d = 50 \text{ mm}$

ขนาดของแกนดีเซลเพลสเซอร์(7)

เส้นผ่านศูนย์กลางแกนดีเซลเพลสเซอร์ $d_{core,d} = 15 \text{ mm}$

ความยาวแกนดีเซลเพลสเซอร์ $l_{core,d} = 115 \text{ mm}$

3.3.2.3 ลูกสูบกำลัง



รูปที่ 3.34 ลูกสูบกำลัง (6) และ แขนเหวี่ยงกำลัง (9)

ขนาดของลูกสูบกำลัง(1)

เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบกำลัง

$$d_p = 13 \quad \text{mm}$$

พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบกำลัง

$$A_p = \pi \left(\frac{d_p}{2} \right)^2 = 132.665 \quad \text{mm}^2$$

ความยาวของลูกสูบกำลัง

$$l_p = 14 \quad \text{mm}$$

3.3.2.4 ครอบลูกสูบกำลัง



รูปที่ 3.35 ครอบลูกสูบกำลัง (3)

ขนาดของครอบลูกสูบกำลัง(3)

ความยาวของครอบลูกสูบกำลัง

$$l_{cy,p} = 55 \quad \text{mm}$$

ปริมาตรภายในครอบลูกสูบ

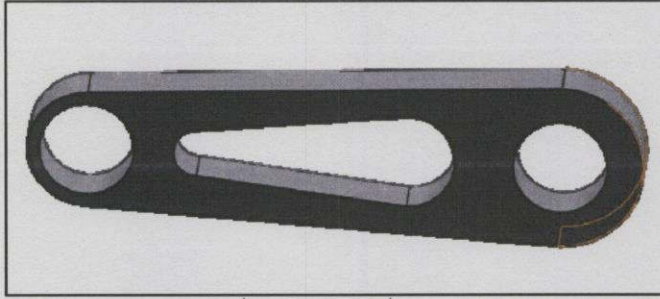
$$V_{cy,p} = A_p l_{cy,p} = 7296.575 \quad \text{mm}^3$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกครอบลูกสูบ

$$d_{cy,p} = 50 \quad \text{mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

3.3.2.5 ข้อเหวี่ยง



รูปที่ 3.36 ข้อเหวี่ยง (10)

ขนาดข้อเหวี่ยง(10)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในข้อเหวี่ยงกำลัง

$$d_k = 8 \text{ mm}$$

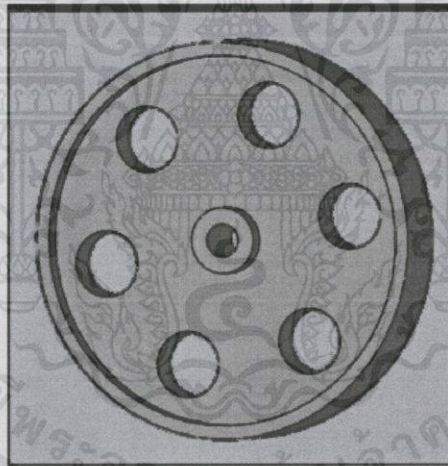
ความยาวข้อเหวี่ยง

$$l_k = 52 \text{ mm}$$

ระยะจุดศูนย์กลางระหว่างรูข้อเหวี่ยง

$$40 \text{ mm}$$

3.3.2.6 ล้อเกียร์กระตุ้น



รูปที่ 3.37 ล้อเกียร์กระตุ้น (11)

ขนาดของล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง(13)

เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง

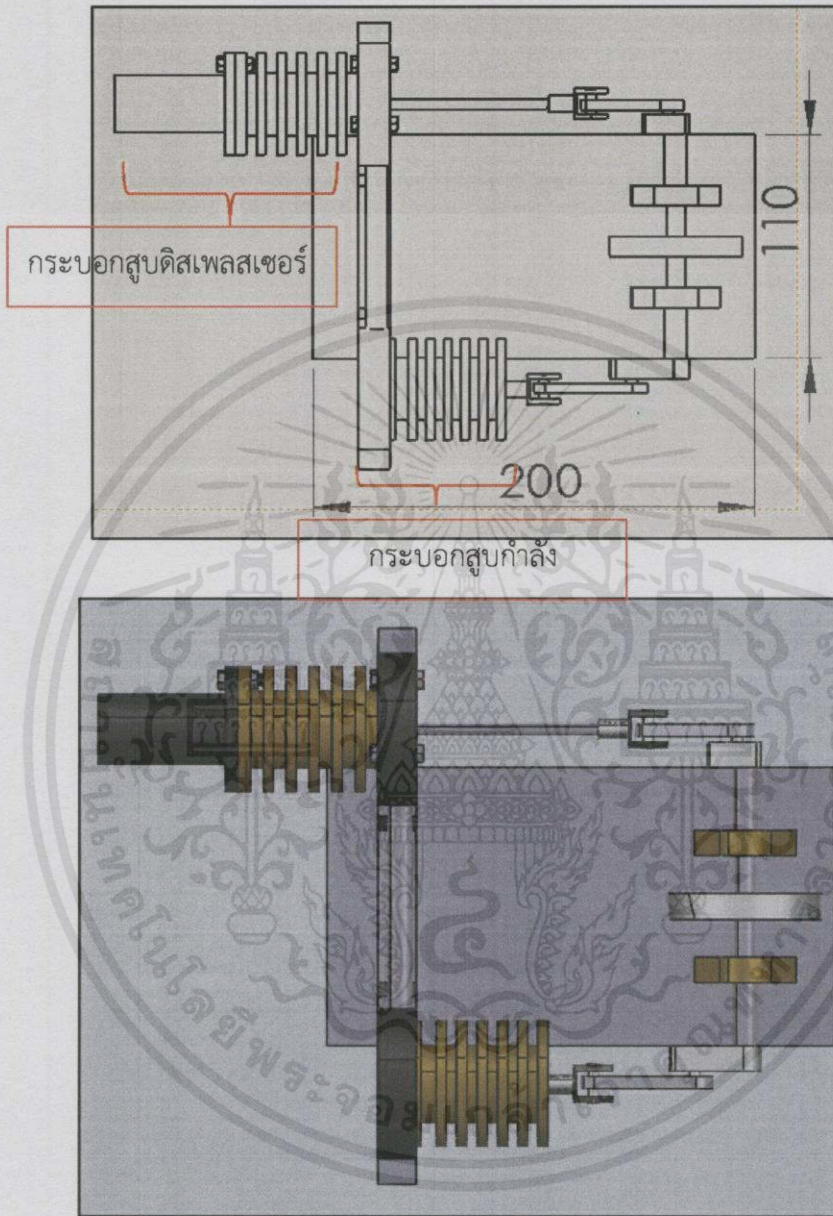
$$d_f = 60 \text{ mm}$$

ความหนาของล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง

$$l_f = 10 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความต่างอุณหภูมิ ในการเริ่มต้นการทำงานของ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.38 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมาทำได้โดยการให้ความร้อนที่จุดปลายกระบอก ลูกสูบดีสเพลสเซอร์จนมีความร้อนสะสมภายในระบบร้อนพอควร จากนั้นทำการกระตุ้นให้เครื่องยนต์ สเตอร์ลิงทำงานโดยให้แรงที่ล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง และสังเกตผลการทำงานของเครื่องยนต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

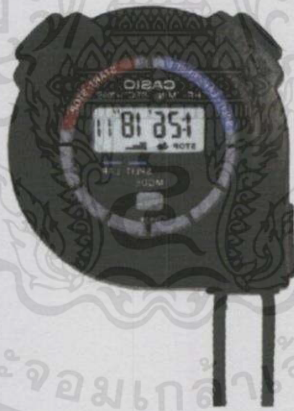
3.4.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ

3.39 ตะเกียงแอลกอฮอล์



รูปที่ 3.39 ตะเกียงแอลกอฮอล์

3.40 นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล



รูปที่ 3.40 นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล

3.4.2 ขั้นตอนการทดลองการทำงานเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมา

- 1) ให้ความร้อนที่จุดปลายของกระบอกลูกสูบดีเซลเซอร์พร้อมทั้งจับเวลาไปด้วย
- 2) ทำการกระตุ้นล้อเกียร์กระตุ้นกำลังไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมา

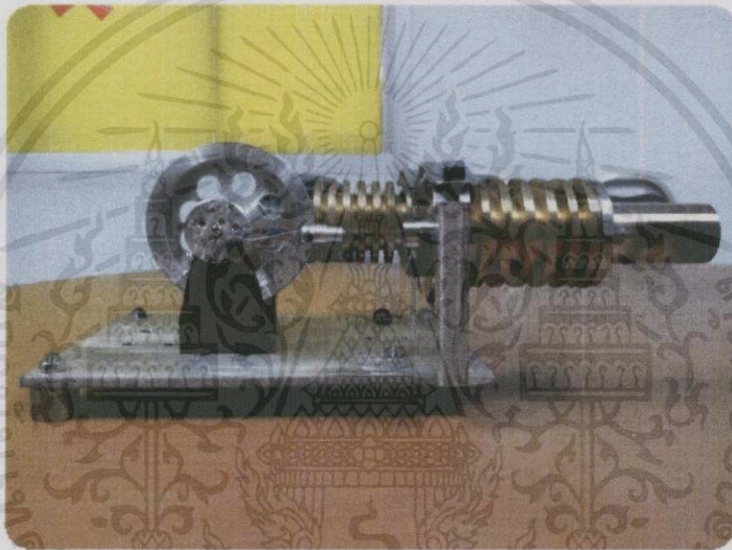
นี้สามารถหมุนอย่างต่อเนื่องได้เองและบันทึกเวลาเริ่มต้นที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมานี้สามารถหมุนอย่างต่อเนื่องได้เอง

- 3) ทำการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรม Solidworks

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การทดสอบและวิเคราะห์หาความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กชนิดแกมมา ในการวิเคราะห์จะใช้โปรแกรม Solidworks เป็นโปรแกรมช่วยในการวัดค่า โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่หนึ่งทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ และส่วนที่สองวิเคราะห์ทางด้านกลศาสตร์ โดยมีขั้นตอนรายละเอียดในการวิเคราะห์ดังนี้



