



การพัฒนาชุดเพลาค้อเหวียงสำหรับเครื่องยนต์รถมอด้

โดย

นายนพดล พลายชุม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2558  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การพัฒนาชุดเพลาข้อเหวี่ยงสำหรับเครื่องยนต์รถมอโต้

โดย

นายนพดล พลายชุม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

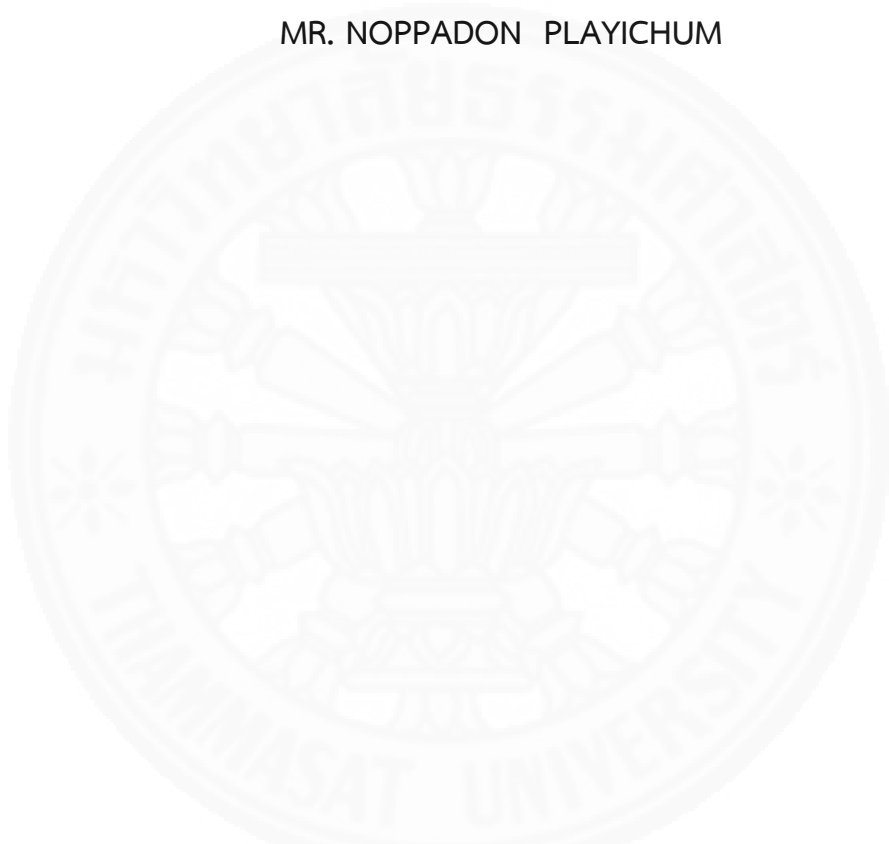
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



DEVELOPMENT OF CRANKSHAFT FOR COMPRESSED – AIR  
VEHICLE ENGINE

BY

MR. NOPPADON PLAYICHUM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF MASTER OF INDUSTRIAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
THAMMASAT UNIVERSITY  
ACADEMIC YEAR 2015  
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายนพดล พลายชุม

เรื่อง

การพัฒนาชุดเพลาค้อเหวียงสำหรับเครื่องยนต์รถลมอัด

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

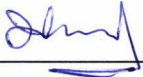
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2559


ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิวัฒน์ มุตตามระ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

  
(รองศาสตราจารย์ ดร. มณฑล ศาสนนันท์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(อาจารย์ ดร. ชีระ เตชะมณีสถิตย์)

คณบดี

  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภัสสร วังศกาญจน์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชุดเพลลาข้อเหวี่ยงสำหรับเครื่องยนต์รถลมอัด
ชื่อผู้เขียน	นายณพดล พลายชุม
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.มณฑลลี ศาสนันทน์
ปีการศึกษา	2558

