

การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา
แบบล้อเกียร์คู่

DESIGN AND BUILD ON TWIN FLYWHEEL GAMMA TYPE
STIRLING ENGINE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเอกสารฉบับนี้ **ปีการศึกษา 2558** ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND BUILD ON TWIN FLYWHEEL GAMMA TYPE
STIRLING ENGINE



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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC OF YEAR 2014
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์คู่
Design and Build on Twin Flywheel Gamma Type Stirling Engine

ชื่อนักศึกษา นายกรบดินทร์ โพธิ์สิงห์ รหัสนักศึกษา 55051444
นายเจตนิพัทธ์ อารีราษฎร์พิทักษ์ รหัสนักศึกษา 55051476
นายณัฐพล ฉิมผาย รหัสนักศึกษา 55051455

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สาทร่าย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการคุมสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ กรรมการ	
อ.ภาอรุจ บัณฑิตธาตวิทย์ กรรมการ	
รศ.สาทร่าย เล็กชะอุ่ม กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้สิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ มอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอสงวนสิทธิ์ในการนำใบใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อยเกียร์คู่	
ชื่อนักศึกษา	นายกรบดินทร์ โพธิ์สิงห์	รหัสนักศึกษา 55051444
	นายเจตนิพัทธ์ อารีราษฎร์พิทักษ์	รหัสนักศึกษา 55051476
	นายณัฐพล ฉิมผาย	รหัสนักศึกษา 55051495
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อยเกียร์ กระตุ้นกำลังคู่ โดยใช้ลูมิเนียมในการออกแบบและสร้างล้อยเกียร์กระตุ้นกำลังมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยข้างละ 44,066.5 กรัมตารางมิลลิเมตร การทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์โดยใช้แหล่งกำเนิดความร้อนเป็นตะเกียงแอลกอฮอล์เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ผลการทดสอบพบว่าการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะเริ่มทำงานที่ 4 นาที 47 วินาที ที่ความต่างอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังมีค่า 296.6 เคลวิน และความเร็วรอบสูงสุดที่ 643.3 รอบต่อนาที มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นว่าการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อยเกียร์กระตุ้นกำลังคู่นี้สามารถทำงานได้จริง

คำสำคัญ : เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อยเกียร์กระตุ้นกำลังคู่ กระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ กระบอกสูบกำลัง ความเร็วรอบสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	DESIGN AND BUILD ON TWIN FLYWHEEL GAMMA TYPE STIRLING ENGINE
Students	Mr.Kornbordin Phosing Student ID 55051444 Mr.Jateniphat Areeraspitak Student ID 55051476 Mr.Natthapol chimpai Student ID 55051495
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic	2015
Advisor	Assoc.Prof.Sarai Lekchaum

Abstract

In this special project, we designed and constructed the Stirling engine of gamma type twin flywheel. We use aluminum to design and construction of flywheel which have moment of inertia for each site $44,066.5 \text{ g}\cdot\text{mm}^2$. We test Stirling engine by using heat source is alcohol burner for efficiency validation of Stirling engine. Our result of engine will fine that have begun point at 4.47 minute. This engine use a principle of difference temperature between displacer cylinder, power cylinder and maximum engine speed equal to 296.6 K and 643.3 RPM respectively.

Keyword : The Stirling engine of gamma type twin flywheel , Displacer cylinder , Power cylinder , Maximum engine speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สามารถเสร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนจากรองศาสตราจารย์สาทราย เล็กชะอุม ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการที่ตลอดมาและยังเสนอแนะข้อสงสัยต่างๆทำให้ผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจและแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ นายทองทศ แก้วกล้า นายไพฑูลย์ ไพศาล และพี่พนักงานหน่วยผลิตอุปกรณ์การไฟฟ้าฝ่ายผลิต เชื้อนอุปรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ที่ดูแลและอำนวยความสะดวกสถานที่สำหรับการฝึกใช้เครื่องมือและเทคนิคในการสร้างขึ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ขอขอบคุณ เพื่อนๆสาขาฟิสิกส์ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาช่วยเหลือคอยแนะนำวิธีการจัดทำโครงการพิเศษให้เป็นไปตามระเบียบและให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เมตตาตั้งแต่การศึกษามหาศัณษ์จนถึงปัจจุบัน ตลอดจนกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวของผู้ศึกษาวิจัยที่คอยให้คำปรึกษาเป็นทุนทรัพย์และคอยเป็นแรงผลักดันให้ผู้ศึกษาวิจัยมีกำลังใจในการทำโครงการพิเศษซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการศึกษาและการทำโครงการพิเศษนี้ ตลอดจนบุคคลต่างๆที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากที่ผู้ศึกษาไม่สามารถกล่าวนาม ได้หมดในที่นี้ ผู้ศึกษารูสึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึง กราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

กรบดินทร์ โพธิ์สิงห์

เจตนิพัทธ์ อารีราษฎร์พิทักษ์

ณัฐพล ฉิมผาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักทางกลศาสตร์	5
2.1.1 แรงและการเคลื่อนที่ (Force and motion)	5
2.1.2 การเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotational motion)	7
2.1.2.1 การกระจัดเชิงมุม (Angular displacement)	7
2.1.2.2 ความเร็วเชิงมุม (Angular speed)	8
2.1.2.3 ความเร่งเชิงมุม (Angular acceleration)	8
2.1.2.4 การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia)	9
2.1.2.5 ทอร์ก (Torque) และความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับความเร่งเชิงมุม	11
2.1.3 งาน กำลังและพลังงานในการเคลื่อนที่แบบหมุน (Work Power and Kinetic Energy in Rotational Motion)	13
2.1.3.1 งานของเพลลา (Shaft Work)	15
2.2 หลักการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	15
2.2.1 วัฏจักรสเตอร์ลิง (Stirling Cycle)	16
2.2.2 การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิง	18
2.2.3 การหางาน กำลัง และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	22
2.2.4 เชื้อเพลิงและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	25
3.1 การศึกษาแนวทางการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาต้นแบบขนาดเล็ก	25
3.2 การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่ขนานเล็กด้วยโปรแกรม Solidworks	26
3.3 ส่วนประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมา แบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่	60

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.1 เครื่องมือสำหรับการสร้างชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	60
3.3.2 อุปกรณ์สำหรับการสร้าง	62
3.4 ทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความต่างอุณหภูมิ ในการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาขนาดเล็ก แบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่	67
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	68
4.1 การประกอบและการจำลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	68
4.1.1 การวิเคราะห์การนำความร้อน	68
4.2 การทดสอบเชิงความร้อนหรือทางเทอร์โมไดนามิกส์	73
4.2.1 การทดสอบระบบปิดและความสัมพันธ์ของความดันภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์เป็นอิสระจากลูกสูบกำลัง	74
4.2.2 มุมข้อเหวี่ยงที่มีผลต่อปริมาตรการบีบอัดและการขยายตัว ภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	76
4.2.3 การคำนวณหาค่าความดันภายในระบบเนื่องจากปริมาตรภายในระบบของเครื่องยนต์ สเตอร์ลิงที่มุมข้อเหวี่ยงต่างๆ ระยะชัก 9.75 mm	82
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	89
5.1 สรุปผลการวิจัย	89
5.1.1 การจำลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาประเภทล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่ด้วยโปรแกรม solidworks	89
5.1.2 การทดสอบชิ้นส่วนประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	89
5.1.3 การทดสอบเชิงความร้อน	90
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	3
2.1 โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปทรงต่างๆ	12
4.1 ปริมาตรพื้นที่การกวาดของลูกสูบกำลังและลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์และปริมาตรตาย ในส่วนของพื้นที่การขยายและบีบอัดภายในระบบของเครื่องยนต์	78
4.2 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของพื้นที่การขยายและการบีบอัดภายในระบบ เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชุดเครื่องยนต์ออกแบบที่มุมข้อเหวี่ยงต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณ	80
4.3 ผลการคำนวณหาค่าความดันภายในระบบเนื่องจากปริมาตรภายในระบบของ เครื่องยนต์ สเตอร์ลิงที่มุมข้อเหวี่ยงลูกสูบต่างๆ	85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วัตถุที่ถูกกระทำด้วยแรงสองแรงซึ่งจะทำให้หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่	5
2.2 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง ที่มีผลมาจากการกระทำของผลรวมของแรง	5
2.3 แสดงทิศทางแรงสู่ศูนย์กลาง	6
2.4 แรงเสียดทานที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ	6
2.5 แสดงการเคลื่อนที่แบบหมุน	7
2.6 แสดงความเร็วเชิงเส้นของวัตถุแข็งเกร็งแนวรัศมี	9
2.7 แสดงความเร่งในสัมผัสและของวัตถุแข็งเกร็ง	9
2.8 การหาโมเมนต์ความเฉื่อยโดยใช้ทฤษฎีบทแกนขนาน	10
2.9 การหาโมเมนต์ความเฉื่อยโดยใช้ทฤษฎีบทแกนตั้งฉาก	11
2.10 เมื่อมีแรงมากระทำมวลวัตถุจะทำให้เกิดทอร์ค (τ) รอบจุดหมุน	12
2.11 การหมุนของวัตถุที่แกนหมุนคงที่	14
2.12 งานของเพลลา (Shaft Work)	15
2.13 แผนภาพ P-V, T-S ของวัฏจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ (Ideal stirling cycle)	17
2.14 องค์ประกอบและชนิดเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	18
2.15 แสดงองค์ประกอบต่างๆของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา	19
2.16 กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา	20
2.17 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา	21
3.1ก ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่	26
3.2ก การใช้งานโปรแกรม Solidworks	27
3.3ก การใช้งานโปรแกรม Solidworks (2)	27
3.4ก การใช้งานโปรแกรม Solidworks (3)	27
3.1 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (1)	28
3.2 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (2)	28
3.3 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (3)	28
3.4 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (4)	29
3.5 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (5)	29
3.6 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (6)	29
3.7 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (7)	30
3.8 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (8)	30
3.9 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (9)	30
3.10 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (10)	30
3.11 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (11)	31
3.12 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (12)	31
3.13 การสร้าง Displacer Connecting rod	31
3.14 การสร้าง Rod (1)	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเอกสารไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 การสร้าง Rod (2)	32
3.16 การสร้าง Rod (3)	32
3.17 การสร้าง Rod (4)	33
3.18 การสร้าง Rod (5)	33
3.19 การสร้าง Rod (6)	33
3.20 การสร้าง Rod (7)	33
3.21 การสร้าง Power Piston (1)	34
3.22 การสร้าง Power Piston (2)	34
3.23 การสร้าง Power Piston (3)	34
3.24 การสร้าง Power Piston (4)	35
3.25 การสร้าง Power Piston (5)	35
3.26 การสร้าง Flywheel (1)	35
3.27 การสร้าง Flywheel (2)	36
3.28 การสร้าง Flywheel (3)	36
3.29 การสร้าง Flywheel (4)	36
3.30 การสร้าง Flywheel (5)	37
3.31 การสร้าง Flywheel (6)	37
3.32 การสร้าง Flywheel (7)	37
3.33 การสร้าง Flywheel (8)	38
3.34 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (1)	38
3.35 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (2)	38
3.36 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (3)	39
3.37 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (4)	39
3.38 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (5)	39
3.39 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (6)	40
3.40 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (7)	40
3.41 การสร้าง Heater (1)	40
3.42 การสร้าง Heater (2)	41
3.43 การสร้าง Heater (3)	41
3.44 การสร้าง Heater (4)	41
3.45 การสร้าง Heater (5)	42
3.46 การสร้าง Heater (6)	42
3.47 การสร้าง Heater (7)	42
3.48 การสร้าง Heater (8)	42
3.49 การสร้าง Heater (9)	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.50 การสร้าง Heater (10)	43
3.51 การสร้าง Heater (11)	43
3.52 การสร้าง Heater (12)	43
3.53 การประกอบชิ้นงาน (1)	44
3.54 การประกอบชิ้นงาน (2)	44
3.55 การประกอบชิ้นงาน (3)	45
3.56 การประกอบชิ้นงาน (4)	45
3.57 การประกอบชิ้นงาน (5)	45
3.58 การประกอบชิ้นงาน (6)	46
3.59 การประกอบชิ้นงาน (7)	46
3.60 การประกอบชิ้นงาน (8)	46
3.61 การประกอบชิ้นงาน (9)	47
3.62 การประกอบชิ้นงาน (10)	47
3.63 การประกอบชิ้นงาน (11)	47
3.64 การประกอบชิ้นงาน (12)	47
3.65 การประกอบชิ้นงาน (13)	48
3.66 การประกอบชิ้นงาน (14)	48
3.67 การประกอบชิ้นงาน (15)	48
3.68 การประกอบชิ้นงาน (16)	49
3.69 การประกอบชิ้นงาน (17)	49
3.70 การประกอบชิ้นงาน (18)	49
3.71 การประกอบชิ้นงาน (19)	50
3.72 การประกอบชิ้นงาน (20)	50
3.73 การประกอบชิ้นงาน (21)	50
3.74 การประกอบชิ้นงาน (22)	51
3.75 การประกอบชิ้นงาน (23)	51
3.76 การประกอบชิ้นงาน (24)	51
3.77 การประกอบชิ้นงาน (25)	52
3.78 การประกอบชิ้นงาน (26)	52
3.79 การประกอบชิ้นงาน (27)	52
3.80 การประกอบชิ้นงาน (28)	53
3.81 การประกอบชิ้นงาน (29)	53
3.82 การประกอบชิ้นงาน (30)	53
3.83 การประกอบชิ้นงาน (31)	54
3.84 การประกอบชิ้นงาน (32)	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.85 การประกอบชิ้นงาน (33)	54
3.86 การ Flow Simulation (1)	55
3.87 การ Flow Simulation (2)	55
3.88 การ Flow Simulation (3)	55
3.89 การ Flow Simulation (4)	56
3.90 การ Flow Simulation (5)	56
3.91 การ Flow Simulation (6)	56
3.92 การ Flow Simulation (7)	57
3.93 การ Flow Simulation (8)	57
3.94 การ Flow Simulation (9)	57
3.95 การ Flow Simulation (10)	58
3.96 การ Flow Simulation (11)	58
3.97 การ Flow Simulation (12)	58
3.98 การ Flow Simulation (13)	58
3.99 การ Thermal Simulation (1)	59
3.100 การ Thermal Simulation (2)	59
3.101 การ Thermal Simulation (3)	60
3.102 การ Thermal Simulation (4)	60
3.103 เครื่องกลึง	60
3.104 เครื่องเจาะ (Metal Drill)	61
3.105 เครื่องกัดโลหะ (Milling Machine)	61
3.106 กระจบลูกสูบกำลัง	62
3.107 กระจบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์	62
3.108 ท่อส่งอากาศ	63
3.109 ข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง	63
3.110 ข้อเหวี่ยงลูกสูบดิสเพลสเซอร์	64
3.111 เชื่อมแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์	64
3.112 แก้วรองลูกสูบกำลัง	64
3.113 ลูกสูบกำลัง	65
3.114 ลูกสูบดิสเพลสเซอร์	65
3.115 ฮีทเตอร์	66
3.116 ล้อเกียร์กระตุนกำลัง	66
3.117 ตะเกียงแอลกอฮอล์	67
3.118 เครื่องวัดความเร็วรอบ	67
4.1 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่ในสื่อออนไลน์หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks ในการวิเคราะห์การนำความร้อนของ กระบอกสูบดิสเพลสเซอร์	69
4.3 แสดงส่วนของฮีตเตอร์และชนิดวัสดุที่เลือก	69
4.4 กำหนดวัสดุ	70
4.5 เลือกวัสดุที่นำมาใช้งาน	70
4.6 ตารางคุณสมบัติวัสดุ (สแตนเลส)	71
4.7 ตารางคุณสมบัติวัสดุ (ทองเหลือง)	71
4.8 แสดงหน้าต่างโปรแกรมในการ Simulation	71
4.9 แสดงผลการ Simulation การนำความร้อน (วัสดุต่างชนิด)	72
4.10 แสดงผลการ Simulation การนำความร้อน (วัสดุชนิดเดียวกัน)	73
4.11 การทดสอบระบบปิดกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์	74
4.12 การทดสอบระบบปิดกระบอกสูบกำลัง	75
4.13 การทดสอบรอยรั่วท่อส่งผ่านอากาศ	75
4.14 การทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์	76
4.15 แสดงตำแหน่งของปริมาตรภายในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ทำการวัดและคำนวณ	77
4.16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรพื้นที่การขยายและการบีบอัดที่เกิดจากมุม ข้อเหวี่ยงต่างๆที่ $r_p = 9.75 \text{ mm}$ ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	81
4.17 กราฟแสดงปริมาตรรวมที่เปลี่ยนแปลงไปตามมุมข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	81
4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะข้อเหวี่ยงกับความดันและปริมาตรภายในระบบ เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชุดเครื่องยนต์ต้นแบบ	86
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันภายใน	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากการกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ก๊าซธรรมชาติและถ่านหินเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการผลิต ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะหมดไปในอนาคตเนื่องจากประเทศไทยมีความต้องการในการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นทุกๆปี อีกทั้งทรัพยากรเหล่านี้ยังเป็นทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัดและกระบวนการผลิตไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ในอนาคตประเทศไทยอาจเกิดปัญหาทางด้านการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการมองหาแหล่งเชื้อเพลิงใหม่ๆที่จะสามารถเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้ประเทศไทยในอนาคตและที่สำคัญแหล่งเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ในการผลิตจะต้องเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะทุกวันนี้โลกเราเกิดภาวะโลกร้อนเนื่องจากมนุษย์ใช้ทรัพยากรที่เป็นมลพิษมากเกินไป ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะเป็นส่วนหนึ่งในการหันมาอนุรักษ์ธรรมชาติให้มากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งความรู้ต่างๆและพบว่าประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรและมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง เฉลี่ยประมาณ 4.7 กิโลวัตต์ชั่วโมง / ตารางเมตร และอีกทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นพลังงานที่มาจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดและที่สำคัญเป็นแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นพลังงานที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งผู้วิจัยจะทำการเปลี่ยนแสงจากดวงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อนและเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลและสุดท้ายเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยผู้วิจัยจะใช้จานรวมแสงแบบพาราโบลในการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์และรวบรวมพลังงานความร้อนไว้ที่จุดเดียว แล้วใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรับพลังงานความร้อนในส่วนนั้น เมื่อเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้รับความร้อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะทำงานโดยอาศัยหลักการของการขยายตัวของอากาศเมื่อได้รับความร้อน และหดตัวเมื่ออากาศเย็นลงซึ่งสามารถควบคุมได้โดยการทำให้กระบอกสูบมีอุณหภูมิร้อนและเย็นสลับกันเป็น วงจักร เรียกว่า วงจักรสเตอร์ลิง เมื่อเครื่องยนต์ทำงานผู้วิจัยก็จะทำการต่อเข้ากับเจนเนอเรเตอร์เพื่อเปลี่ยนจากพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกที และเนื่องจากระบบการทำงานดำเนินไปภายในกระบอกสูบ ดังนั้นกระบวนการผลิตจึงไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพราะเป็นระบบปิด อีกทั้งชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำจากโลหะซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหลอมนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงนับว่าเป็นเครื่องยนต์ที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอย่างดียิ่ง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา (Type Alpha Stirling Engine) เป็นพื้นฐานของเครื่องยนต์ชนิดอื่นๆ ประกอบด้วย ลูกสูบกำลังสองลูกในกระบอกสูบแยกโดยสองลูกสูบนี้แบ่งออกเป็นลูกสูบร้อนและลูกสูบเย็น

2. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบต้า (Type Beta Stirling Engine) ประกอบด้วย ลูกสูบดิสเพลสเซอร์มีหน้าที่ในการส่งผ่านความร้อนให้ของไหลภายในทำงานและลูกสูบกำลังที่มีหน้าที่ส่งผ่านกำลังให้เครื่อง อาศัยอยู่ในกระบอกสูบเดียวกันและมีการจัดเรียงที่ซับซ้อน

3. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา (Type Gamma Stirling Engine) ประกอบด้วยลูกสูบ ดิสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลังในกระบอกสูบแยก โดยทั้งสองกระบอกสูบนี้เชื่อมต่อถึงกันและมีหลักการทำงานเช่นเดียวกันกับชนิดเบต้า

ในการศึกษาวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาจากต้นแบบเดิม โดยการวิเคราะห์และปรับปรุงล้อเกียร์กระตุ้นกำลังแบบคู่ เพื่อนำไปแก้ไขให้มีความเหมาะสมจนทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการทำงานสูงสุดเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาในส่วนของล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่
2. ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่
3. เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาหลักการทำงานและวัฏจักรของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
2. ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้วยโปรแกรม Solidworks
3. ศึกษาวัสดุที่เหมาะสมในการออกแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
4. ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่
5. ทดสอบประสิทธิภาพและวิเคราะห์หาค่าเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทำรวมทั้งสิ้น 12 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งมีการดำเนินงานดังตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. เสนอ งานวิจัย	★	★										
2. ศึกษา หาข้อมูล		★	★	★	★							
3. ศึกษา เครื่องต้นแบบ				★	★	★	★					
4. จัดทำ อุปกรณ์และ วัสดุ							★	★	★	★		
5. ออกแบบ และสร้าง									★	★	★	★
6. ทดสอบ ประสิทธิภาพ											★	★

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้เรื่องการใช้เครื่องกลในการทำงานจริง ซึ่งจะนำไปสู่การประกอบอาชีพได้ในอนาคต
2. ได้นำความรู้ทางด้านฟิสิกส์ที่เรียนมาทั้งด้านกลศาสตร์และเทอร์โมไดนามิกส์มาประยุกต์ใช้กับงานจริง
3. ได้เข้าใจหลักการทำงาน การออกแบบ การสร้างและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แรกเริ่มเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ถูกคิดค้นและจดสิทธิบัตรโดย Robert Stirling ในปี ค.ศ. 1816 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้การเผาไหม้ที่ภายนอกหรือการสันดาปภายนอกโดยใช้พลังงานความร้อนเปลี่ยนสถานะแรงดันโดยการขยายตัวของของไหลทำงานที่อยู่ภายในเครื่องยนต์และมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิภายในกับสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่อยู่ภายในส่งผลให้ของไหลเคลื่อนที่ไปมาระหว่างกระบอกสูบร้อนและกระบอกสูบเย็นจึงทำให้ลูกสูบของเครื่องยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ซึ่งการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงนั้นจะทำงานภายใต้ระบบปิดก็คือ จะไม่มีการแลกเปลี่ยนของไหลทำงานกับสิ่งแวดล้อม โดยที่ของไหลทำงานจะอยู่ภายในเครื่องยนต์ตลอดอย่างถาวร ของไหลทำงานจะเพียงแลกเปลี่ยนความร้อนกับส่วนที่ร้อนและเย็นภายในเครื่องยนต์เท่านั้น และเกิดการขยายและหดตัวของของไหลทำงานส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของของไหลดังกล่าว เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะแตกต่างจากเครื่องยนต์ที่สันดาปภายในที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังกลจากการขยายตัวของแก๊สอุณหภูมิและความดันสูง (จุดระเบิด) ที่เกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง แต่ข้อเสียของเครื่องยนต์แบบสันดาปภายนอกจะสูญเสียพลังงานความร้อนโดยเปล่าประโยชน์ไปมากส่งผลให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีการทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ไม่นานเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้มีการนำมาติดตั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและได้มีการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นต่อมาให้มีขนาดเล็กลงปลอดภัยและเงียบเป็นที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมขนาดเบาและตามบ้านเรือน เช่น พัดลม จักรเย็บผ้า และเครื่องสูบน้ำ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นแรกๆ ใช้อากาศเป็นสารทำงาน (Working substance) และเป็นที่รู้จักกันในชื่อ เครื่องยนต์อากาศร้อน (Hot air engine) อากาศจะบรรจุอยู่ในกระบอกสูบบรรจุประกบเพื่อรับความร้อน การขยายตัว การระบายความร้อน และการอัด โดยการเคลื่อนที่ของส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ เครื่องยนต์อากาศร้อนขนาดเล็กยังคงผลิตใช้จนกระทั่งต้นคริสต์ศักราชที่ 1900 จึงถูกแทนที่ด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในและความก้าวหน้าทางด้านไฟฟ้า ในปัจจุบันไม่มีการผลิตเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กใช้งานแต่ยังคงมีการวิจัยและพัฒนาเนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่มีศักยภาพทางด้านประสิทธิภาพสูง และเป็นเครื่องยนต์ทำงานเงียบและสะอาด เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นที่ทดลองในปัจจุบันมีความสำเร็จทางด้านสมรรถนะในระดับที่น่าพอใจ การใช้โลหะอัลลอยด์ทนความร้อนสูง กลไกขับเคลื่อนแบบใหม่ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และบรรจุด้วยก๊าซฮีเลียมหรือไฮโดรเจนที่เป็นสารทำงานความดันสูง เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นใหม่สามารถนำหน้าเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กได้ทางด้านประสิทธิภาพ และอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนัก ในเรื่องของความเงียบและมลภาวะระดับต่ำ ยังไม่มีเครื่องยนต์แบบไหนเป็นคู่แข่งที่น่ากลัว ในอนาคตเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถใช้เป็นเครื่องยนต์สะอาด เครื่องตัดหญ้าที่เงียบ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ทฤษฎีที่จะใช้นามาวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถ แบ่งออกได้เป็น 3 หลักการใหญ่ๆ คือ หลักทางกลศาสตร์ หลักทางเทอร์โมไดนามิกส์ การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงและเชื้อเพลิงกับสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

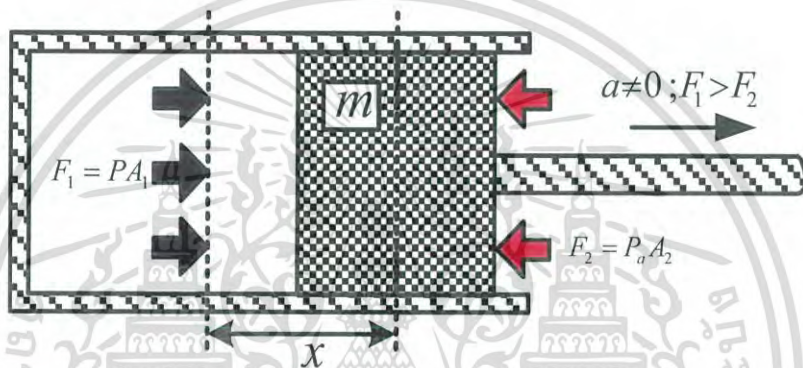
2.1 หลักทางกลศาสตร์

หลักทางกลศาสตร์ที่จะใช้นำมาวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น (2.1.1) แรงและการเคลื่อนที่ (2.1.2) การเคลื่อนที่แบบหมุน (2.1.3) งานและพลังงาน

2.1.1 แรงและการเคลื่อนที่ (Force and motion)

1. วัตถุจะหยุดนิ่งถ้าไม่มีแรงใดๆที่ไม่เท่ากับ 0 มากกระทำต่อวัตถุนั้นๆ
2. วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่คงที่ ถ้าไม่มีแรงใดๆที่ไม่เท่ากับ 0 มากกระทำต่อวัตถุนั้นๆ สมการการเคลื่อนที่ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน คือ

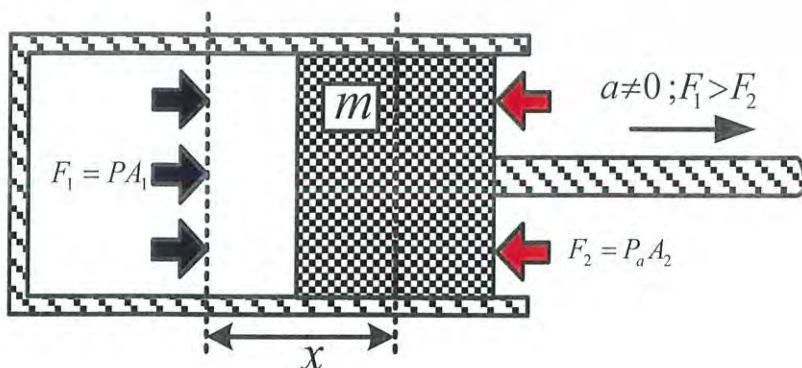
$$\sum F=0 \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.1 วัตถุที่ถูกกระทำด้วยแรงสองแรงซึ่งจะทำให้หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน “เมื่อมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์มากกระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเกิดอัตราเร่งในทิศเดียวกับแรงลัพธ์ที่มากกระทำและขนาดของอัตราเร่งนี้จะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ” ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ สมการการเคลื่อนที่ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน คือ

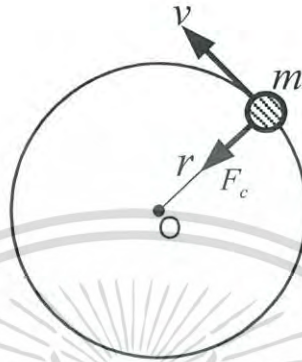
$$\sum F = ma \quad (2.2)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 2.2 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง ที่มีผลมาจากกิจกรรมกระทำของผลรวมของแรงนำไปใช้

แรงสู่ศูนย์กลาง “แรงที่มีทิศทางเข้าสู่จุดศูนย์กลางของการหมุน เพื่อรักษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคให้เป็นวงกลม” จะหาได้จากสมการที่ 2.3

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.3 แสดงทิศทางแรงสู่ศูนย์กลาง

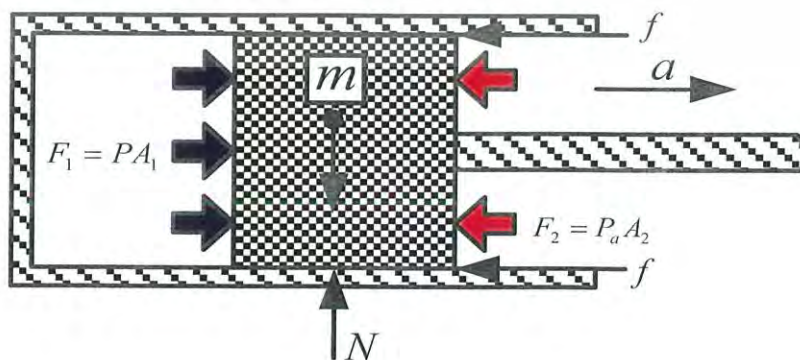
แรงเสียดทาน “แรงที่พยายามต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอ” สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่
แรงเสียดทานสถิต “แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุยังไม่เคลื่อนที่”
หาได้จากสมการ

$$f_s = \mu_s N \quad (2.4)$$

จะมีค่ามากที่สุดเมื่อวัตถุกำลังจะเคลื่อนที่พอดี $f_{s,max}$

แรงเสียดทานจลน์ “แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุมีการเคลื่อนที่”
หาได้จากสมการ

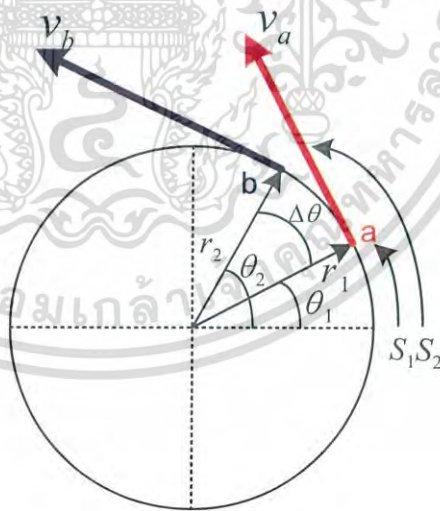
$$f_k = \mu_k N \quad (2.5)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.4 แรงเสียดทานที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotational motion)

1. การหมุนของวัตถุที่ประกอบไปด้วยอนุภาคที่เรียงตัวกันอย่างต่อเนื่องจะสมมติเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) คือ วัตถุในอุดมคติที่ประกอบไปด้วยอนุภาคมามากมายเรียงรายต่อเนื่องกันและมีระยะระหว่างอนุภาคคงที่เสมอ ดังนั้น วัตถุแข็งเกร็งจึงไม่มีการเปลี่ยนรูปร่าง
2. การเคลื่อนที่แบบหมุนจะเป็นการเคลื่อนที่โดยการหมุนรอบตัวเอง รอบจุดใดจุดหนึ่ง หรือ แกนใดแกนหนึ่งในตัวมัน เช่น ลูกฟุตบอล ลูกข่าง พัดลม ลอทรถ เป็นต้น
3. จลนศาสตร์ของการหมุนจะเหมือนกับจลนศาสตร์การเคลื่อนที่เป็นวงกลม
4. การหมุนของวัตถุแข็งเกร็งรอบแกนตรึงแกนหนึ่ง แต่ละอนุภาคที่ประกอบกันเป็นวัตถุแข็งเกร็งจะมีความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงมุมเท่ากันเสมอ
5. วัตถุจะเกิดการหมุนเมื่อมีโมเมนต์ (Moment) หรือ ทอร์ก (Torque) มากกระทำ
 - 5.1 ถ้าวัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ จะเกิดการหมุนเมื่อแนวแรงไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลและวัตถุนั้นจะมีการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล
 - 5.2 ถ้าวัตถุนั้นถูกยึดด้วยแกนหมุน เช่น พัดลม ดุมล้อจักรยาน จะเกิดการหมุนเมื่อแนวแรงไม่ผ่านแกนหมุนและวัตถุนั้นจะหมุนรอบแกนหมุนนั้น (ไม่จำเป็นต้องหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล เหมือนกรณีหนึ่ง)
6. เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุนมี 2 ประการ คือ
 - 6.1 ทุก ๆ อนุของวัตถุต้องเคลื่อนที่ในแนววงกลม
 - 6.2 ศูนย์กลางของทุก ๆ วงกลม ต้องอยู่บนเส้นตรงเดียวกันเส้นตรงนี้ เรียกว่า แกนของการหมุน