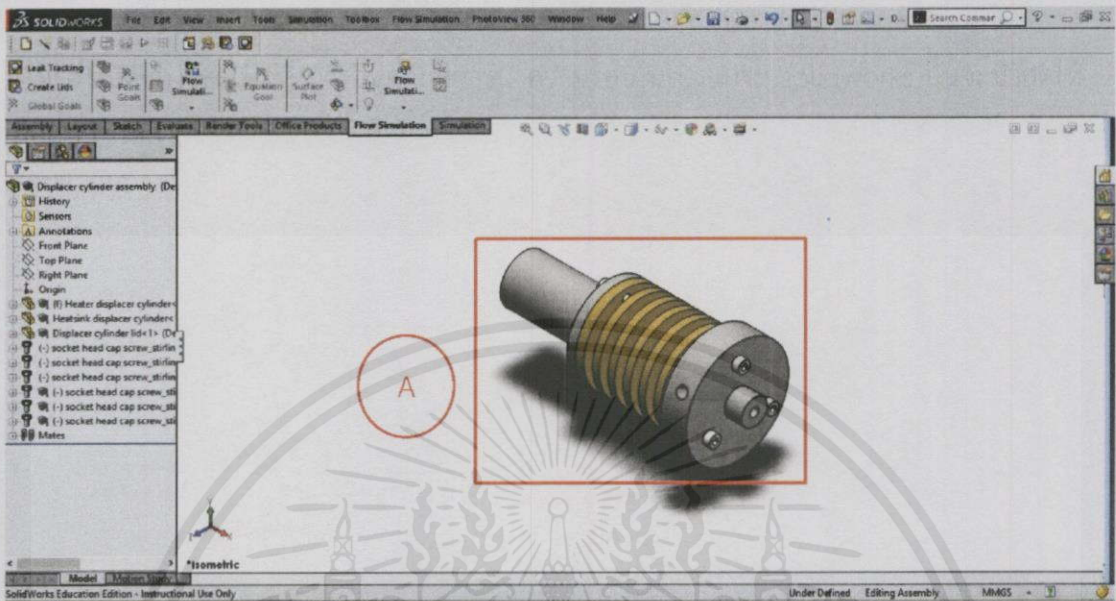
รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กชนิดแกมมา

4.1 การวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์

4.1.1 วิเคราะห์การนำความร้อน

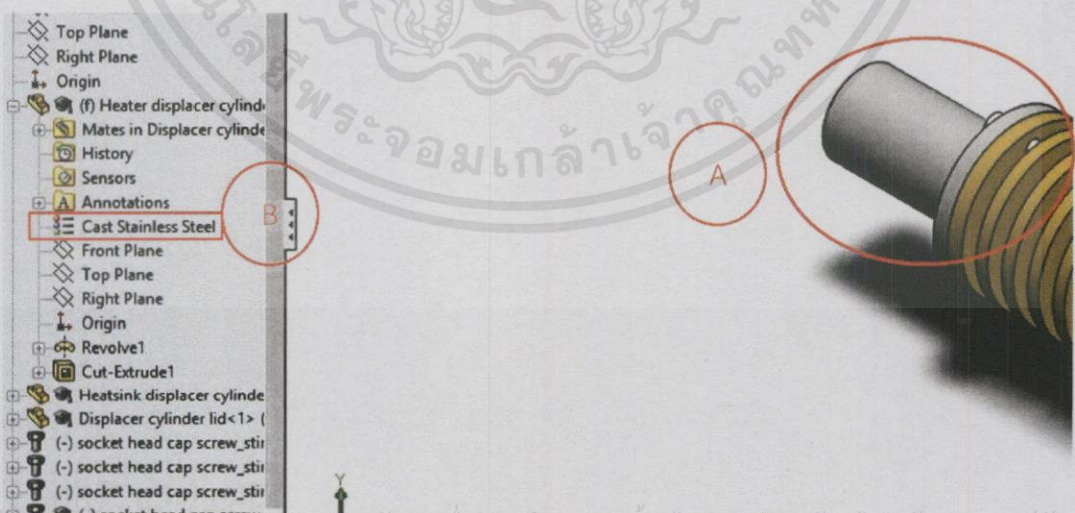
การวิเคราะห์การนำความร้อนเป็นการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุที่ได้ออกแบบมา โดยใช้วัสดุต่างชนิดกันโดยวิเคราะห์ทางด้านกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ทั้งหมดประกอบด้วยฮีตเตอร์ที่ออกแบบโดยใช้วัสดุเป็นสแตนเลส ฮีตซิงค์ที่ออกแบบโดยใช้วัสดุเป็นทองเหลือง และฝาปิดกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ที่ออกแบบโดยใช้วัสดุเป็นสแตนเลส มาประกอบเป็นชิ้นส่วนกระบอกดีเซลเพลสเซอร์เปรียบเทียบกับการใช้วัสดุชนิดเดียวกันทั้งหมดในการสร้างขึ้นส่วนกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ โดยการวิเคราะห์การนำความร้อนนี้เพื่อเป็นการวัดค่าอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรม Solidworks ซึ่งค่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยจะทำให้ทราบค่าอุณหภูมิที่ผนังการนำความร้อนที่บริเวณต่างๆ ดังนี้ มิให้ลดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดโปรแกรม Solidworks เลือกชิ้นส่วนที่จะทำการวิเคราะห์โดยวิเคราะห์ทางด้านกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์

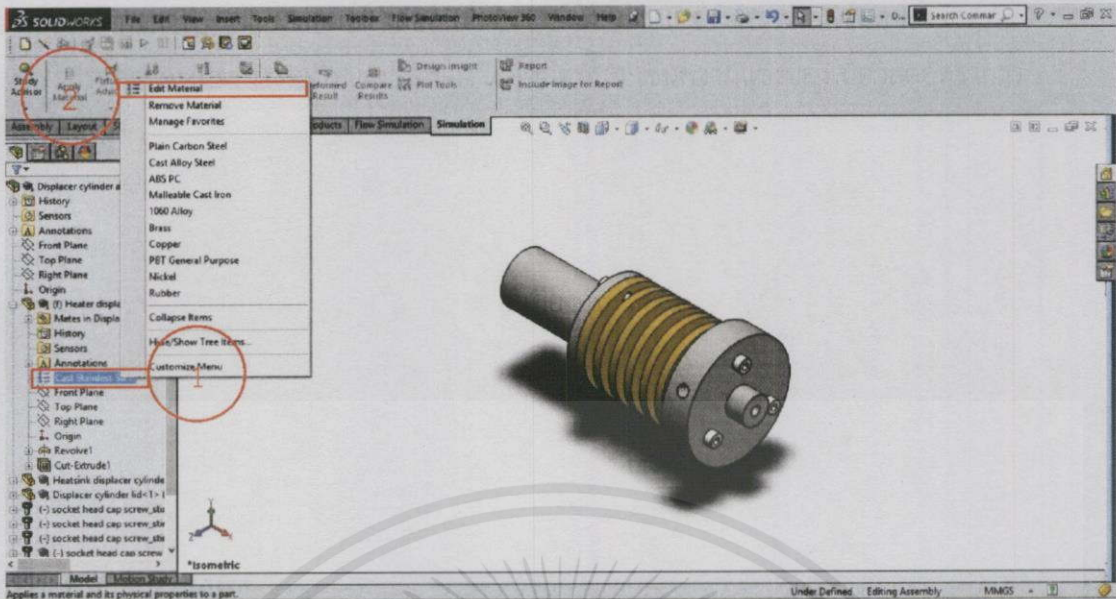


รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks ในการวิเคราะห์การนำความร้อนของกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์(A)

กำหนดชนิดของวัสดุเพื่อทำการวิเคราะห์การนำความร้อนในโปรแกรม solidworks นั้นจะมีวัสดุให้เลือกหลากหลายชนิดโดยในการเลือกจะใช้วัสดุที่ใช้ในการออกแบบงานจริงและมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุที่ได้นำมาสร้างเป็นชิ้นส่วนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้
รูปที่ 4.3 แสดง (A) ส่วนของฮีตเตอร์(B)ชนิดวัสดุที่เลือก นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดชนิดวัสดุ

(1)คลิกขวาที่ Edit Materail เลือก (2) Edit Materail เมื่อทำการเลือกชนิดของวัสดุนั้น โปรแกรมจะแสดงตารางคุณสมบัติของวัสดุชนิดนั้นๆ เช่นความแข็งของเนื้อวัสดุอัตราการขยายตัวของวัสดุเนื่องจากแรงอัด ความหนาแน่นมวล สัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุเนื่องจากความร้อน ค่าความจุความร้อน ค่าสภาพการนำความร้อน โดยในที่นี้เป็นการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุโปรแกรมจะคำนวณโดยใช้ค่าสภาพการนำความร้อนมาคำนวณซึ่งวัสดุ(สแตนเลส)ที่เลือกมีค่าสภาพการนำความร้อนใกล้เคียงกับวัสดุ(สแตนเลส)ที่นำมาสร้างเป็นชิ้นส่วนฮีตเตอร์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

Property	Value	Units
Elastic Modulus	1.9e+011	N/m ²
Poisson's Ratio	0.26	N/A
Shear Modulus	7.9e+010	N/m ²
Mass Density	7700	kg/m ³
Tensile Strength		N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength		N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.5e-005	/K
Thermal Conductivity	37	W/(m·K)
Specific Heat	520	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

รูปที่ 4.5 ตารางคุณสมบัติวัสดุ(สแตนเลส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น มิใช่ให้คุณค่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ วัสดุที่ทำการกำหนดต่อมาเป็นชิ้นส่วนของฮีตซิงค์ วัสดุที่นำมาสร้างเป็นชิ้นส่วนคือ ทองเหลือง โปรแกรม Solidworks ก็จะมีตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุทองเหลืองเช่นกัน

Property	Value	Units
Elastic Modulus	1e+011	N/m ²
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	3.7e+010	N/m ²
Mass Density	8500	kg/m ³
Tensile Strength	478413000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	239689000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.8e-005	/K
Thermal Conductivity	110	W/(m·K)
Specific Heat	390	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

รูปที่ 4.6 ตารางคุณสมบัติวัสดุ(ทองเหลือง)