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการพัฒนาชุดเพลลาข้อเหวี่ยงสำหรับเครื่องยนต์ที่จะขับเคลื่อนด้วยลมอัด โดยนำเครื่องยนต์แบบลูกสูบเดี่ยว มาวิเคราะห์หาค่าการเยื้องศูนย์ของชุดเพลลาข้อเหวี่ยงกับสลักลูกสูบ ในการทำงานของเครื่องยนต์จะมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบที่ส่งผลต่อการเสียดสีของชุดลูกสูบกับกระบอกสูบ ผลที่ได้เกิดความเสียหายต่อลูกสูบ กระบอกสูบ แบริ่งก้านสูบและแบริ่งเพลลาข้อเหวี่ยงเมื่อมีการหล่อลื่นไม่ทั่วถึง จากการวิเคราะห์หาค่าการเยื้องศูนย์ของชุดเพลลาข้อเหวี่ยงแบบเดิมพบว่า ในการหมุนของเครื่องยนต์ 1 รอบ (360 องศา) พบว่ามีค่าเยื้องศูนย์มากที่สุดในตำแหน่งการเคลื่อนที่ 90 องศา และ 270 องศา ที่ระยะค่าเยื้องศูนย์ 30 มม. งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาคุณสมบัติทางกลแล้วทำการออกแบบและพัฒนาชุดเพลลาข้อเหวี่ยงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยยึดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อความเหมาะสมสำหรับการใช้พลังลมอัดในการขับเคลื่อน ชุดเพลลาข้อเหวี่ยงที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบชนิดฟันเฟืองในการขับเคลื่อนลูกสูบขึ้นลงโดยก้านลูกสูบจะอยู่แนวตั้งและจับยึดกับลูกสูบแบบยึดแน่นไม่มีการแกว่ง การเคลื่อนที่ขึ้นลงทำได้ด้วยเฟืองปลายก้านลูกสูบที่มีจุดสวมแกนกลางเยื้องศูนย์จากจุดกึ่งกลางเฟือง เพื่อควบคุมการขึ้นลงของลูกสูบ ผลที่ได้ทำให้ค่าเยื้องศูนย์ของเพลลาข้อเหวี่ยงเท่ากับ 0 มม. ส่งผลให้การเสียดสีลดน้อยลง และอายุการใช้งานชิ้นส่วนต่างๆ เพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ:** เพลลาข้อเหวี่ยง, รถลมอัด, เยื้องศูนย์, เฟือง

Thesis Title	DEVELOPMENT OF CRANKSHAFT FOR COMPRESSED – AIR VEHICLE ENGINE
Author	Mr. Noppadon Playichum
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Industrial Engineering Faculty of Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Montalee Sasananan
Academic Years	2015

### ABSTRACT

This research aims to develop a set of crankshaft for compressed-air engine by utilizing a single piston engine and determining the eccentricity of the crankshaft and piston pin. When the engine is operated, the vertical movement of piston create friction between the piston and cylinder, resulting in damage to the piston, cylinder, rod bearing, and crankshaft bearing in case of insufficient lubrication. In the investigation of a normal crankshaft, it was found that crankshaft misalignment was greatest at 90 degrees and 270 degrees in one revolution of engine, with eccentricity of 30 mm. This research involves the study of mechanical properties of crankshaft followed by design and development of crankshaft for compressed-air engine with higher efficiency and increased lifetime. The resulting crankshaft uses a series of gears to drive the piston, with piston rod placed vertically and clamped to the piston in a fixed position. The vertical movement is driven by piston rod end gear having a central axis offset from the gear center. It was found that the eccentricity of the new crankshaft was 0 mm, leading to reduce friction and increase lifetime.

**Key word:** Crankshaft, compressed – air vehicle, eccentricity, gear

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน ๔๙/๒๕๕๘

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มณฑลลี ศาสตราจารย์ ดร. ศาสตราจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ที่คอยแนะนำ ให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัย รวมทั้งช่วยแก้ไข ข้อมูลที่ผิดพลาด ช่วยปรับปรุงเนื้อหา ทำให้ผู้วิจัยสามารถเรียบเรียงออกมาเป็นงานวิจัยฉบับนี้ให้ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ มุตตามระ ประธานกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้ในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งข้อเสนอแนะในการสร้าง แบบจำลอง การพัฒนาเพลลาข้อเหวี่ยงสำหรับเครื่องยนต์รถลมอัด

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ธีระ เตชะมณีสถิตย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ ให้คำแนะนำและให้ความรู้ในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัว บิดา มารดาของผู้วิจัยที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ ในการทำงาน และคอยช่วยเหลือในด้านต่างๆ มาโดยตลอด หากมีผู้สนใจในงานวิจัยนี้จะนำข้อมูลไป ประยุกต์ใช้หรือต่อยอดงานวิจัยอื่น ประโยชน์ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านที่กล่าว ข้างต้น จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นายนพดล พลายชุม

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(7)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีดำเนินการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ระยะเวลาการศึกษาวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 หลักการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล	4
2.1.2 หลักการกำลังงานของไหล	9
2.1.3 มอเตอร์ลมน	15
2.1.4 เฟือง	16
2.1.5 ประสิทธิภาพของต้นแบบรถพลังลมอัด	21