รูปที่ 2.5 แสดงการเคลื่อนที่แบบหมุน

2.1.2.1 การกระจัดเชิงมุม (Angular displacement) ($\Delta\theta$)

คือ มุมที่กวาดไปในระนาบของการเคลื่อนที่ เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศทางตามกฎมือขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\theta = \Delta\theta_1 - \Delta\theta_2$$

โดยความสัมพันธ์ระหว่างมุมและระยะการกระจัด หาได้จากสมการ

$$\theta = \frac{s}{r} \quad (2.6)$$

2.1.2.2 ความเร็วเชิงมุม (Angular speed) ($\bar{\omega}$)

คือ การกระจัดเชิงมุมที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีทิศเดียวกับการกระจัดเชิงมุม

$$\bar{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (2.7)$$

หมายเหตุ ทุกจุดของวัตถุแข็งเกร็งจะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมที่เท่ากัน

จากรูปที่ 2.5 เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วเชิงมุม กับ ความเร็วเชิงเส้นได้ดังนี้จากสมการที่ (2.7) จะได้ว่า

$$\frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt} \quad (2.8)$$

ซึ่งจะเท่ากับ

$$v = \omega r \quad (2.9)$$

จากสมการ $v = \omega r$ จะเห็นว่ากรณีวัตถุแข็งเกร็งหมุนรอบแกนหมุน อนุภาคทุกอนุภาคในวัตถุจะมีความเร็วเชิงมุมเท่ากันแต่มีความเร็วเชิงเส้นไม่เท่ากันโดยขึ้นอยู่กับระยะห่างจากแกนหมุน ยิ่งห่างมากก็ยิ่งเร็วมาก ดังรูปที่ 2.6

2.1.2.3 ความเร่งเชิงมุม (Angular acceleration) ($\bar{\alpha}$)

คือ ความเร็วเชิงมุมที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีทิศเดียวกับความเร็วเชิงมุม

$$\bar{\alpha} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\bar{\omega}}{dt} \quad (2.10)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งเชิงมุมกับความเร่งเชิงเส้น จากสมการที่ (2.9) จะได้ว่า
ความเร่งในแนวสัมผัส (Tangential)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เองในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่งในแนวสัมผัสของจุดใด ๆ ภายในวัตถุแข็งเกร็งที่กำลังหมุนรอบแกนตรึงหนึ่งจะมีค่าเท่ากับผลคูณของระยะห่างจากแกนหมุนกับขนาดของความเร่งเชิงมุม
ความเร่งในแนวรัศมี (Radial) (ความเร่งสู่ศูนย์กลาง)

$$a_r = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \tag{2.12} \text{ ดังรูปที่ 2.7}$$



รูปที่ 2.6 แสดงความเร็วเชิงเส้นของวัตถุแข็งเกร็งแนวรัศมี

รูปที่ 2.7 แสดงความเร่งในสัมผัสและของวัตถุแข็งเกร็ง

2.1.2.4 การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia) หรือ ความเฉื่อยเชิงหมุน (Rotational inertia)

โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ เป็นสมบัติของวัตถุแข็งเกร็งในการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของการหมุนของวัตถุรอบแกนหมุน เป็นปริมาณสเกลาร์ หน่วย $kg \cdot m^2$

ถ้าวัตถุมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมาก จะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมน้อย
ถ้าวัตถุมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยน้อย จะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมมาก

กรณีอนุภาคเป็นมวลย่อยๆ

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots + m_n r_n^2 \tag{2.13}$$

กรณีอนุภาคประกอบกันเป็นวัตถุแข็งเกร็ง

$$I = \lim_{\Delta m_i \rightarrow 0} \sum r_i^2 \Delta m_i = \int r^2 dm \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ (2.15)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า
$$I = \int pr^2 dV \quad \text{เมื่อ } p \text{ คือความหนาแน่นของวัตถุ} \quad (2.16)$$

การทำโมเมนต์ความเฉื่อยโดยใช้ทฤษฎีบทแกนขนาน (Parallel-Axis Theorem)

ในกรณีที่วัตถุหมุนรอบแกนที่ไม่ใช่แกนสมมาตร เราจะสามารถหาโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรอบแกนไม่สมมาตร โดยใช้ทฤษฎีบทแกนขนาน เป็นทฤษฎีที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ความเฉื่อย I_p ของวัตถุรอบแกนที่ผ่านจุด P กับโมเมนต์ความเฉื่อย I_{cm} ของวัตถุรอบแกนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลและขนานกับแกนที่ผ่านจุด P ของวัตถุนั้น

$$I_p = I_{cm} + Mh^2 \quad (2.17)$$

เมื่อ h คือระยะห่างระหว่างจุดหมุนใหม่กับจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุในแนวแกนหมุนนั้น



รูปที่ 2.8 การหาโมเมนต์ความเฉื่อยโดยใช้ทฤษฎีบทแกนขนาน

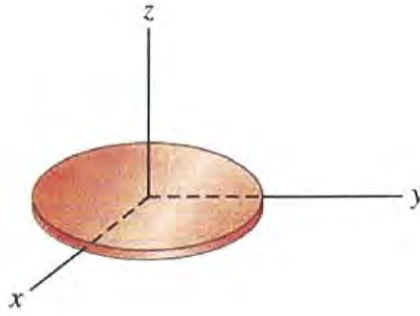
ดังนั้น การเลือกใช้ทฤษฎีบทแกนขนานจะต้องทราบค่า I_{cm} ของวัตถุในแนวแกนหมุนที่พิจารณาด้วย ถ้าไม่ทราบใช้ไม่ได้

การทำโมเมนต์ความเฉื่อยโดยใช้ทฤษฎีบทแกนตั้งฉาก (Perpendicular - axis Theorems)

ทฤษฎีบทแกนตั้งฉากสามารถใช้ได้เฉพาะวัตถุที่มีลักษณะรูปทรง 2 มิติ หรือรูปบนระนาบ (plane figures) เท่านั้น หรือเป็นวัตถุที่ความหนาแน่นคงตัวและมีความหนาน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งไม่นำมาพิจารณาได้ ทฤษฎีนี้จะเป็นการรวมโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูประนาบของแกน 2 แกนใด ๆ ที่ตั้งฉากกันในระนาบของวัตถุ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับโมเมนต์ความเฉื่อยที่ตั้งฉากที่อยู่บนจุดตัดของแกนทั้ง

2 ที่ตั้งฉากกันบนระนาบของวัตถุ จากรูปด้านล่าง วัตถุวางตัวอยู่ในระนาบ xy และหมุนรอบแกน z ดังนั้น จากทฤษฎีจะได้ว่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้พิมพ์ก็มีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การหาโมเมนต์ความเฉื่อยโดยใช้ทฤษฎีบทแกนตั้งฉาก

$$I_z = I_x + I_y \quad (2.18)$$

เมื่อ I_x , I_y และ I_z เป็นโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน x , y และ z ตามลำดับ

เมื่อ $I_z = \frac{1}{2} MR^2 \quad (2.19)$

ฉะนั้นจากสมการข้างต้นจะได้ $I_x = I_y = \frac{1}{2} I_z = \frac{1}{4} MR^2 \quad (2.20)$

2.1.2.5 ทอร์ก (Torque) และความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับความเร่งเชิงมุม

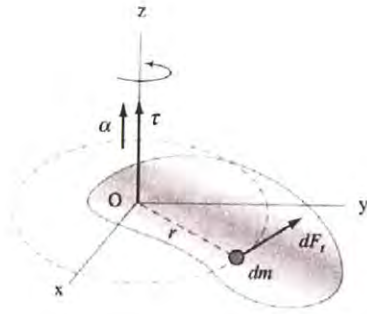
ทอร์ก (τ) หรือ โมเมนต์ของแรง (Moment of a force) คือ ความพยายามของแรงที่จะหมุนวัตถุรอบแกนหรือจุดหมุนหรือก็คือ โมเมนต์ของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบหมุน มีหน่วย $N \cdot m$ เกิดจากผลคูณเชิงเวกเตอร์ของเวกเตอร์ตำแหน่ง \vec{r} กับแรง \vec{F}

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (2.21)$$

มีขนาดเท่ากับ $\tau = F \cdot r \sin\theta$ หรือ $\tau = Fd_{\perp} \quad (2.22)$

ขนาดของทอร์ก = แรง \times ระยะทางตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง (แขนโมเมนต์ หรือ Moment arm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1

รูปที่ 2.10 เมื่อมีแรงมากระทำมวลวัตถุจะทำให้เกิดทอร์ค (τ) รอบจุดหมุน

จากรูปที่ 2.10 จาก $F = ma$ ดังนั้น ถ้ามีแรงขนาด dF_t กระทำต่อวัตถุมวล dm จะได้ว่า $dF_t = a_t dm$ ทำให้เกิดทอร์คขนาด $d\tau = r dF_t$ รอบจุดหมุน และจาก สมการที่ 2.11 ดังนั้น $d\tau = r a_t dm = r(r\alpha)dm = \alpha r^2 dm$ จะได้ทอร์ครวมที่กระทำกับวัตถุทั้งก้อน

$$\tau = \int \alpha r^2 dm = \alpha \int r^2 dm \quad (2.23)$$

เมื่อ $I = \int r^2 dm \quad (2.24)$

จะได้ $\tau = I\alpha \quad (2.25)$








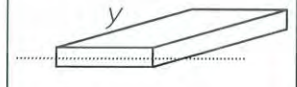
โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ

ตารางที่ 2.1 โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปทรงต่างๆ มีดังตาราง

รูปร่างวัตถุ	แกนหมุน	รูป	โมเมนต์ความเฉื่อย
ทรงกลมตัน มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านจุดศูนย์กลาง		$I = \frac{2}{5} mR^2$
ทรงกลมกลวง มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านจุดศูนย์กลาง		$I = \frac{2}{3} mR^2$
แผ่นกลมบาง มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง ตั้งฉากกับแผ่น		$I = \frac{1}{2} mR^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปทรงต่างๆ ที่นารู้ มีดังตาราง(ต่อ)

รูปร่างวัตถุ	แกนหมุน	รูป	โมเมนต์ความเฉื่อย
แผ่นกลมบาง มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลางบนระนาบแผ่น		$I = \frac{1}{4} mR^2$
ทรงกระบอกตัน มวล m รัศมี R ยาว l	รอบแกนทรงกระบอก		$I = \frac{1}{2} mR^2$
แท่งวัตถุเล็ก มวล m ยาว l	รอบแกนผ่านศูนย์กลางมวลตั้งฉากกับแท่งวัตถุ		$I = mR^2$
แท่งวัตถุเล็ก มวล m ยาว l	รอบแกนปลายข้างใดข้างหนึ่ง ตั้งฉากกับแท่งวัตถุ		$I = \frac{1}{12} ml^2$
	รอบแกนปลายข้างใดข้างหนึ่ง ตั้งฉากกับแท่งวัตถุ		$I = \frac{1}{3} ml^2$
แผ่นบาง มวล m กว้าง x ยาว y	รอบแกนผ่านศูนย์กลางมวล ตั้งฉากกับแผ่นวัตถุ		$I = \frac{1}{12} m(x^2 + y^2)$
	รอบแกนตั้งฉากกับด้านกว้าง x		$I = \frac{1}{3} mx^2$
	รอบแกนตั้งฉากกับด้านยาว x		$I = \frac{1}{3} my^2$

2.1.3 งาน, กำลังและพลังงานในการเคลื่อนที่แบบหมุน (Work, Power and Kinetic Energy in Rotational Motion)

ถ้าวัดดูเชิงเรื่ง้หมุนรอบแกนตรึ่ง วัตถุ้นั้ยอมมีพลังงานจลนของการหมุนเกิดขึ้น จาก

สมการพลังงานจลนจะไดว่า

$$K = \sum K_i = \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \sum \frac{1}{2} m_i (\omega r_i)^2 = \frac{1}{2} (\sum m_i r_i^2) \omega^2 \quad (2.26)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ทุกอนุภาคมีความเร็วเชิงมุมหรือความถี่เชิงมุม ω เท่ากัน)

จากสมการที่ 2.13 จะได้
$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2.27)$$

คือ พลังงานจลนของการหมุนของวัตถุ (เมื่อแกนหมุนที่คงที่ (rotation fixed axis))

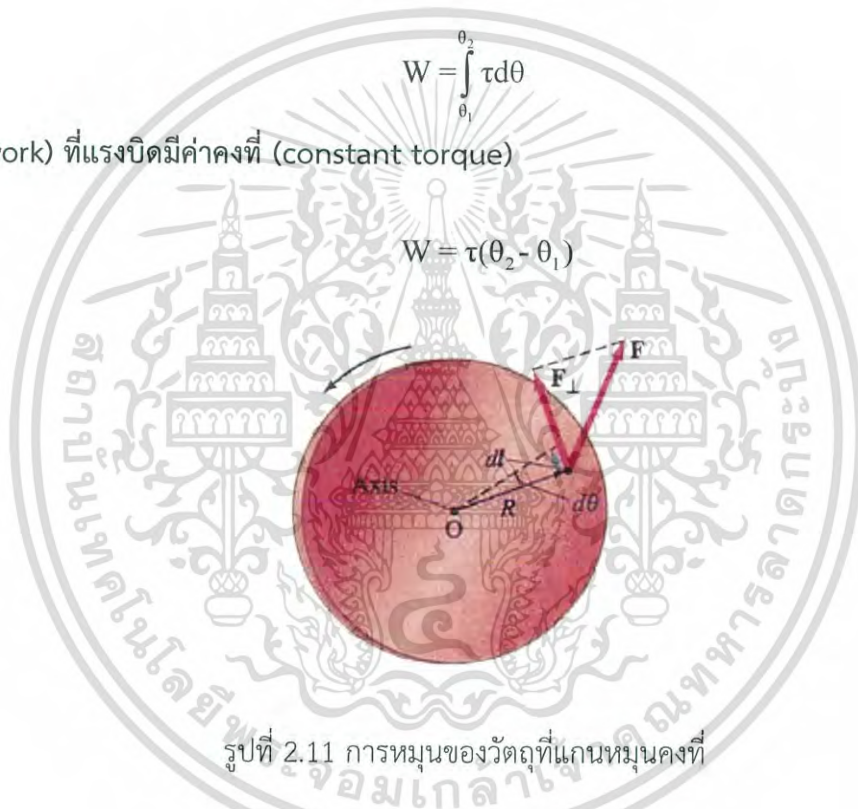
งานที่ทำ (work done) ที่แกนหมุนคงที่ (rotation about fixed axis)

$$W = \int \vec{F} \times d\vec{l} = \int F \cdot R d\theta = \int \tau d\theta \quad (2.28)$$

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau d\theta \quad (2.29)$$

งาน (work) ที่แรงบิดมีค่าคงที่ (constant torque)

$$W = \tau(\theta_2 - \theta_1) \quad (2.30)$$



รูปที่ 2.11 การหมุนของวัตถุที่แกนหมุนคงที่

กำลัง (power) ที่แกนหมุนคงที่ (rotation about fixed axis)

$$p = \frac{dW}{dt} = \tau \frac{d\theta}{dt} = \tau \omega \quad (2.31)$$

ทฤษฎีงานและพลังงาน (Work - Kinetic energy theorem)

จากสมการที่ว่า
$$\tau = I\alpha = I \frac{d\omega}{dt} = I \frac{d\omega}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = I\omega \frac{d\omega}{d\theta}$$

ดังนั้น
$$\Delta K = \sum W = \int \tau d\theta = \int I \omega d\omega = \frac{1}{2} I \omega_2^2 - \frac{1}{2} I \omega_1^2$$
 ก่อนญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.32)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 งานของเพลลา (Shaft Work)

ถ้า F มีค่าคงที่จะทำให้เกิดแรงบิด (τ , Torque) ที่มีค่าคงที่ และทำให้เพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบ N (RPM)

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

การกระทำของแรง F ทำให้เกิดการหมุนของเพลลา คิดเป็นระยะทางได้

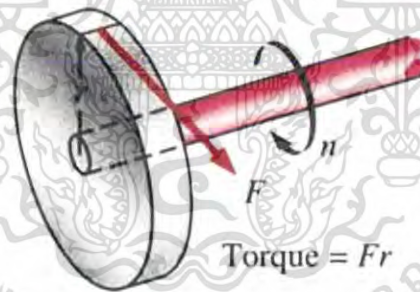
$$s = (2\pi r)N \quad (2.33)$$

ดังนั้นงานของเพลลาจะได้

$$W_{sh} = Fs = \left[\frac{\tau}{r} \right] (2\pi r)N = 2\pi\tau N \quad (2.34)$$

และสามารถหาค่ากำลังงาน $P(W)$ ที่เพลลาได้จากสมการ

$$P_{sh} = \frac{W_{sh}}{t} = Fv = Fr\omega = \left[\frac{\tau}{r} \right] \left[\frac{2\pi Nr}{60} \right] = \frac{2\pi N\tau}{60} \quad (2.35)$$



รูปที่ 2.12 งานของเพลลา (Shaft Work)

2.2 หลักการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

การวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับเครื่องสเตอร์ลิงสามารถแบ่งการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

2.2.1 วัฏจักรสเตอร์ลิง

2.2.2 การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิด แกมมา

2.2.3 การทำงาน กำลัง และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

2.2.4 เชื้อเพลิงและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

เครื่องจักรสเตอร์ลิงมีการทำงานเป็นลักษณะวนไปมาภายใต้อุณหภูมิต่ำและสูง เรียกว่า "วัฏจักร" เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อใช้ยาให้เฝ้าระวังเป็นพิเศษในการค้า สเตอร์ลิง ซึ่งมีความแตกต่างจากเครื่องจักรสันดาปภายใน ดังต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบของเครื่องจักรสเตอร์ลิง จะอยู่ในระบบปิดอยู่ภายในกระบอกสูบ ไม่สามารถรั่วไหลออกมาได้ จึงไม่ต้องมีวาล์วไอเสีย เหมือนกับเครื่องจักรก๊าซโซลีน หรือดีเซล และไม่มีการจุดระเบิดของหัวเทียนหรือน้ำมันเชื้อเพลิง เครื่องจึงเดินเงียบมาก
2. พลังงานของเครื่องจักรสเตอร์ลิงมาจากความร้อนภายนอกกระบอกสูบ จึงไม่มีการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ

เครื่องจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ คือ ไม่มีความฝืดหรือแรงเสียดทานจุดเคลื่อนที่ต่างและชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ต้องมีมวลเบา

2.2.1 วัฏจักรสเตอร์ลิง (Stirling Cycle)

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์สามารถคำนวณได้จากแผนภาพ P-V ปริมาตรภายในเครื่องยนต์สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการหาค่าภายในของรูปทรงเรขาคณิต โดยเริ่มต้นจะสามารถหาค่าความดันของระบบเมื่อมีการกำหนดค่าของปริมาตร (V) มวลของก๊าซ (m) และค่าอุณหภูมิ (T) ค่าความดันของระบบจะสามารถคำนวณได้จากทฤษฎีก๊าซในอุดมคติซึ่งแสดงได้ดังสมการ (2.36)

$$PV=nRT \quad (2.36)$$

ค่าความดันของเครื่องยนต์จะสามารถคำนวณได้จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของสมมติฐานดังนี้

- A) ไม่มีการสูญเสียความดันในการแลกเปลี่ยนความร้อนและไม่มี ความแตกต่างของความดันภายใน
- B) ในกระบวนการบีบอัดและการขยายตัวจะต้องเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- C) เงื่อนไขในการทำงานของก๊าซนั้นจะต้องเปลี่ยนเป็นเงื่อนไขของก๊าซในอุดมคติทั้งหมด
- D) ต้องมีการผันกลับที่สมบูรณ์แบบ
- E) การขยายตัวของปริมาตรตายจะต้องมีการคงค่าของอุณหภูมิในการขยายตัวของก๊าซ (T_E) และอุณหภูมิในการบีบอัดตัวของก๊าซ (T_C) ระหว่างรอบวัฏจักร
- F) อุณหภูมิในการผันกลับของก๊าซจะต้องเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิในการขยายตัวของก๊าซ (T_E) และอุณหภูมิในการบีบอัดตัวของก๊าซ (T_C)
- G) ปริมาตรของการขยาย (V_E) และปริมาตรของการบีบอัด (V_C) จะเปลี่ยนแปลงตามสมการเส้นโค้งแบบไฮเพอร์โบลิก

วัฏจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ ประกอบด้วยสี่กระบวนการ (Isothermal 2 กระบวนการ และ Isometric 2 กระบวนการ) ทางเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamics) ที่แตกต่างกัน ซึ่งความเป็นจริงแล้วกระบวนการเหล่านี้ไม่ได้แยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ แต่สามารถแสดงเอกลักษณ์ในส่วนหนึ่งของวัฏจักรหนึ่งกระบวนการอย่างง่าย ๆ สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละกระบวนการ

เอกสารพลังงานภายในของก๊าซ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U = \frac{3}{2} NkT \quad (2.37)$$

ความร้อนเพิ่มในระหว่าง Isothermal Expansion ที่อุณหภูมิ T_E :

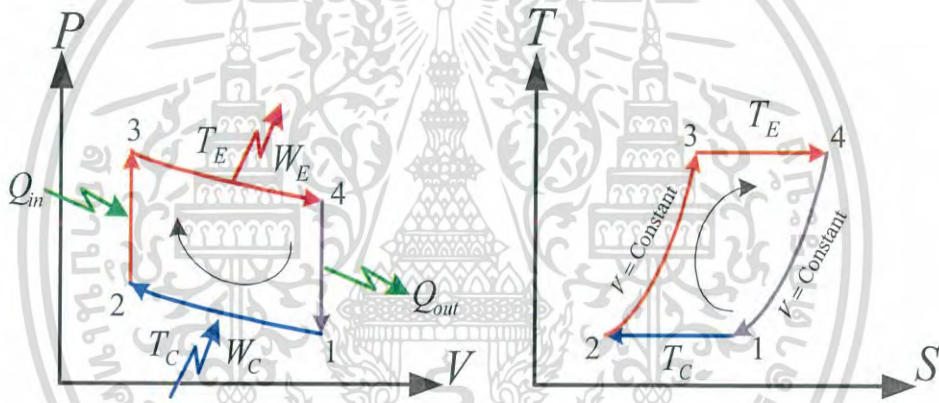
$$Q_E = NkT_E \ln(V_{\text{after},E}/V_{\text{before},E}) \quad (2.38)$$

ความร้อนลดลงในระหว่าง Isothermal Compression ที่อุณหภูมิ T_C :

$$-Q_C = NkT_C \ln(V_{\text{after},C}/V_{\text{before},C}) \quad (2.39)$$

กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์:

$$DU = DQ - DW \quad (2.40)$$



รูปที่ 2.13 แผนภาพ P-V, T-S ของวัฏจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ (Ideal stirling cycle)

จากรูปที่ 2.13 เมื่อนำมาวิเคราะห์จะมีกระบวนการทั้งหมด 4 กระบวนการคือ

กระบวนการที่ 1-2: Isothermal compression

กระบวนการที่ 2-3: Isometric heating

กระบวนการที่ 3-4: Isothermal expansion

กระบวนการที่ 4-1: Isometric cooling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Work Output

Work output ที่ได้ต่อวัฏจักรก็คือพื้นที่ 1-2-3-4 ของ P-V diagram ดังรูปที่ 2.13 หรืองานสุทธิเท่ากับงานที่ได้จากความร้อนที่เข้าไปลบด้วยความร้อนที่ระบายออก ($Q_{in} - Q_{out}$)

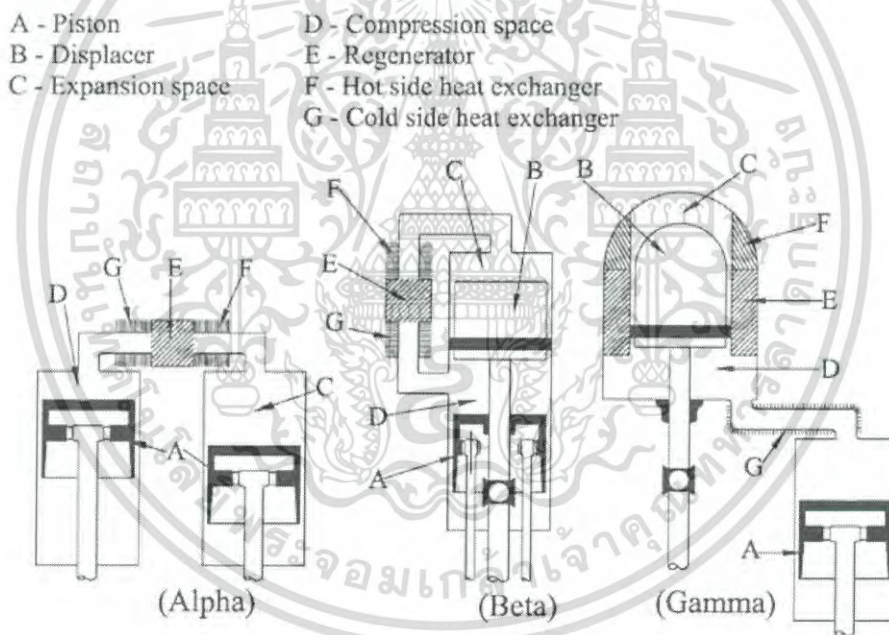
คุณสมบัติของก๊าซที่ทำให้เกิดงานทางกลศาสตร์

- ถ้าให้ปริมาตรของก๊าซที่อยู่ในกระบอกสูบคงที่ เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ ความดันของก๊าซจะเพิ่มขึ้น
- ถ้าให้ความดันของก๊าซที่อยู่ในกระบอกสูบคงที่ เมื่อกดลูกสูบให้ปริมาตรในกระบอกสูบลดลง อุณหภูมิของก๊าซจะเพิ่มขึ้น

2.2.2 การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

องค์ประกอบและเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 2.14 แสดงองค์ประกอบในส่วนต่างๆและชนิดเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ซึ่งแบ่งออกเป็นสามชนิด คือ แอลฟา เบต้าและแกมมา ที่มีการจัดเรียงลูกสูบที่แตกต่างกัน แต่ลักษณะการทำงานยังเหมือนกัน ดังนี้



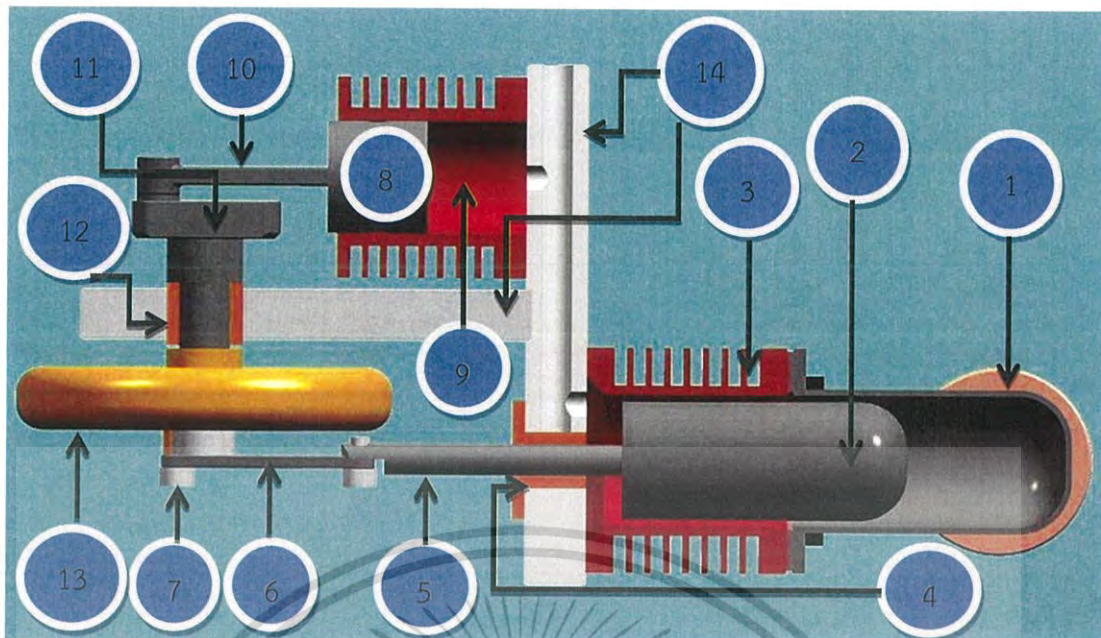
รูปที่ 2.14 องค์ประกอบและชนิดเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

2.2.2.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา (Gamma type Stirling engine)

องค์ประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

ประกอบด้วยลูกสูบดิสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลังในกระบอกสูบแยกและมีการจัดเรียงแบบง่ายๆ โดยทั้งสองกระบอกสูบนี้อเชื่อมต่อกันและมีหลักการการทำงานเช่นเดียวกันกับชนิดเบต้า แต่มีประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดในทางทฤษฎี

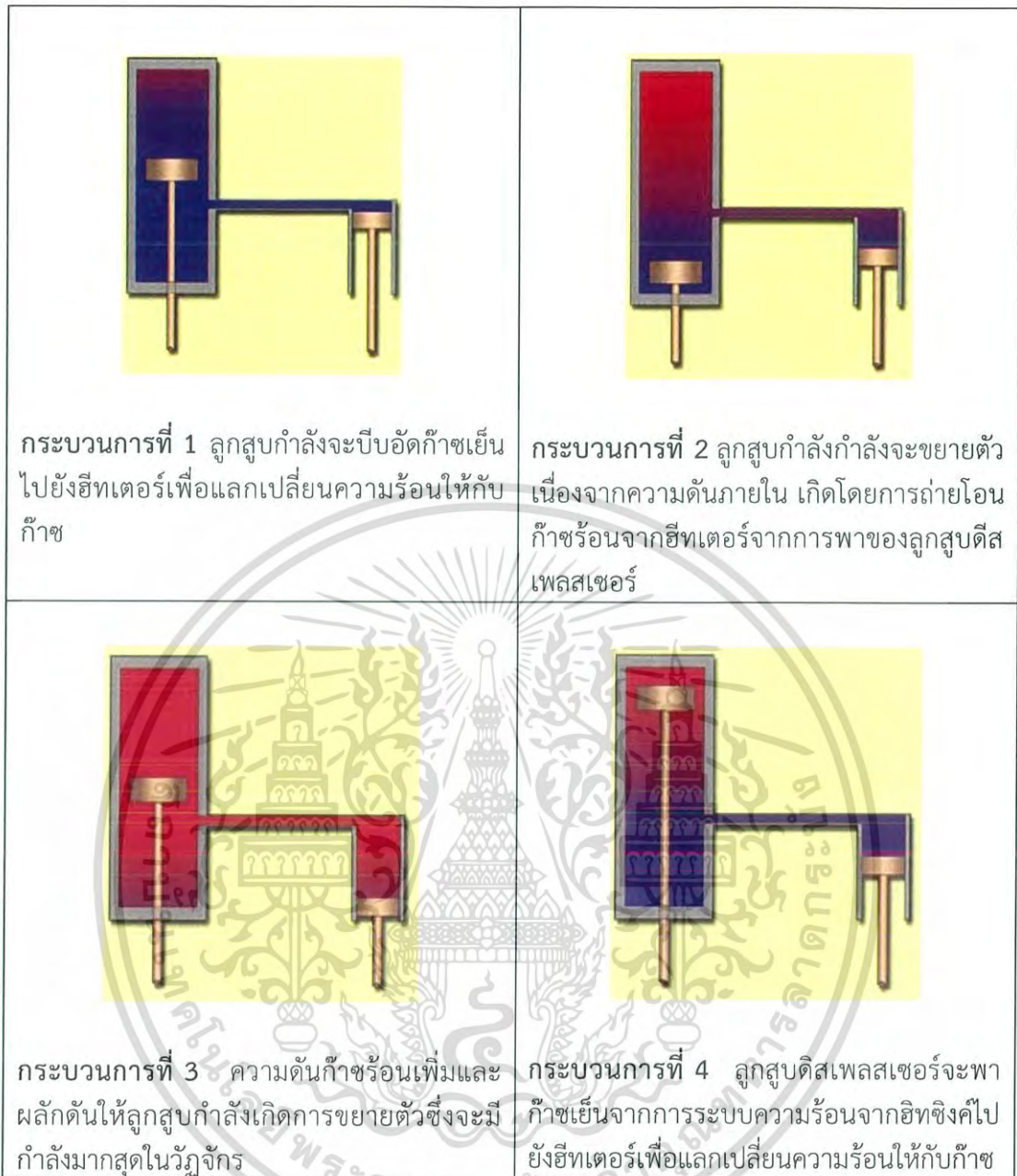
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงองค์ประกอบต่างๆของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