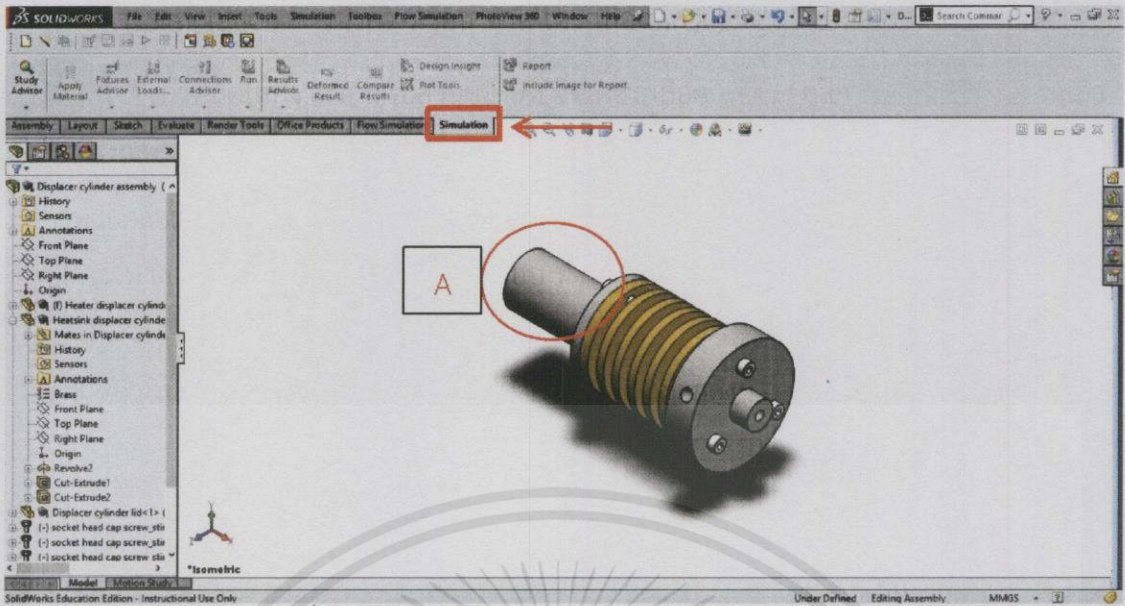
จากตาราง 4.4 และ 4.5 Elastic Modulus คือ คุณสมบัติเกี่ยวกับความแข็งแรงของพันธะ (bond strength) โลหะที่มี Modulus elasticity สูง จะแข็งแรงไม่่ง่าย Poisson's Ratio คือ อัตราส่วนความเครียดในแนวด้านข้าง ต่อความเครียดในแนวด้านยาวของวัตถุ



รูปที่ 4.7 Poisson's Ratio

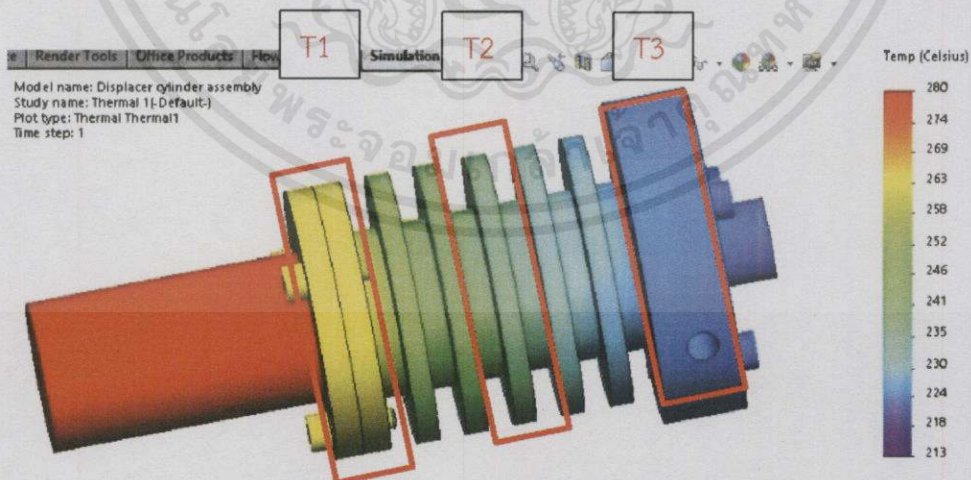
Shear Modulus คือ โมดูลัสของแรงเฉือนเป็นหนึ่งในปริมาณสำหรับวัดความแข็งแรงของวัสดุ Mass density คือ ความหนาแน่นมวล ซึ่งที่กล่าวมาข้างต้นจะเป็นในเรื่องของความแข็งแรงของวัสดุ ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้สร้างเป็นชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงนั้นใช้สแตนเลสและทองเหลืองเป็นหลักซึ่งมีความแข็งแรงของตัววัสดุสูงมาก จากการวิเคราะห์ปัญหาของสเตอร์ลิงของรุ่นที่ผ่านมาในการสร้างชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ต้องได้รับความร้อนสูงและ บริเวณจุดเชื่อมต่อของวัสดุต้องมีการทำเกลียวถ้าเป็นวัสดุเนื้ออ่อนเช่น อลูมิเนียมจะเกิดการรั่วได้ง่าย ต่อมาจะเป็นคุณสมบัติทางด้านความร้อนได้แก่ Thermal Expansion Coefficient คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

Thermal Conductivity คือค่าสภาพการนำความร้อนจะบ่งบอกถึงการนำความร้อนของวัสดุจะดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับ สภาพการนำความร้อน และ Specific heat คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ เมื่อทำการเลือกวัสดุเรียบร้อยแล้ว ต่อมาจะเป็นการ จำลองการนำความร้อนโดยใช้โปรแกรม Solidworks เพื่อหาอุณหภูมิบริเวณผนังวัสดุที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 4.8 แสดงหน้าต่างโปรแกรมในการ Simulation

การ Simulation การนำความร้อน ทำได้โดย เลือกที่คำสั่ง **New Study** เลือก **Thermal** กำหนดให้ความร้อนกับส่วนของ (A) ฮีตเตอร์ เลือก **Thermal Loads** คลิก **Temperature** แล้วเลือกบริเวณพื้นผิวของ (A) ฮีตเตอร์โดยกำหนดอุณหภูมิเป็น 280°C จากนั้นเป็นการกำหนดความร้อนที่สภาพแวดล้อมด้านนอกที่สัมผัสกับผิวโดยรอบของวัสดุ โดยเลือก คำสั่ง **Thermal Loads** คลิก **Convection** ซึ่งเป็นการพาความร้อนของสภาพอากาศโดยรอบ ทำการกำหนดอุณหภูมิภายนอกเป็น 27°C และมีค่าการถ่ายเทอากาศ $5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ต่อมาทำการ Mesh Model แล้วให้โปรแกรมวิเคราะห์ผลของการนำความร้อน ได้ผลดังนี้

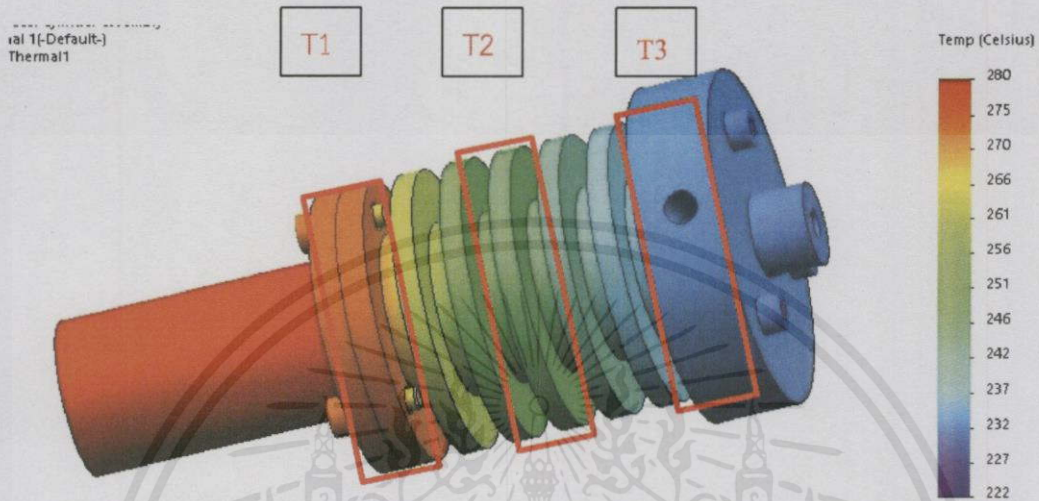


รูปที่ 4.9 แสดงผลการ Simulation การนำความร้อน (วัสดุต่างชนิด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งเป็นที่การสงวนเท่านั้น มิฉะนั้นให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
โปรแกรมจะทำการแสดงผลของความร้อนในรูปของเฉดสีซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะทำการวัดอุณหภูมิของ
แต่ละจุดของชิ้นงานจากฮีตเตอร์จนถึงฟลิปด แบ่งออกเป็น 3 ระยะดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุต่างชนิดกัน

อุณหภูมิ T1 (°C)	อุณหภูมิ T2 (°C)	อุณหภูมิ T3 (°C)
263	241	218



รูปที่ 4.10 แสดงผลการ Simulation การนำความร้อน(วัสดุชนิดเดียวกัน)

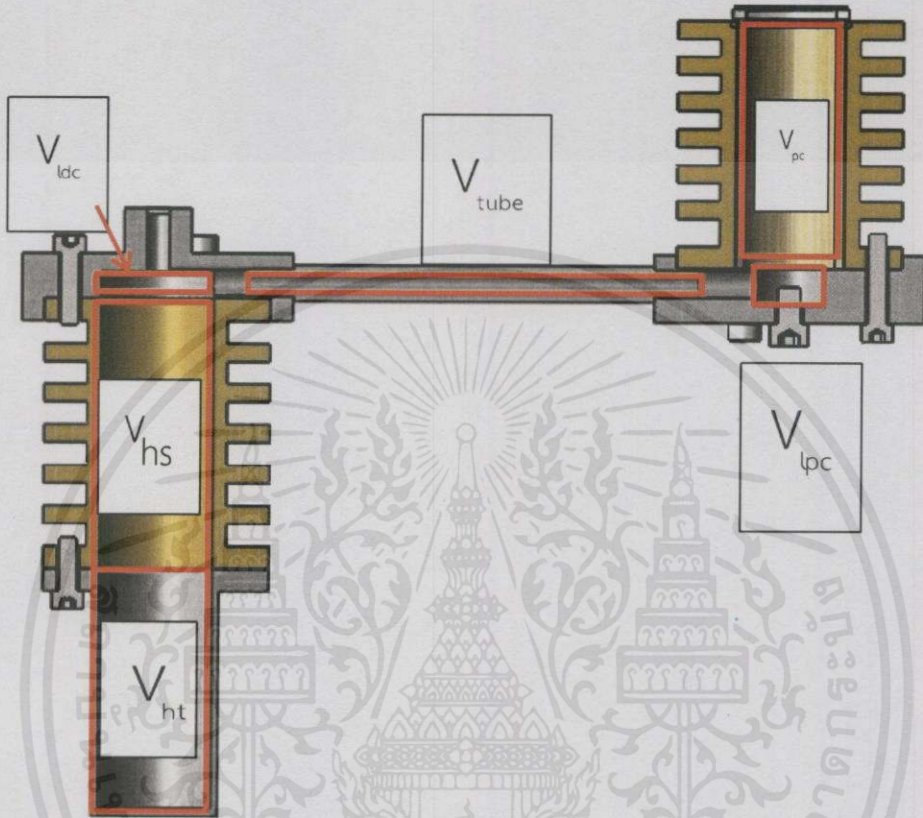
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุชนิดเดียวกัน

อุณหภูมิ T1 (°C)	อุณหภูมิ T2 (°C)	อุณหภูมิ T3 (°C)
275	251	232

จากผลการวิเคราะห์การนำความร้อนที่มีวัสดุเบื้องต้นพบว่าเมื่อเราใช้วัสดุต่างชนิดกันมาต่อกันซึ่งจะมีค่าสภาพการนำความร้อนที่ต่างกัน ซึ่งเปรียบเสมือนการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมซึ่งมีค่าความต้านทานไม่เท่ากันทำให้ความร้อนที่ไหลผ่านนั้นเกิดการลดลงของอุณหภูมิดังผลการ Simulation การนำความร้อนซึ่งการนำความร้อนความร้อนจะไหลจากอุณหภูมิสูงไปต่ำเสมอ และการนำความร้อนของวัสดุที่เป็นชนิดเดียวกันนั้นจะไม่มี การลดลงของอุณหภูมิอย่างมากเหมือนกับการใช้วัสดุต่างชนิดแต่จะเป็นการลดลงของอุณหภูมิตามระยะทางเท่านั้นจึงเกิดความต่างของอุณหภูมิไม่มาก ซึ่งจากการวิเคราะห์การนำความร้อนของโมเดลในการออกแบบซึ่งเป็นการใช้วัสดุต่างชนิดกันนั้นเกิดความต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกัน ถึง 14°C ในส่วนของการวิเคราะห์การนำความร้อนบ่งบอกถึงการออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ทำให้เกิดความต่างของอุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของเรอจยนต์สเตอร์ลิงที่อาศัยหลักการของความต่างอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 วิเคราะห์การไหลของอากาศภายในกระบอกสูบคำนวณหาปริมาตรเครื่องยนต์สเตอร์ลิง(ขณะยังไม่ใส่ลูกสูบ)



รูปที่ 4.11 แสดงปริมาตรภายในของระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

การคำนวณปริมาตรภายในของระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ดังต่อไปนี้

1. ฮีทเตอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 25 \text{ mm}$ และสูง $h = 53 \text{ mm}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาตรของฮีทเตอร์ V_{ht} จากสมการ

$$V_{ht} = \frac{\pi D_{ht}^2 h}{4}$$

$$V_{ht} = \frac{3.14(25 \text{ mm})^2 53 \text{ mm}}{4}$$

$$V_{ht} = 26003.125 \text{ mm}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกหนึ่งหน้าที่ให้คำปรึกษาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฮีทซิงค์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 25 \text{ mm}$ และสูง $h = 60 \text{ mm}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาตรของฮีทซิงค์ V_{hs} จากสมการ

$$V_{hs} = \frac{\pi D_{hs}^2 h}{4}$$

$$V_{hs} = \frac{3.14(25 \text{ mm})^2 60 \text{ mm}}{4}$$

$$V_{hs} = 29437.5 \text{ mm}^3$$

3. ฝาปิดกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 25 \text{ mm}$ และสูง $h = 60 \text{ mm}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาตรของฝาปิดกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ V_{ldc} จากสมการ

$$V_{ldc} = \frac{\pi D_{lds}^2 h}{4}$$

$$V_{ldc} = \frac{3.14(25 \text{ mm})^2 6 \text{ mm}}{4}$$

$$V_{ldc} = 2943.75 \text{ mm}^3$$

4. ท่อนำอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 4 \text{ mm}$ และสูง $h = 100 \text{ mm}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาตรของท่อนำอากาศ V_{tube} จากสมการ

$$V_{tube} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{tube} = \frac{3.14(4 \text{ mm})^2 100 \text{ mm}}{4}$$

$$V_{tube} = 1256 \text{ mm}^3$$

5. ฝาปิดกระบอกสูบกำลังมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 16 \text{ mm}$ และสูง $h = 8 \text{ mm}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาตรฝาปิดกระบอกสูบกำลัง V_{lpc} จากสมการ

$$V_{lpc} = \frac{\pi D_{lp}^2 h}{4}$$

$$V_{lpc} = \frac{3.14(16 \text{ mm})^2 8 \text{ mm}}{4}$$

$$V_{lpc} = 1607.68 \text{ mm}^3$$

6. กระบอกสูบกำลังมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 20 \text{ mm}$ และสูง $h = 55 \text{ mm}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาตรของกระบอกสูบกำลัง V_{pc} จากสมการ

$$V_{pc} = \frac{\pi D_{pc}^2 h}{4}$$

$$V_{pc} = \frac{3.14(20 \text{ mm})^2 55 \text{ mm}}{4}$$

$$V_{pc} = 17270 \text{ mm}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาตรลูกสูบ

1. ลูกสูบกำลังมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 20 \text{ mm}$ และสูง $h = 16 \text{ mm}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาตรของลูกสูบกำลัง $V_{\text{power piston}}$ จากสมการ

$$V_{\text{power piston}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{\text{power piston}} = \frac{3.14(20 \text{ mm})^2 16 \text{ mm}}{4}$$

$$V_{\text{power piston}} = 5024 \text{ mm}^3$$

2. ลูกสูบดิสเพลสเซอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 22 \text{ mm}$ และสูง $h = 50 \text{ mm}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาตรของลูกสูบดิสเพลสเซอร์ $V_{\text{dis piston}}$ จากสมการ

$$V_{\text{dis piston}} = \frac{\pi D_{ds}^2 h}{4}$$

$$V_{\text{dis piston}} = \frac{3.14(22 \text{ mm})^2 50 \text{ mm}}{4}$$

$$V_{\text{dis piston}} = 18997 \text{ mm}^3$$

ดังนั้นปริมาตรทั้งหมดภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (ไม่คิดลูกสูบภายในกระบอก)

$$V_{\text{total}} = 102539.055 \text{ mm}^3 \Rightarrow 0.00010254 \text{ m}^3$$

จาก $m = \frac{PV}{RT}$; $R = 0.287 \text{ kPa m}^3 / \text{kg.K}$, $P = 101.325 \text{ kPa}$

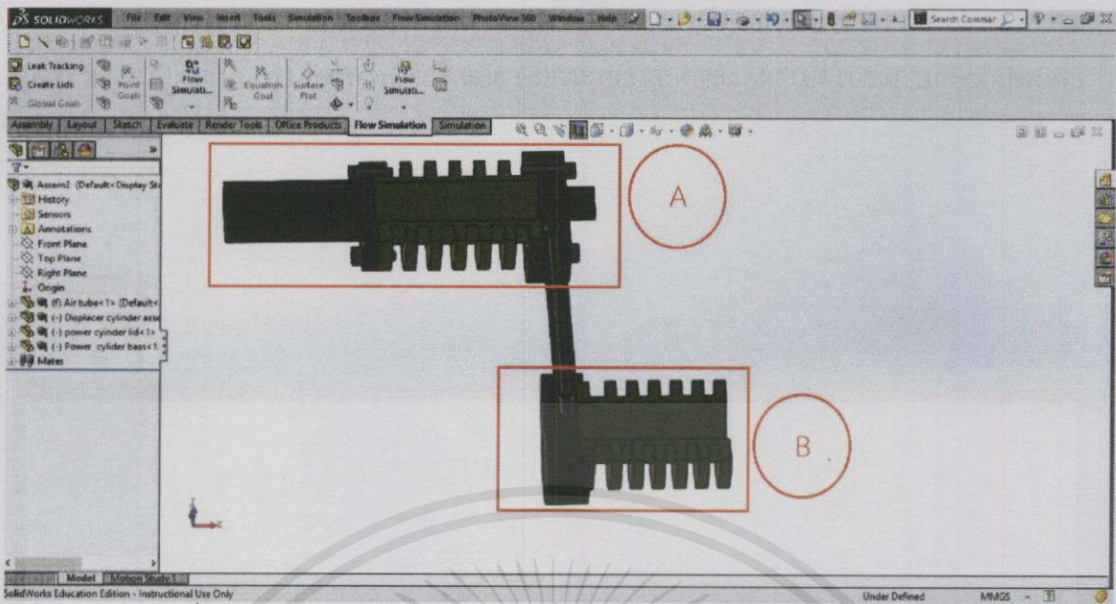
$$m = \frac{101.325 \text{ kPa} \times 0.00010254 \text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kPa m}^3}{\text{kg.K}} \times (273 + 30) \text{ K}}$$

$$m = \frac{0.01038987}{86.961}$$

$$m = 1.195 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

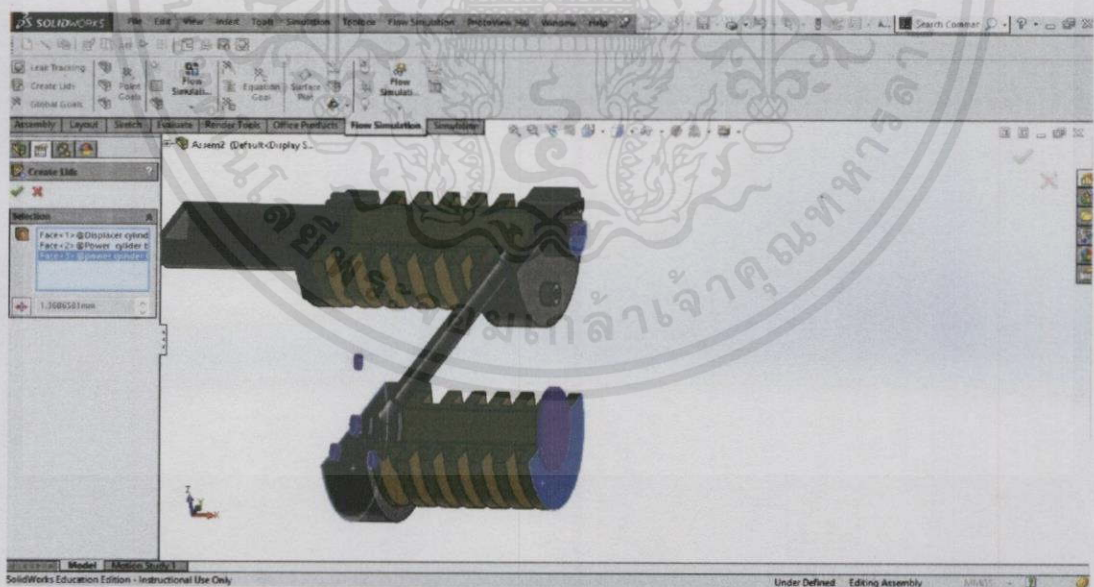
เมื่อได้มวลของอากาศภายในของระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแล้ว นำค่ามวลอากาศใช้ในการ Flow Simulation ในโปรแกรม Solidworks เพื่อวิเคราะห์หาความต่างอุณหภูมิของอากาศระหว่างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลัง ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