	(5)
2.2 วรรณกรรมปริทรรศน์	22
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	24
3.1 ศึกษาข้อมูลและรูปแบบของระบบชุดเพลงล้อเหยียงปัจจุบัน	24
3.2 การกำหนดตัวชี้วัดสำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพ	24
3.3 การออกแบบและจำลองระบบชุดเพลงล้อเหยียงแบบใหม่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	25
3.4 สร้างแบบจำลองของระบบชุดเพลงล้อเหยียงแบบใหม่	25
3.5 ปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองและเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกล	25
3.6 การสรุปผลการวิจัย	26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	27
4.1 รูปแบบของระบบชุดเพลงล้อเหยียงปัจจุบัน	27
4.2 การออกแบบและจำลองระบบชุดเพลงล้อเหยียงแบบใหม่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	34
4.3 สร้างแบบจำลองของระบบชุดเพลงล้อเหยียงแบบใหม่	40
4.4 ปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองและเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกล	42
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการศึกษาและการออกแบบ	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
รายการอ้างอิง	49
ภาคผนวก	51
ภาคผนวก ก	52
ประวัติผู้เขียน	65

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	3
2.1 ประสิทธิภาพพรตต้นแบบพลังลมอัด	21
4.1 ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางแกนข้อเหวี่ยงถึงจุดกึ่งกลางสลักลูกสูบแบบเดิม	31
4.2 การทำงานของการเปิด-ปิดวาล์วไอดีและไอเสีย	33
4.3 ข้อมูลพื้นเพื่อง	34
4.4 ส่วนผสมของอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 5083	36
4.5 ส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C	36
4.6 ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางแกนข้อเหวี่ยงถึงจุดกึ่งกลางสลักลูกสูบที่พัฒนาใหม่	44

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กระบวนการในการออกแบบ	5
2.2 สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ	7
2.3 การเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบเมื่อมีค่าเยื้องศูนย์สลักลูกสูบ	9
2.4 ทิศทางแรงบิดตามกฎมือขวา	10
2.5 ลักษณะมอเตอร์ลมแบบลูกสูบ	15
2.6 ลักษณะมอเตอร์ลมที่เป็นแบบมีแผ่นวน	15
2.7 เฟืองตรง	17
2.8 เฟืองสะพาน	17
2.9 เฟืองวงแหวน	18
2.10 เฟืองเฉียง	18
2.11 เฟืองก้างปลา	19
2.12 เฟืองดอกจอก	19
2.13 เฟืองตัวหนอน	20
2.14 เฟืองเกลียวสกรู	20
2.15 รถต้นแบบพลังลมอัด	21
2.16 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องยนต์ลมอัด	22
3.1 แผนผังขั้นตอนของวิธีดำเนินงานวิจัย	26
4.1 เครื่องยนต์เบนซินแบบ 1 ลูกสูบ	27
4.2 แบร็งค์เพลลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความเสียหายจากการหนีศูนย์ของเพลลา	28
4.3 เพลลาข้อเหวี่ยงที่เกิดรอยไหม้และร่องรอยเกิดความเสียหาย	28
4.4 แบร็งค์ก้านลูกสูบที่เกิดความเสียหายจากเพลลาข้อเหวี่ยง	28
4.5 สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ	29
4.6 สมการหาค่า $d$ ค่าเยื้องหนีศูนย์ของเพลลาข้อเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉากกับลูกสูบ	30
4.7 เส้นกราฟในการเคลื่อนที่ของชุดเพลลาข้อเหวี่ยงแบบเดิม	32
4.8 ชุดเพลลาราวล้นทำหน้าที่ ปิด-เปิด วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย	33

4.9 ชุดเฟืองขับเคลื่อน	35
4.10 แบบขนาดฟันเฟืองหนีศูนย์	36
4.11 แบบของเพลาารวลิ้น 3 มิติที่ได้ทำการออกแบบใหม่	37
4.12 แบบของก้านลูกสูบและลูกสูบ 3 มิติที่ได้ทำการออกแบบใหม่	38
4.13 ระบบกลไกภายในของชุดเพลาค้อเหวียงหลังจากการออกแบบพัฒนา	38
4.14 การประกอบชุดเพลาค้อเหวียงแบบใหม่	38
4.15 การแยกประกอบชุดเพลาค้อเหวียงแบบใหม่	39
4.16 เพลาค้อเหวียงแบบฟันเฟืองเยื้องศูนย์	40
4.17 เฟืองเยื้องศูนย์ติดปลายก้านลูกสูบ	40
4.18 เพลาารวลิ้นแบบกระเดื่องคู่	41
4.19 ก้านลูกสูบยึดติดกับลูกสูบแบบคงที่	41
4.20 ภาพประกอบเมื่อพัฒนาเพลาค้อเหวียงและระบบกลไกของเครื่องยนต์ด้วยลมอัด	42
4.21 เส้นกราฟในการเคลื่อนที่ของชุดเพลาค้อเหวียงใน 1 รอบ (360 องศา)	45
4.22 เปรียบเทียบชุดลูกสูบแบบเดิมกับแบบใหม่	46
4.23 เส้นกราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของชุดเพลาค้อเหวียงทั้งก่อนและหลังปรับปรุง (360 องศา)	47