- 1: ฮีทเตอร์; 2: ลูกสูบตีสเฟลสเซอร์; 3: ฮีทซิงค์; 4: บูช; 5: แกนลูกสูบตีสเฟลสเซอร์; 6: แขนเหวี่ยงสำหรับลูกสูบตีสเฟลสเซอร์; 7: ข้อเหวี่ยงสำหรับลูกสูบตีสเฟลสเซอร์; 8: ลูกสูบกำลัง; 9: ครอบลูกสูบ; 10: ก้านลูกสูบกำลัง; 11: ข้อเหวี่ยงสำหรับลูกสูบกำลัง; 12: บูชเพลลาข้อเหวี่ยง; 13: ล้อเกียร์กระตุ้น; 14: ฐานยึดจับในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 กระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

2.2.2.2 การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

จากรูป 2.17 แสดงโมเดลการคำนวณของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

สมการที่ใช้ในการคำนวณคล้ายกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟาและเบต้า ปริมาตรขยาย (V_E) และปริมาตรบีบอัด (V_C) จะสามารถอธิบายได้ตามสมการ (2.41) และ (2.42) เมื่อปริมาตรกวาดของลูกสูบดีสเพลสเซอร์ด้านขยาย ปริมาตรกวาดของลูกสูบดีสเพลสเซอร์ด้านบีบอัด ปริมาตรกวาดของลูกสูบกำลัง (V_{SP}) และมุมเฟส ($\Delta\theta$) อยู่ระหว่างลูกสูบดีสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลัง

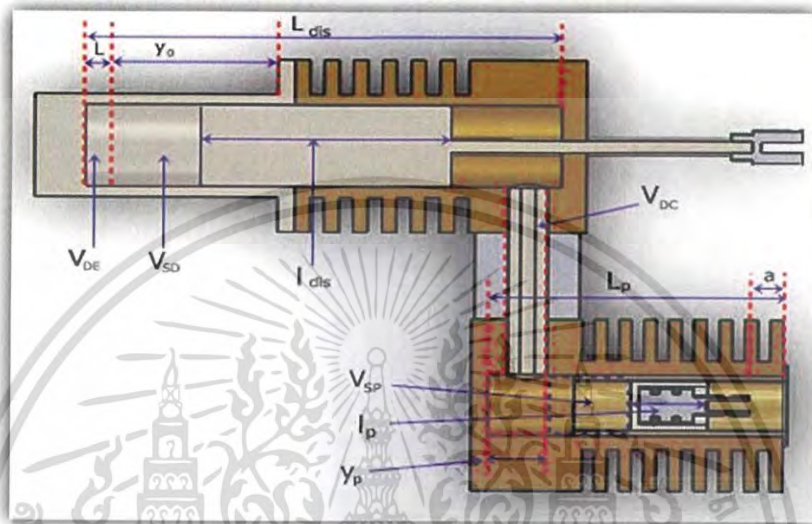
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_E = \frac{V_{SD}}{2}(1 - \cos\theta) + V_{DE} \quad (2.41)$$

$$V_C = \frac{V_{SD}}{2}[1 + \cos(\theta)] + \frac{V_{SP}}{2}[1 - \cos(\theta - \Delta\theta)] + V_{DC} \quad (2.42)$$

ปริมาตรรวม (V) สามารถอธิบายได้ตามสมการ

$$V = V_E + V_C \quad (2.43)$$



รูปที่ 2.17 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

ความดันของเครื่องยนต์ (P) จะใช้ค่าความดันเฉลี่ย (P_{mean}) ค่าความดันต่ำสุด (P_{min}) และความดันสูงสุด (P_{max}) ในการคำนวณ ซึ่งสามารถหาได้ตามสมการ

$$P = \frac{P_{mean} \sqrt{1 - \lambda^2}}{1 - \lambda \cdot \cos(\theta - \delta)} \quad (2.44)$$

กำหนดให้ (V_{SP}) เป็นผลรวมของปริมาตรที่กวาดไปของลูกสูบลูกสูบติสเพลสเซอร์ด้านบีอัด (V_{SD}) และปริมาตรที่กวาดไปของลูกสูบลูกสูบกำลัง (V_{SP})

เมื่อ
$$\gamma = \frac{T_C}{T_E} \quad (2.45)$$

$$\chi_s = \frac{V_{SP}}{V_{SD}} \quad (2.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{V_{DE}}{V_{SD}} \quad (2.47)$$

$$\zeta = \frac{V_{DC}}{V_{SD}} \quad (2.48)$$

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{\chi_s \sin(\Delta\theta)}{\gamma + \cos(\Delta\theta) + 1} \right) \quad (2.49)$$

$$A = (\gamma^2 + 2(\gamma - 1)\chi_s \cos\varphi + \chi_s^2 - 2\gamma + 1)^{1/2} \quad (2.50)$$

$$B = (\gamma + 2\gamma v + \chi_s + 2\zeta + 1) \quad (2.51)$$

$$\lambda = \frac{A}{B} \quad (2.52)$$

แผนภาพ P-V ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาสามารถหาได้จากสมการข้างต้น

2.2.3 การหางาน กำลัง และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

การหางาน (พื้นที่ของแผนภาพ P-V) ในพื้นที่ของการบีบอัดและการขยาย สามารถคำนวณและวิเคราะห์ผลลัพธ์ของประสิทธิภาพได้ งานที่ได้จากพื้นที่ของการขยาย W_E (J) จะใช้ค่าความดันเฉลี่ย (P_{mean}) ค่าความดันต่ำสุด (P_{min}) และความดันสูงสุด (P_{max}) ในการคำนวณ จะสามารถอธิบายได้ตามสมการ

$$W_E = \int P dV_E = \frac{p_{mean} V_{SD} \pi \lambda \sin \delta}{1 + \sqrt{1 - \lambda^2}} \quad (2.53)$$

งานที่ได้จากพื้นที่การบีบอัด W_C (J) อธิบายได้จากสมการต่อไป

$$W_C = \int P dV_C = -\frac{p_{mean} V_{SD} \pi \lambda \gamma \sin \delta}{1 + \sqrt{1 - \lambda^2}} \quad (2.54)$$

งานทั้งหมดที่หาได้จาก 1 รอบวัฏจักร (W_i) สามารถหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $W_i = W_E + W_C$ (2.55)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P_{mean} , P_{min} และ P_{max} สามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}} = \sqrt{\frac{1-\lambda}{1+\lambda}} \quad (2.56)$$

$$\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{min}}} = \sqrt{\frac{1+\lambda}{1-\lambda}} \quad (2.57)$$

กำลังที่ได้จากการขยาย $P_E(W)$ กำลังที่ได้จากการบีบอัด $P_C(W)$ และกำลังรวมของเครื่องยนต์ $P_i(W)$ สามารถหาได้ตามสมการโดยใช้ความเร็วของเครื่องยนต์ (N) รอบต่อวินาที (RPS)

$$P_E = W_E N \quad (2.58)$$

$$P_C = W_C N \quad (2.59)$$

$$P_i = W_i N \quad (2.60)$$

งานที่ได้จากการขยาย (W_E) หาได้จากสมการ (2.53) คือการให้ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนแก่เครื่องยนต์ งานที่ได้จากการบีบอัด (W_C) คำนวณได้จากสมการ (2.54) คือการที่ไม่มีความร้อน เกิดจากการหล่อเย็นด้วยน้ำหรืออากาศ ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (η) สามารถคำนวณได้จาก

$$\eta = \frac{W_i}{W_E} = 1 - T_c \quad (2.61)$$

ประสิทธิภาพนี้จะเท่ากับประสิทธิภาพคาร์โนต์ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเครื่องจักรสามารถระบายความร้อนได้ทั้งหมด

2.2.4 เชื้อเพลิงและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

1. ความร้อนการสันดาปจากการเป็นก๊าซหรือน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีสภาพเป็นของเหลว ส่วนมากเป็นน้ำมันที่กลั่นออกมาจากน้ำมันดิบผ่านการฟูลสลาย อื่นๆ

2. ความร้อนแสงอาทิตย์เมื่อ Solar concentrator

3. Stored heat เช่น Thermal battery ของ Lithium fluoride

4. ความร้อนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ Radioisotope หรือ Fission source

การสันดาปเชื้อเพลิงที่เป็น Fossil ต้องกระทำภายนอกเครื่องโดยกระทำอย่างต่อเนื่องที่

ความดันบรรยากาศภายใน Chamber การสันดาปอย่างต่อเนื่องทำให้ง่ายในการควบคุมกว่าการหยุด

เป็นพักๆ เพราะฉะนั้นการเผาไหม้จึงทำได้สะดวกสมบูรณ์กว่า อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการสันดาปที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า (ระดับ 1800-2000 องศาเซลเซียส) ทำให้เกิดก๊าซ Nitrous oxides (NO_x) มี 2 วิธีหลักของการลด

ไม่วางกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับ (NO_x) ที่ผลิตในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน ลด อุณหภูมิ Combustor และลดเวลาในการสันดาปส่วนผสม โดยปกติวิธีแรกจะง่ายกว่า วิธีเพื่อลด อุณหภูมิ Combustor (ลดระดับ NO_x) พัฒนาโดย Kockum ก่อนปี 1980 ก็คือรวบรวมก๊าซไอเสียกลับมาใช้ใหม่ ระบบนี้ เรียกว่า Combustion Gas Recirculation (CGR) ได้ถูกนำมาใช้บนเครื่องสเตอร์ลิงมากมาย การกำจัดที่เสมือนปัญหาของ NO_x มีนัยสำคัญกับการเผาไหม้ที่ช่วยลดเยือกการไหลอย่างต่อเนื่องหมายความว่า Fossil-fueled เครื่องยนต์สเตอร์ลิงคือพลังขับเคลื่อนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ยังคงเหลืออยู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

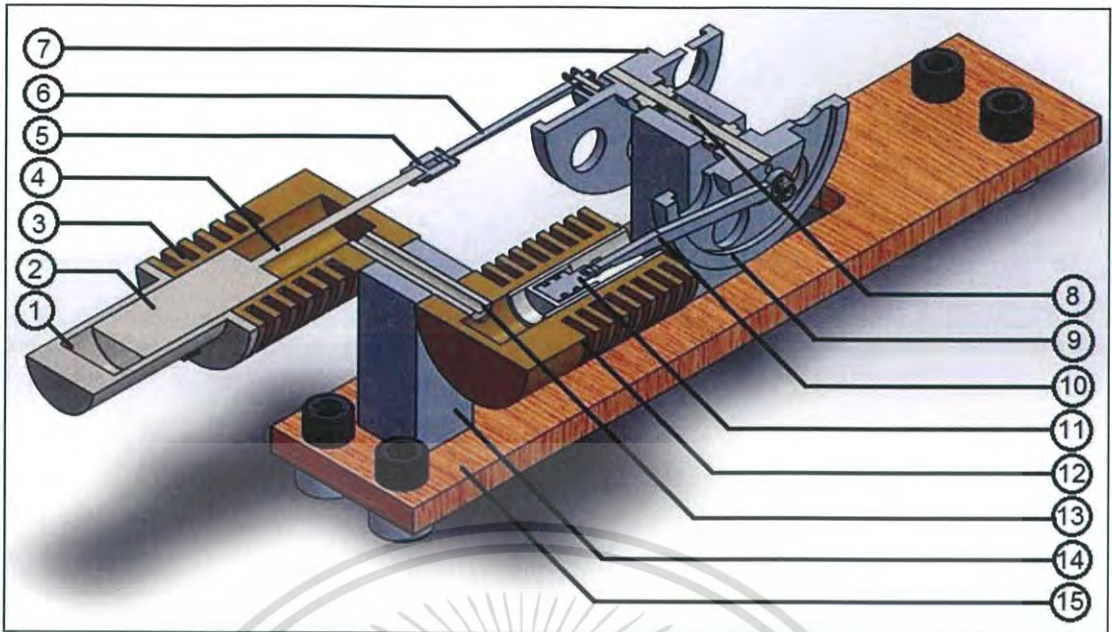
การดำเนินงานวิจัยในการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบ
- ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่ถูกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks และทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องหรือจุดเสียที่ลดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่ได้ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Work
- ขั้นตอนที่ 3 สร้างชิ้นส่วนต่างๆ และประกอบอุปกรณ์ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่พัฒนาขึ้น
- ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่พัฒนาขึ้น
- ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่พัฒนา

3.1 การศึกษาแนวทางการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาต้นแบบขนาดเล็ก

การศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา จากเครื่องยนต์ต้นแบบดังรูปที่ 3.1 สามารถแบ่งส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์ได้แก่ องค์ประกอบหลักอย่าง ลูกสูบกำลัง (1) ลูกสูบดีสเพลสเซอร์ (2) ซึ่งทำงานแยกกันระหว่างภายใน กระบอกสูบกำลังและกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์ซึ่งในการสร้างกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์จะรวมเป็นส่วนเดียวกับ ฮีทซิงค์ (3) และที่ส่วนปลายของกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์จะเป็นฮีทเตอร์ (1) ซึ่งเป็นส่วนรับความร้อนจากภายนอกโดยตรงเพื่อใช้ในกระบวนการบีบอัดและขยายตัวของของไหลภายในกระบอกสูบ ลูกสูบดีสเพลสเซอร์ (2) จะต่อแกนดิสเพลสเซอร์ (4) ซึ่งยื่นออกมาต่อกับข้อเหวี่ยง (6) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการรับแรงและส่งแรงให้ลูกสูบดีสเพลสเซอร์ (2) ให้เกิดการบีบอัดและขยายตัว โดยข้อเหวี่ยงของดิสเพลสเซอร์จะต้องทำมุม 90 องศา กับลูกสูบกำลัง โดยการบีบอัดนี้จะทำให้เกิดความดันที่ไปผลักดันลูกสูบกำลัง (1) ให้เคลื่อนที่โดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบจะทำให้เกิดแรงส่งไปยังข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง (10) เพื่อกระตุ้นให้ล้อเกียร์กระตุ้นกำลังทั้งสองฝั่ง (7),(8) หมุนอย่างต่อเนื่องซึ่งความคล่องตัวของล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง (7),(8) จะขึ้นอยู่กับการวางสมดุลแกนระหว่างล้อเกียร์(8)กับข้อเหวี่ยงกำลัง (6),(10) การซีลเพื่อป้องกันการรั่วของอากาศภายในกระบอกสูบเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียความดันภายในกระบอกสูบ จะเกิดการสึกหรอและรั่วซึมของอากาศเนื่องจากการใช้งาน ซึ่งเกิดจากช่องว่างระหว่างแกนกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์ (4) ที่เคลื่อนที่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



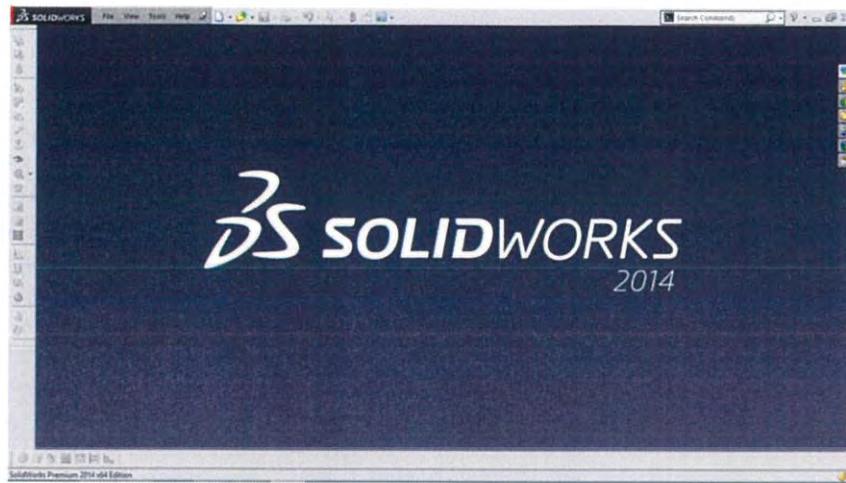
รูปที่ 3.1ก ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่

(1) ฮีทเตอร์ (2) ลูกสูบดีสเพลสเซอร์ (3) ฮีทซิงค์ระบอบลูกสูบดีสเพลสเซอร์ (4) แกนลูกสูบดีสเพลสเซอร์ (5) บูชเชื่อมแกน (6) ข้อเหวี่ยงลูกสูบดีสเพลสเซอร์ (7) ล้อเกียร์กระตุ้นกำลังฝั่งขวา (8) แกนรองรับล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง (9) ล้อเกียร์กระตุ้นกำลังฝั่งซ้าย (10) ข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลังฝั่งซ้าย (11) ลูกสูบกำลัง (12) ฮีทซิงค์ระบอบลูกสูบกำลัง (13) ท่อส่งอากาศ (14) ฐานรองระบอบลูกสูบ (15) ฐานยึดจับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

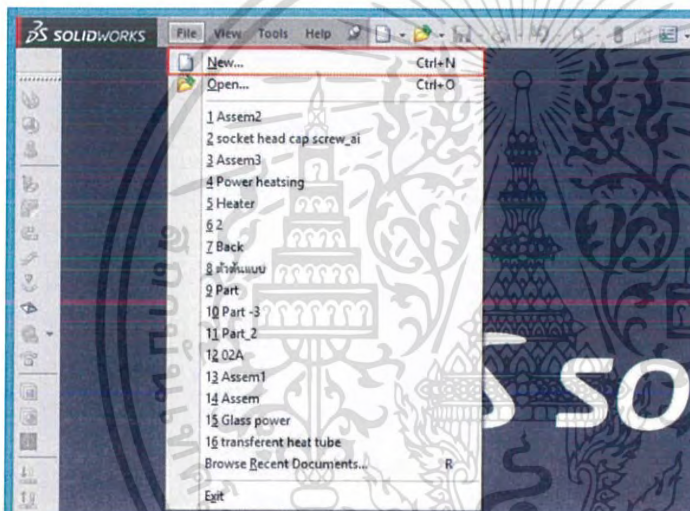
3.2 การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่ขนาดเล็กด้วยโปรแกรม Solidworks

การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่โดยใช้โปรแกรม Solidworks เป็นการเขียนแบบเพื่อแนวทางในการสร้างชิ้นงานและจำลองการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเบื้องต้นเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเหมาะสมของขนาดก่อนนำมาสร้างชิ้นงานในรูป 2 มิติ และ 3 มิติ การใช้งานโปรแกรม Solidworks เมื่อเปิดโปรแกรม Solidwork หน้าจอจะปรากฏเป็นรูปหน้าต่างดังรูปที่ 3.2ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

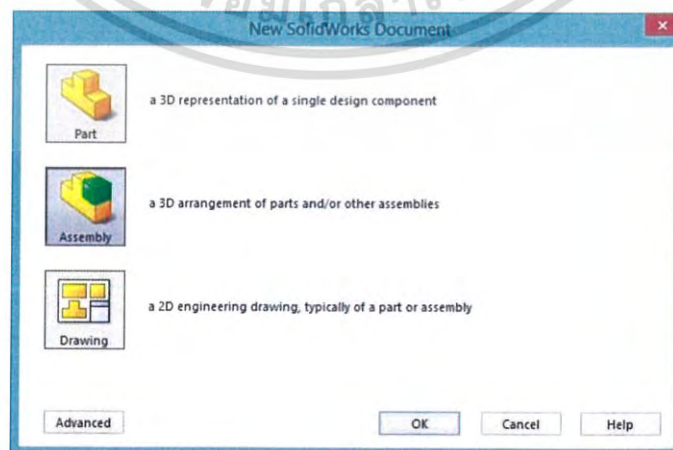


รูปที่ 3.2ก การใช้งานโปรแกรม Solidworks



1. เมื่อเปิดโปรแกรม solidwork 2014 แล้วคลิก file → new

รูปที่ 3.3ก การใช้งานโปรแกรม Solidworks (2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.4ก การใช้งานโปรแกรม Solidworks (3)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นใดและต้องขังอย่างองเเงงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

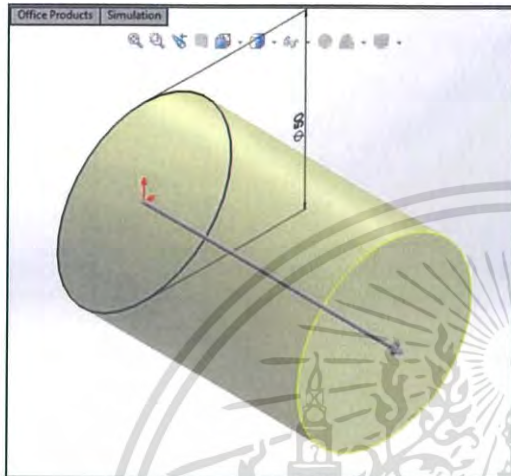
2. ในรูปที่ 3.4 โหมดการทำงานแบ่งเป็น 3 ส่วน


Part: เป็นการสร้างชิ้นงานเป็น 3 มิติก่อนนำมาประกอบเข้าด้วยกัน

Assembly: เป็นการนำชิ้นงานหรือ Part ที่เราสร้างออกแบบไว้นำมาประกอบเข้าด้วยกัน

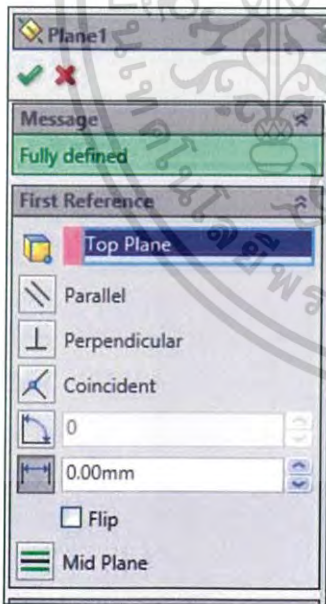
Drawing: เป็นการบอกขนาดของชิ้นงานในรูป 2 มิติ

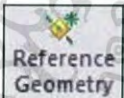

ในส่วนนี้เป็นการสร้างชิ้นงานก่อนนำมาประกอบเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเราจะใช้โหมด Part การทำระบอบอกสูบดิสเพลสเซอร์

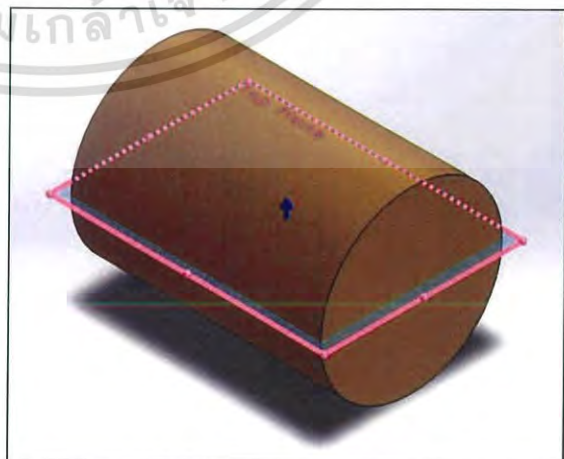


1. เปิดโปรแกรม Solidwork คลิก  ใช้ระนาบด้านบน (Top plane) เป็นตัวอ้างอิงเขียนเส้นร่างวงกลมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm แล้ว  ยืดวัตถุให้มีความยาว 72 mm ดังรูป 3.1

รูปที่ 3.1 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (1)



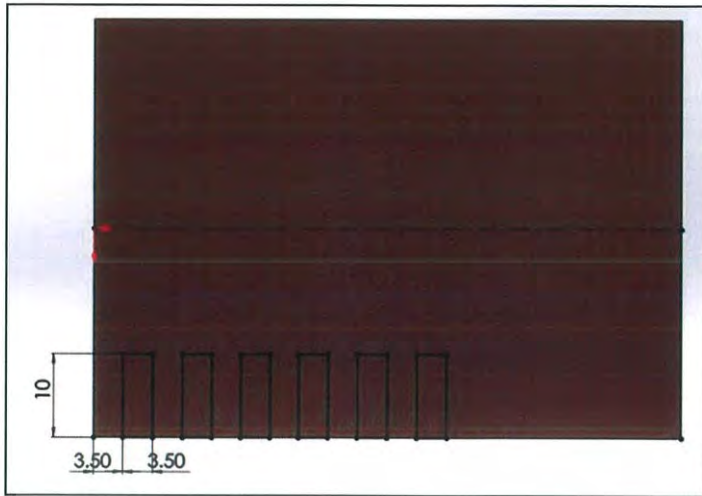
2. ใน Features ในช่อง  เลือก  เพื่อสร้าง Plane ขึ้นมาใหม่ ในช่อง..... เลือก Top Plane คลิกแล้วคลิกเครื่องหมายถูก จะได้ระนาบใหม่ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.2 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (2)

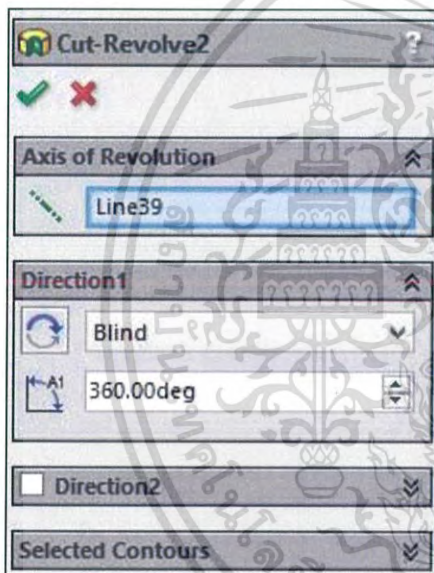
รูปที่ 3.3 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ในประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

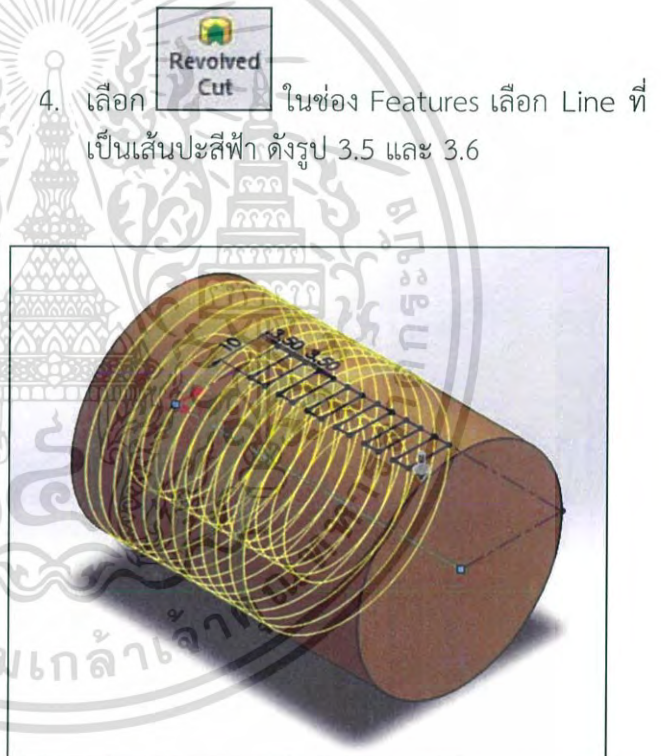


3. คลิกขวาที่ระนาบสร้างใหม่ คลิก Sketch แล้ววาดรูปดังรูปด้านล่าง

รูปที่ 3.4 การสร้างกระบอกลูกสูบตีเพลสเซอร์ (4)

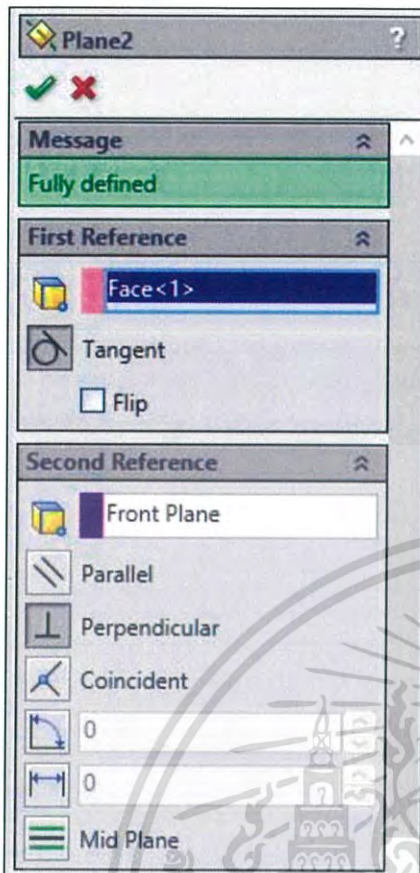


รูปที่ 3.5 การสร้างกระบอกลูกสูบตีเพลสเซอร์ (5)

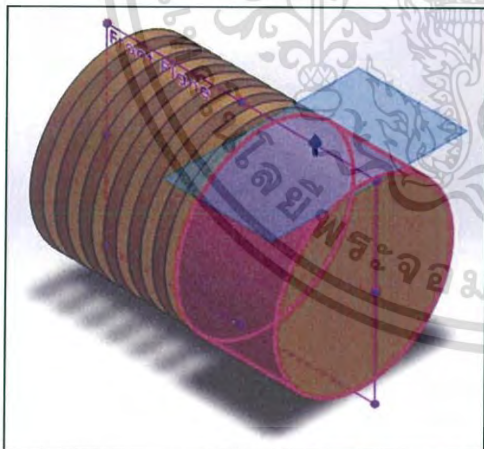


รูปที่ 3.6 การสร้างกระบอกลูกสูบตีเพลสเซอร์ (6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




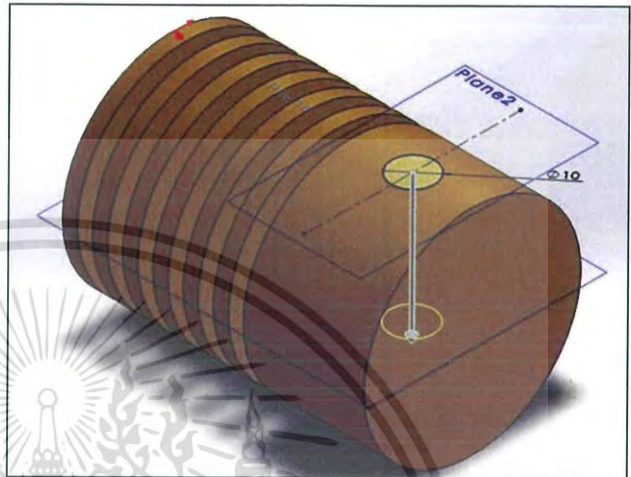
รูปที่ 3.7 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (7)



รูปที่ 3.9 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (9)

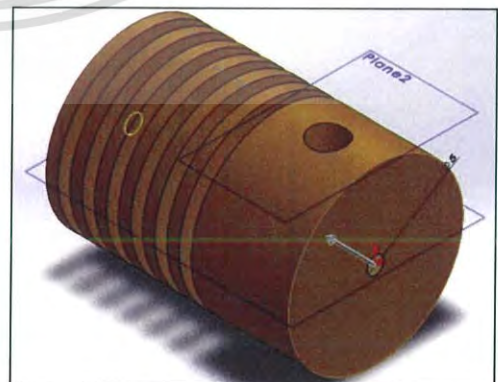
7. เจาะรูปที่ผิวดังรูปให้มีขนาดความกว้าง 5 mm เพื่อไว้เป็นรูใส่แกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์

5. เลือก  Plane ในช่อง Features เลือก Face<1> ในช่องอ้างอิงที่ 1 เลือก Front Plane ในช่องอ้างอิงที่ 2 เพื่อกำหนดทิศทางให้กับระนาบใหม่ เลือกให้ตั้งฉากกับ Front Plane จะปรากฏระนาบใหม่ดังรูปที่ 3.8

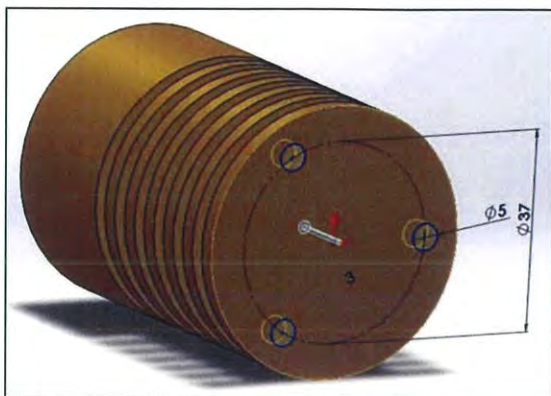


รูปที่ 3.8 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (8)

6. วาดรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm บนระนาบที่ 2 ตัดด้วยตัดด้วย ให้มีความลึก 30 mm คลิก 