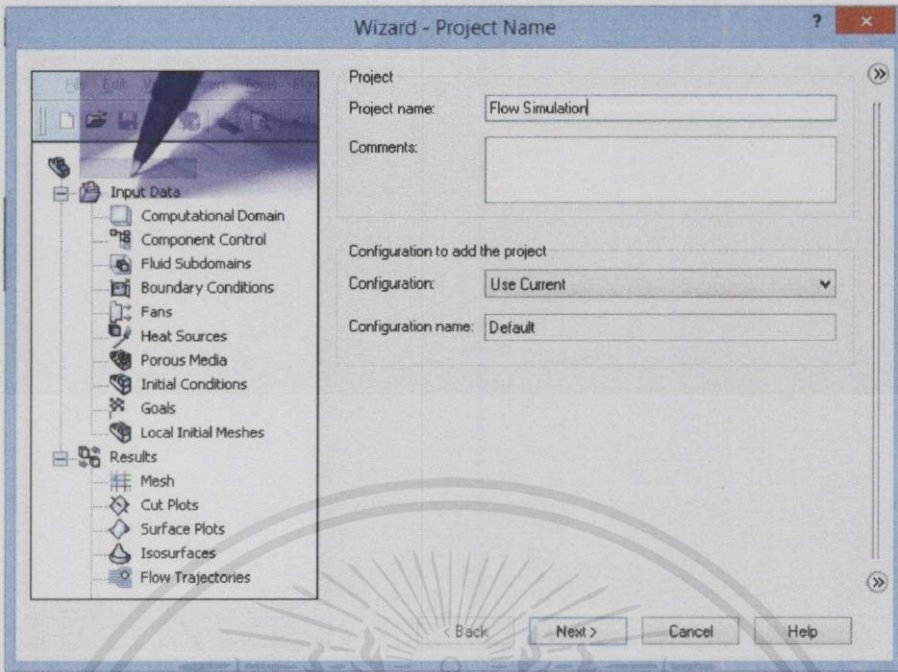
รูปที่ 4.12 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่จะทำการวิเคราะห์ Flow Simulation

การวิเคราะห์การไหลของอากาศโดยมีอุณหภูมิมาเกี่ยวข้องเพื่อจะทำการวิเคราะห์หาความต่างระหว่าง(A)กระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ และ (B)กระบอกสูบกำลัง โดยเปิดโปรแกรม Solidworks แล้วเลือกชิ้นส่วนที่จะทำการวิเคราะห์โดยแสดงชิ้นงานโดยตัดคอสเคชันเพื่อดูการไหลและอุณหภูมิภายในกระบอกจากนั้นเลือกคำสั่ง Flow Simulation ดังรูป 4.10

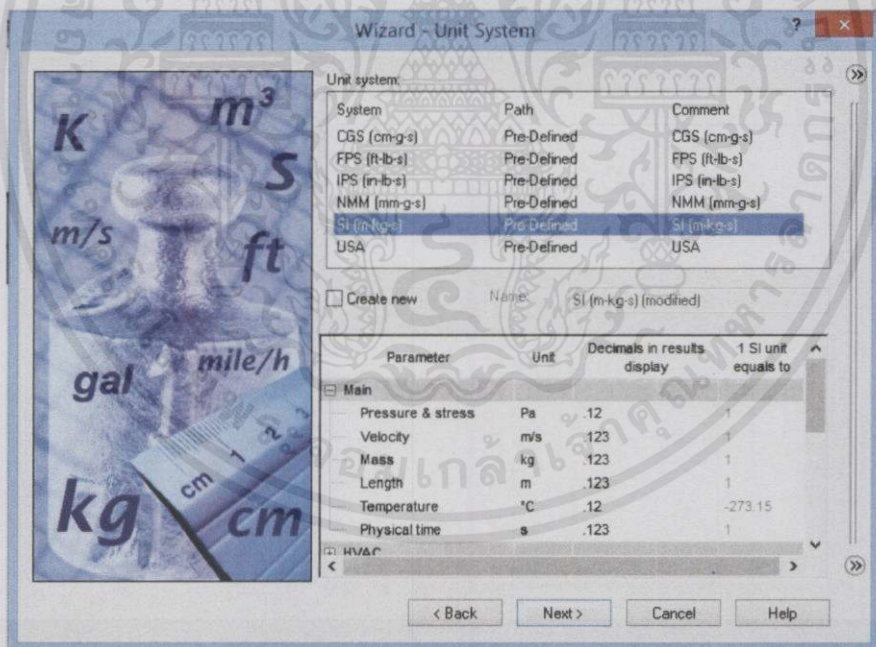


รูปที่ 4.13 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ทำการสร้างฝาปิดเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การวิเคราะห์ Flow Simulation ต้องทำการสร้างขอบเขตของการวิเคราะห์การไหลของอากาศ ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม อีกทั้งท่านมิได้คุ้มครองเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ โดยสร้างฝาปิดของชิ้นงานเสียก่อน ดังรูปที่ 4.11

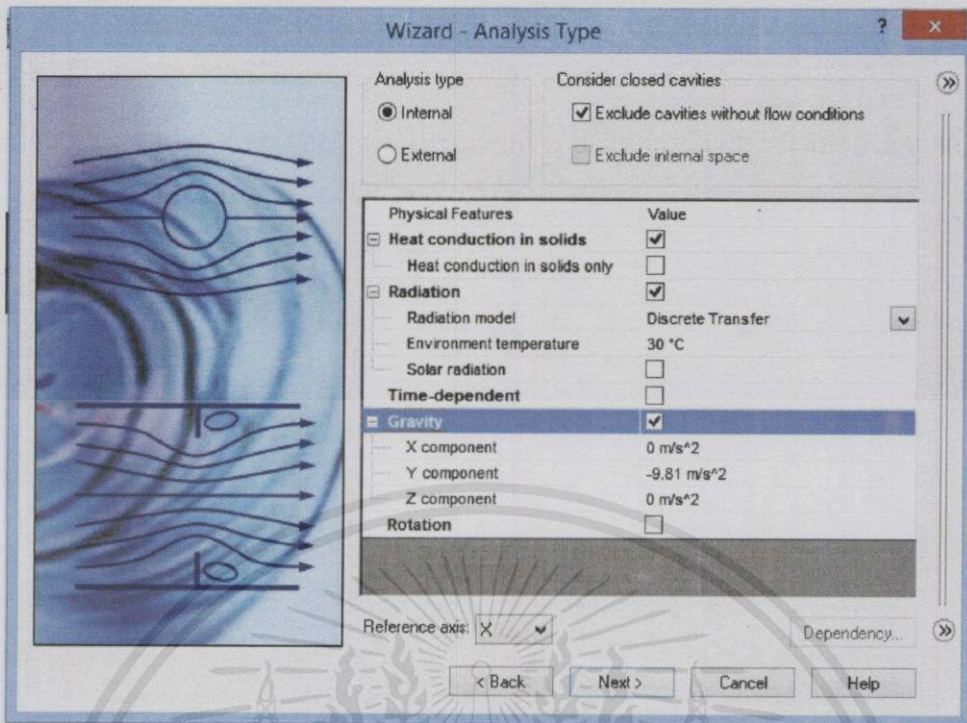


รูปที่ 4.14 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าการใช้งานเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation(1)



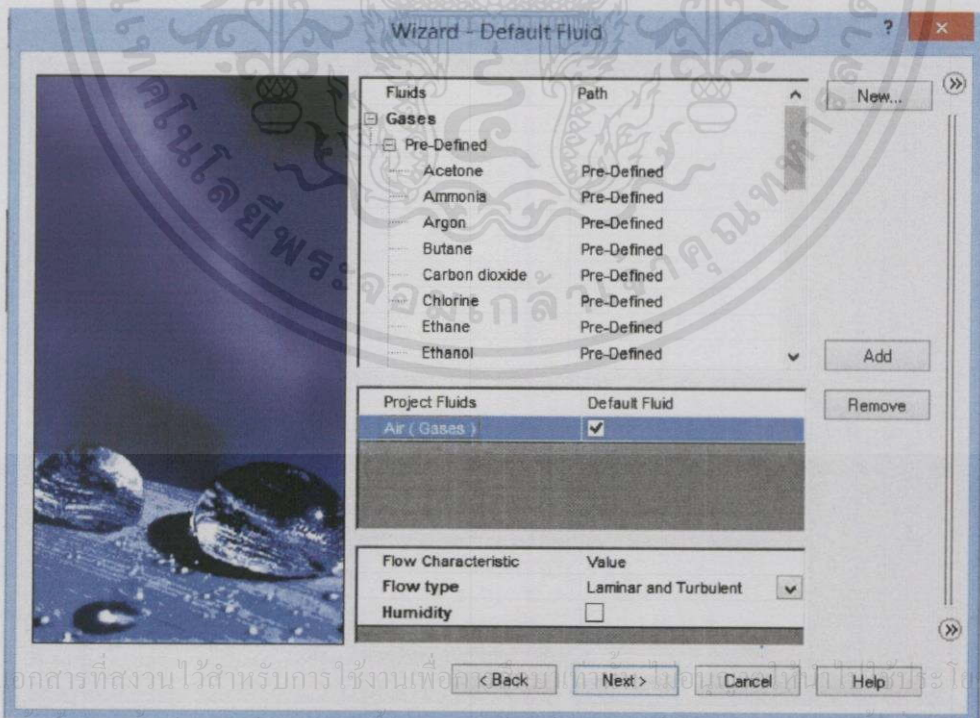
รูปที่ 4.15 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าการใช้งานเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation(2)

เอกสารการตั้งค่า Flow Simulation ในหน้าต่างโปรแกรมที่ 2 นี้เป็นการเลือกหน่วยที่ต้องการใช้บนด้านกรคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นค่าใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