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันราคาน้ำมันในตลาดโลกได้สูงขึ้นเรื่อยๆ หลายประเทศได้พยายามคิดค้นหาพลังงานทดแทนใหม่ๆ มาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล เช่น น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติที่กำลังลดน้อยลงและอาจจะหมดไป สำหรับนวัตกรรมยานยนต์ก็ได้มีรูปแบบใหม่ๆ เกิดขึ้น เช่น รถพลังงานไฟฟ้า รถใช้พลังงานจากไนโตรเจน รถที่ใช้น้ำมันจากพืชเอทานอลที่ผลิตจากมันสำปะหลังหรือไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม รถพลังงานแสงอาทิตย์ รถพลังงานไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งรถแต่ละประเภทก็ยังมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป นอกจากรถเหล่านี้แล้ว ยังมีรถพลังงานลมที่เป็นทางเลือกหนึ่งในอนาคต เนื่องจากพลังงานลมเป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และมีใช้อย่างไม่มีวันหมดหลายคนสงสัยว่าเราจะได้ใช้รถพลังงานลมได้จริงหรือ มีหลายประเทศและหลายงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษารถพลังงานลมในรูปแบบที่แตกต่างกันไป แต่ยังไม่ได้นำมาใช้ในเชิงพาณิชย์

อีกทั้งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มีเป้าหมายเพื่อเป็นการสนับสนุนนโยบายธรรมศาสตร์สีเขียวในปี 2557 ฝ่ายการศึกษานำโดย ผศ. ดร. ปริญญา เทวานฤมิตรกุล ร่วมกับ กลุ่มนักวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์นำโดย รศ. ดร. มณฑล ศาสนนันท์ จึงมีโครงการพัฒนารถต้นแบบพลังงานทางเลือก (Compressed air vehicle) เพื่อใช้กับระบบขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจแต่ก็ยังพบปัญหาที่ต้องการ การแก้ไข อาทิเช่น ระบบส่งกำลังและความเร็ว รวมถึงระยะทางที่ได้จากการอัดลมแต่ละครั้งสั้น ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาชุดส่งกำลังให้มีอัตราเร่งที่สูงขึ้นในการขับเคลื่อนชุดเฟืองท้าย เพิ่มระยะทางในการขับเคลื่อนที่มากขึ้น โดยคำนึงถึงการออกแบบและผลตามหลักทฤษฎีที่ได้ให้สอดคล้องกับการนำไปผลิตและติดตั้งจริงบนรถต้นแบบ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างกลไกชุดเพลลาข้อเหวี่ยงที่จะใช้การขับเคลื่อนด้วยลมอัด

1.2.2 เพื่อลดค่าเบี่ยงศูนย์ของชุดเพลลาข้อเหวี่ยงที่จะส่งผลต่อการเสียดสีระหว่างลูกสูบ

กับกระบอกสูบ

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 สร้างรูปแบบกลไกพร้อมระบุขนาดเบื้องต้นในซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

1.3.2 สร้างระบบกลไกในข้อ 1 โดยใช้ทฤษฎีทางกลศาสตร์และการออกแบบเครื่องจักร

1.3.3 จำลองการเคลื่อนที่แบบ 2 มิติ และ 3 มิติ เมื่อสมมติให้มีแรงกระทำภายนอกที่

กำหนดไว้ทดลองสร้างชิ้นงานจำลองและดูผลลัพธ์จากการเคลื่อนที่เพื่อลดการเสียดสีระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบ ที่จะส่งผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วน

## 1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สอดคล้องตามหลักวิศวกรรม อาทิเช่น การออกแบบเครื่องกล กำลังของไหล กลศาสตร์ของไหล ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล หรือหลักการเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

1.4.2 ออกแบบและจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อทำการศึกษาและคำนวณโครงสร้างต่างๆ ของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น ก็จะมีการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นชิ้นส่วนแต่ละอย่าง แล้วทำการประกอบแบบพร้อมทั้งจำลองการเคลื่อนไหวของระบบกลไกทั้งหมด พร้อมทั้งทำการแก้ไขหากเกิดข้อผิดพลาดในการออกแบบ