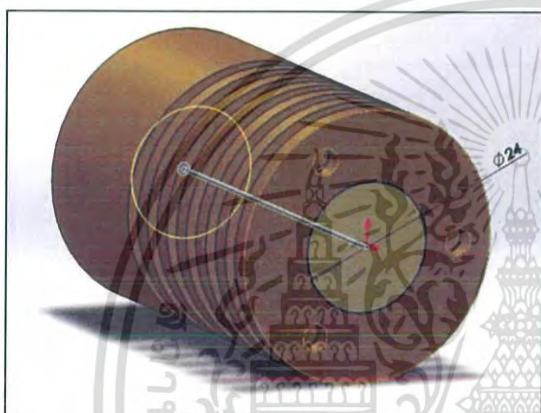


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและรูปที่ 3.10 การสร้างกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (10)



- 8. เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm จำนวน 3 รู โดยห่างจากจุดศูนย์กลาง 18.5 mm ดังรูปที่ 3.11

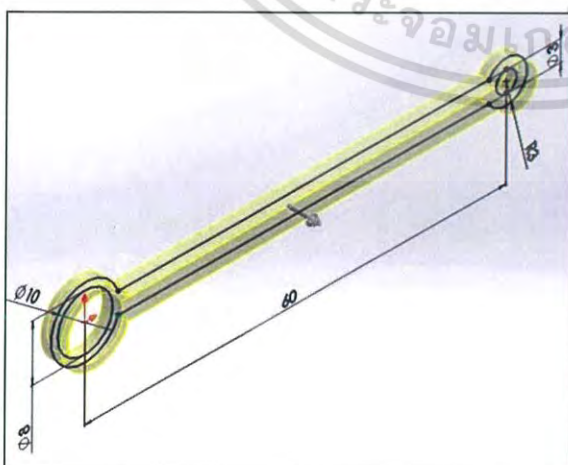
รูปที่ 3.11 การสร้างกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ (11)



- 9. เจาะรูขนาด 24 mm บนพื้นผิวดังรูปให้มีความลึก 64 mm ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 การสร้างกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ (12)

การสร้าง Displacer Connecting rod ด้วยโปรแกรม Solidwork



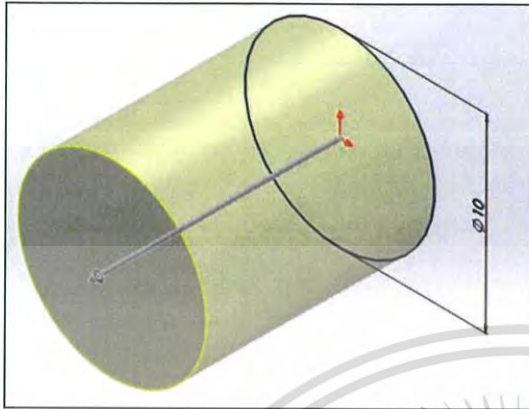
- 1. วาดรูปตามรูปด้านซ้ายบนระนาบ



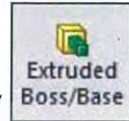
Right Plane แล้วใช้ ยึด วัตต์ออกมา 3 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.13 การสร้าง Displacer Connecting rod
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้าง Rod ด้วยโปรแกรม Solidwork

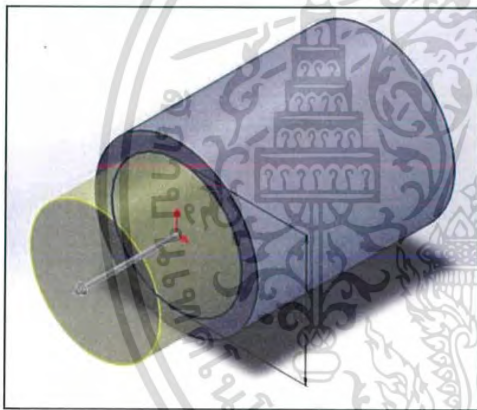


1. วาดวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง



10 mm แล้วใช้ ยึดวัตถุ
ออกมา 12 mm

รูปที่ 3.14 การสร้าง Rod (1)

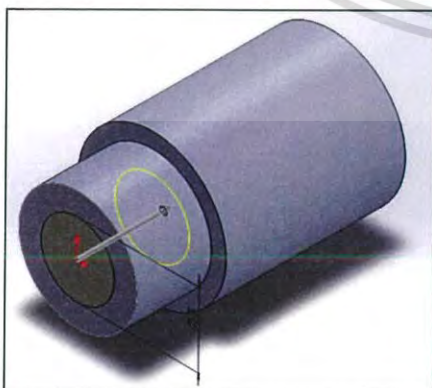


2. วาดวงกลมขนาด 8 mm บนพื้นผิวตั้งรูป แล้ว



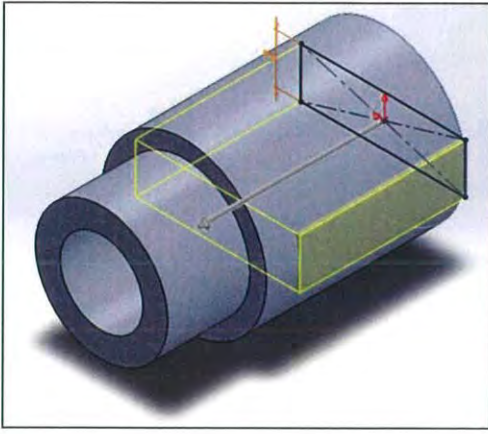
ใช้ ยึดวัตถุออกมา 5 mm

รูปที่ 3.15 การสร้าง Rod (2)



3. ใช้ เจาะลึกลงไป 5 mm

เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.16 การสร้าง Rod (3) ชิ้นงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



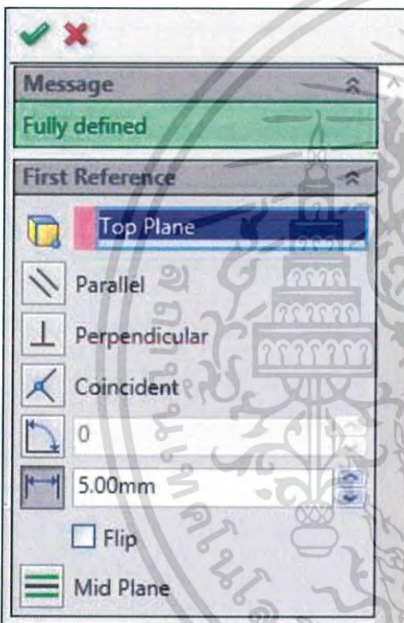
4. วาดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 10x3 mm บน

พื้นผิวด้านบนดังรูป แล้วใช้

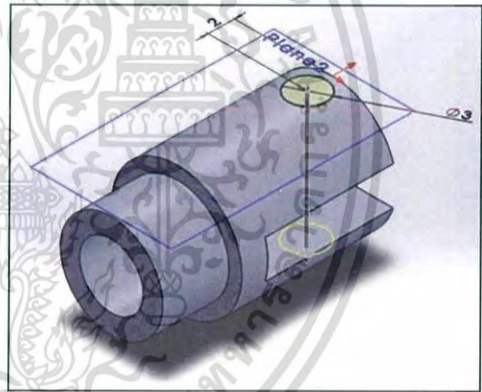


เจาะลึกลงไป 10 mm

รูปที่ 3.17 การสร้าง Rod (4)

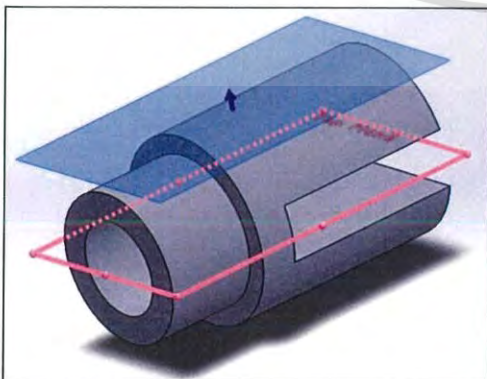


5. สร้าง Plane ขึ้นมาใหม่โดยกำหนดให้ Top Plane เป็นจุดอ้างอิงที่ 1 ซึ่งมีระยะห่างจาก Top Plane 5 mm ดังรูปด้านที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การสร้าง Rod (5)

รูปที่ 3.18 การสร้าง Rod (6)



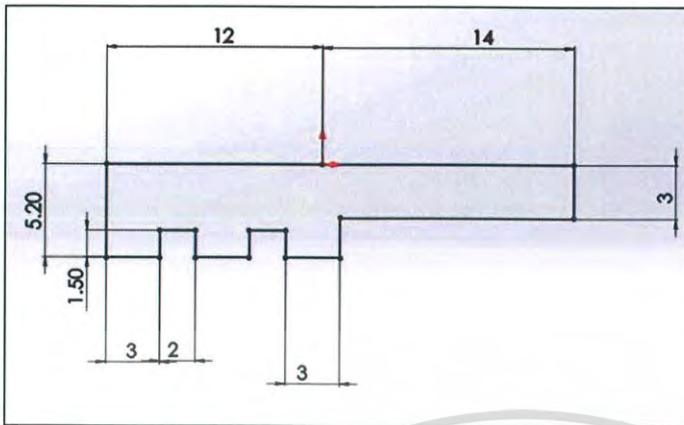
6. วาดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ห่างจากขอบด้านบน 2 mm แล้วใช้



ในช่อง Direction 1 เลือก through all

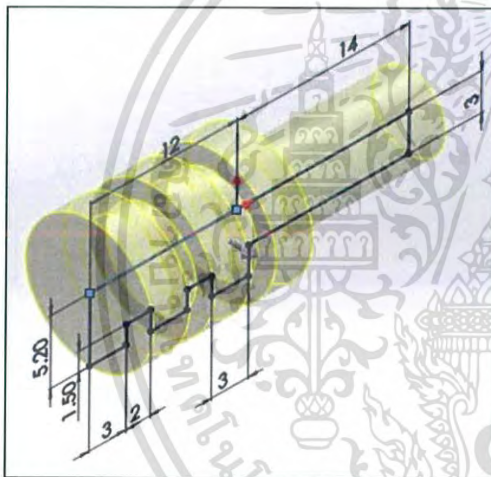
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 3.20 การสร้าง Rod (7) พงศาวดารแห่งน้ำมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้าง Power Piston ด้วยโปรแกรม Solidwork

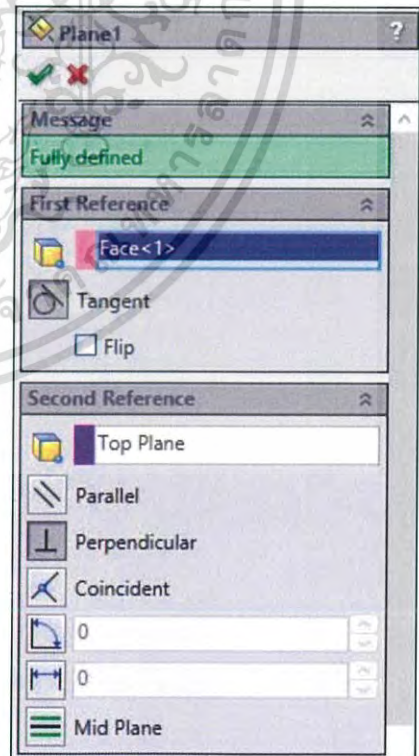


1. วาดรูปให้มีขนาดตามรูป ด้านซ้ายมือบนระนาบ Right Plane

รูปที่ 3.21 การสร้าง Power Piston (1)



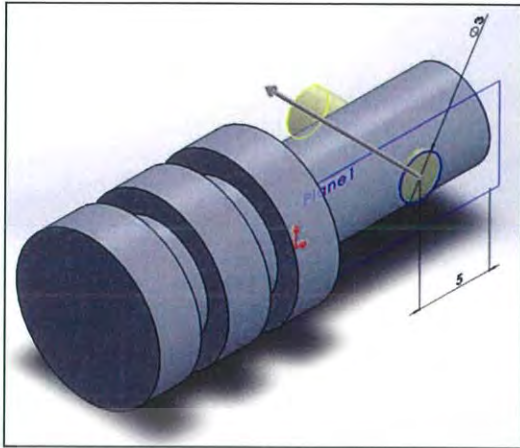
2. ใช้  หมุนภาพที่วาดเป็นวัตถุ 3 มิติ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การสร้าง Power Piston (2)

3. สร้าง Plane โดยให้ Face<1> เป็นจุดอ้างอิงที่ 1 และให้ตั้งฉากกับ Top Plane เป็นจุดอ้างอิงที่ 2 ดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างรูปที่ 3.23 การสร้าง Power Piston (3) ใช้

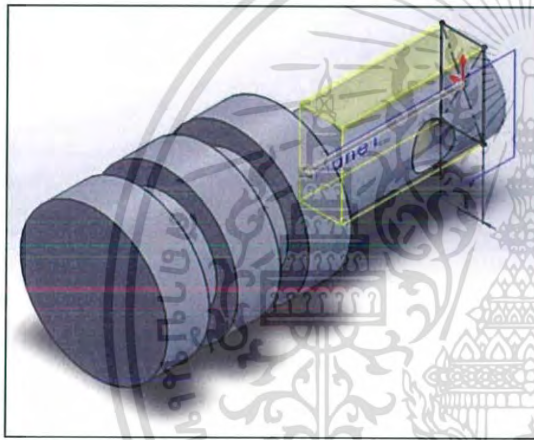


รูปที่ 3.24 การสร้าง Power Piston (4)

4. วาดวงกลมขนาด 4 mm บน Plane แล้ว



ใช้ ในช่อง Direction 1 เลือก through all ดังรูปที่ 3.25



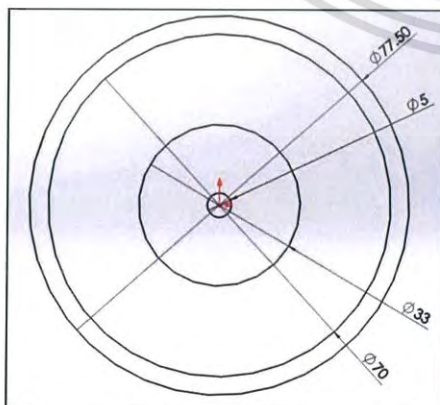
รูปที่ 3.25 การสร้าง Power Piston (5)

5. วาดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3x6 mm



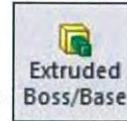
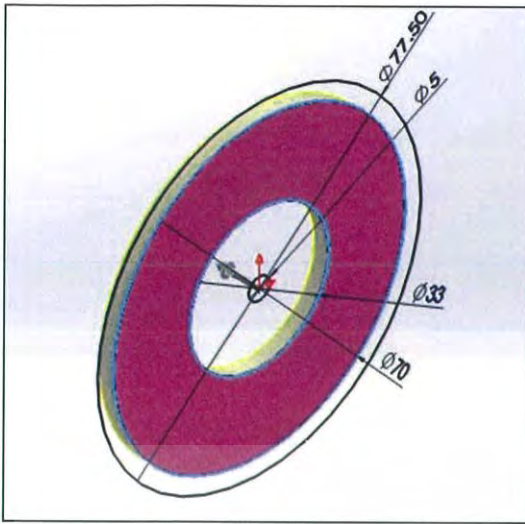
แล้วใช้ เจาะลึกลงไป 10 mm ดังรูปที่ 3.26

การสร้าง Flywheel ด้วยโปรแกรม Solidwork



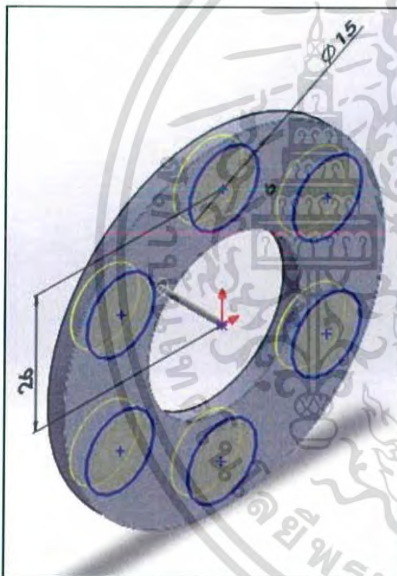
1. วาดวงกลมตามรูปภาพที่ 3.27 บน Right Plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.26 การสร้าง Flywheel (1)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



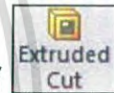
2. ใช้ ยึดวงกลมสีม่วงออกมา 3.5 mm ดังรูปที่ 3.28

รูปที่ 3.27 การสร้าง Flywheel (2)



3. วาดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 mm ห่างจากศูนย์กลาง 26 mm ใช้ Circular Sketch Pattern

เพื่อสร้างวงกลมอีก 5 วง แล้วใช้ through all ใน Direction 1

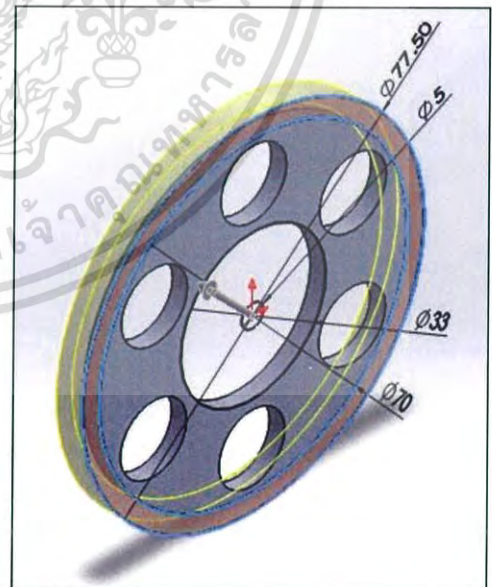


เลือก

รูปที่ 3.28 การสร้าง Flywheel (3)

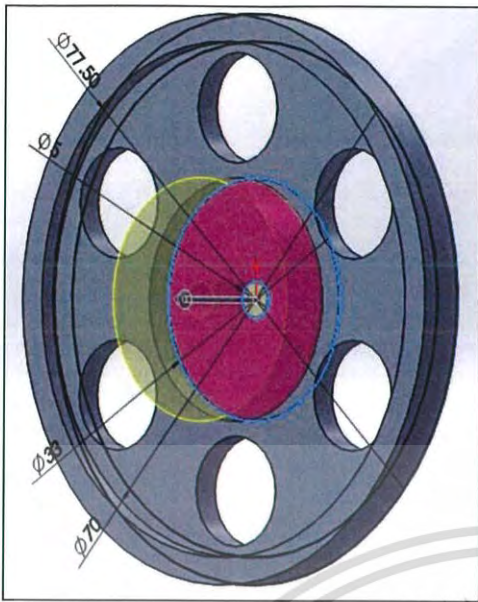


4. ใช้ แล้วคลิกในพื้นที่สีม่วงบนรูปที่ วาดไว้ครั้งแรกให้ยืดออกมา 6 mm



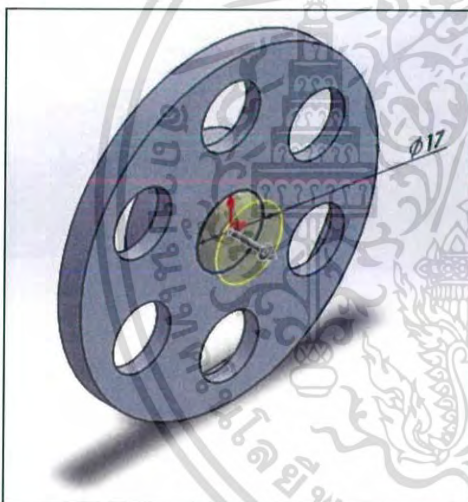
รูปที่ 3.29 การสร้าง Flywheel (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 การสร้าง Flywheel (5)

5. ใช้  แล้วคลิกในพื้นที่สี่มวงบนรูปที่วาดไว้ครั้งแรกให้ยืดออกมา 10.50 mm



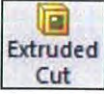
รูปที่ 3.31 การสร้าง Flywheel (6)

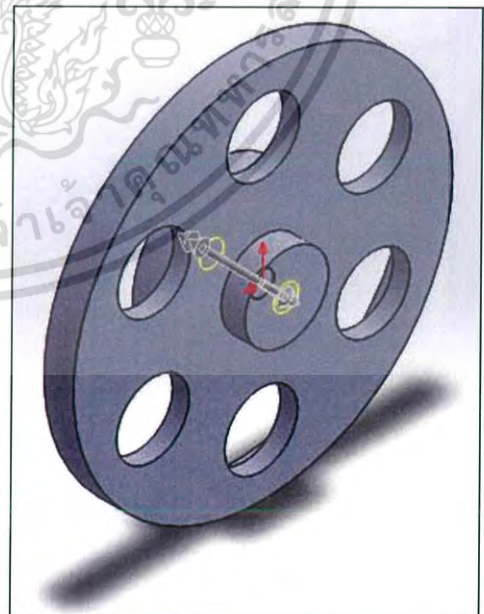
6. วาดวงกลมขนาด 17 mm ดังรูปที่ 3.32 แล้ว

ใช้  ยืดออกมา 5 mm

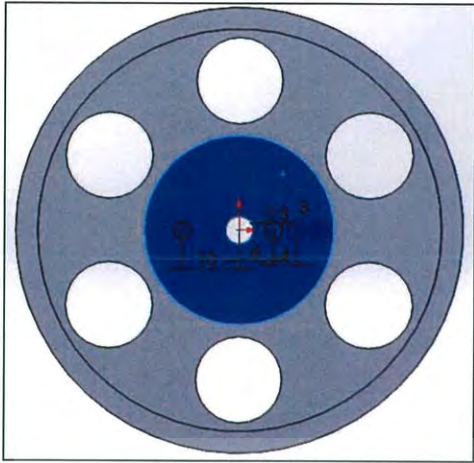
7. คลิกวงกลมตรงกลางขนาดเส้นผ่าน

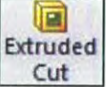
ศูนย์กลาง 5 mm คลิก  จะ

ปรากฏวงกลมขึ้นมาแล้วใช้  เลือก through all ในช่อง direction 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นรูปที่ 3.32 การสร้าง Flywheel (7) ท่านการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8. วาดวงกลม 4 วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ตามรูปด้านซ้ายมือแล้วใช้  เจาะลึกลงไป 6 mm

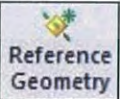

รูปที่ 3.33 การสร้าง Flywheel (8)

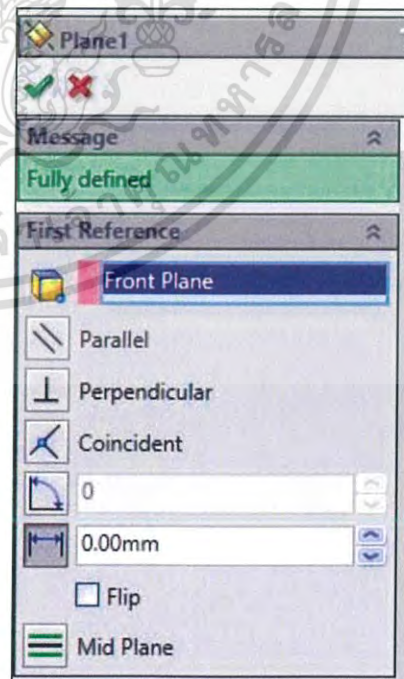
การสร้างกระบอกสูบกำลังด้วยโปรแกรม Solidwork



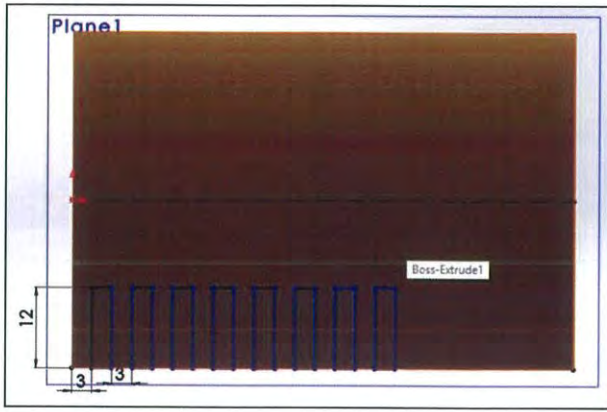
1. วาดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm บน Top Plane แล้วยืดออก 50 mm ด้วย 

รูปที่ 3.34 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (1)

2. ใน Features ในช่อง  เลือก  กำหนดให้ Front Plane เป็นจุดอ้างอิงที่ 1 ดังรูป

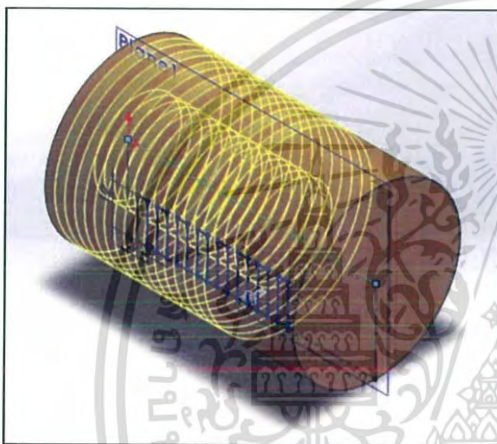


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและรูปที่ 3.35 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (2) นำไปใช้



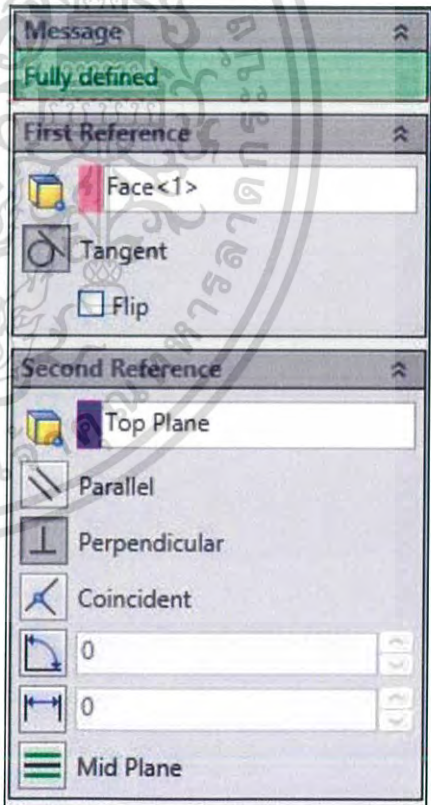
รูปที่ 3.36 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (3)

3. วาดรูปตามรูปที่ 3.37 บน Plane 1 เพื่อทำเป็นที่ระบายความร้อนให้กับกระบอกสูบกำลัง

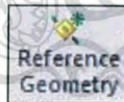


รูปที่ 3.37 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (4)

4. ช่อง Features ใช้ Revolved Cut เลือก Line 2 ดังรูปที่ 3.38

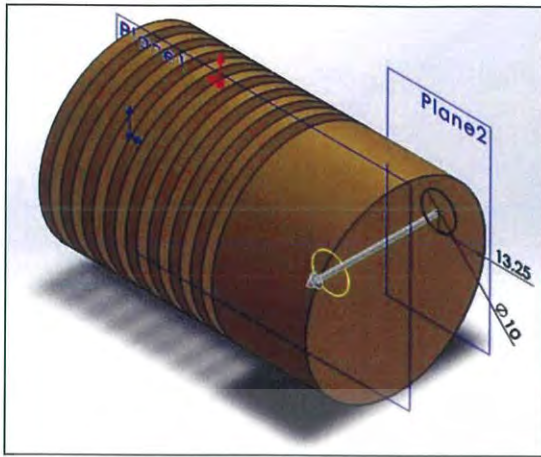



5. ใน Features ช่อง Reference Geometry เลือก Plane กำหนดให้ Face<1> ในช่อง ... ให้ Top Plane ดังรูปที่ 3.38



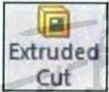
รูปที่ 3.38 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (5)

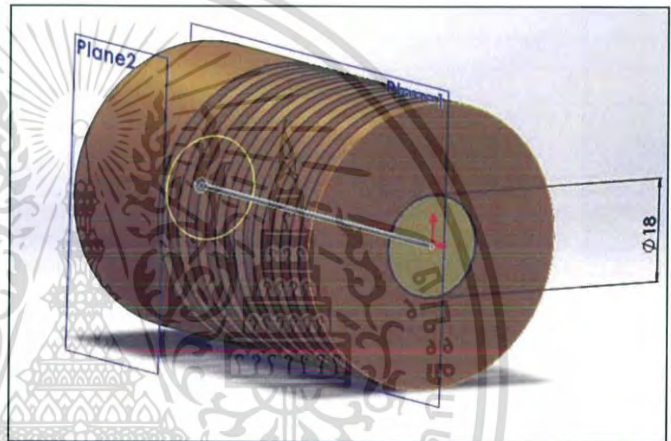
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6. วาดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm
 ห่างจากขอบของกระบอกสูบดีสเพลสเซอร์
 13.25 mm บนระนาบ Plane 2 ใช้ 
 เจาะที่มีความลึก 30 mm

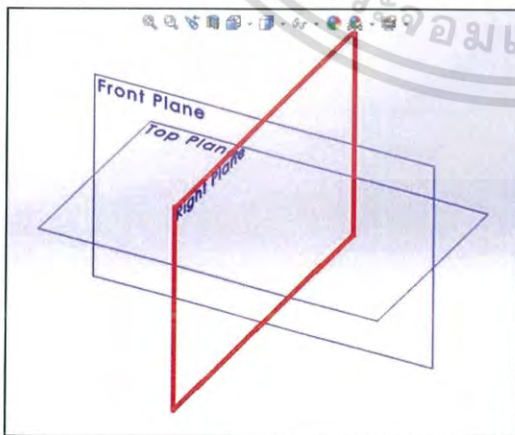
รูปที่ 3.39 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (6)

7. วาดวงกลมขนาดเส้นผ่าน
 ศูนย์กลาง 18 mm บนพื้นผิว
 ดังรูป ใช้  เจาะที่
 ความลึก 70.50 mm



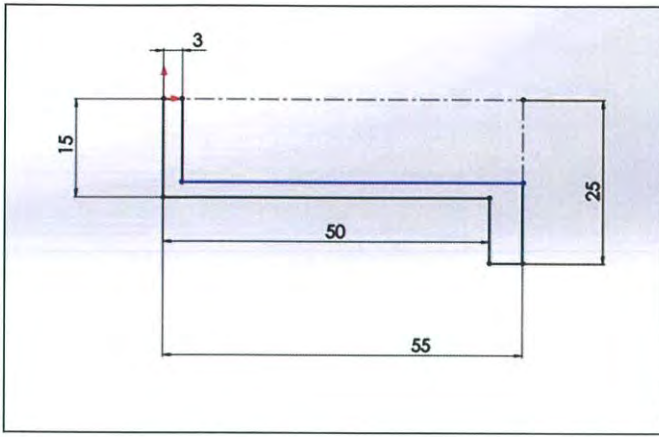
รูปที่ 3.40 การสร้างกระบอกสูบกำลัง (7)

การสร้าง Heater ด้วยโปรแกรม solidwork



1. เมื่อปรากฏหน้าต่างแล้ว คลิก 
 เลือก Right Plane ตามรูปที่ 3.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.41 การสร้าง Heater (1) ที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



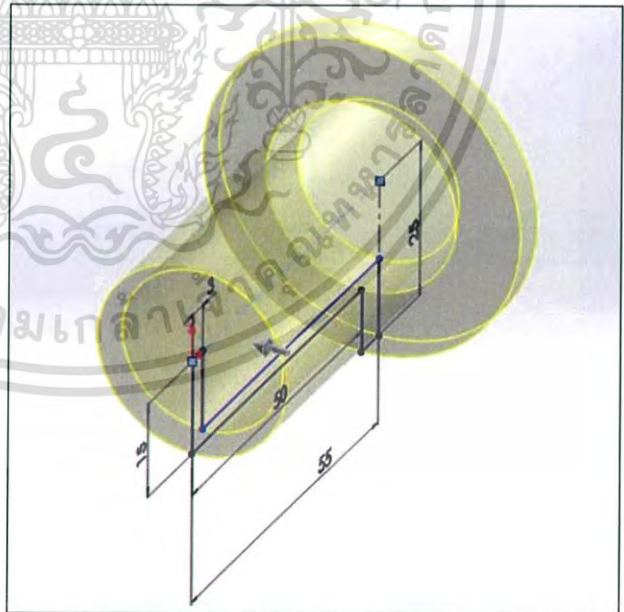
รูปที่ 3.42 การสร้าง Heater (2)

2. ใช้คำสั่ง  Line วาดรูปให้มีขนาดดังรูปที่ 3.44



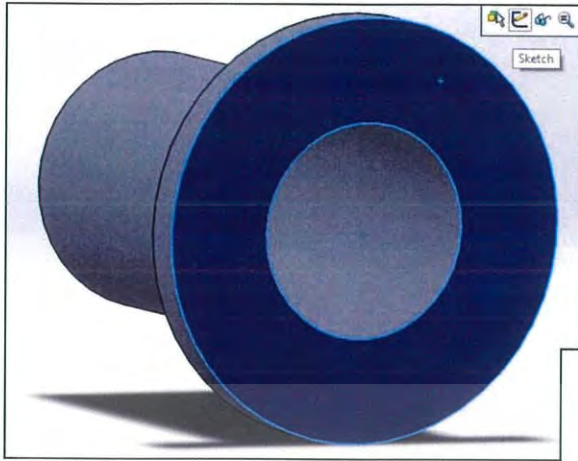
รูปที่ 3.43 การสร้าง Heater (3)