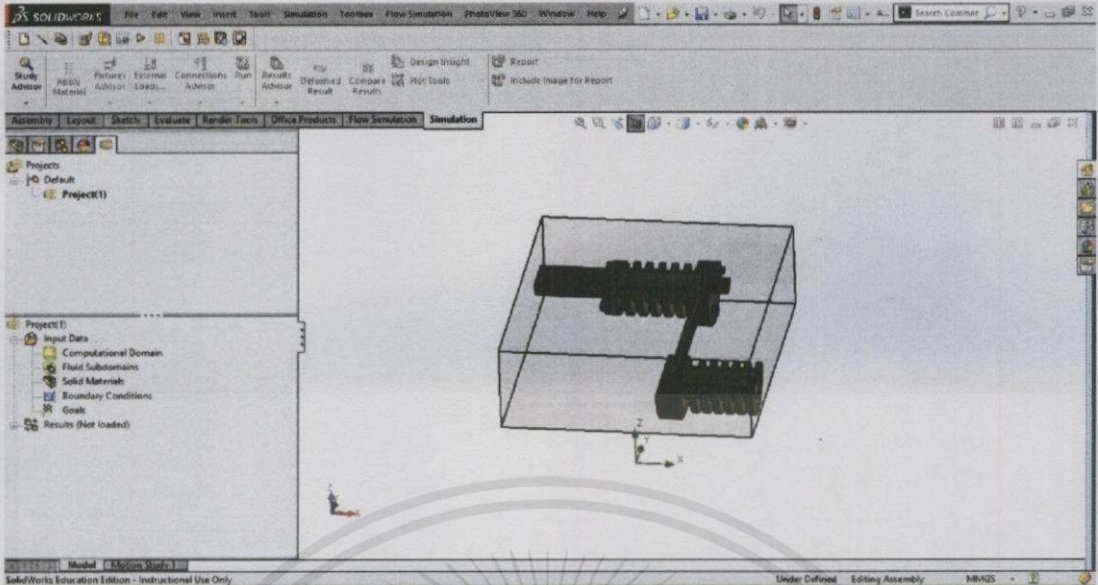
รูปที่ 4.16 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าการใช้งานเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation(3)

การตั้งค่า Flow Simulation ในหน้าต่างโปรแกรมที่ 3 นี้เป็นการตั้งค่าการไหลของอากาศภายในระบบโดยใช้อุณหภูมิของผนังวัสดุเท่ากับ 30°C

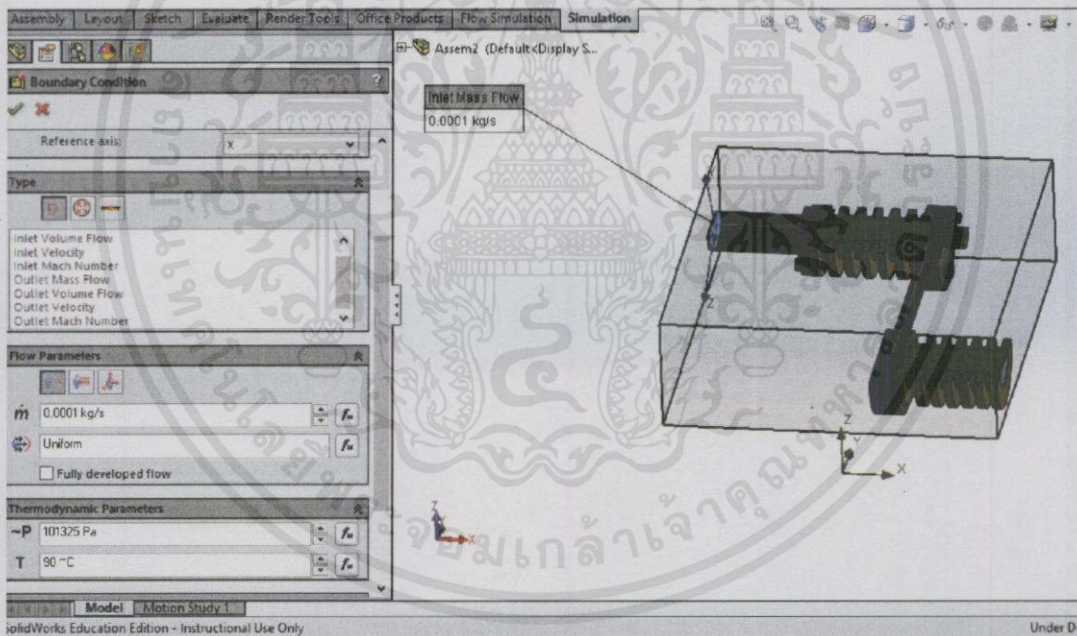


รูปที่ 4.17 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการตั้งค่าการใช้งานเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation(4)

การตั้งค่า Flow Simulation ในหน้าต่างโปรแกรมที่ 4 นี้เป็นการเลือกของไหลในระบบ

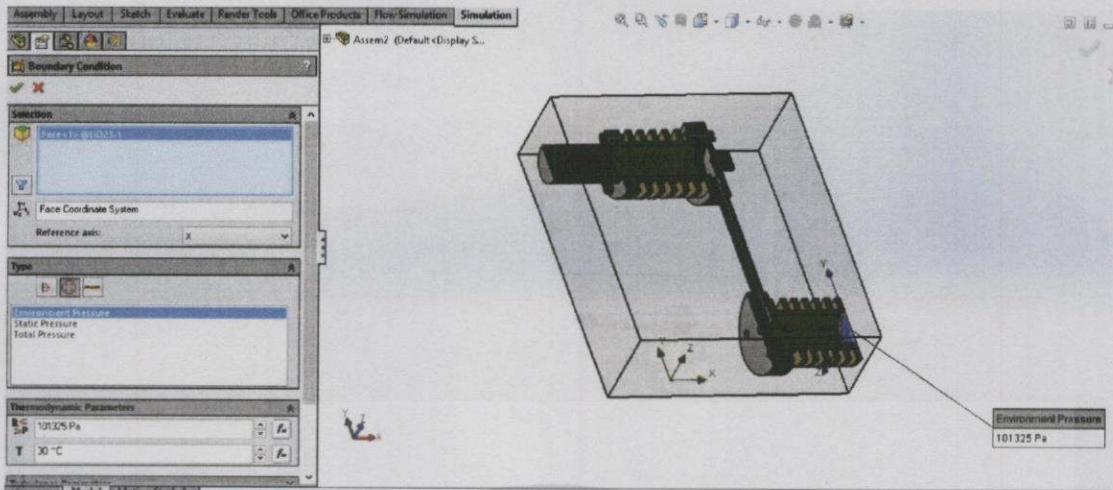


รูปที่ 4.18 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการเมื่อทำการตั้งค่าเรียบร้อยแล้วเพื่อทำการวิเคราะห์ Flow Simulation



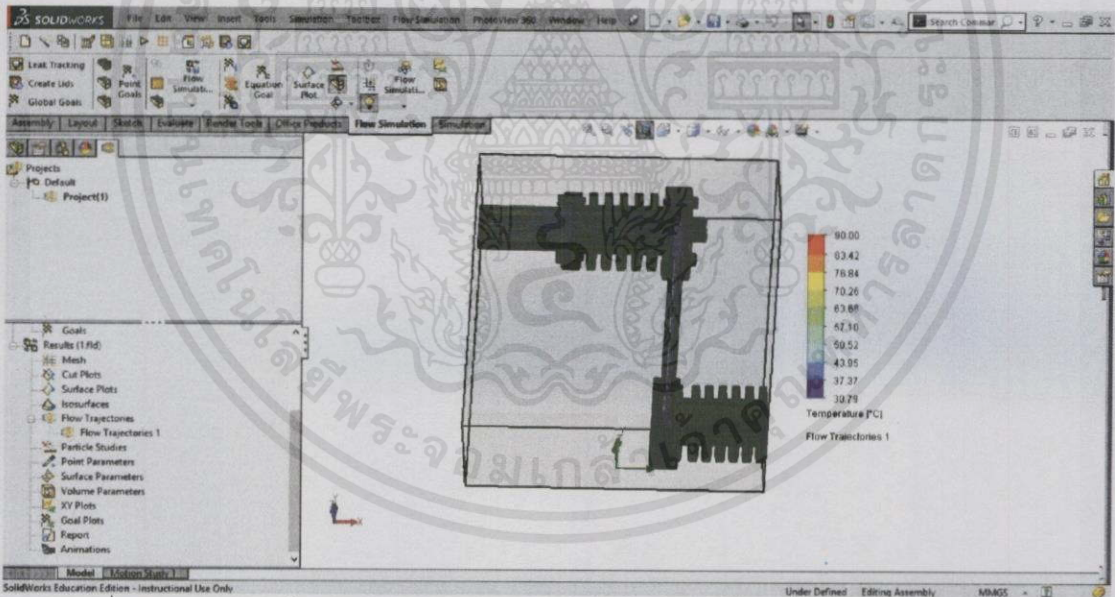
รูปที่ 4.19 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการกำหนดขอบเขตทางเข้าของอากาศไหลเข้ามาทางด้านฮีเตอร์ ด้วยมวล 0.0001 kg/s และมีอุณหภูมิ $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการกำหนดขอบเขตของอากาศไหลออก ด้วยแรงดันปกติอุณหภูมิ 30 °C

หลังจากทำการตั้งค่าเงื่อนไขขอบเขตเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการ Run the active project เมื่อโปรแกรมทำการรันเสร็จคลิกขวาที่ **Flow Trajectories 1** เพื่อดูการไหลของอากาศและอุณหภูมิ



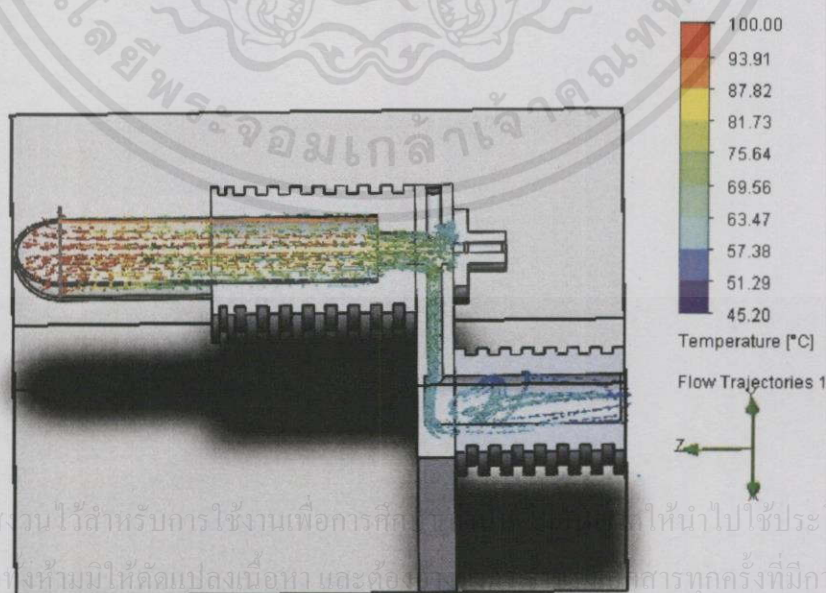
รูปที่ 4.21 แสดงการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลในกระบอกสูบตามเฉดสี (เครื่องพัฒนา)