1.4.3 สร้างแบบจำลองการทำงานจริง เป็นการสร้างชิ้นงานจริงตามสัดส่วนที่กำหนด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของหลักการทำงาน ระบบกลไกต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้

1.4.4 ปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลอง เป็นการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองชิ้นงานจริง ประเมินปัญหาก่อนที่จะเข้าสู่การสร้างเครื่องยนต์จริงเพื่อนำไปติดตั้งกับรถลมอัด

1.4.5 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้แนวทางการสร้างระบบกลไกของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมเพื่อการผลิตแล้วนำไปติดตั้งบนรถต้นแบบที่ใช้ลมอัด

1.5.2 ได้ต้นแบบเครื่องยนต์ที่มีการพัฒนาระบบเพลาค้อเหวี่ยงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานและยืดอายุการใช้งานทั้งชิ้นส่วนลูกสูบ เสื้อสูบและชุดขับเพลาค้อเหวี่ยง

1.5.3 เป็นแนวทางในการพัฒนานวัตกรรมอุตสาหกรรมด้านยานยนต์และระบบเครื่องจักรกลที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

## 1.6 ระยะเวลาการศึกษาวิจัย

แผนดำเนินงานวิจัยจะต้องทำการศึกษาหลักทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้ไปใช้ในการออกแบบ แก๊วแบบงานให้มีประสิทธิภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นจะผลิตแบบจำลองเพื่อเก็บข้อมูลที่ได้และสรุปผล โดยรายละเอียดและเวลาดำเนินการดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1

แผนการดำเนินงานศึกษาวิจัย

ขั้นตอน	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559					
	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง							
2. จัดทำข้อมูลพร้อมนำเสนอเค้าโครงวิทยานิพนธ์							
3. ออกแบบและจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์							
4. สร้างแบบจำลองการทำงานจริง							
5. ปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลอง							
6. เก็บข้อมูล							
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์							

## บทที่ 2

### วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบเพื่อสร้างชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีกระบวนการค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งต้องการความเชี่ยวชาญในหลายๆ ด้านมีการจัดลำดับขั้นตอนในกระบวนการผลิตชิ้นงานให้เป็นงานอย่างง่ายหลายๆ งานต่อเนื่องกัน ดังนั้น การออกแบบเครื่องจักรกลจะต้องมีความรู้และเชี่ยวชาญขั้นพื้นฐาน ได้แก่ วิชาที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของแข็ง กลศาสตร์ของไหล มวล โมเมนตัม กระบวนการผลิต ทฤษฎีทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยีข้อมูลสื่อสาร ดังนั้น การออกแบบผลิตเครื่องจักรกลจึงมีส่วนเกี่ยวข้องกับสาขาวิชาต่างๆ เหล่านี้

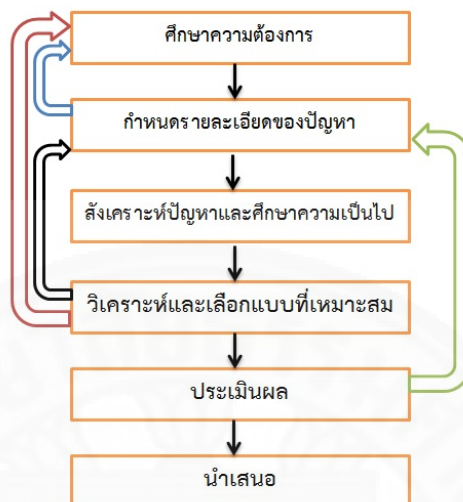
ปัญหาต่างๆ มักจะไม่แบ่งแยกเข้าไปเกี่ยวข้องกับเรื่องหนึ่งเรื่องใดโดยเฉพาะ ตัวอย่างเช่น การออกแบบเบร็กรางอย่างง่ายจะต้องเกี่ยวข้องกับหลักการของกลศาสตร์ของไหล การถ่ายเทความร้อน แรงเสียดทาน การส่งผ่านพลังงาน การเลือกวัสดุที่จะใช้ หลักการทางอุณหพลศาสตร์ คุณสมบัติทางสถิติศาสตร์และอื่นๆ แต่เมื่อมีการออกแบบอาคารจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการควบคุมสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ การถ่ายเทอากาศ ดังนั้น ในการออกแบบระบบเครื่องปรับอากาศในอาคารจึงจำเป็นต้องมีความรู้เฉพาะเรื่องดังกล่าวอย่างเพียงพอ เรื่องต่างๆ เหล่านี้จึงถูกแยกออกจากเรื่องของการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอย่างชัดเจน และในทำนองเดียวกันการออกแบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงส่งกำลังเครื่องยนต์พลังงานลมอัดก็จะถูกแยกปัจจัยการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลกับหลักกลศาสตร์ของไหลออกจากกัน เมื่อได้บทสรุปทั้ง 2 ปัจจัยแล้วค่อยทำสรุปผลเพื่อทำการสร้างเครื่องยนต์