3. ใช้คำสั่ง  Revolved Boss/Base เลือกเส้น line 1 ที่เป็นเส้นประสีฟ้า โปรแกรมจะทำให้เส้นที่เลือกเป็นแกนในการหมุนภาพให้ออกมาเป็นวัตถุ 3 มิติ



รูปที่ 3.44 การสร้าง Heater (4)

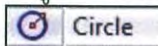
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

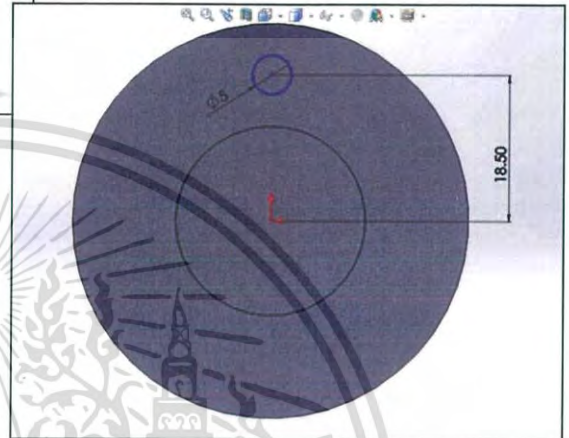


รูปที่ 3.45 การสร้าง Heater (5)

4. เมื่อได้วัตถุ 3 มิติแล้วเลือกพื้นผิว

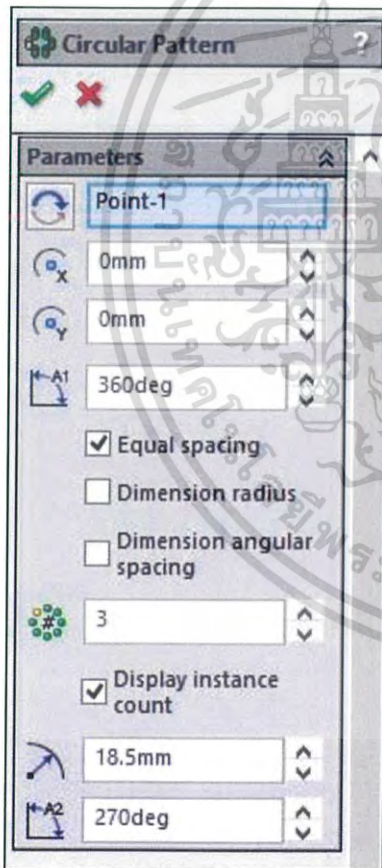
ดังรูป คลิก  ใช้คำสั่ง

 Circle วาดวงกลมให้มีขนาดตามภาพ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm ห่างจากจุดศูนย์กลาง 18.50 mm

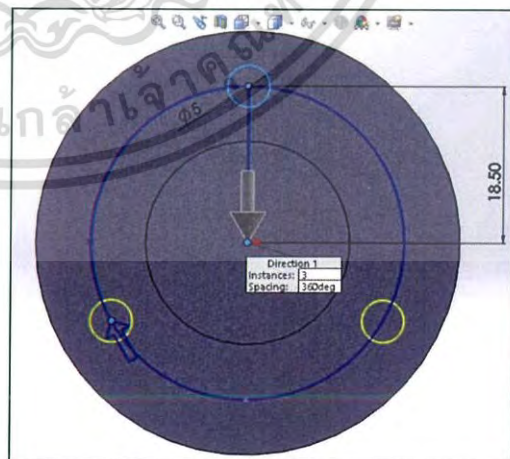


รูปที่ 3.46 การสร้าง Heater (6)

5. ใช้คำสั่ง  Circular Sketch Pattern เพื่อสร้างวงกลมรอบจุดศูนย์กลางบนพื้นผิว เลือกวงกลมที่ต้องการคัดลอกแล้วโปรแกรมจะทำการคัดลอกตามรูปที่ 3.48

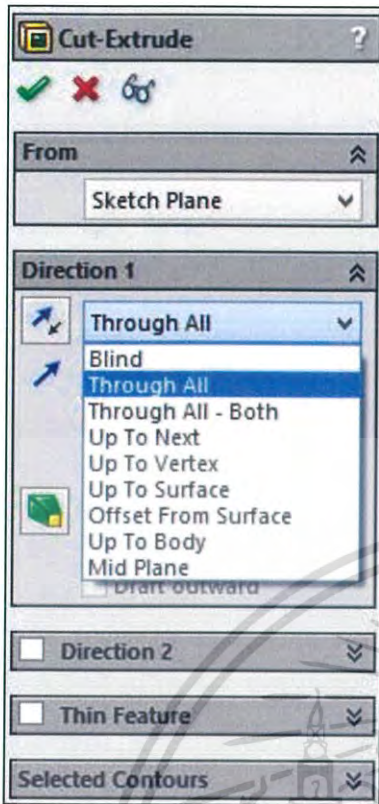


รูปที่ 3.47 การสร้าง Heater (7)

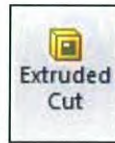


รูปที่ 3.48 การสร้าง Heater (8)

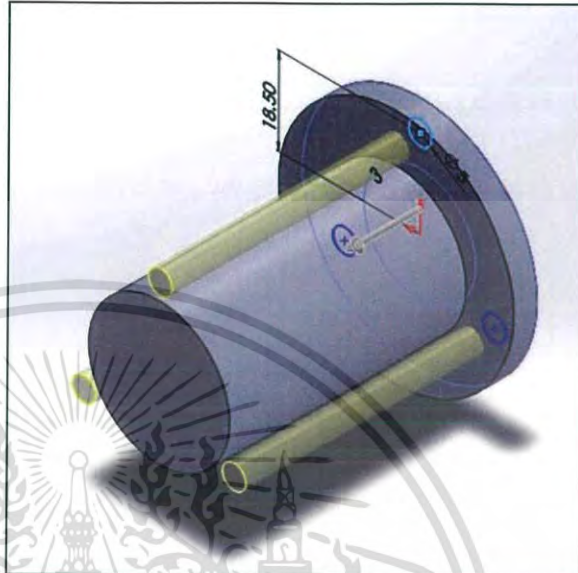
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่แจ้งขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



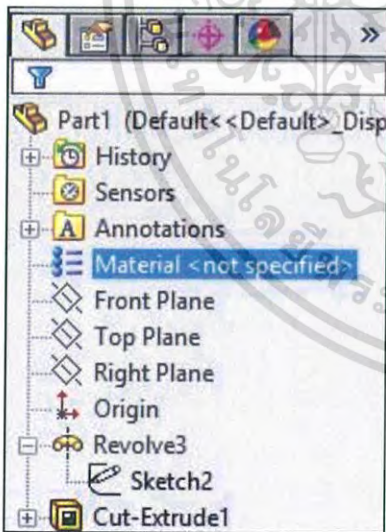
รูปที่ 3.49 การสร้าง Heater (9)



6. ใช้คำสั่ง  เพื่อตัดวงกลมขนาด 5 mm ที่สร้างไว้ 3 วงดังรูป เลือกคำสั่ง Through All แล้วคลิก OK

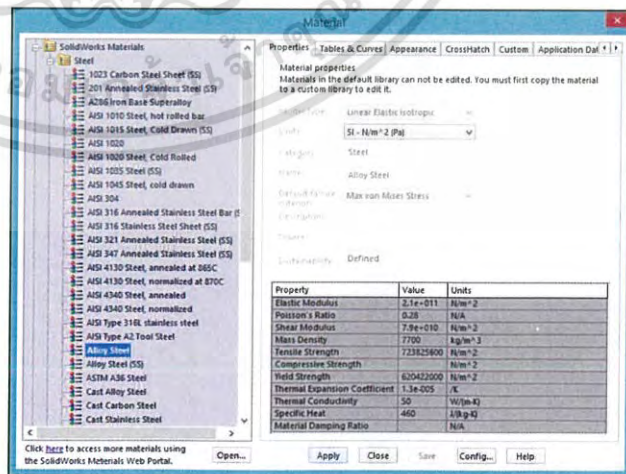


รูปที่ 3.50 การสร้าง Heater (10)



รูปที่ 3.51 การสร้าง Heater (11)

7. การกำหนด Material ให้กับ Heater โดยคลิกขวาที่ Material เลือก  Edit Material จะปรากฏหน้าต่างดังรูปด้านล่างแล้วเลือกวัสดุที่เราตรงกับที่เราใช้ในการทำ Heater

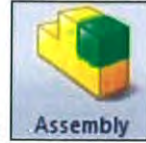


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษารูปที่ 3.52 การสร้าง Heater (12) ระเบียบข้อดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

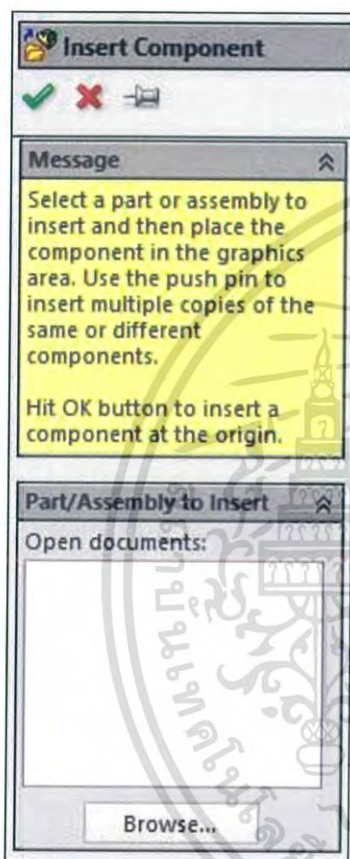
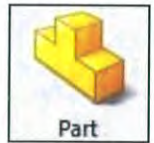
การประกอบชิ้นงานด้วยโดยโปรแกรม Solidworks

การประกอบชิ้นงานเราจะใช้คำสั่ง Assembly ในการนำชิ้นส่วนต่างๆที่เราสร้างไว้ในตอน

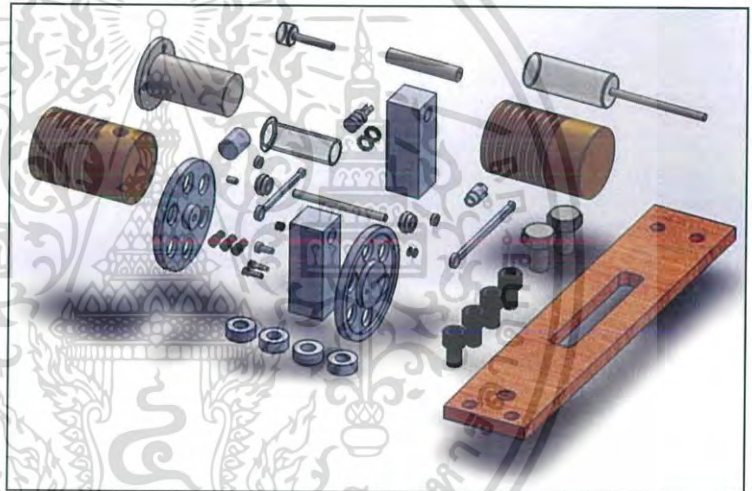
แรกมาประกอบเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยให้เราเลือกคำสั่ง



แทนคำสั่ง









1. คลิก  ในช่อง Assembly เลือก  ในช่อง Part/Assembly to insert เพื่อเลือกชิ้นส่วนมาประกอบเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงดังรูปที่ 3.53 และ 3.54 ตามลำดับ







รูปที่ 3.54 การประกอบชิ้นงาน (2)

รูปที่ 3.53 การประกอบชิ้นงาน (1)

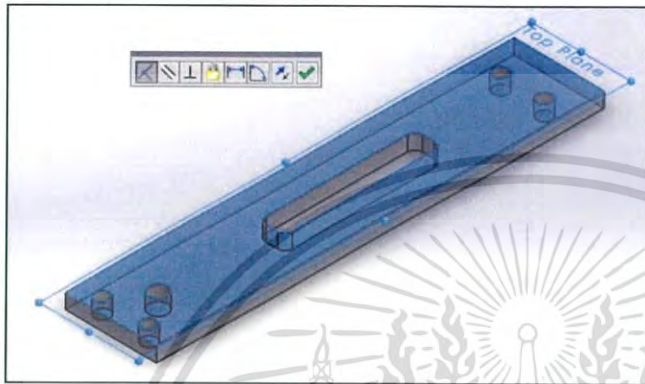
2. วิธีการประกอบชิ้นงานโดยใช้  เป็นการแสดงตำแหน่งต่างๆบนชิ้นงานที่เราต้องการจะนำมาประกอบด้วยกันตามตารางที่ 3.1

	เป็นการประกอบแบบประกบกันหรือเสมอกัน
	เป็นการประกอบกันแบบ ขนานกัน
	เป็นการประกอบกันแบบ ทำมุมกันตามองศาที่กำหนด
	เป็นการประกอบกันแบบ สัมผัสกัน เช่น สวนโค้งสัมผัสกับสวนโค้ง
	เป็นการประกอบกันแบบร่วมศูนย์กลาง
	เป็นการประกอบกันแบบล็อกให้อยู่กับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Distance เป็นข้อสำหรับกรอกกำหนดระยะเยื้องที่ต้องการ
	Angle เป็นข้อสำหรับกรอกค่าองศาที่ต้องการ
	เป็นการกำหนดผิวชิ้นงานให้มีระนาบเดียวกัน
	เป็นการกำหนดผิวชิ้นงานให้มีระนาบตรงข้ามเดียวกัน

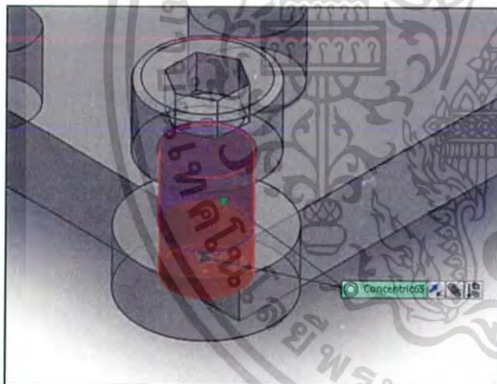
ตารางที่ 3.1 ตารางเครื่องมือสำหรับการประกอบชิ้นงาน



3. Mesh พื้นฐานรองเครื่องยนต์
สเตอร์ลิงกับ Top Plane แบบ



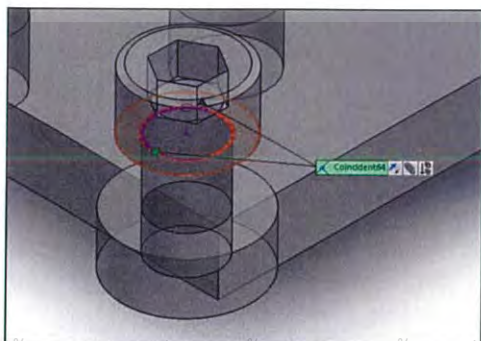
รูปที่ 3.55 การประกอบชิ้นงาน (3)



4. Mesh น็อตยึดฐานกับรูน็อตฐานรอง
เครื่องยนต์สเตอร์ลิง แบบ



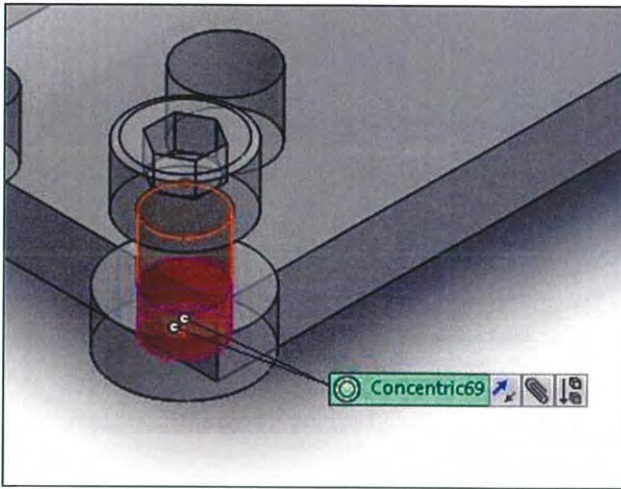
รูปที่ 3.56 การประกอบชิ้นงาน (4)




5. Mesh ด้านล่างน็อต(พื้นที่สีส้ม)กับขอบรูน็อต
(วงกลมสีม่วง) แบบ และทำการ Mesh
กับน็อตยึดฐานที่เหลือด้วยวิธีการเดียวกัน

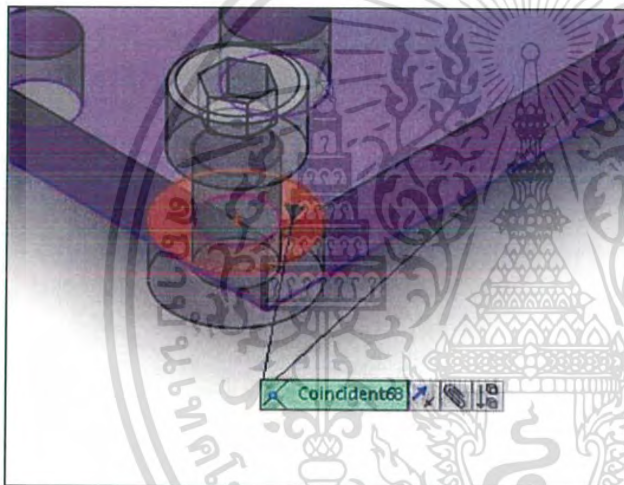



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.57 การประกอบชิ้นงาน (5) ไม่ว่าจะพิมพ์ ฟังสั่น ออกพิมพ์ ไม่ผิดแต่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



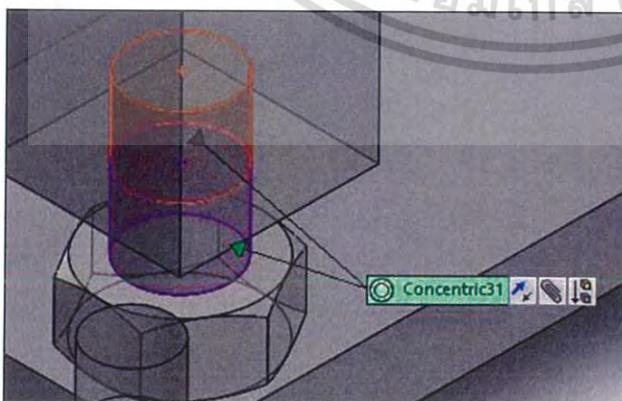
6. Mesh ฐานยึดน็อตตรงฐาน
เครื่องยนต์สเตอร์ลิง(พื้นที่สีม่วง)
กับน็อตยึดฐาน แบบ 


รูปที่ 3.58 การประกอบชิ้นงาน (6)



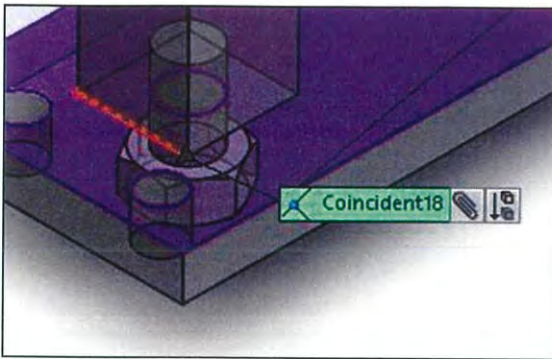
7. Mesh ฐานยึดน็อต(สีส้ม)กับ
ฐานรองเครื่องยนต์สเตอร์ลิง(สี
ม่วง) แบบ  และทำการ
Mesh ฐานยึดน็อตตรงฐานที่
เหลือแบบเดียวกัน

รูปที่ 3.59 การประกอบชิ้นงาน (7)



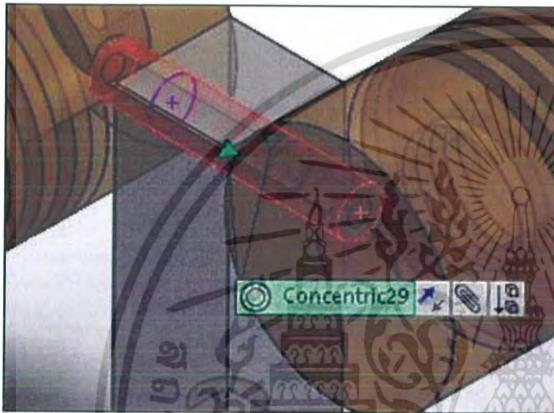
8. Mesh ฐานรอง Flywheel (สี
ส้ม) กับฐานรองเครื่องยนต์
สเตอร์ลิง (สีม่วง) แบบ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.60 การประกอบชิ้นงาน (8) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



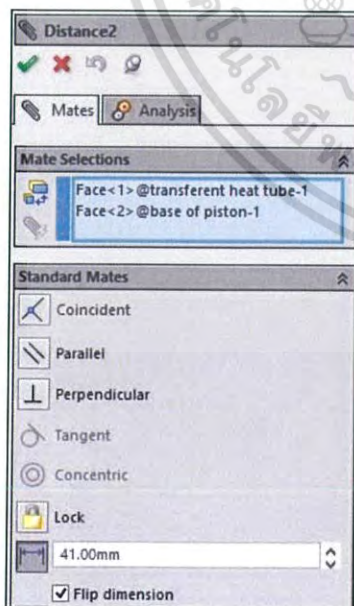
รูปที่ 3.61 การประกอบชิ้นงาน (9)

9. Mesh ขอบฐานรองเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (สีส้ม) กับพื้นฐานรองเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (สีม่วง) แบบ 

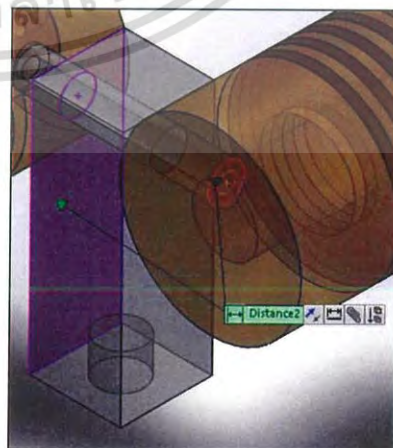


รูปที่ 3.62 การประกอบชิ้นงาน (10)

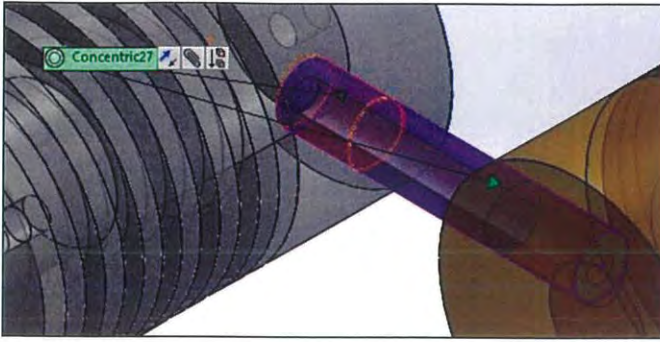
10. Mesh ฐานรอง Flywheel (สีม่วง) กับพื้นผิวท่อส่งผ่านอากาศ (สีส้ม) แบบ 




11. Mesh พื้นผิวฐานรอง Flywheel (สีม่วง) กับปลายท่อส่งอากาศ (สีส้ม) แบบ  ด้วยระยะห่าง 41 mm

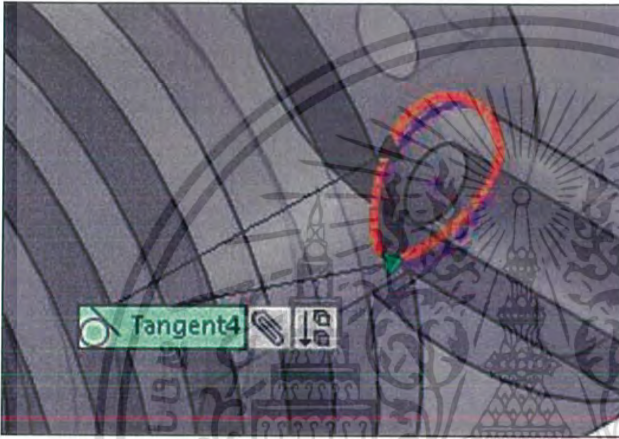


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.63 การประกอบชิ้นงาน (11) รูปที่ 3.4 การประกอบชิ้นงาน (12)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



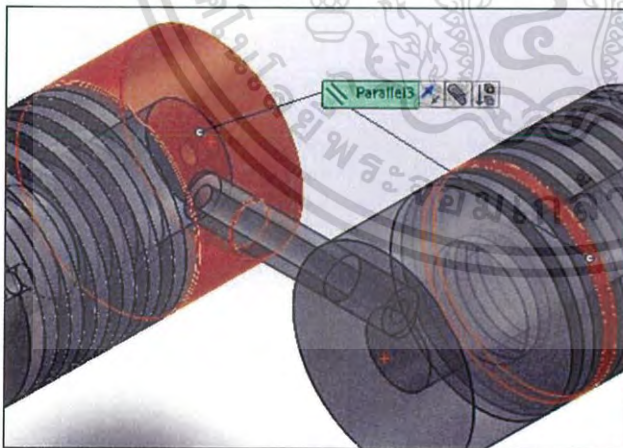
12. Mesh พื้นผิวท่อส่งอากาศ (สีม่วง) กับรูเชื่อมต่อกับท่อส่งอากาศของฮีทซิงคิสเพลสเซอร์ (สีส้ม) แบบ 

รูปที่ 3.65 การประกอบชิ้นงาน (13)



13. Mesh ขอบท่อส่งอากาศ (สีม่วง) กับขอบรูเชื่อมต่อกับท่อส่งอากาศของฮีทซิงคิสเพลสเซอร์ด้านใน (สีส้ม) แบบ 

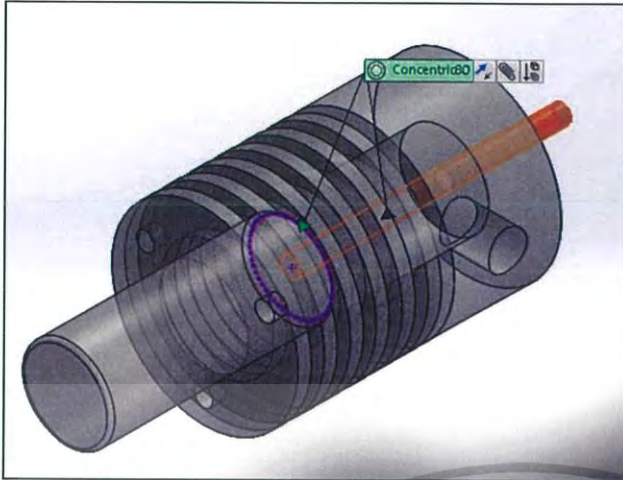
รูปที่ 3.66 การประกอบชิ้นงาน (14)




14. Mesh พื้นผิวฮีทซิงของกระบอกสูบทั้ง 2 ฝั่งให้ขนาดกันด้วย 

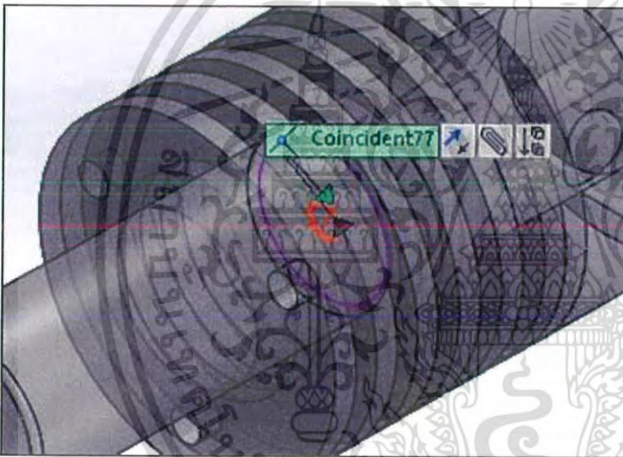
รูปที่ 3.67 การประกอบชิ้นงาน (15)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



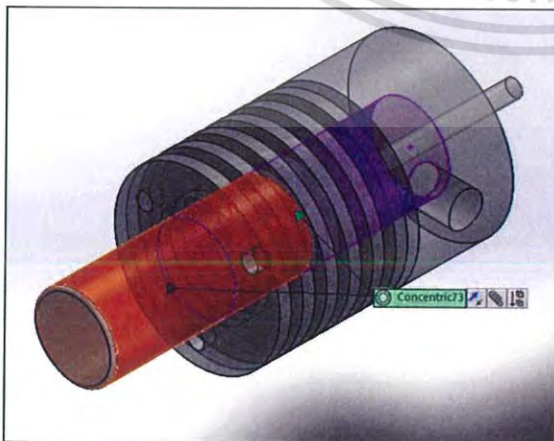
15. Mesh ขอบลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (สีม่วง) กับพื้นผิวแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (สีส้ม) แบบ 


รูปที่ 3.68 การประกอบชิ้นงาน (16)



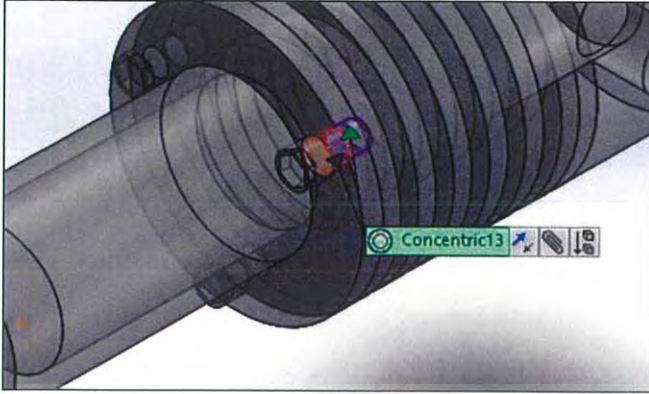
16. Mesh ขอบลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (สีม่วง) กับ ขอบปลายแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์ แบบ 

รูปที่ 3.69 การประกอบชิ้นงาน (17)



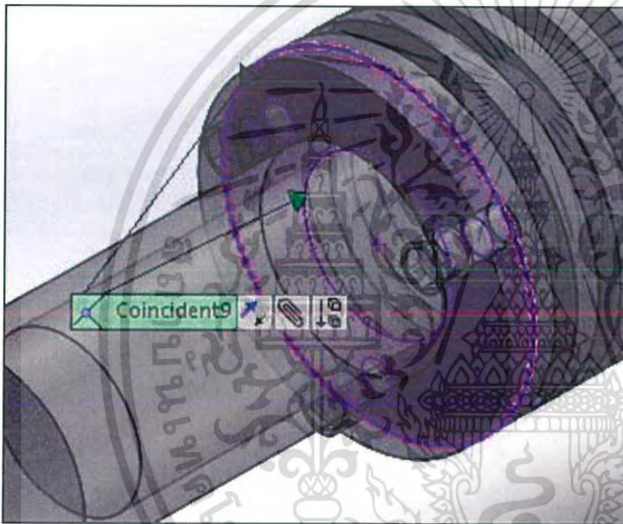
17. Mesh พื้นผิวภายในของฮีทซิงค์กระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (สีม่วง) กับพื้นผิวกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ (สีส้ม) แบบ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.70 การประกอบชิ้นงาน (18)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



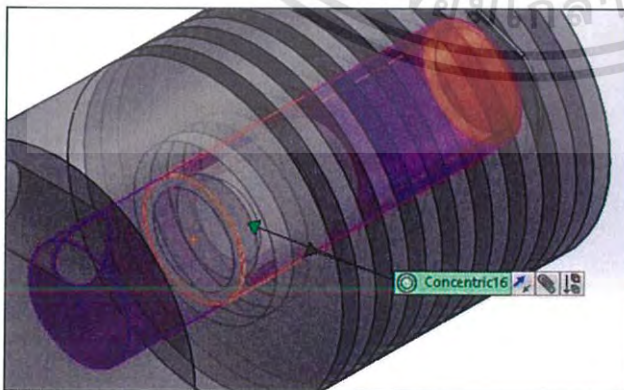
18. Mesh รุยดีฮีทซิงกับกระบอก
 สูบดิสเพลสเซอร์ทั้ง 3 รูปแบบ
 ☐

รูปที่ 3.71 การประกอบชิ้นงาน (19)



19. Mesh พื้นผิวปลายกระบอก
 สูบดิสเพลสเซอร์ (สีส้ม) กับ
 พื้นผิวฐานฮีทเตอร์ (สีม่วง) แบบ
 ☐

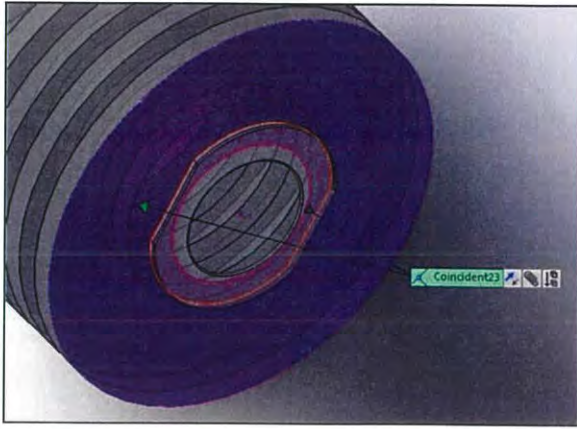
รูปที่ 3.72 การประกอบชิ้นงาน (20)