จากการวิเคราะห์ความต่างของอุณหภูมิของกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังเอกสารได้ทำการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศทางเข้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ครั้งละ 10 °C จาก 90 °C จนถึง 180 °C คำนวณค่าไม่ว่าจะจะได้ค่าความต่างอุณหภูมิดังตารางดังนี้ เพื่อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสุบติสเพลสเซอร์และกระบอกสุบก้ำลิ่ง

อุณหภูมิภายในของกระบอกสุบติสเพลสเซอร์ (ฮีเตอร์) ($^{\circ}\text{C}$)	ความต่างอุณหภูมิภายในกระบอกสุบระหว่างกระบอกสุบติสเพลสเซอร์(ฮีเตอร์) กับกระบอกสุบก้ำลิ่ง($^{\circ}\text{C}$)
90	43.90
100	52
110	60.32
120	71.41
130	80.23
140	88.59
150	95.48
160	98.32
170	103.4
180	111.8

ทำการวิเคราะห์การไหลของอากาศของสเตอร์ลิงรุ่น 1 ที่ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิบริเวณเดียวกันวัสดุที่ใช้เป็นแก้ว และอลูมิเนียม ทำการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศทางเข้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ครั้งละ 10°C จาก 90°C จนถึง 180°C เพื่อหาความต่างอุณหภูมิเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล ได้ค่าความต่างอุณหภูมิดังตารางดังนี้

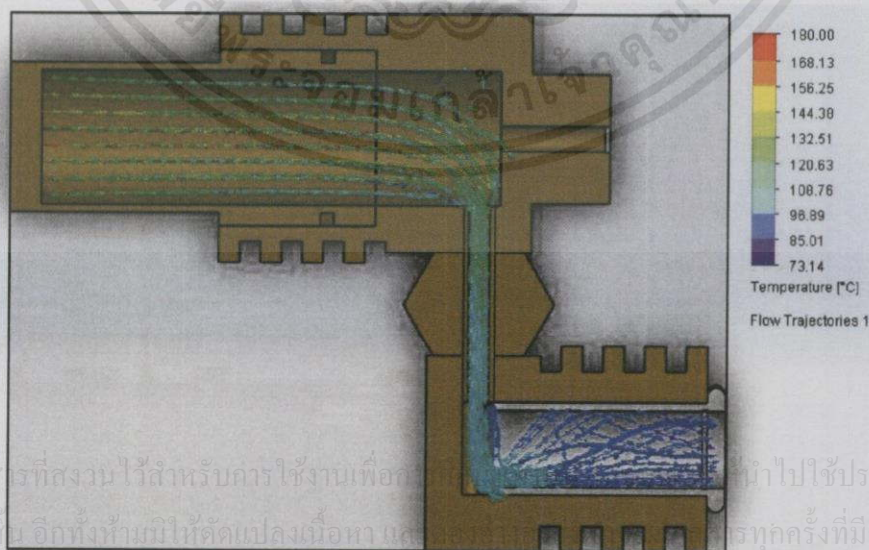


รูปที่ 4.22 แสดงการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลในกระบอกสุบตามเจดสี(รุ่น 1)

ตารางที่ 4.4 แสดงความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสุบติสเพลสเซอร์และกระบอกสุบก้ำลิ่ง (รุ่น1)

อุณหภูมิภายในของกระบอกสุบติสเพลสเซอร์(ฮีทเตอร์) ($^{\circ}\text{C}$)	ความต่างอุณหภูมิภายในกระบอกสุบระหว่างกระบอกสุบติสเพลสเซอร์(ฮีทเตอร์) กับ กระบอกสุบก้ำลิ่ง($^{\circ}\text{C}$)
90	27.91
100	32.57
110	37.3
120	42.04
130	46.8
140	51.59
150	56.39
160	61.21
170	66.01
180	70.85

ทำการวิเคราะห์การไหลของอากาศของสเตอริงรุ่น3 ที่ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิบริเวณเดียวกันวัสดุที่ใช้เป็นทองเหลืองทั้งหมด ทำการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศทางเข้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ครั้งละ 10°C จาก 90°C จนถึง 180°C เพื่อหาความต่างอุณหภูมิเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล ได้ค่าความต่างอุณหภูมิดังตารางดังนี้



รูปที่ 4.23 แสดงการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ไหลในกระบอกสุบตามเจดสี(รุ่น3)

ตารางที่ 4.5 แสดงความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลัง (รุ่น3)

อุณหภูมิภายในของกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์ (ฮีเตอร์) ($^{\circ}\text{C}$)	ความต่างอุณหภูมิภายในกระบอกสูบระหว่างกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์(ฮีเตอร์) กับกระบอกสูบกำลัง($^{\circ}\text{C}$)
90	27.67
100	32.44
110	37.2
120	41.96
130	46.77
140	51.62
150	56.46
160	61.37
170	66.33
180	59.37

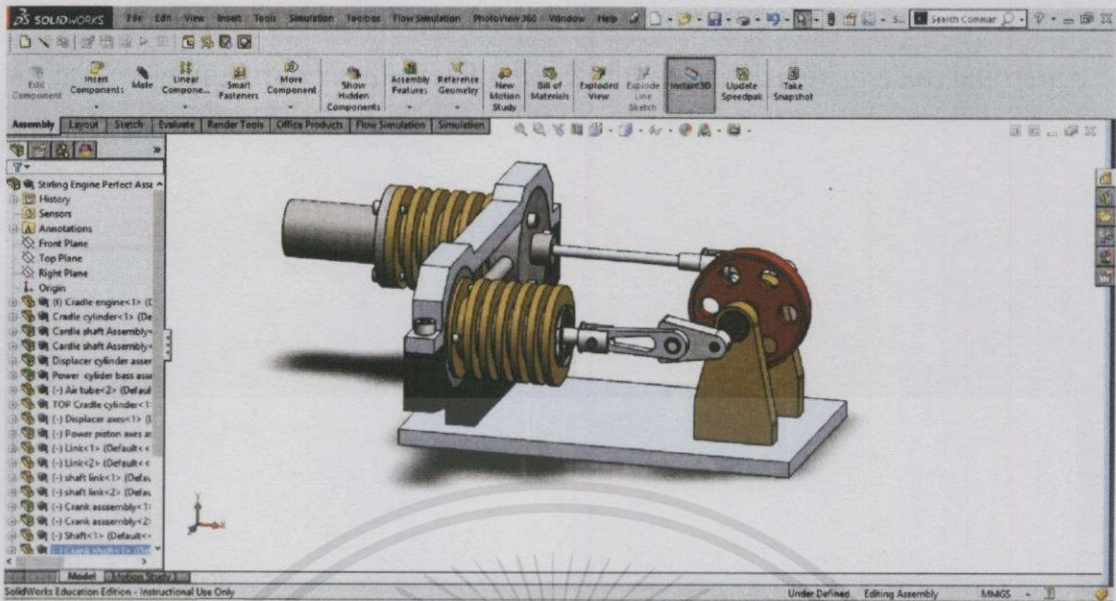
จากตารางความต่างของอุณหภูมิในการไหลของอากาศที่ได้รับความร้อนจากส่วนของฮีเตอร์และระบายความร้อนด้วยวัสดุที่นำมาใช้ที่ต่างกันออกไปในแต่ละรุ่นซึ่งจะเห็นได้ว่ารุ่นที่พัฒนาขึ้นมานี้จะทำให้เกิดความต่างของอุณหภูมิทั้งสองกระบอกได้มากกว่ารุ่นที่ผ่านมาเนื่องจากการเลือกใช้วัสดุที่นำมาสร้างเป็นชิ้นส่วนมีค่าสภาพการนำความร้อนที่ต่างกัน ส่งผลให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเมื่อทำงานแล้วสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดความต่างของอุณหภูมิที่มากแม้จะให้อุณหภูมิทางด้านฮีเตอร์สูงขึ้นก็ตาม ส่งผลดีต่อเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่อาศัยหลักการ ความต่างของอุณหภูมิ

4.2 การวิเคราะห์ทางกลศาสตร์

เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาแรงบิดที่เกิดขึ้นจากการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง แล้วนำค่าแรงบิดที่ได้หาแรงที่กระทำกับลูกสูบที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แล้วนำไปคำนวณหาค่าแรงดันที่ผลักลูกสูบและความสอดคล้องกับอุณหภูมิเริ่มต้นในการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยมีรายละเอียดในการหาแรงบิดโดยใช้โปรแกรม Solidworks ดังนี้

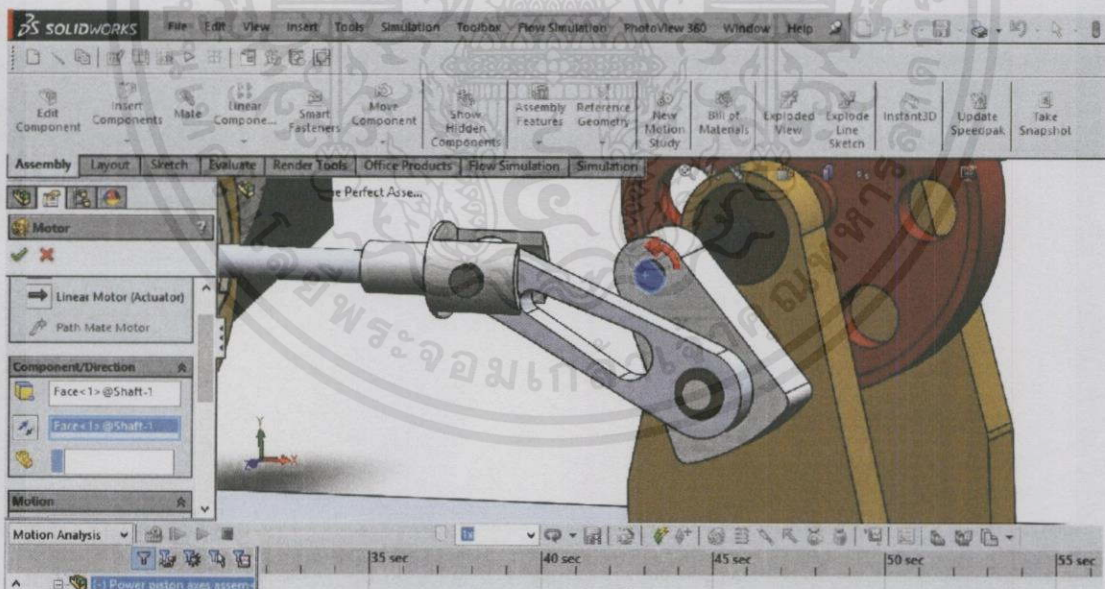
4.2.1 วิเคราะห์หาแรงบิดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ได้ออกแบบเพื่อหาแรงและความดันที่ใช้ใน