#### 2.1.1 หลักการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

ในการออกแบบจะต้องคิดวางแผนเพื่อให้ได้เครื่องยนต์ตามความต้องการหรือเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากระบบขับเคลื่อนแบบเพลลาข้อเหวี่ยง จะต้องมีการพิจารณาอย่างถูกต้องสามารถใช้งานได้ มีความปลอดภัยในการใช้งาน สามารถผลิตได้จริง ดังนั้น หลักการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีดังนี้



1) กระบวนการในการออกแบบ โดย ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต (2547) ได้กล่าวถึงหลักเกณฑ์ในการออกแบบเพื่อให้ผลิตชิ้นงานได้จริงมีขั้นตอนเริ่มต้นการออกแบบดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการในการออกแบบ

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต (2547, หน้า 4)

- การศึกษาความต้องการ ทำการศึกษาถึงขั้นตอนที่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ เพื่อที่จะทำการออกแบบเพื่อพัฒนาชุดเพลลาข้อเหวี่ยงสำหรับเครื่องยนต์รถมอโต้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

- การกำหนดรายละเอียดของปัญหา หลังจากที่ได้ศึกษาความต้องการและสามารถกำหนดปัญหาของเครื่องยนต์ต้นแบบ ก็จะทำการออกแบบตามหลักเกณฑ์ที่จะใช้ในการออกแบบของชิ้นส่วนต่างๆ บอกลักษณะขนาด รูปร่าง และข้อจำกัดต่างๆ โดยกำหนดคุณลักษณะเฉพาะตามมาตรฐานอุตสาหกรรม หรือข้อกำหนดของการสมาคมผู้ผลิต

- การสังเคราะห์ปัญหาและศึกษาความเป็นไปได้ เมื่อกำหนดหลักเกณฑ์และรายละเอียดที่จะใช้ในการออกแบบแล้ว ก็นำรายละเอียดของปัญหาเหล่านั้นมาศึกษาความเป็นไปได้ของสิ่งที่จะออกแบบ แล้วนำไปสู่การสร้างเครื่องยนต์รถมอโต้ได้จริงตามจุดประสงค์ที่ได้วางไว้

- การวิเคราะห์และเลือกแบบที่เหมาะสม เมื่อมีความเป็นไปได้ในการที่จะสร้างเครื่องยนต์ให้เป็นไปตามแบบ ก็จะต้องวิเคราะห์ว่าเครื่องยนต์ที่พัฒนานั้น สามารถใช้งานได้ดีเพียงใด วิเคราะห์แนวทางการออกแบบ โดยทั่วไปมักจะมีหนทางเลือกในการออกแบบหลายหนทาง ในขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบจะตัดสินใจเลือกกลไกที่จะสร้างเครื่องยนต์แบบที่เหมาะสมที่สุดและสามารถใช้งานได้ดีที่สุด

- การประเมินผล เมื่อทำการออกแบบในเบื้องต้นแล้ว ขั้นตอนที่น่าจะมีความสำคัญในกระบวนการออกแบบก็คือการประเมินผล ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างต้นแบบตามรายละเอียดที่ได้ออกแบบไว้ แล้วทำการประเมินผลด้วยการทดสอบสมรรถนะ และการทำงานของเครื่องยนต์ที่พัฒนาจากการออกแบบและสร้างขึ้น ถ้าต้นแบบนั้นไม่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ก็ต้องทำการปรับปรุงแก้ไขโดยพิจารณารายละเอียดต่างๆ ที่ได้ออกแบบไว้ว่าเหมาะสมเพียงใด และปรับปรุงแก้ไขแล้วทำการทดสอบใหม่

- การนำเสนอ ขั้นตอนที่สุดท้ายในการออกแบบคือ การนำเสนอข้อมูลของการออกแบบที่มีความสมบูรณ์และชัดเจน จากนั้นจึงเริ่มผลิตตามแบบต่อไป

2) เครื่องมือช่วยเหลือนและทรัพยากรในการออกแบบ ในปัจจุบันมีเครื่องมือและทรัพยากรที่ช่วยให้ผู้ออกแบบมีความสะดวกมากขึ้น โดยเฉพาะการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ โดยที่โปรแกรมสามารถจำลองชิ้นงานที่ออกแบบได้อย่างสะดวกแม่นยำ ในการออกแบบระบบกลไกของเครื่องยนต์รถลมอัดมีความซับซ้อน ของชิ้นส่วนภายในเพื่อลดระยะเวลาในการออกแบบ และแก้ไขข้อผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำโปรแกรมการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์มาใช้งานด้วย โดยจะใช้โปรแกรม Solidworks 2014 ในการออกแบบ เพื่อใช้ในการผลิตชิ้นส่วนระบบกลไกของเครื่องยนต์รถลมอัด และจะใช้โปรแกรม Solidcam 2014 สำหรับควบคุมการผลิตด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ทั้ง 2 โปรแกรมจะมีลักษณะการใช้งานดังนี้