20. Mesh พื้นผิวภายในของฮีทซิงค์
 ระบายสูบกกำลัง (สีม่วง) กับ
 พื้นผิวแก็วรองลูกสูบกกำลัง (สีส้ม)
 แบบ ☐

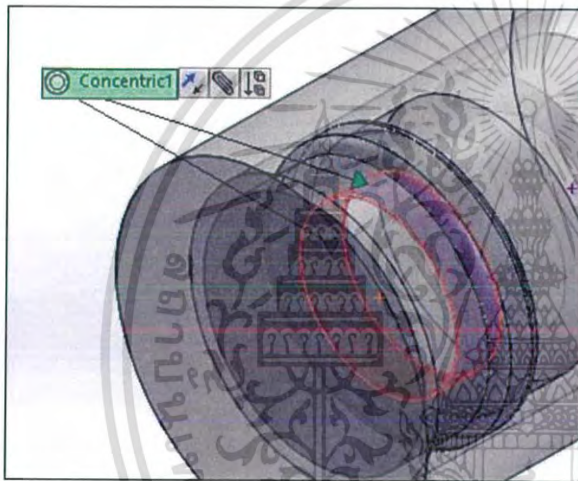
รูปที่ 3.73 การประกอบชิ้นงาน (21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



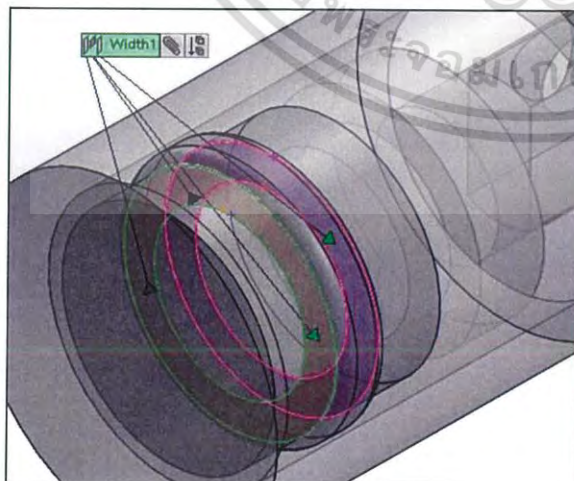
21. Mesh พื้นผิวปลายฮีทเตอร์ของ ครอบสูบกำลัง (สีม่วง) กับ ฐาน ด้านในของแก๊วรองลูกสูบกำลัง (สี ส้ม) แบบ 

รูปที่ 3.74 การประกอบชิ้นงาน (22)



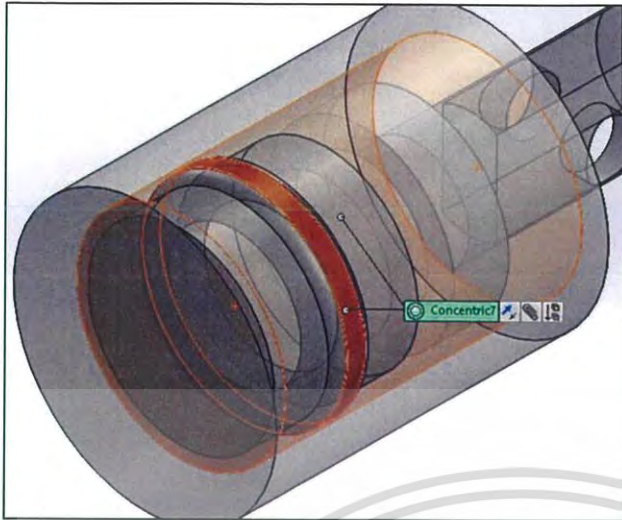
22. Mesh พื้นผิวของโอริงด้านใน (สีม่วง) กับร่องใส่โอริงของลูกสูบกำลัง (สีส้ม) แบบ 

รูปที่ 3.75 การประกอบชิ้นงาน (23)



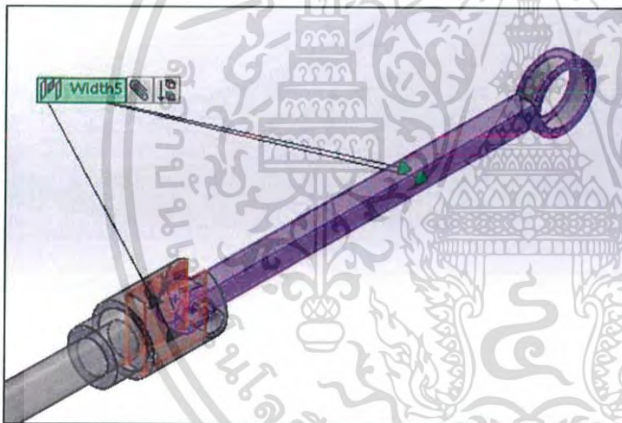
23. Mesh พื้นผิวด้านข้างของโอริงกับ พื้นผิวร่องใส่โอริงของลูกสูบกำลังและ ทำการ Mesh โอริงอีกรวงด้วยวิธี เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.76 การประกอบชิ้นงาน (24)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ไปยังสื่อใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



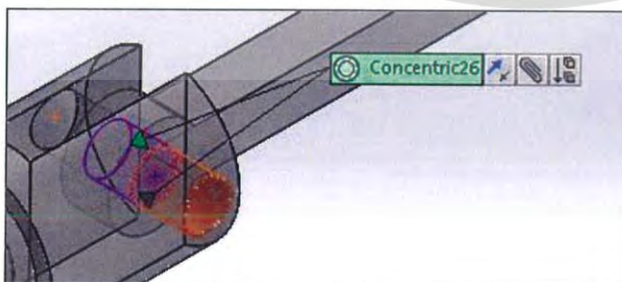
24. Mesh พื้นผิวโอรังกับพื้นผิวภายในของแฉกรองลูกสูบกำลัง

รูปที่ 3.77 การประกอบชิ้นงาน (25)



25. Mesh พื้นผิวด้านข้างข้อเหวี่ยงของลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ (สีม่วง) กับพื้นผิวที่เชื่อมแกนกับข้อเหวี่ยง (สีส้ม)

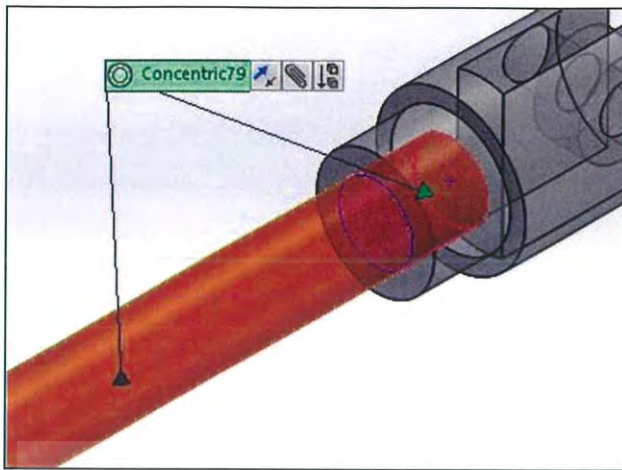
รูปที่ 3.78 การประกอบชิ้นงาน (26)




26. Mesh รูที่เชื่อมแกน (สีม่วง) กับรูข้อเหวี่ยง (สีส้ม) แบบ  และทำการ Mesh แบบเดียวกับข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง

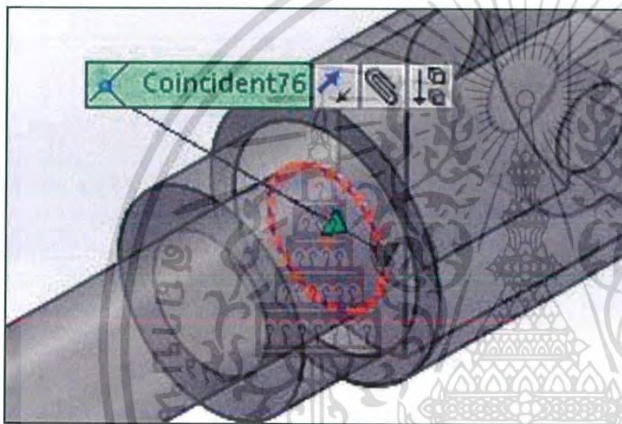
รูปที่ 3.79 การประกอบชิ้นงาน (27)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



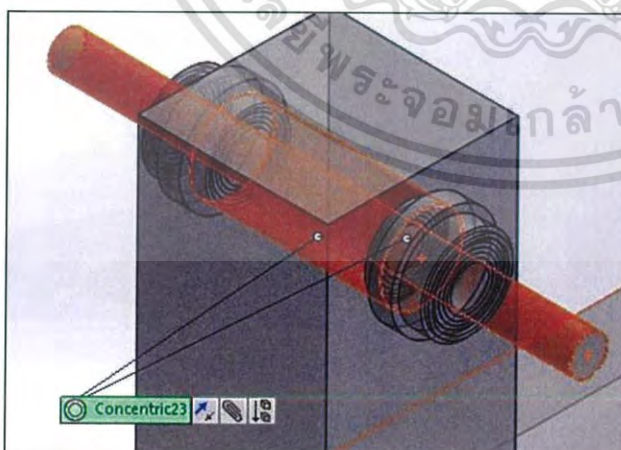
27. Mesh พื้นผิวแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (สีส้ม) กับขอบของรูเชื่อมแกน (สีม่วง) แบบ 

รูปที่ 3.80 การประกอบชิ้นงาน (28)



28. Mesh ขอบของแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (สีส้ม) กับขอบของที่เชื่อมแกน (สีม่วง) แบบ  และ

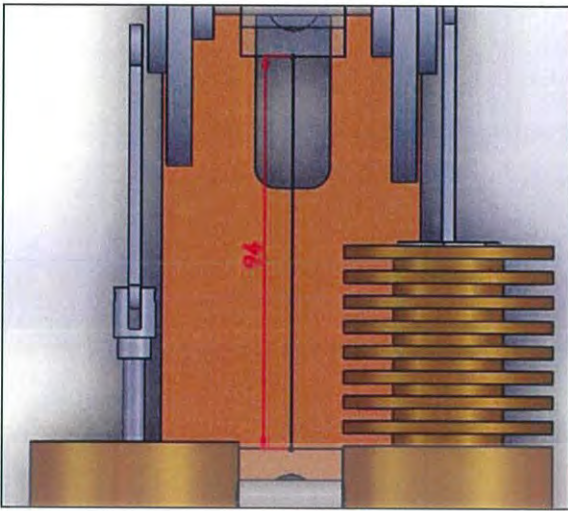
รูปที่ 3.81 การประกอบชิ้นงาน (29)



29. Mesh แกนรองรับ Flywheel กับฐานรองรับ Flywheel แบบ 

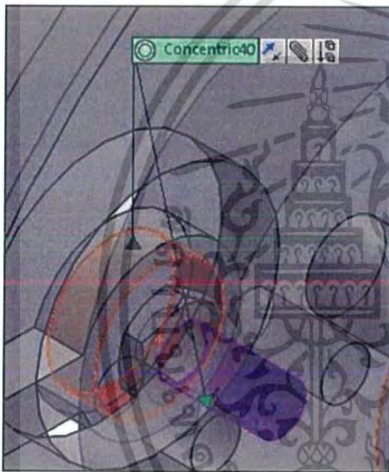
รูปที่ 3.82 การประกอบชิ้นงาน (30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



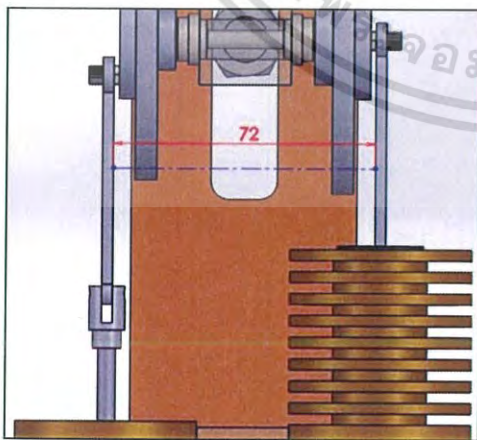
30. Mesh ระยะห่างระหว่างฐานรองรับ
กระบอกสูบ และ ฐานรองรับ
Flywheel ที่ระยะห่างกัน 94 mm

รูปที่ 3.83 การประกอบชิ้นงาน (31)



31. Mesh Flywheel ทั้ง 2 ข้างที่ระยะซ้กที่ 2

รูปที่ 3.84 การประกอบชิ้นงาน (32)

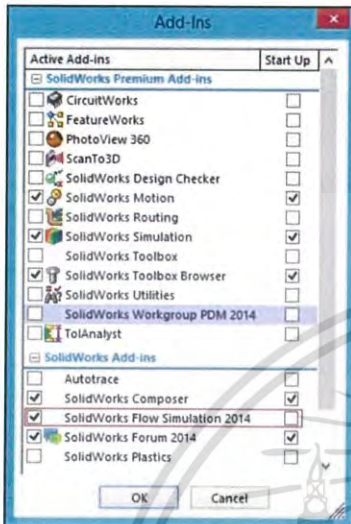


32. ระยะห่างระหว่างพื้นผิวภายในของข้อเหวี่ยง
ลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์และลูกสูบกำลังมีระยะห่าง
72 mm

รูปที่ 3.85 การประกอบชิ้นงาน (33)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามไว้แล้วเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


การจำลองการไหล (Flow Simulation)

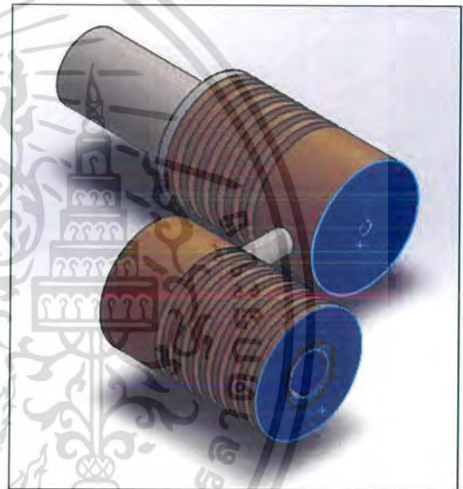
การจำลองการไหลเป็นการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์เพื่อผลลัพธ์ของการไหลของของเหลวและการถ่ายเทความร้อนโดยใช้โปรแกรม Solidwork



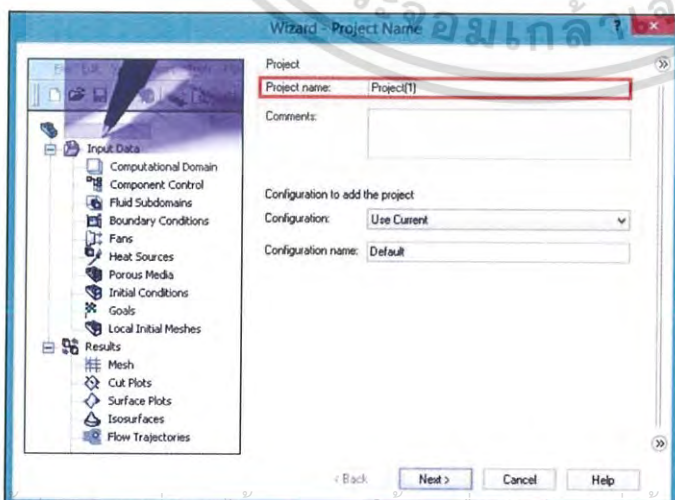
1. เปิดโปรแกรม Solidworks
2. ใต้ Tool bar คลิก **Add-Ins...** ในช่อง **Options** จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.87 C6eck ในช่อง Solidworks Flow Simulation ในกรณีที่ไม่มี Solidwork Flow Simulation แล้วคลิก OK ให้สังเกตดูด้านบนจะปรากฏที่ Tool bar


รูปที่ 3.86 การ Flow Simulation (1)

3. เปิดชิ้นงานที่ต้องการจำลองการทำงาน
4. คลิก  เลือกพื้นผิวในบริเวณที่เปิดเพื่อจำกัดขอบเขตในการวิเคราะห์อัตราการไหลของอากาศ

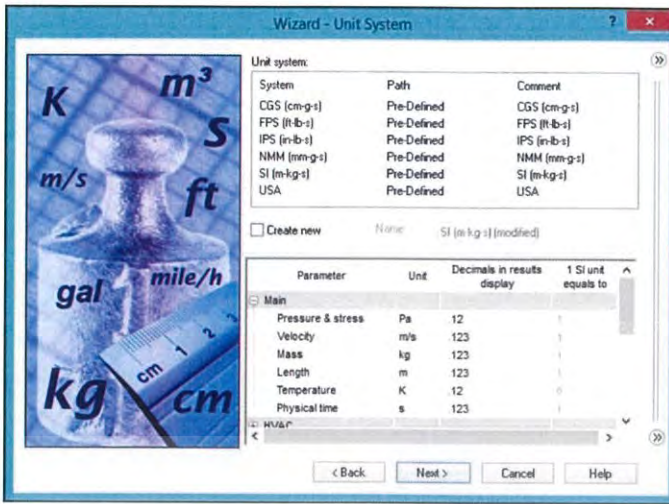


รูปที่ 3.87 การ Flow Simulation (2)



5. คลิก  **Wizard** เพื่อตั้งค่าการทำงานของ Flow Simulation เริ่มจากตั้งชื่อชิ้นงานดังรูปที่ 3.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 3.88 การ Flow Simulation (3) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



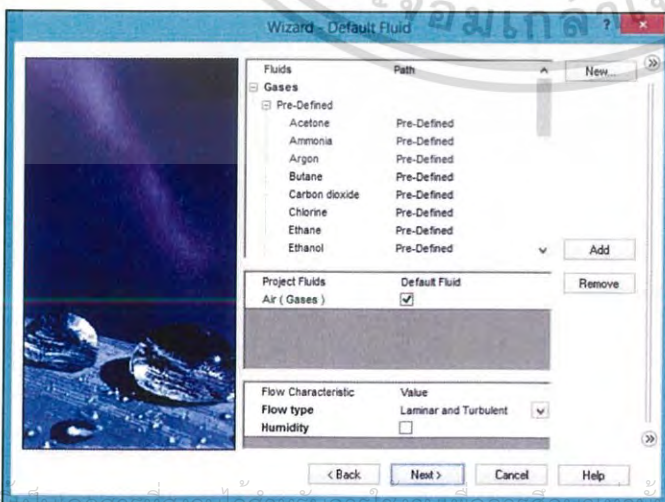
6. กำหนดหน่วยที่ใช้ในช่อง Unit systems

รูปที่ 3.89 การ Flow Simulation (4)



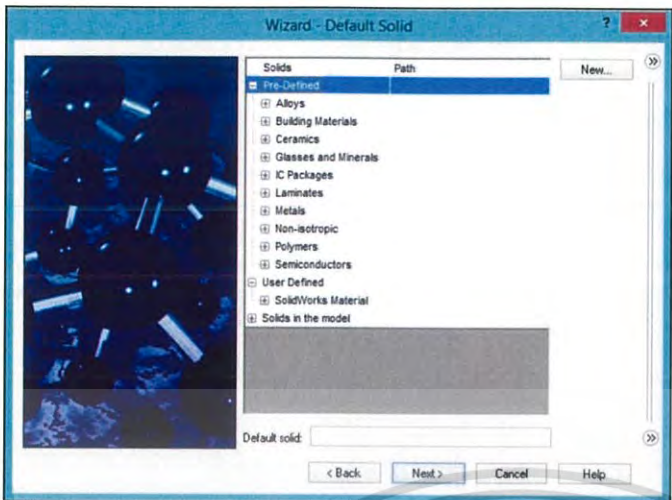
7. เลือกชนิดในการวิเคราะห์ เลือก internal ได้ Analysis Type ได้ Consider closed cavities เคลือบ Exclude cavities without flow conditions

รูปที่ 3.90 การ Flow Simulation (5)



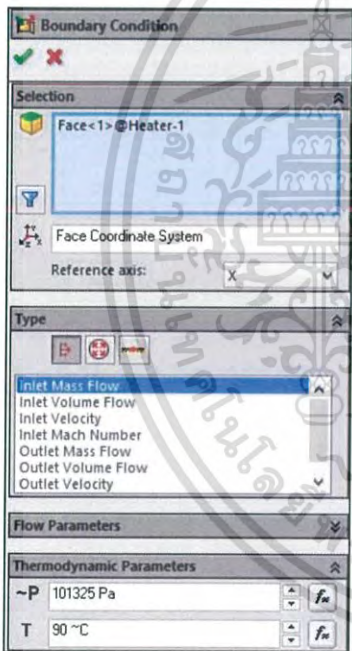
8. เลือกชนิดของไหลที่ต้องการวิเคราะห์ให้กับระบบ คลิก add จะเลื่อนชนิดของไหลไป ได้ Project Fluids

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การสงวนสิทธิ์ในการใช้โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 3.91 การ Flow Simulation (6) ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

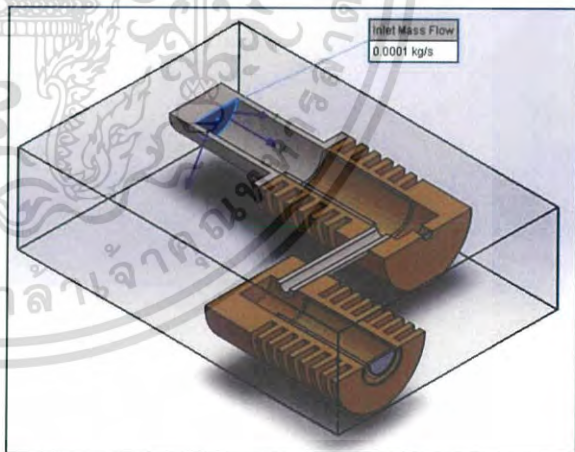


9. เลือกวัสดุสำหรับการวิเคราะห์ชิ้นงาน

รูปที่ 3.92 การ Flow Simulation (7)



10. คลิกขวาที่ Boundary Conditions เลือก Insert Boundary Condition จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.93 กำหนดขอบเขตอากาศไหลเข้ามาทางด้านฮีตเตอร์ด้วยมวล 0.0001 kg/s ที่อุณหภูมิ 90 °C ดังรูปที่ 3.94 เลือกพื้นผิวเพื่อให้อากาศไหลเข้า

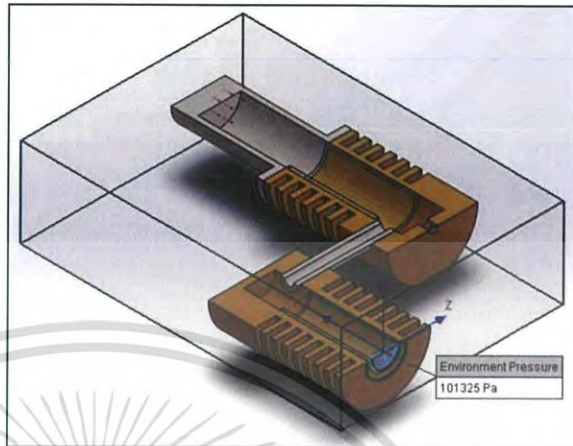
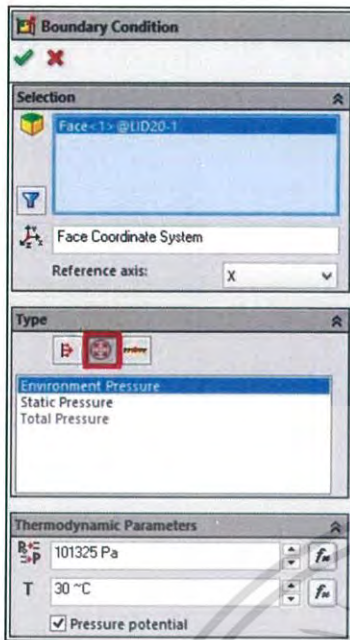


รูปที่ 3.93 การ Flow Simulation (8)

รูปที่ 3.94 การ Flow Simulation (9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

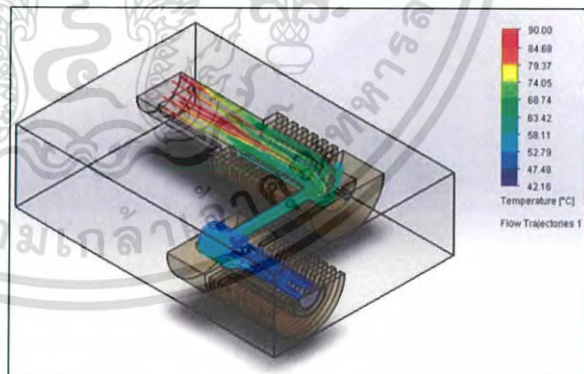
11. กำหนดขอบเขตของอากาศไหลในช่อง Type เลือก Pressure Openings ดังรูปที่ 3.95 เลือกพื้นผิวเพื่อให้ อากาศไหลออกดังรูปที่ 3.96



รูปที่ 3.96 การ Flow Simulation (11)

รูปที่ 3.95 การ Flow Simulation (10)

12. ทำการ Run โดยคลิก  โปรแกรมจะทำการคำนวณ แล้วคลิกขวาที่ Flow Trajectories เลือก Insert เลือก พื้นผิวที่ให้อากาศไหลเข้าออกเพื่อสร้าง Pattern ให้ อากาศไหลตามทิศทาง



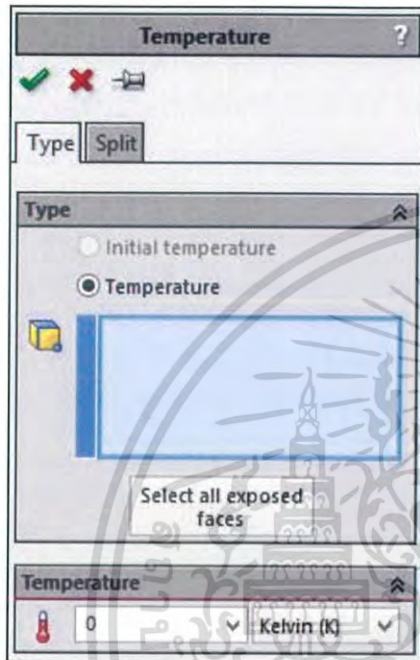
รูปที่ 3.97 การ Flow Simulation (12)

รูปที่ 3.98 การ Flow Simulation (13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


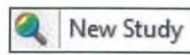
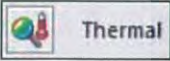

การวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal Simulation)

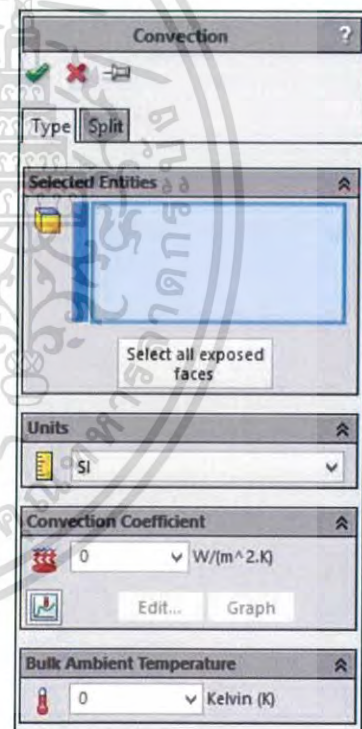
Thermal Simulation เป็นเครื่องมือเพื่อศึกษาการจำลองการนำความร้อนพื้นฐานของระบบหรือเครื่องจักรเมื่อได้รับแหล่งความร้อนจากภายนอกเพื่อดูผลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานตามวัสดุที่เราเลือกในการวิเคราะห์



รูปที่ 3.99 การ Thermal Simulation (1)

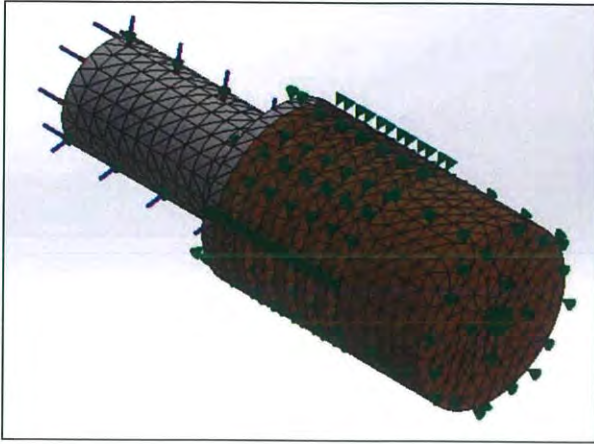
- กำหนดค่าความนำความร้อน  **Convection...** โดยเลือกชิ้นงานที่เราต้องการให้ความร้อนผ่านแล้วกำหนดค่าความนำความร้อนตามความสามารถของวัสดุในช่อง Convection Coefficient


- คลิก  บน Tool bar ในช่อง Simulation เลือก  **New Study** →  **Thermal**
- คลิกขวาที่ Thermal Loads เลือก  **Temperature...** เพื่อให้ความร้อนกับชิ้นงานบนผิวที่ถูกเลือกแล้วกำหนดอุณหภูมิดังรูปที่ 3.98



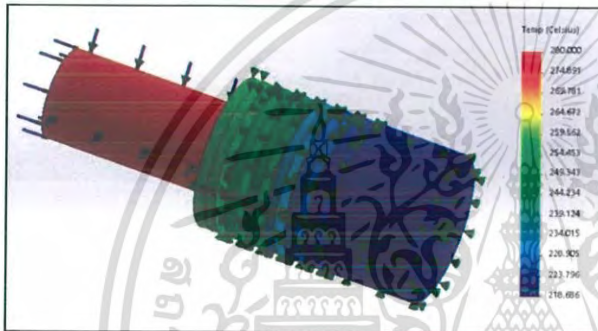
รูปที่ 3.100 การ Thermal Simulation (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. คลิกขวาที่  Mesh เลือก create mesh โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ชิ้นงานโดยแบ่งชิ้นงานออกเป็นหลาย ๆ ส่วนคล้ายตาข่ายค่า mesh มากความละเอียดในการวิเคราะห์จะมากขึ้นตาม

รูปที่ 3.101 การ Thermal Simulation (3)



5. คลิก  โปรแกรมทำการคำนวณแล้วจะแสดงอุณหภูมิเป็นแถบสีต่างๆ

รูปที่ 3.102 การ Thermal Simulation (4)

3.3 ส่วนประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแก๊สแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่

3.3.1 เครื่องมือสำหรับการสร้างชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1. เครื่องกลึง (Lathe Machine) ใช้สำหรับขึ้นรูปร่างชิ้นงานที่มีลักษณะทรงกลมหรือทรงกระบอก เช่น กระบอกสูบกำลังและกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ หรือชิ้นส่วนต่างๆที่ทำได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.103 เครื่องกลึง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่องกลึง

1. หัวจับชิ้นงาน (Head Stock)
2. แท่นวางใบมีด (Carriage)
3. ยันศูนย์ท้าย (Tail Stock)
4. ระบบป้อน (Feed Mechanism)
5. ฐานเครื่องกลึง (Bed)

2. เครื่องเจาะรู (Metal Drill) ใช้สำหรับเจาะรูชิ้นงานที่ไม่สามารถจับด้วยเครื่องกลึงได้



รูปที่ 3.104 เครื่องเจาะ (Metal Drill)

3. เครื่องกัดโลหะ (Milling Machine) ใช้สำหรับกัดชิ้นที่ต้องการชิ้นงานเป็นรูปเหลี่ยมหรือกัดผิวหน้าให้เล็ดลงหรือเรียบ



รูปที่ 3.105 เครื่องกัดโลหะ (Milling Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 3.105 เครื่องกัดโลหะ (Milling Machine) สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 อุปกรณ์สำหรับการสร้าง



รูปที่ 3.106 ครอบลูกสูบกำลัง

ขนาดครอบลูกสูบกำลัง

ความยาวของครอบลูกสูบกำลัง

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

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกครอบลูกสูบกำลัง

$$V_{Cy,p} = A_p l_{Cy,p} = 50 \quad \text{mm}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในครอบลูกสูบกำลัง

$$d_{Cy,p} = 18 \quad \text{mm}$$



รูปที่ 3.107 ครอบลูกสูบดีเซลเซอร์

ขนาดครอบลูกสูบดีเซลเซอร์

ความยาวครอบลูกสูบดีเซลเซอร์

$$l_{Cy,p} = 15 \quad \text{mm}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกครอบลูกสูบดีเซลเซอร์

$$d_{Cy,d} = 50 \quad \text{mm}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในครอบลูกสูบดีเซลเซอร์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.108 ท่อส่งอากาศ

ขนาดท่อส่งอากาศ

ความยาวท่อส่งอากาศ

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

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อส่งอากาศ

$$d_{out,tube} = 10 \quad \text{mm}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อส่งอากาศ

$$d_{in,tube} = 3 \quad \text{mm}$$



รูปที่ 3.109 ข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง

ขนาดข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง

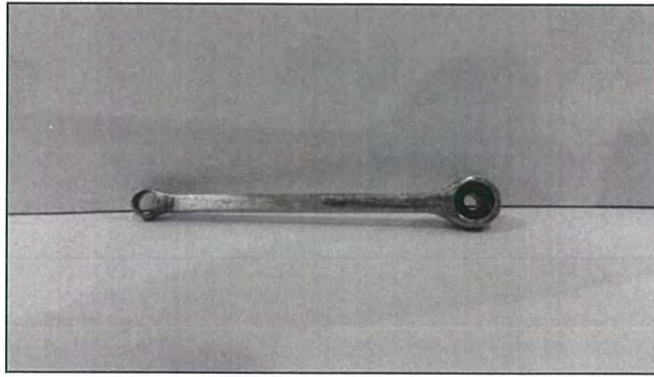
ความยาวข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง

$$l_F = 89.2 \quad \text{mm}$$

ความหนาข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง

$$3 \quad \text{mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.110 ข้อเหวี่ยงลูกสูบดิสเพลสเซอร์