เอกสารการผลักลูกสูบดีสเพลสเซอร์ วิชาการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



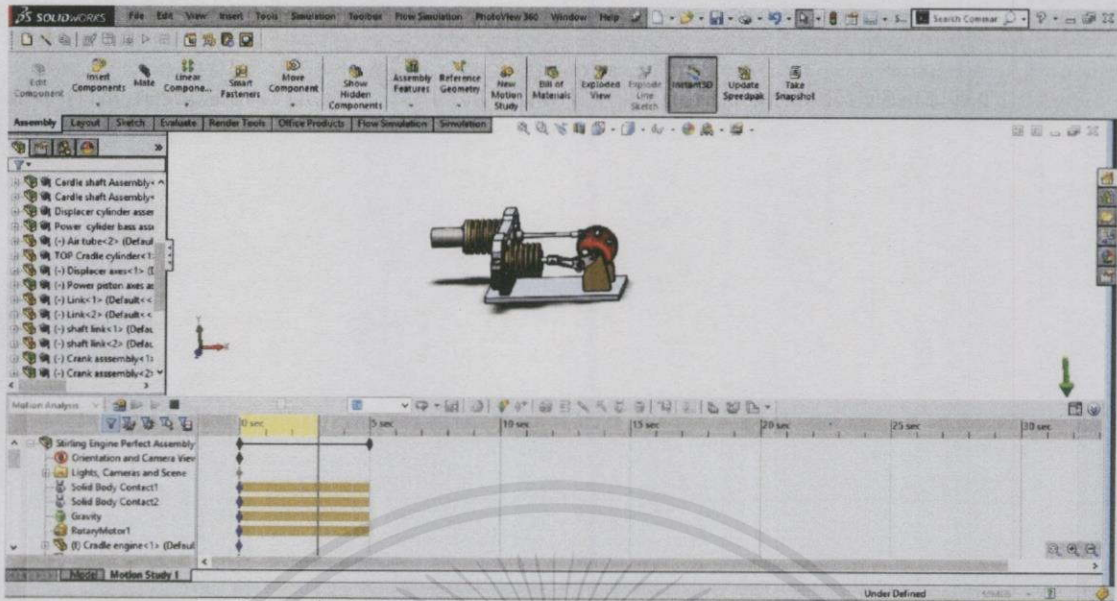
รูปที่ 4.24 แสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่จะนำมาวิเคราะห์การหมุน

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้องทำการกำหนดตัวสคูก่อนโปรแกรมจะทำการคำนวณน้ำหนัก และจำลองการหมุนโดยใช้มอเตอร์ ใส่ไปที่เพลลาหมุนแล้วทำการวิเคราะห์การหมุนด้วยมอเตอร์




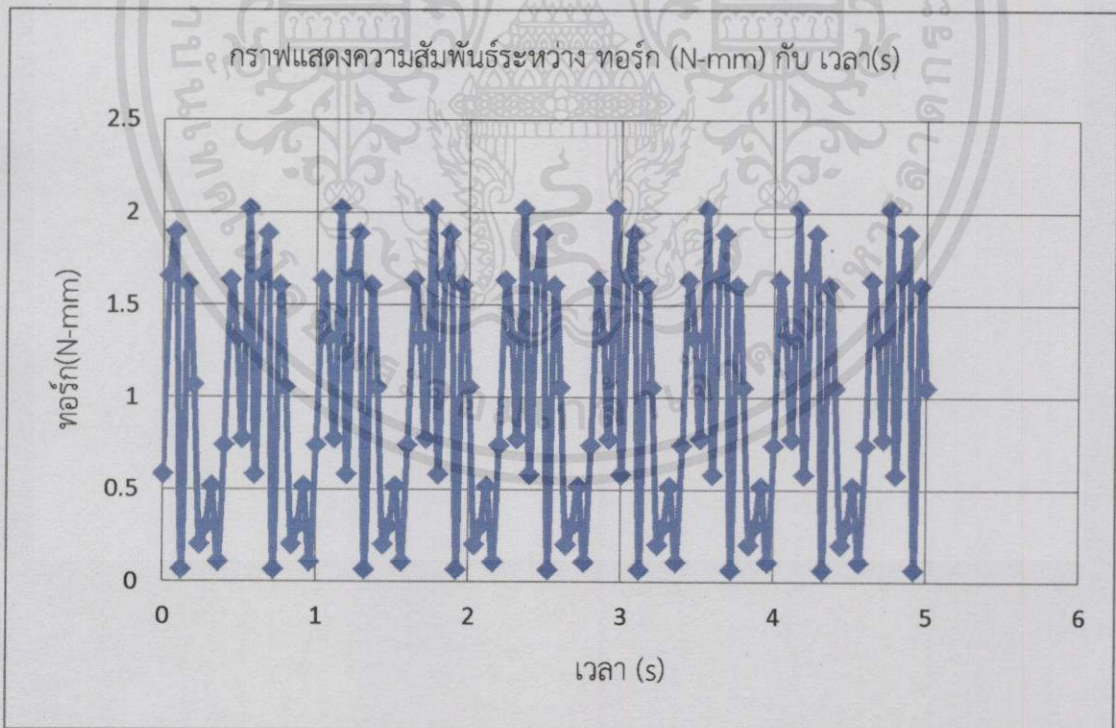
รูปที่ 4.25 แสดงการใส่มอเตอร์ที่เพลลาหมุนเพื่อทดสอบการหมุนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงการวิเคราะห์การหมุนของโปรแกรม

เมื่อโปรแกรมทำการวิเคราะห์เสร็จเรียบร้อยโปรแกรมจะมีการวิเคราะห์ออกมาเป็นกราฟโดยเลือกคำสั่ง results and plots  โปรแกรมจะทำการพล็อตกราฟค่าแรงบิดออกมาดังนี้



รูปที่ 4.27 กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ทอร์ก (N-mm)กับ เวลา (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

$$\begin{aligned} T &= F \cdot r \quad ; R = 20 \text{ mm} \\ 2N \cdot \text{mm} &= F \times 20 \text{ mm} \\ F &= 0.1N \end{aligned}$$

นำค่า F แทนในสมการ

$$P = \frac{F}{A}$$

A คือพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ
แทนค่าในสูตร

$$A = 4.90625 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$P = \frac{0.1N}{4.90625 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$P = 203.822 \text{ N/m}^3$$

จากแรงบิดที่ได้นำมาคำนวณหาแรงที่ใช้ในการผลักลูกสูบดีสเพลสเซอร์ได้เท่ากับ 0.1 N และความดัน 203.822 N/m³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสุบติสเพลสเซอร์และกระบอกสุบกำลังพบว่าวัสดุที่นำมาใช้ในการออกแบบมีค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุต่างกันสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ออกได้เป็น 2 ตอน คือ การวิเคราะห์เชิงเทอร์โมไดนามิกส์และการวิเคราะห์ทางด้านกลศาสตร์โดยทางด้านเทอร์โมไดนามิกผลของการนำความร้อนของวัสดุดังนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุต่างชนิดกัน

อุณหภูมิ T1 (°C)	อุณหภูมิ T2 (°C)	อุณหภูมิ T3 (°C)
263	241	218

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุชนิดเดียวกัน

อุณหภูมิ T1 (°C)	อุณหภูมิ T2 (°C)	อุณหภูมิ T3 (°C)
275	251	232

จากตารางจะพบว่าวัสดุที่เป็นชนิดเดียวกันนั้นความร้อนจะส่งผ่านไปอย่างคงที่ตามระยะทางโดยไม่มี การดรอปของอุณหภูมิอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการใช้วัสดุชนิดเดียวกัน

5.2 ผลการวิเคราะห์หาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสุบติสเพลสเซอร์และกระบอกสุบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ตารางที่ 5.3 แสดงความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสุบติสเพลสเซอร์และกระบอกสุบกำลัง

อุณหภูมิภายในของกระบอกสุบติสเพลสเซอร์ (ฮีเตอร์) (°C)	ความต่างอุณหภูมิภายในกระบอกสุบระหว่างกระบอกสุบติสเพลสเซอร์(ฮีเตอร์) กับ กระบอกสุบกำลัง(°C)
90	43.90
100	52
110	60.32
120	71.41
130	80.23
140	88.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

150	95.48
160	98.32
170	103.4
180	111.8

จากการวิเคราะห์การหาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาพบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ได้พัฒนาขึ้นมาที่มีความต่างอุณหภูมิของกระบอกสูบทั้งสองอย่างมาก เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแม้จะให้ความร้อนที่กระบอกฮีทเตอร์มากขึ้นความต่างของอุณหภูมิก็น่าจะมีความมากขึ้นตาม ส่งผลต่อเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่อาศัยหลักการความต่างของอุณหภูมิ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในการประกอบชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงควรทำให้ชิ้นส่วนสมดุลกัน เนื่องจากความสมดุลมีผลต่อการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์
2. ในการออกแบบควรเจาะร่องให้ลึกขึ้นเพื่อลดน้ำหนักลง
3. เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบภายนอกสามารถปรับลดขนาดลงได้เพื่อลดน้ำหนักลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

D.j.Shendage and S.B.Kedare and S.L.Bapat. (2010). An analysis of beta type Stirling engine with rhombic drive mechanism.

Detailed Plans and 3D views of a Stirling engine. [Online]. Available :

<http://www.john-tom.com/html/SteamPlans3.html>.

Working principle of the Stirling engine. [Online]. Available :

<http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/academic/kiriki/begin/princi.html>.

Stirling Engine Models. [Online]. Available :

<http://www.cnccookbook.com/CCStirlingModels.htm>.

Stirling engine Gamma model. [Online]. Available :

http://www.robertstirlingengine.com/gamma_uk.php.

คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีราชมงคล. เครื่องจักรสเตอร์ลิง. [Online]. Available :

<http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/stiring%20engine/index.htm>.

KOICHI HIRATA. (1997). SCHMIDT THEORY FOR STIRLING ENGINES. [Online].

Available:

<http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/academic/schmidt/schmidt.htm>.

YUNUS A.CENGEL, MICHAEL A. BOLES. (2554). Thermodynamics: An Engineering Approach. กรุงเทพมหานคร. แมคกรอ-ฮิล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้