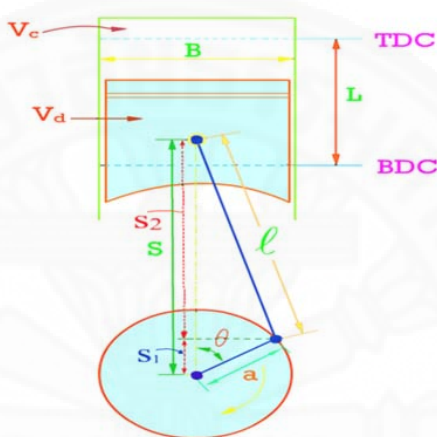
- โปรแกรม Solidworks เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม อาทิกการเขียนแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลในโรงงาน หรือชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น จึงนำมาใช้ในการออกแบบสร้างระบบกลไกภายในของเครื่องยนต์รถลมอัด เพิ่มความสะดวกรวดเร็ว เนื่องจากการสร้างภาพได้ทั้ง 3 มิติ และ 2 มิติ ทั้งยังสามารถนำชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้สร้างไว้มาประกอบกันเป็นชิ้นงานได้สะดวก ลดความผิดพลาดในการสั่งงานผลิตได้

- โปรแกรม Solidcam เป็นโปรแกรมเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ทางด้านงานผลิตที่ช่วยให้เราทำการเขียนโปรแกรมซีเอ็นซีสำหรับการตัดเฉือนโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องยนต์รถลมอัด ที่มีความซับซ้อนไม่สามารถใช้เครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยมือสามารถร่นระยะเวลาการผลิต ชิ้นงานที่ผลิตออกมาจะมีขนาดที่มีความผิดพลาดน้อย สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรม Solidworks ที่เป็นโปรแกรมการออกแบบได้อย่างสะดวก

3) ความปลอดภัยและความรับผิดชอบต่อชิ้นงาน เมื่อออกแบบหลักการและกลไกเครื่องยนต์แล้วจะต้องคำนึงถึงความเสี่ยงที่จะเกิดความบกพร่องได้ จำเป็นที่จะต้องพยายามหาทางแก้ไข จนกว่าความเสี่ยงนั้นหมดไปให้กลายเป็นความมั่นใจ วิธีการที่ดีที่สุดที่จะทำให้ออกแบบแล้วได้เครื่องยนต์ที่ปลอดภัยก็คือ การป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่องในชิ้นงานนับตั้งแต่การวิเคราะห์

การออกแบบ ควบคุมคุณภาพในการผลิต ดังนั้นการออกแบบจึงควรที่จะต้องศึกษาปัจจัยต่างๆ โดยละเอียดอย่างรอบคอบ

4) สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร (2546) กล่าวถึงหลักการออกแบบเครื่องยนต์แบบลูกสูบได้นั้นจะต้องคำนวณหาปริมาตรส่วนต่างๆ ตั้งแต่ชุดกระบอกสูบ ลูกสูบและเพลาค้อเหวี่ยงให้มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดสมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

ที่มา : เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ทฤษฎีและการคำนวณ วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร (2546, หน้า 45)

กำหนดให้

B คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ

L คือ ระยะชักหรือช่วงชัก

l คือ ความยาวก้านสูบ

a คือ รัศมีข้อเหวี่ยง

$\theta$  คือ มุมข้อเหวี่ยง

$V_d$  คือ เป็นปริมาตรกระจัด

$V_c$  คือ เป็นปริมาตรช่องว่าง

S คือ เป็นระยะระหว่างแกนข้อเหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ

การหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดสมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ หาได้จากสมการดังนี้