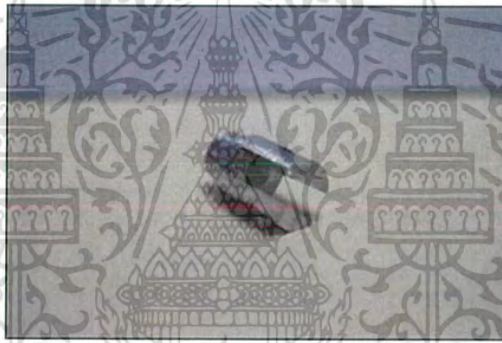
ขนาดข้อเหวี่ยงลูกสูบดิสเพลสเซอร์

ความยาวข้อเหวี่ยงลูกสูบดิสเพลสเซอร์

$$l_f = 68 \quad \text{mm}$$

ความหนาข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง

$$3 \quad \text{mm}$$

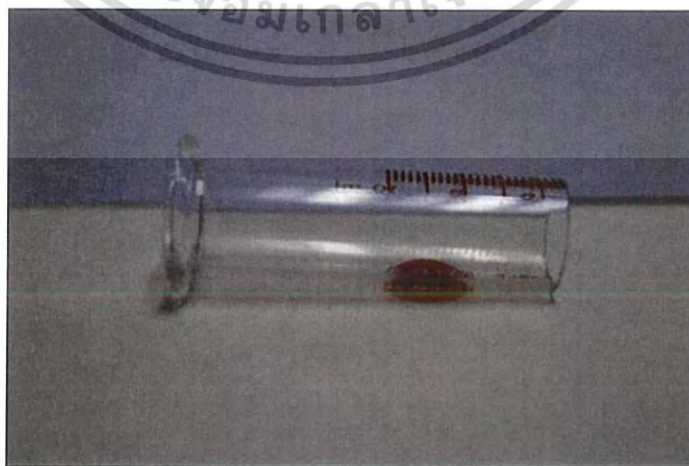


รูปที่ 3.111 เชื่อมแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์

ขนาดเชื่อมแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเชื่อมแกนลูกสูบดิสเพลสเซอร์

$$5 \quad \text{mm}$$



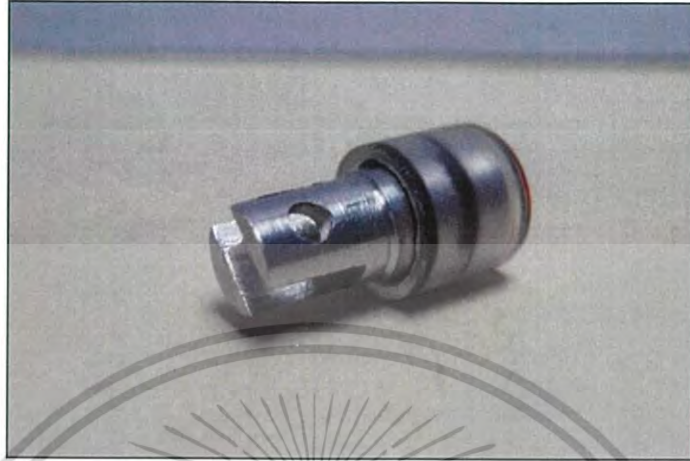
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแต่งเนื้อหาหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.112 แก้วรองลูกสูบกำลัง

ขนาดแก้วรองลูกสูบกำลัง

ใช้ Hypodermic SYRINGE ปริมาตร
ความยาวแก้วรองลูกสูบกำลัง

10 ml
50 mm



รูปที่ 3.113 ลูกสูบกำลัง

ขนาดลูกสูบกำลัง

ใช้ Hypodermic SYRINGE ปริมาตร
ความยาวลูกสูบกำลัง

10 ml
26 mm



รูปที่ 3.114 ลูกสูบดีเซลเซอร์

ขนาดลูกสูบดีเซลเซอร์

ใช้ Hypodermic SYRINGE ปริมาตร
ความยาวลูกสูบดีเซลเซอร์
ความยาวก้านสูบดีเซลเซอร์

20 ml
 $l_d = 60$ mm
 $l_{core,d} = 72$ mm

เส้นผ่านศูนย์กลางแกนดีเซลเซอร์

$d_{core} = 5$ mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.115 ฮีทเตอร์

ขนาดฮีทเตอร์

ความยาวฮีทเตอร์

$$l_{heat} = 62$$

mm

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของฮีทเตอร์

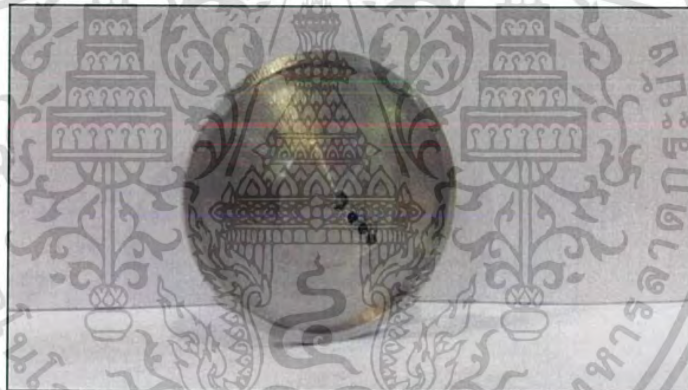
$$d_{in,ht} = 25$$

mm

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฮีทเตอร์

$$d_{out,ht} = 50$$

mm



รูปที่ 3.116 ล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง

ขนาดล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง

เส้นผ่านศูนย์กลาง

$$d_f = 80$$

mm

ความหนาล้อเกียร์กระตุ้นกำลัง

$$l_f = 15.50$$

mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ทดสอบและวิเคราะห์หาค่าความต่างอุณหภูมิ ในการเริ่มต้นการทำงานของ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแก๊มมาขนาดเล็ก แบบล้อยกเยอร์กระตุ้นกำลังคู่

การทดสอบการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยการให้ความร้อนที่ปลาย กระจกสูบดิสเพลสเซอร์เพื่อเพิ่มความดันภายในกระจกสูบดิสเพลสเซอร์ทำให้อากาศไปดันลูกสูบ ให้เคลื่อนที่และอาศัยแรงกระตุ้นจากล้อยกเยอร์กระตุ้นกำลังโดยให้แรงที่ล้อยกเยอร์กระตุ้นกำลังแล้วบันทึก ผลการทดลองโดยวัดค่า อุณหภูมิฝั่งร้อนที่ปลายกระจกสูบดิสเพลสเซอร์ อุณหภูมิฝั่งเย็นที่ปลาย กระจกสูบกำลังและความเร็วรอบซึ่งใช้แผ่นสะท้อนแสงที่แปะอยู่บนล้อยกเยอร์กระตุ้นกำลังในการวัด รอบ

3.4.1 อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ตะเกียงแอลกอฮอล์ (Alcohol Burner)



รูปที่ 3.117 ตะเกียงแอลกอฮอล์

2. เครื่องวัดความเร็วรอบ (Digital tachometer (Rang 10 to 99,999 RPM))



รูปที่ 3.118 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

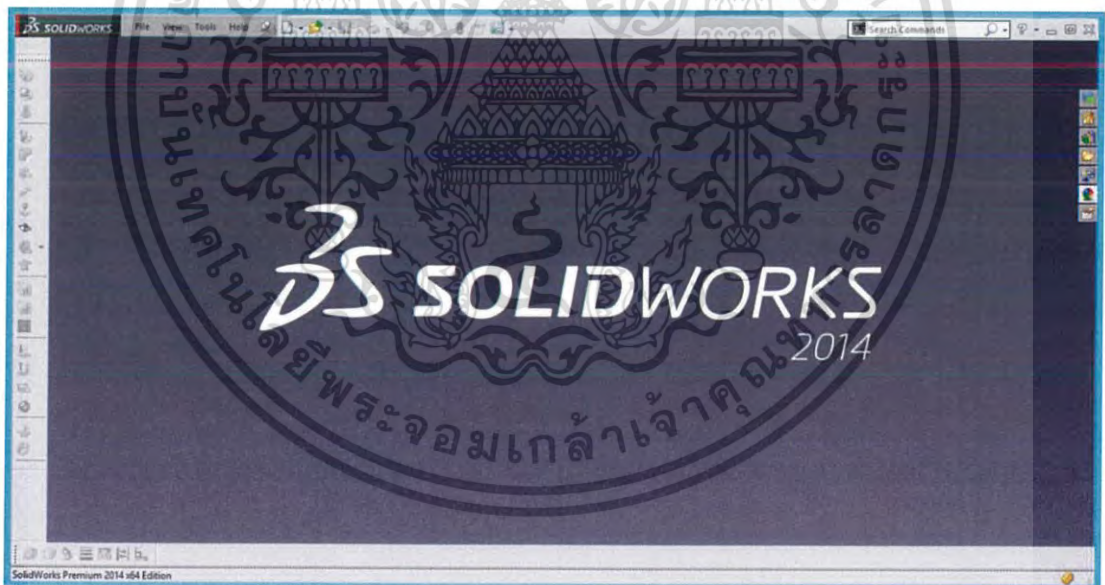
การทดสอบและการวิเคราะห์การออกแบบโมเดลเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ตอนได้แก่ การประกอบและการจำลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและการทดสอบทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบมีดังนี้

4.1 การประกอบและการจำลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

4.1.1 การวิเคราะห์การนำความร้อน

การวิเคราะห์การนำความร้อนเป็นการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุที่ออกแบบ โดยใช้วัสดุต่างชนิดเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุชนิดเดียวกันมาประกอบเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาขนาดเล็ก โดยการวิเคราะห์การนำความร้อนนี้เพื่อเป็นการวัดค่าอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรม Solidworks ซึ่งค่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยจะทำให้ทราบค่าอุณหภูมิที่ผนังวัสดุที่บริเวณต่างๆ ดังนี้

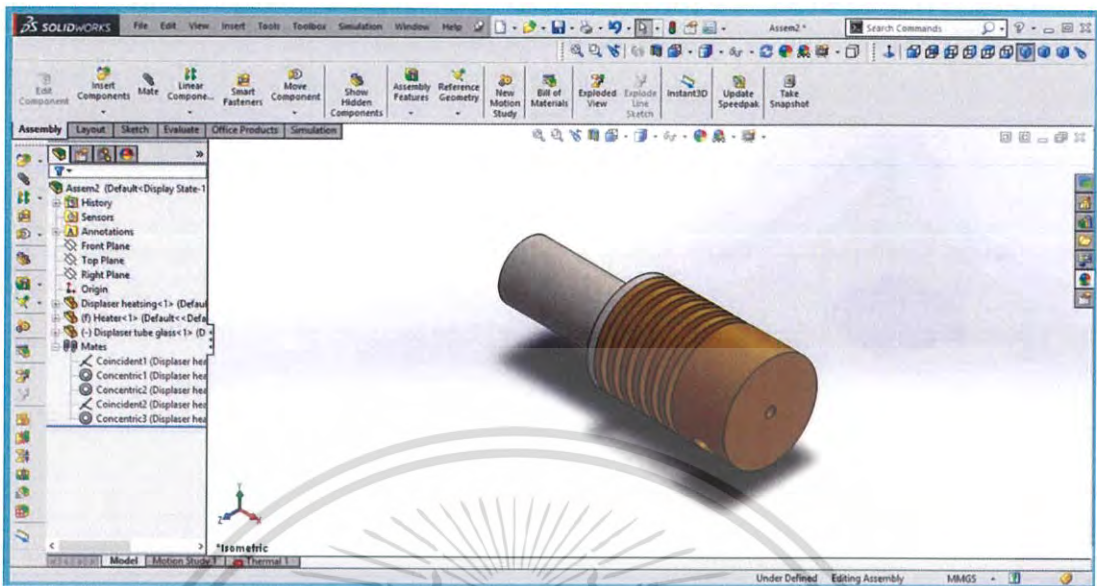
1. เปิดโปรแกรม solidworks



รูปที่ 4.1 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks

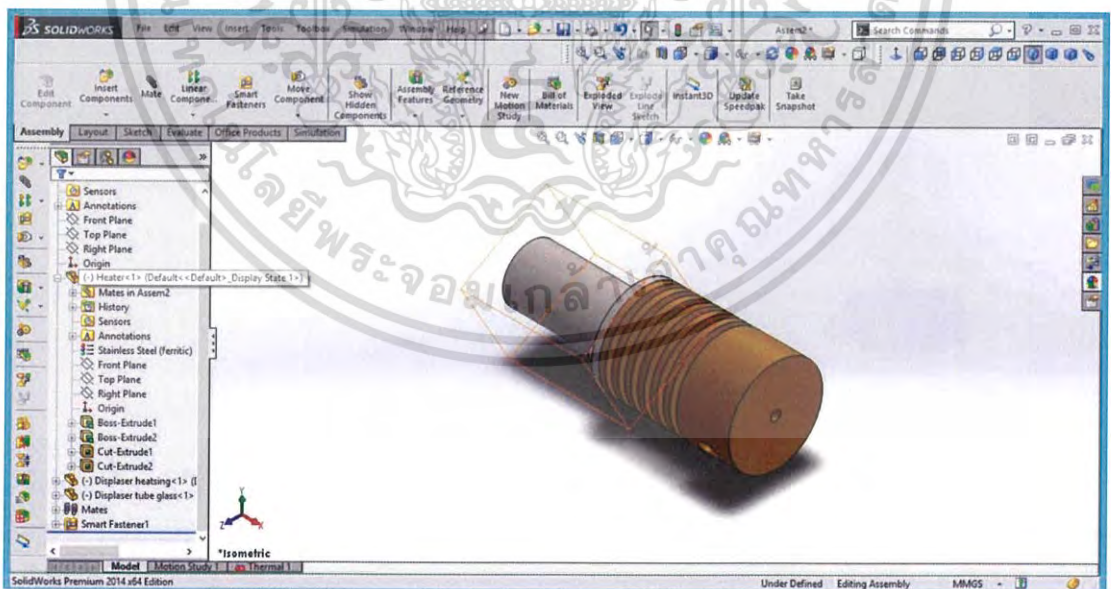
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือกชิ้นส่วนที่จะวิเคราะห์



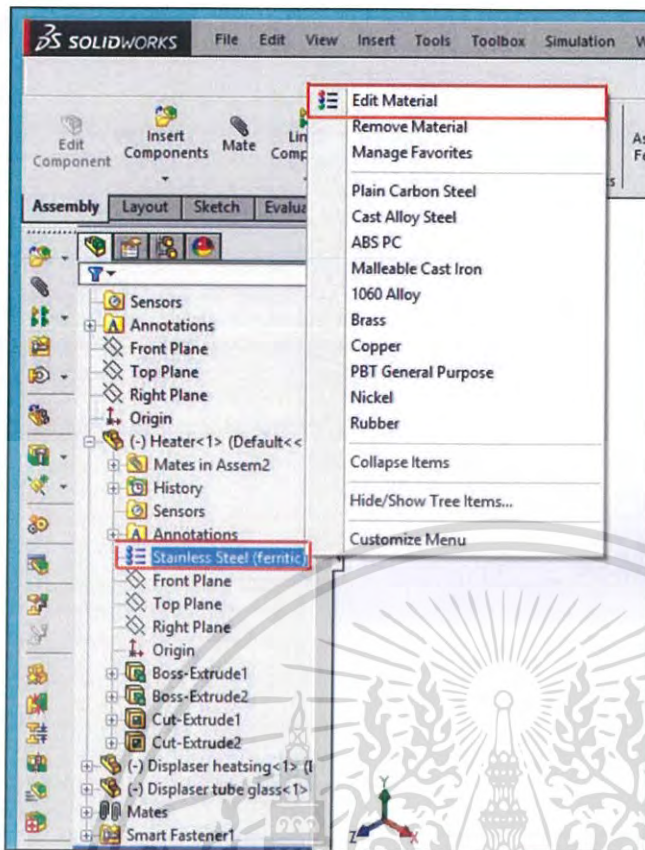
รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Solidworks ในการวิเคราะห์การนำความร้อนของ กระจกบอกลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์

3. กำหนดวัสดุให้กับชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์



รูปที่ 4.3 แสดงส่วนของฮีเตอร์และชนิดวัสดุที่เลือก

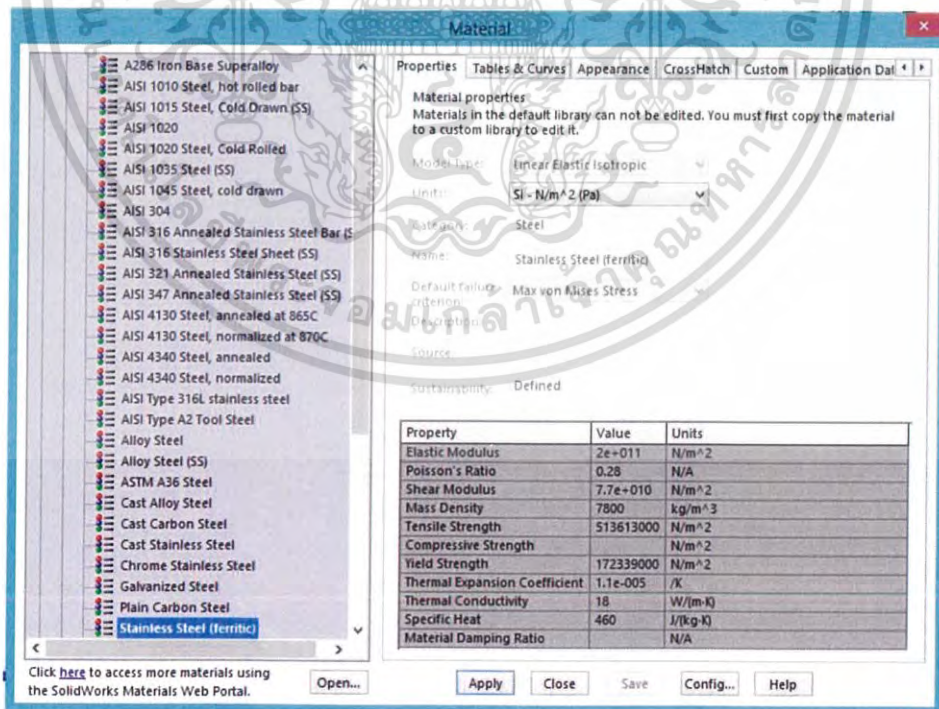
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. กำหนดวัสดุที่เลือก

1. คลิกขวาที่ Material
2. เลือก Edit Material

รูปที่ 4.4 กำหนดวัสดุ



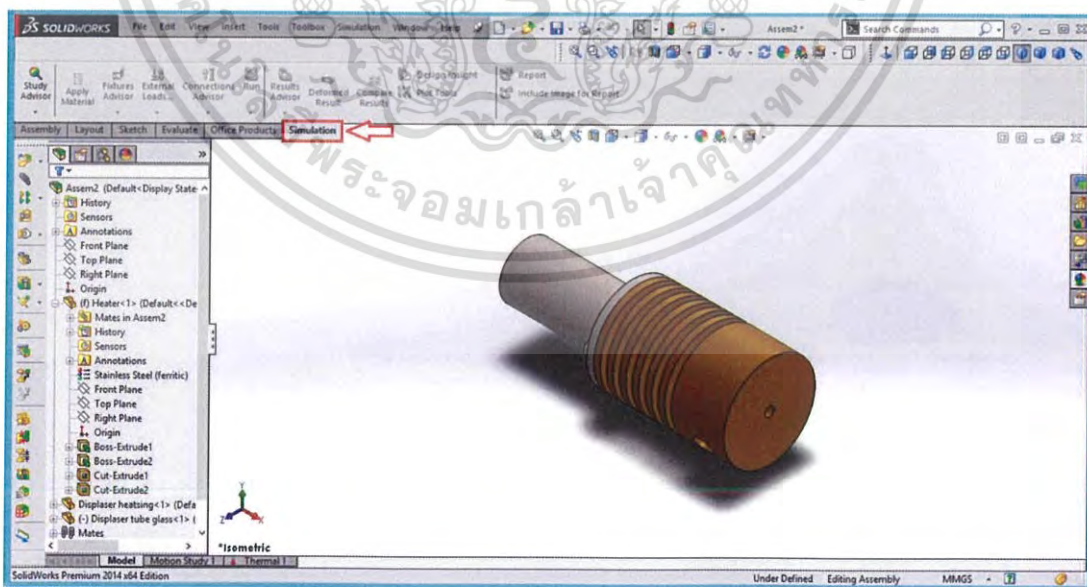
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 4.5 เลือกวัสดุที่นำมาใช้งาน อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2e+011	N/m ²
Poisson's Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	7.7e+010	N/m ²
Mass Density	7800	kg/m ³
Tensile Strength	513613000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	172339000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-005	/K
Thermal Conductivity	18	W/(m·K)
Specific Heat	460	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

รูปที่ 4.6 ตารางคุณสมบัติวัสดุ (สแตนเลส)






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	590	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

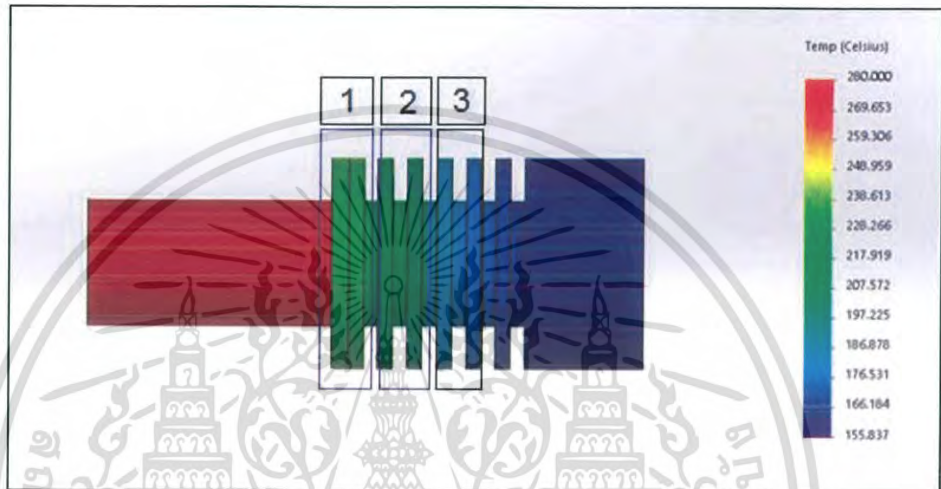
รูปที่ 4.7 ตารางคุณสมบัติวัสดุ (ทองเหลือง)



รูปที่ 4.8 แสดงหน้าต่างโปรแกรมในการ Simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Simulation การนำความร้อน ทำได้โดย เลือกที่คำสั่ง  New Study เลือก Thermal กำหนดให้ความร้อนกับส่วนของฮีตเตอร์ เลือก  Thermal Loads คลิก Temperature แล้วเลือกบริเวณพื้นผิวของฮีตเตอร์โดยกำหนดอุณหภูมิเป็น $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากนั้นกำหนดสภาพการนำความร้อนที่สภาพแวดล้อมด้านนอกที่สัมผัสกับผิวโดยรอบของวัสดุ โดยเลือก คำสั่ง  Thermal Loads คลิก  Convection ซึ่งเป็นการพาความร้อนของสภาพอากาศโดยรอบ ทำการกำหนดอุณหภูมิภายนอกเป็น $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีการถ่ายเทอากาศ  5 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ต่อมาทำการ Mesh Model แล้วให้โปรแกรมวิเคราะห์ผลของการนำความร้อน ได้ผลดังนี้



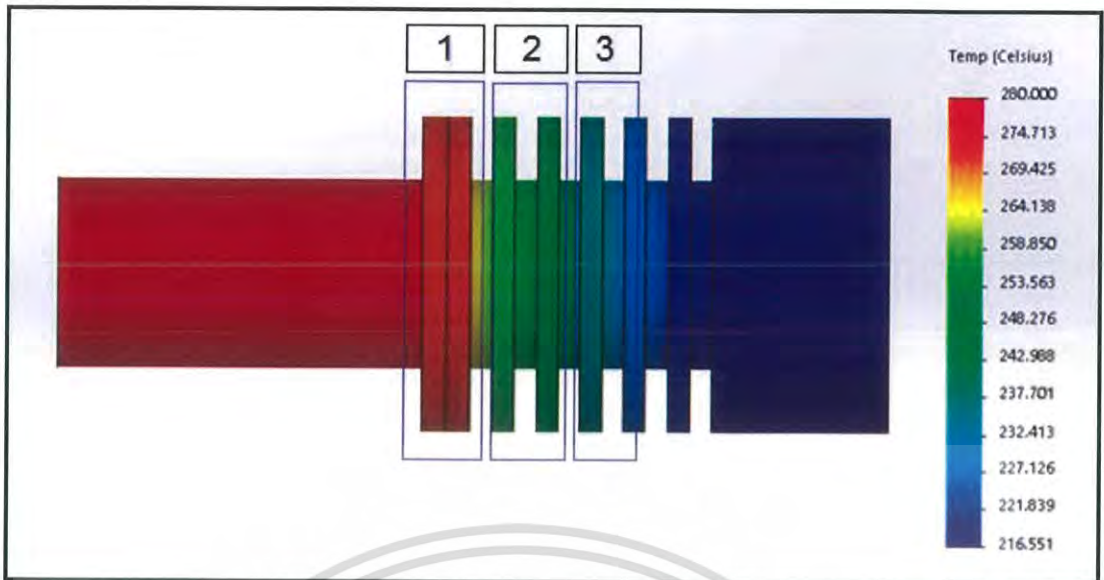
รูปที่ 4.9 แสดงผลการ Simulation การนำความร้อน (วัสดุต่างชนิด)

โปรแกรมจะทำการแสดงผลของความร้อนในรูปของเจดสีซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะทำการวัดอุณหภูมิของแต่ละจุดของชิ้นงานจากฮีตเตอร์จนถึงฝาปิด แบ่งออกเป็น 3 ระยะดังนี้

ตารางผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุต่างชนิดกัน

อุณหภูมิ $T_1\text{ }^{\circ}\text{C}$	อุณหภูมิ $T_2\text{ }^{\circ}\text{C}$	อุณหภูมิ $T_3\text{ }^{\circ}\text{C}$
262.630	199.196	187.524

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงผลการ Simulation การนำความร้อน (วัสดุชนิดเดียวกัน)

ตารางผลการวิเคราะห์การนำความร้อนของวัสดุชนิดเดียวกัน

อุณหภูมิ T_1 °C	อุณหภูมิ T_2 °C	อุณหภูมิ T_3 °C
271.475	250.756	232.999

จากผลการวิเคราะห์การนำความร้อนที่ผิววัสดุเบื้องต้นพบว่าเมื่อเราใช้วัสดุต่างชนิดกันมาต่อกันซึ่งจะมีค่าสภาพการนำความร้อนที่ต่างกัน ซึ่งเปรียบเสมือนการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมซึ่งมีความต้านทานไม่เท่ากันทำให้ความร้อนที่ไหลผ่านลดลงของอุณหภูมิดังผลการ Simulation การนำความร้อนซึ่งการนำความร้อนความร้อนจะไหลจากอุณหภูมิสูงไปต่ำเสมอ และการนำความร้อนของวัสดุที่เป็นชนิดเดียวกันนั้นจะไม่มีลดลงของอุณหภูมิอย่างมากเหมือนกับการใช้วัสดุต่างชนิดแต่จะเป็นการลดลงของอุณหภูมิตามระยะทางเท่านั้นจึงเกิดความต่างของอุณหภูมิไม่มาก ซึ่งจากการวิเคราะห์การนำความร้อนของโมเดลในการออกแบบซึ่งเป็นการใช้วัสดุต่างชนิดกันนั้นเกิดความต่างของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกัน ถึง 14°C

4.2 การทดสอบเชิงความร้อนหรือทางเทอร์โมไดนามิกส์

การทดสอบเชิงความร้อนหรือทางเทอร์โมไดนามิกส์จะมีการทดสอบดังนี้

4.2.1 การทดสอบระบบปิดและความสัมพันธ์ของความดันภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยลูกสูบดีสเพลสเซอร์เป็นอิสระจากลูกสูบกำลัง

4.2.2 มุมข้อเหวี่ยงที่มีผลต่อปริมาตรการบีบอัด และการขยายตัว ภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

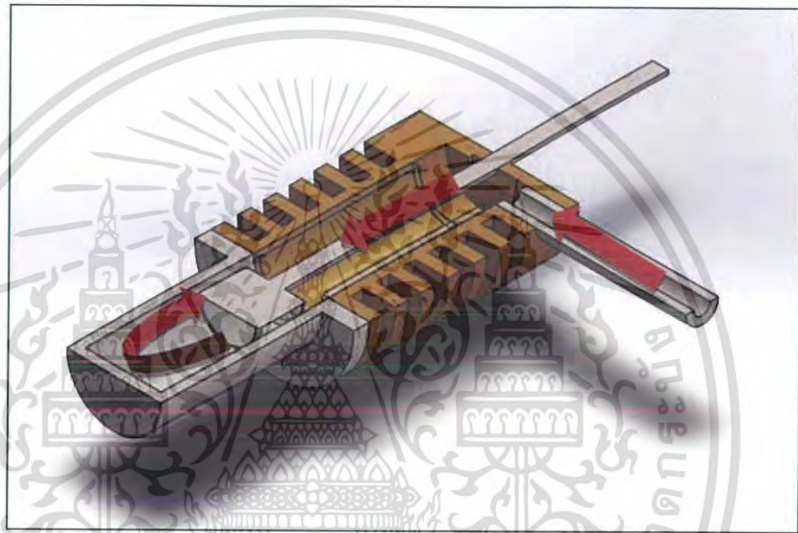
4.2.3 การคำนวณหาความดันภายในระบบเนื่องจากปริมาตรภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีมุมข้อเหวี่ยงต่างๆกับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดสอบระบบปิดและความสัมพันธ์ของความดันภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยลูกสูบดิสเพลสเซอร์เป็นอิสระจากลูกสูบกำลัง

มีการทดสอบ 2 แบบ คือการไม่ให้ความร้อนแก่ระบบและให้ความร้อนแก่ระบบแบบที่ 1 ไม่ให้ความร้อนแก่ระบบ

1. การทดสอบระบบปิดของกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์

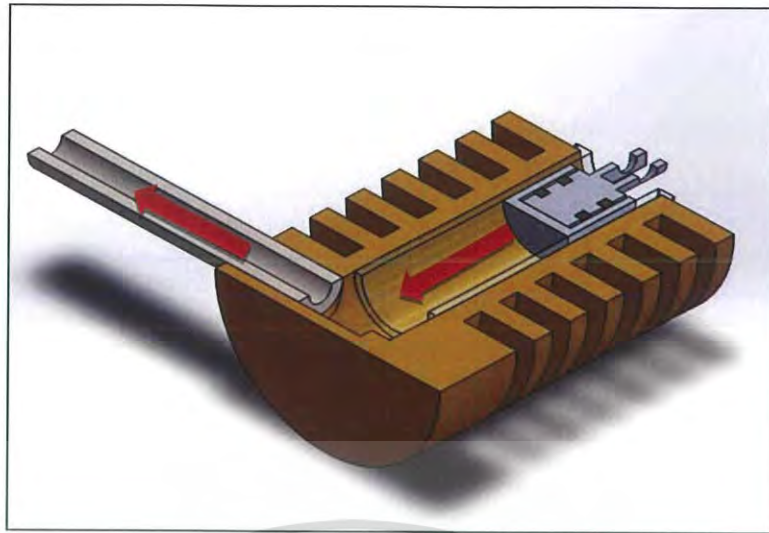
กระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ หลักการประกอบกระบอกสูบกับลูกสูบดิสเพลสเซอร์แล้วทำการทดสอบหารอยรั่วโดยการเป่าลมเข้าทางรูเชื่อมต่อกับกระบอกสูบกำลังสังเกตพฤติกรรมลูกสูบดิสเพลสเซอร์ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การทดสอบระบบปิดกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์

สังเกตได้จากก้านของลูกสูบดิสเพลสเซอร์มีการออกมา เนื่องจากลูกสูบดิสเพลสเซอร์ถูกอากาศดันออกมา จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่ากระบอกสูบดิสเพลสเซอร์มีการเจาะรู 1 จุด คือ รูเชื่อมแกนดิสเพลสเซอร์ การทดสอบนี้ใช้การเป่าลมเข้าสู่ท่อส่งอากาศ ดังนั้นหากเกิดรอยรั่วจะทำให้อากาศที่เป่าดันลูกสูบดิสเพลสเซอร์รั่วออกไม่มีแรงดันให้ลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนที่ได้เนื่องจากรูส่งผ่านแกนดิสเพลสเซอร์ขนาดไม่พอดีกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

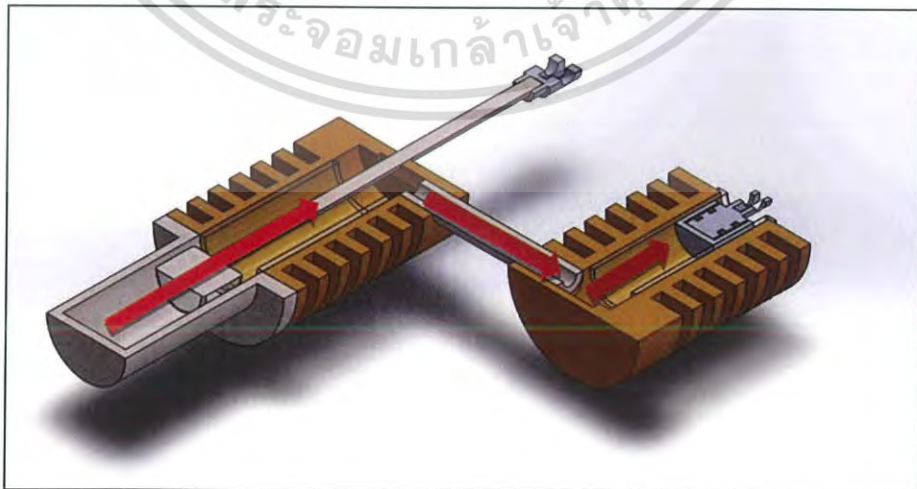


รูปที่ 4.12 การทดสอบระบบปิดของกระบอกสูบกำลัง

2. การทดสอบระบบปิดของกระบอกสูบกำลัง

ลูกสูบกำลังจะสามารถเคลื่อนที่ได้จะต้องใช้แรงดันอากาศภายในมากๆ ดังนั้นการออกแบบจะต้องออกแบบลูกสูบกำลังให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเพื่อไม่เกิดรอยรั่ว โดยทำการทดสอบโดยการอัดท่อส่งอากาศแล้วปล่อยลูกสูบกำลังเข้ากระบอกสูบดังรูปที่ 4.12

กระบอกสูบกำลังที่ทำการปิดรูท่อส่งอากาศอย่างสนิท ภายในกระบอกสูบจะมีแรงดันอากาศภายในสูงมาก ดังนั้นลูกสูบกำลังที่ใส่เข้าไปในกระบอกสูบจะถูกดันออกมาโดยแรงดันอากาศภายใน แต่เมื่อประกอบกระบอกสูบและลูกสูบทั้ง 2 ชนิด และเชื่อมต่อกันด้วยท่อส่งอากาศ ระบบจะเป็นระบบปิดในทางทฤษฎีแต่ในทางปฏิบัติอาจจะมีรอยรั่ว เมื่อทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบระบบปิดลูกสูบดีสเพลสเซอร์ปรากฏว่าลูกสูบกำลังถูกผลักด้วยแรงดันอากาศภายในที่น้อยมาก สืบเนื่องจากการเคลื่อนตัวออกของลูกสูบกำลังจากกระบอกสูบ ดังรูปที่ 4.13



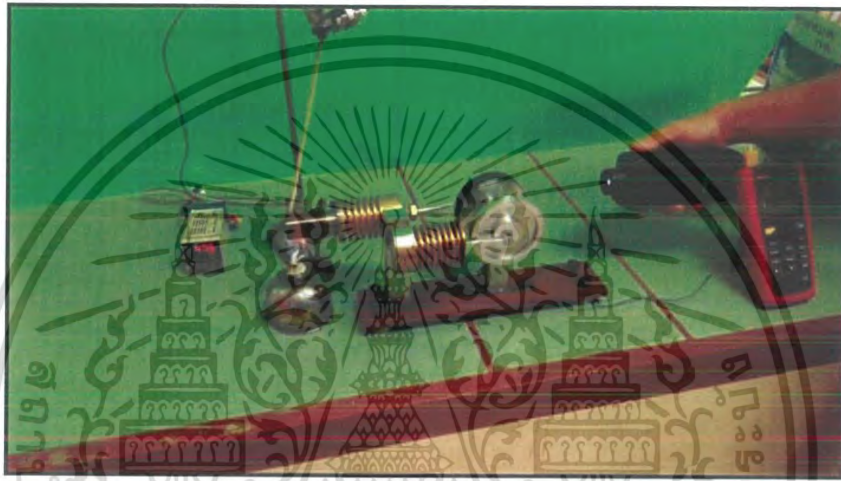
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.13 การทดสอบรอยรั่วท่อส่งผ่านอากาศ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 2 ให้ความร้อนแก่ระบบ

จากรูปที่ 4.13 เมื่อมีการให้ความร้อนกับระบบและทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ปรากฏว่าลูกสูบกำลังผลักดันด้วยแรงดันภายในที่สูงมากเมื่อเทียบกับไม่ให้ความร้อนกับระบบ ดังนั้น อุณหภูมิส่งผลให้อากาศภายในมีการขยายตัวส่งผลให้แรงดันภายในที่สูงขึ้น

4.2.2 มุมข้อเหวี่ยงที่มีผลต่อปริมาตรการบีบอัดและการขยายตัว ภายในระบบของ เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

การทดสอบ



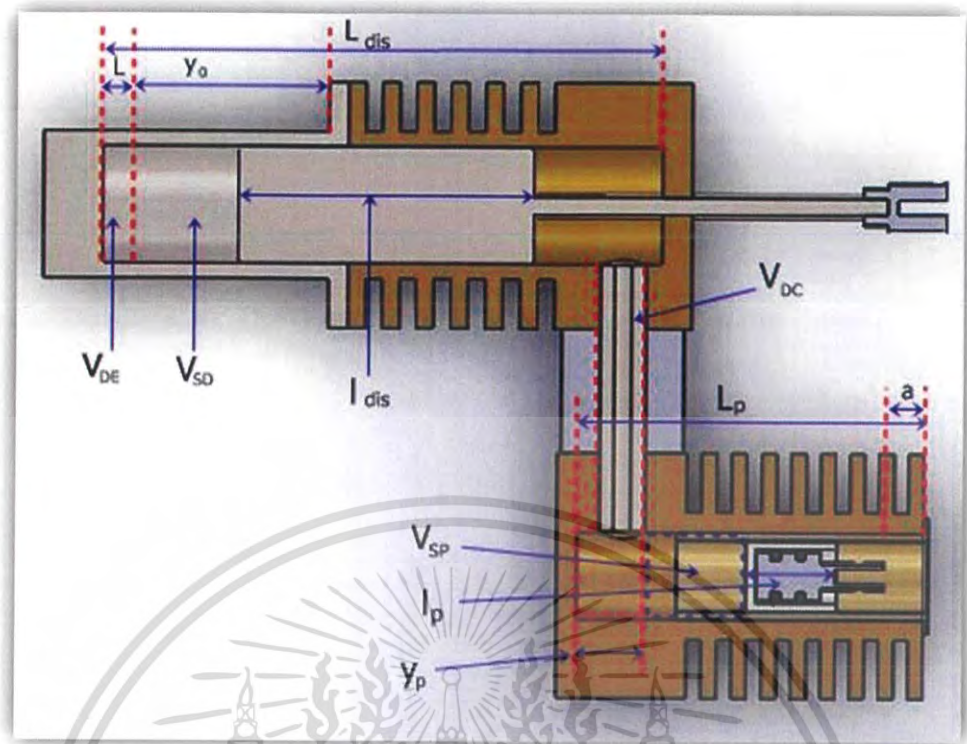
รูปที่ 4.14 การทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์

การวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์

การวัดและคำนวณหาค่าปริมาตรเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ระยะข้อเหวี่ยงต่างๆ ที่ระยะชัก

$$r_0 = 9.75 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงตำแหน่งของปริมาตรภายในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ทำการวัดและคำนวณ การคำนวณปริมาตรภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ได้ดังนี้

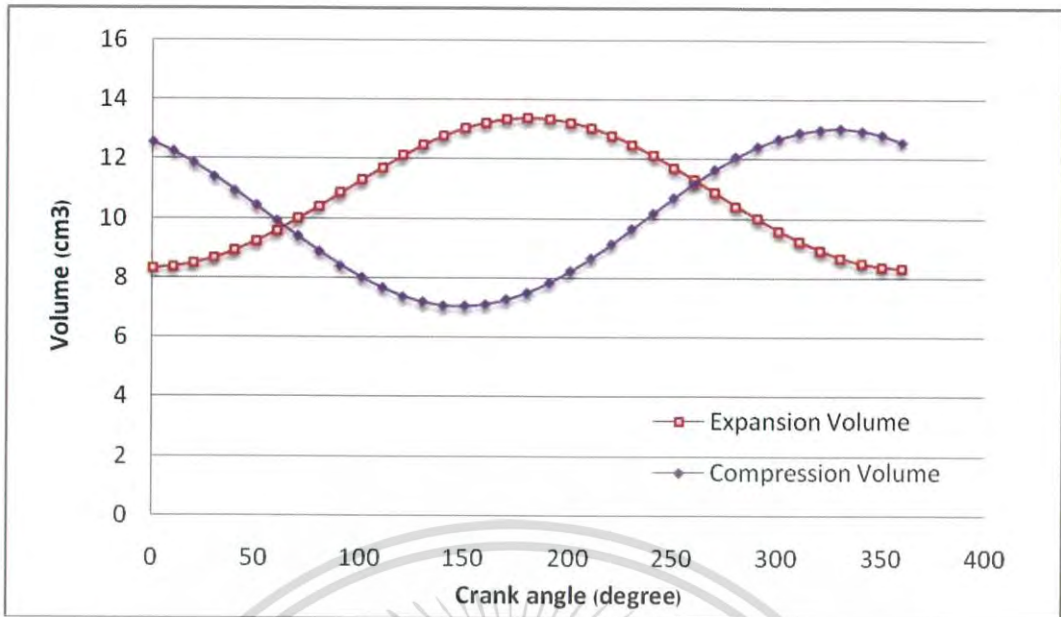
1. คำนวณหาปริมาตร V_{DE} จากสมการ

$$\begin{aligned}
 V_{DE} &= \frac{\pi D_{dis}^2 L}{4} \quad \text{เมื่อ วัดค่า } L = 17 \text{ mm} \\
 &= \frac{\pi (25 \text{ mm})^2 (17 \text{ mm})}{4} \\
 &= 8,344.8554 \text{ mm}^3 = 8.3448 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

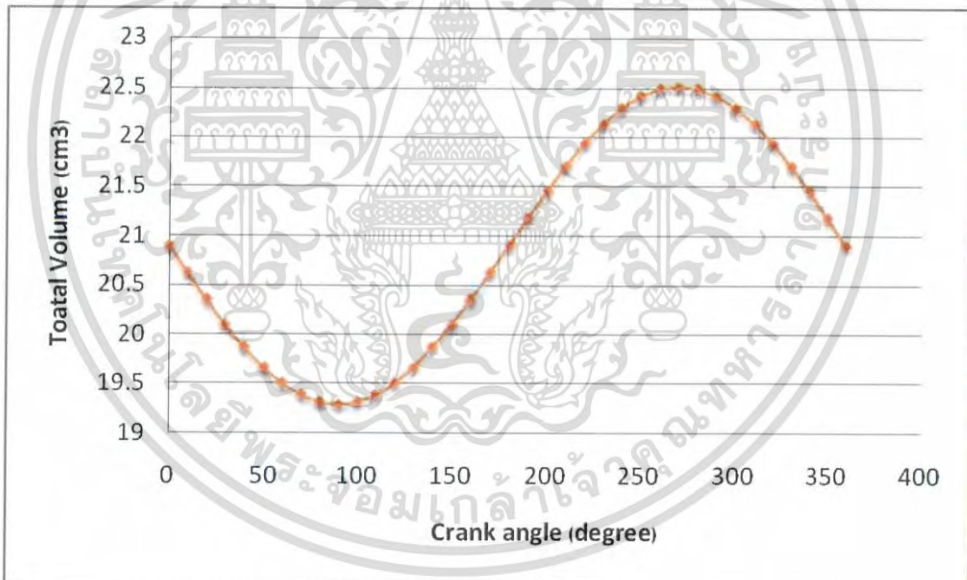
2. คำนวณหาปริมาตร V_{SD} จากสมการ

$$\begin{aligned}
 V_{SD} &= \frac{\pi D_{dis}^2 I_{SD}}{4} \quad \text{เมื่อ วัดค่า } I_{SD} = 10.25 \text{ mm} \\
 &= \frac{\pi (25 \text{ mm})^2 (10.25 \text{ mm})}{4}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรพื้นที่การขยายและการบีบอัดที่เกิดจากมุมข้อเหวี่ยงต่างๆที่ $r_p = 9.75$ mm ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงปริมาตรรวมที่เปลี่ยนแปลงไปตามมุมข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การคำนวณหาค่าความดันภายในระบบเนื่องจากปริมาตรภายในระบบของเครื่องยนต์ สเตอริงที่มีมุมข้อเหวี่ยงต่างๆ ระยะชัก $r_p = 9.75\text{mm}$

ผลที่ได้จากการคำนวณ

คำนวณหาค่าความดันภายในระบบเครื่องยนต์สเตอริง ที่ระยะข้อเหวี่ยง $r_p = 9.75\text{ mm}$ ได้จากสมการ

$$P_{\text{mean}} = \frac{P_{\text{max}} + P_{\text{min}}}{2} = \frac{P_a + P_a + \rho g(\Delta h_{\text{max}} - \Delta h_{\text{min}})}{2}$$

โดย ค่า $P_{\text{mean}} = 101.3250\text{ kPa}$
จากตารางที่ 4.1

ปริมาตรภายในที่ได้ จากการวัดและคำนวณ	เครื่องยนต์ออกแบบ ที่ $r_p = 9.75\text{ mm}$
$V_{DE}\text{ (cm}^3\text{)}$	8.3448
$V_{SD}\text{ (cm}^3\text{)}$	5.0314
$V_{SP}\text{ (cm}^3\text{)}$	3.2200
$V_{DC}\text{ (cm}^3\text{)}$	5.919

$$V_{DE} = 8.3448\text{ cm}^3$$

$$V_{DC} = 5.919\text{ cm}^3$$

$$V_{SD} = 5.0314\text{ cm}^3$$

$$V_{SP} = 3.2200\text{ cm}^3$$

$$V_{SP} = V_{SP} + V_{SD} = 8.2514\text{ cm}^3$$

$$T_C = 28.4\text{ }^\circ\text{C} = 301.4\text{ K}$$

$$T_E = 355\text{ }^\circ\text{C} = 628.0\text{ K}$$

$$\Delta\theta = 90^\circ$$

สามารถหาค่า λ และ δ ได้จากสมการที่ (4.4) ถึงสมการที่ (4.7) จะได้ดังนี้

อัตราส่วนของอุณหภูมิ

$$\gamma = \frac{T_C}{T_E} = \frac{301.4\text{ K}}{628.0\text{ K}} = 0.4799$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของปริมาตรการกวาดได้

$$\chi_s = \frac{V'_{SP}}{V_{SD}} = \frac{8.2514 \text{ cm}^3}{5.0314 \text{ cm}^3} = 1.6399$$

อัตราส่วนของปริมาตรตายด้านขยาย

$$V = \frac{V_{DE}}{V_{SD}} = \frac{8.3448 \text{ cm}^3}{5.0314 \text{ cm}^3} = 1.6585$$

อัตราส่วนของปริมาตรตายด้านบีบอัด

$$\zeta = \frac{V_{DC}}{V_{SD}} = \frac{5.919 \text{ cm}^3}{5.0314 \text{ cm}^3} = 1.1764$$

สามารถคำนวณหามุม δ ได้จากสมการ (4.4)

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{\chi_s \sin(\Delta\theta)}{\gamma + \cos(\Delta\theta) + 1} \right) \quad (4.4)$$

จะได้
$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{(1.6399) \sin(90^\circ)}{(0.4799) + \cos(90^\circ) + 1} \right)$$

จะได้
$$\delta = 47.93^\circ$$

สามารถคำนวณหามุม B ได้จากสมการ (4.5)

$$B = (\gamma + 2\gamma v + \chi_s + 2\zeta + 1) \quad (4.5)$$

$$B = (0.4799) + (2 \times 0.4799 \times 1.6585) + (1.6399) + (2 \times 1.1764) + 1$$

ดังนั้น
$$B = 7.0644$$

สามารถคำนวณหามุม A ได้จากสมการ (4.6)

$$A = (\gamma^2 + 2(\gamma - 1)\chi_s \cos\phi + \chi_s^2 - 2\gamma + 1)^{1/2} \quad (4.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$A = \sqrt{(0.4799)^2 + [2 \times (0.4799 - 1) \times (1.6399)] \times \cos(90^\circ) + (1.6399)^2 - (2 \times 0.4799) + 1}$$

 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $A = 1.7203$

และจะสามารถหา λ ได้จากสมการ (4.7)

$$\lambda = \frac{A}{B} \quad (4.7)$$

$$\lambda = \frac{A}{B} = \frac{1.7203}{7.0644} = 0.2435$$

ดังนั้น จะสามารถหาความดันภายในระบบได้จาก สมการ (4.8)

เมื่อ มุมข้อเหวี่ยง $\theta = 0^\circ$

$$P = \frac{P_{\text{mean}} \sqrt{1-\lambda^2}}{1-\lambda \cdot \cos(\theta-\delta)} \quad (4.8)$$

$$P = \frac{P_{\text{mean}} \sqrt{1-\lambda^2}}{1-\lambda \cdot \cos(\theta-\delta)} = \frac{101.3 \times 10^3 \text{ Pa} \sqrt{1-(0.2435)^2}}{1-0.2435 \cos(0^\circ-47.93^\circ)} = 117.4060 \text{ kPa}$$

ดังนั้น ความดันภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มุมข้อเหวี่ยง $\theta = 0^\circ$ จะได้

$$P = 117.4060 \text{ kPa}$$

จากนั้นทำการหาความดันภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มุมข้อเหวี่ยงต่างๆ จะได้ค่าตามตารางที่ 4.3

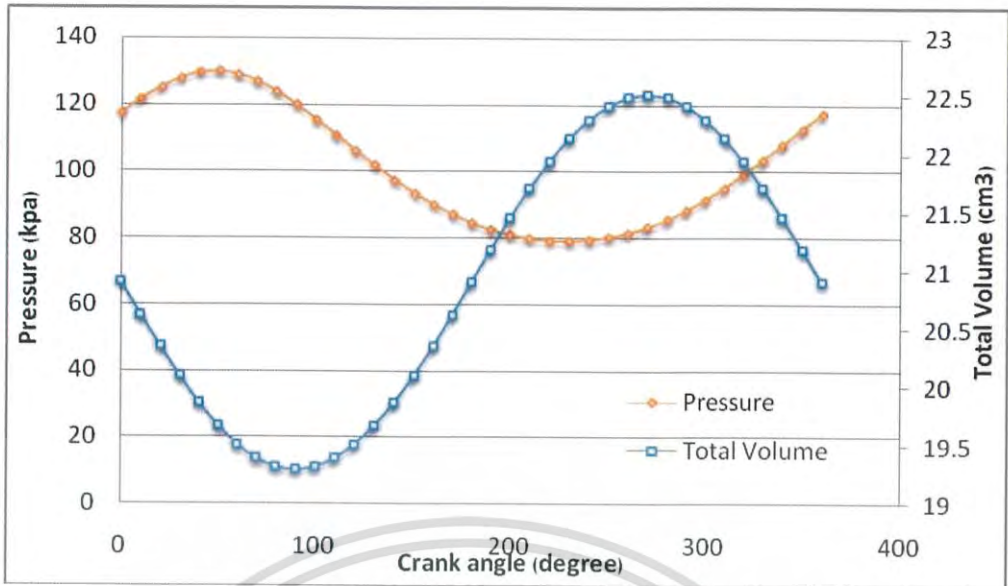
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณ

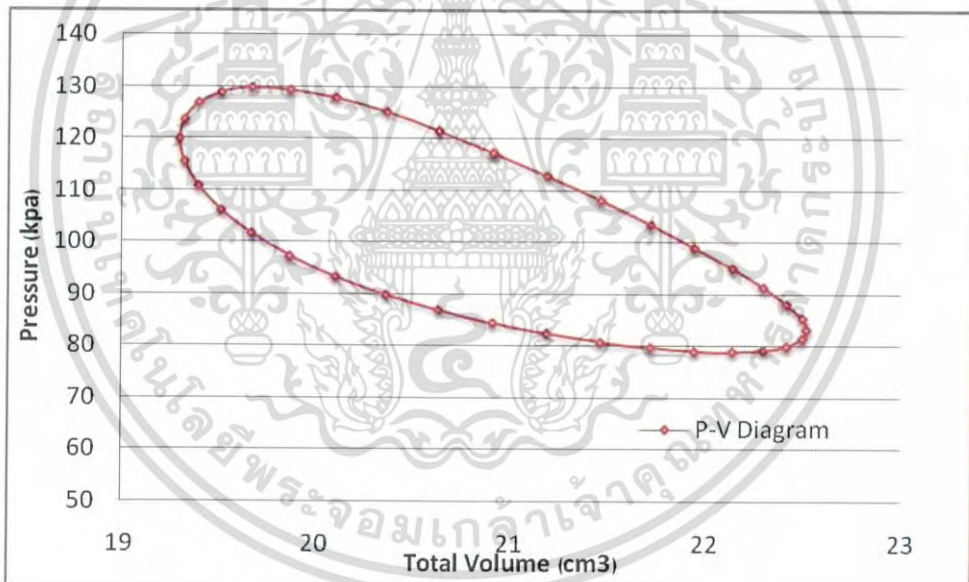
ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณหาค่าความดันภายในระบบเนื่องจากปริมาตรภายในระบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มุมข้อเหวี่ยงลูกสูบต่างๆ ที่คำนวณได้จากการคำนวณโดยสมการ (4.1), (4.2), (4.3) และ (4.8) ที่ $\Delta\theta = 90^\circ$

Crank angle (degree)	เครื่องยนต์ออกแบบ ที่ $r_p = 9.75$ mm		Crank angle (degree)	เครื่องยนต์ออกแบบ ที่ $r_p = 9.75$ mm	
	V_{Total} (cm ³)	P (kpa)		V_{Total} (cm ³)	P (kpa)
0	20.9052	117.406	190	21.1846	82.4209
10	20.6256	121.6073	200	21.4557	80.8558
20	20.3545	125.1823	210	21.7101	79.7702
30	20.1001	127.8766	220	21.94	79.1598
40	19.8702	129.4771	230	22.1384	79.0217
50	19.6718	129.8484	240	22.2994	79.3551
60	19.5108	128.958	250	22.418	80.1618
70	19.3922	126.8831	260	22.4906	81.4453
80	19.3196	123.795	270	22.5152	83.2101
90	19.2952	119.9288	280	22.4906	85.4594
100	19.3196	115.5457	290	22.418	88.1923
110	19.3922	110.8994	300	22.2994	91.3994
120	19.5108	106.2129	310	22.1384	95.0575
130	19.6718	101.6663	320	21.94	99.1227
140	19.8702	97.3943	330	21.7101	103.522
150	20.1001	93.4906	340	21.4558	108.1454
160	20.3544	90.0152	350	21.1847	112.8397
170	20.6255	87.0026	360	20.9052	117.4062
180	20.9052	84.4694			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะข้อเหวี่ยงกับความดัน และปริมาตรภายในระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชุดเครื่องยนต์ต้นแบบ



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานที่ได้จากพื้นที่ของการขยาย W_E (J) หาได้จากสมการ (4.9)

$$W_E = \int PdV_E = \frac{p_{\text{mean}} V_{SD} \pi \lambda \sin \delta}{1 + \sqrt{1 - \lambda^2}} \quad (4.9)$$

$$W_E = \frac{(101.3 \times 10^3 \text{ Pa})(5.0314 \text{ cm}^3) \times \pi \times 0.1749 \times \sin(47.94^\circ)}{1 + \sqrt{1 - (0.1749)^2}}$$

$$W_E = 10.4768 \times 10^{-2} \text{ J}$$

งานที่ได้จากพื้นที่การบีบอัด W_C (J) จะสามารถได้จากสมการ (4.10)

$$W_C = \int PdV_C = -\frac{p_{\text{mean}} V_{SD} \pi \lambda \gamma \sin \delta}{1 + \sqrt{1 - \lambda^2}} \quad (4.10)$$

$$W_C = -\frac{(101.3 \times 10^3 \text{ Pa})(5.0314 \text{ cm}^3) \times \pi \times 0.1749 \times 0.4799 \times \sin(47.94^\circ)}{1 + \sqrt{1 - (0.1749)^2}}$$

$$W_C = -5.0278 \times 10^{-2} \text{ J}$$

งานทั้งหมดที่หาได้จาก 1 รอบวัฏจักร (W_i) สามารถหาได้จากสมการ (4.11)

$$W_i = W_E + W_C \quad (4.11)$$

$$W_i = W_E + W_C = (10.4768 - 5.0278) \times 10^{-2} \text{ J}$$

$$W_i = 5.449 \times 10^{-2} \text{ J}$$

ที่ระยะข้อเหวี่ยง $r_p = 9.75 \text{ mm}$ ให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (N) มากสุดที่ 641.3 RPM ดังนั้น สามารถหาค่ากำลังรวมของเครื่องยนต์ P_i (W) ได้จากสมการ (4.12)

$$P_i = W_i N \quad (4.12)$$

$$P_i = W_i N = \frac{(5.449 \times 10^{-2} \text{ J})(641.3 \text{ rpm})}{60 \text{ s}} = 0.5824 \text{ W}$$

ดังนั้นกำลังรวมของเครื่องยนต์ เท่ากับ 582.4 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (η) สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.13)

$$\eta = \frac{W_i}{W_E} \times 100\% \quad (4.13)$$

$$\eta = \frac{W_i}{W_E} \times 100\% = \frac{5.449 \times 10^{-2} \text{ J}}{10.4768 \times 10^{-2} \text{ J}} \times 100\% = 52.01\%$$

หรือ

$$\eta = (1 - T_1) \times 100\% = (1 - 0.4799) \times 100\% = 52.01\%$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทดสอบการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่มือมีการทดสอบทั้งหมด 3 วิธี แบ่งเป็นการจำลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาด้วยโปรแกรม solidwork การทดสอบชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและการทดสอบเชิงความร้อน

5.1.1 การจำลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาประเภทล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่ด้วยโปรแกรม solidwork

การออกแบบด้วยโปรแกรม solidwork เป็นการจำลองการออกแบบพื้นฐาน การประกอบชิ้นส่วน การทำงานเชิงกลและการทำงานเชิงความร้อนเสมือนจริง เพื่อนำไปเป็นแบบในการสร้างและประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเบื้องต้นรวมถึงการเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในส่วนต่างๆเพื่อลดระยะเวลาและทุนทรัพย์ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้

5.1.2 การทดสอบชิ้นส่วนประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่ทำงานภายใต้ระบบปิด ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์จะต้องสามารถปิดรอยรั่วของอากาศเพื่อไม่ให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศกับสิ่งแวดล้อมภายนอกหรือให้มีโอกาสรั่วออกไปน้อยที่สุด

5.1.2.1 การทดสอบระบบปิดของกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ โดยการเป่าลมเข้าทางรูท่อส่งผ่านความร้อนกับกระบอกสูบกำลัง สังเกตลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ถ้ามีการเคลื่อนออกมา เนื่องจากลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์ถูกอากาศดันออกมา ซึ่งถ้าหากเกิดรอยรั่วจะทำให้อากาศที่ดันให้ลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์รั่วออกไม่มีแรงดันให้ลูกสูบดีเซลเพลสเซอร์เคลื่อนที่ได้

5.1.2.2 การทดสอบระบบปิดของกระบอกสูบกำลัง โดยใช้นิววูดที่ท่อส่งผ่านอากาศระหว่างกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังแล้วดันลูกสูบกำลังให้เคลื่อนที่เข้าจะมีแรงดันผลัดตรงบริเวณที่ใช้นิวปิดท่อเอาไว้

5.1.2.3 การทดสอบการตั้งกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์เชื่อมต่อกับกระบอกสูบกำลังให้มีระนาบขนานกัน ผ่านท่อส่งผ่านอากาศกับฐานรอง โดยใช้ที่วัดระดับน้ำมาวัดบนกระบอกสูบทั้งสองให้มีระดับน้ำอยู่บริเวณตรงกลาง

5.1.2.4 การทดสอบการตั้งล้อเกียร์กระตุ้น ระยะห่างระหว่างข้อเหวี่ยงและล้อเกียร์กระตุ้นจะต้องให้ได้ระยะจึงจะเกิดสมดุลเมื่อทำการต่อกับลูกสูบทั้ง 2 ด้าน จึงจะเป็นค่าที่ได้ความเร็วรอบสูงสุด

5.1.2.5 การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบล้อเกียร์กระตุ้นกำลังคู่มือเมนต์ความเฉื่อยของรุ่นต้นแบบ (ล้อเกียร์เดี่ยว) มีค่าเท่ากับ 76,802 กรัมตารางมิลลิเมตร มีน้ำหนัก 71.9 กรัม รัศมี 46 มิลลิเมตร โมเมนต์ความเฉื่อยที่ทำการออกแบบ (ล้อเกียร์คู่) มีค่าเท่ากับ 38,538 กรัมตารางมิลลิเมตร มีน้ำหนัก 59 กรัม รัศมี 38.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่ขอสงวนสิทธิ์ในการดำเนินการใดๆ ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การทดสอบเชิงความร้อน

5.1.3.1 การทดสอบความสัมพันธ์อิสระต่อกันระหว่างลูกสูบ

ในการทดสอบความสัมพันธ์นี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ตอน คือ การไม่ให้ความร้อนแก่ระบบและการให้ความร้อนแก่ระบบ

แบบที่ 1 การทดสอบโดยการไม่ให้ความร้อนแก่ระบบ

ความสัมพันธ์ลูกสูบดิสเพลสเซอร์กับลูกสูบกำลังที่ดีเมื่อไม่ให้ความร้อนแก่ระบบนั้นพบว่าเมื่อลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนลงจะทำให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวเพื่อแทนที่ช่องว่างของอากาศที่ปริมาตรตายบนในกระบอกสูบ ในทางกลับกันหากลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนขึ้นจะทำให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ลงเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวเพื่อแทนที่ช่องว่างตรงจุดปริมาตรตายระหว่างลูกสูบดิสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลังภายในกระบอกเช่นกัน

แบบที่ 2 การทดสอบโดยการให้ความร้อน

ความสัมพันธ์ลูกสูบดิสเพลสเซอร์กับลูกสูบกำลังที่ดีเมื่อให้ความร้อนแก่ระบบนั้นพบว่าเมื่อลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนลงจะทำให้อากาศร้อนถูกพาจากกระบอกสูบดิสเพลสเซอร์ไปยังกระบอกสูบกำลังทำให้อากาศในกระบอกสูบกำลังเกิดความดันที่กระบอกสูบกำลังและทำให้ลูกสูบกำลังถูกดันออกมาด้วยความดันภายในทำให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ลงในทางกลับกันเมื่อลูกสูบดิสเพลสเซอร์เคลื่อนขึ้นจะทำให้อากาศเย็นลง อากาศถูกพาจากกระบอกลูกสูบกำลังไปยังกระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์ซึ่งจะทำให้กระบอกลูกสูบดิสเพลสเซอร์เย็นลงและทำให้ความดันที่กระบอกลูกสูบกำลังลดลงทำให้ลูกสูบกำลังถูกดูดเข้าไปในกระบอกสูบซึ่งทำให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ลง

5.1.3.2 การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพบว่าเครื่องยนต์เริ่มมีการทำงานที่อุณหภูมิฝั่งกระบอกสูบร้อนเท่ากับ 355 องศาเซลเซียส อุณหภูมิฝั่งกระบอกสูบเย็นเท่ากับ 28.4 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเริ่มทำงาน 4 นาที 47 วินาที เวลาสิ้นสุดการทำงาน 33 นาที 40 วินาที ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 641.3 รอบต่อนาที ความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 549.8 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] จิรภัทร วงศ์เสถียร,นทีเทพ สวรรณภูมิ,และปัทวี มีทรัพย์สิน. “การออกแบบและพัฒนาความต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์และกระบอกสูบกำลังของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา”.(วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีลาดกระบัง,2557)

[2]William R Martini,“Stirling engine design manual”.(University of Washington,1978)

[3] R. Arora, S.C. Kaushik, R. Kumar and R. Arora, Multi-objective thermo-economic optimization of solar parabolic dish Stirling heat engine with regenerative losses using NSGA-II and decision making, Elec. Pow. Ener. Syst. 74 (2016) 25–35.

[4] M.H. Ahmadi, M.A. Ahmadi, A. Mellit, F. Pourfayaz and M. Feidt, Thermodynamic analysis and multi objective optimization of performance of solar dish Stirling engine by the centrality of entransy and entropy generation, Elec. Pow. Ener. Sys. 78 (2016) 88–95.

[5] http://e-learning.tu.ac.th/sc133/doc_download/number11-12_250749.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้