- อัตราส่วนการอัด

$$r_c = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (2.1)$$

- อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบกับระยะชัก

$$R_{bs} = \frac{B}{L} \quad (2.2)$$

- อัตราส่วนของความยาวก้านสูบกับรัศมีข้อเหวี่ยง

$$R = \frac{l}{a} \quad (2.3)$$

- ความสัมพันธ์ระหว่างระยะชักและรัศมีข้อเหวี่ยง

$$L = 2a \quad (2.4)$$

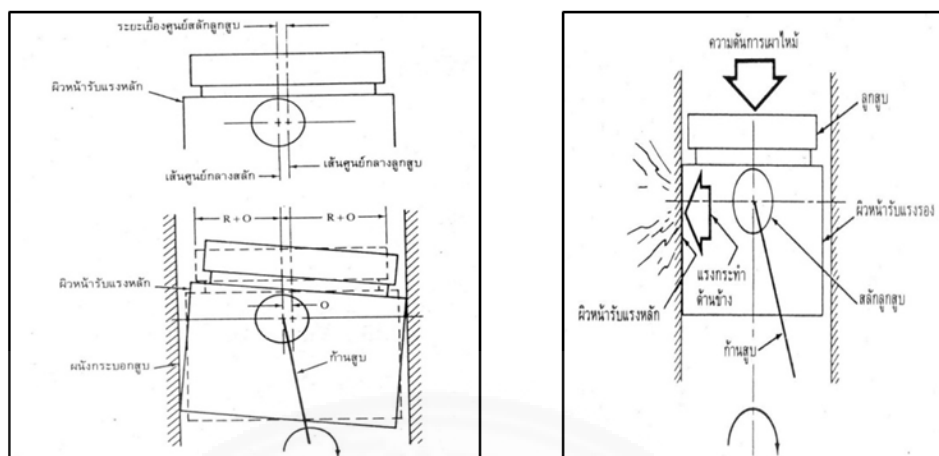
- ปริมาตรกระบอกสูบที่ตำแหน่งข้อเหวี่ยงใดๆ

$$V = V_c + \frac{\pi B^2}{4} \times (l + a - s) \quad (2.5)$$

- S เป็นระยะระหว่างแกนข้อเหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ ซึ่งหาได้จาก

$$S = a \cdot \cos(\theta) + \left( l^2 - a^2 \cdot \sin^2(\theta) \right)^{1/2} \quad (2.6)$$

จากรูปทรงทางเรขาคณิตจะทำให้เครื่องยนต์ส่วนมาก สลักลูกสูบจะเอียงศูนย์กลางจากเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบไปทางด้านผิวหน้ารับแรงหลัก (Major thrust face) ผิวหน้านี้ทำหน้าที่รับแรงกระทำระหว่างลูกสูบกับผนังกระบอกสูบในการเคลื่อนที่ขึ้นลง มุมก้านสูบ (Rod angle) จะเปลี่ยนจากซ้ายไปขวา สิ่งนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนผิวหน้ารับแรงเสียดสีอย่างทันทีทันใด ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบเมื่อมีค่าเยื้องศูนย์สลักลูกสูบ  
ที่มา : <http://www.auto2drive.com/สลักลูกสูบ> สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธ.ค.2558

### 2.1.2 หลักการกำลังงานของไหล

หลักการพัฒนาชุดเพลลาข้อเหวี่ยงรถลมอัดจะต้องวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของกำลังงานของไหลจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกอุปกรณ์กำลังงานของไหลเพื่อใช้ในการออกแบบระบบกลไกเครื่องจักรกล อีกทั้งสามารถใช้แก้ไขปัญหาของระบบอีกด้วย โดย อัครรัตน์ พูลกระจ่าง (2551) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องในการออกแบบเครื่องจักรกลได้แก่

#### 1) แรง น้ำหนักและมวล (Force, Weight and Mass)

- แรง คือ อำนาจอย่างหนึ่งซึ่งอาจจะเป็นการผลักหรือการดูดที่สามารถเปลี่ยนหรือพยายามที่จะเปลี่ยนสภาวะการหยุดนิ่งให้เกิดการเคลื่อนที่คำนวณได้จากสมการ
- น้ำหนัก คือ วัตถุหรือมวลต่างก็มีน้ำหนักในตัวมันเอง น้ำหนักที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลจากแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อมวลนั้น
- มวล คือ จำนวนของสารที่มีอยู่ในวัตถุหรือสิ่งของ เมื่อมวลของวัตถุถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำจะเกิดน้ำหนักขึ้น

#### 2) งานและกำลัง (Work and power)

- งาน คือ แรงที่ไปกระทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่แรงกระทำ ฉะนั้นจำนวนของงานจะแสดงอยู่ในรูปของแรงและระยะทาง

$$W = F \times s \quad (2.7)$$

$$W = \text{ค่างาน}$$

$$F = \text{แรงที่กระทำ}$$

$$S = \text{ระยะทางของการเคลื่อนที่}$$

- กำลัง คือ จำนวนของงานที่กระทำได้ในหน่วยของเวลาคำนวณจากสมการ

$$P_w = P \times A \times s \quad (2.8)$$

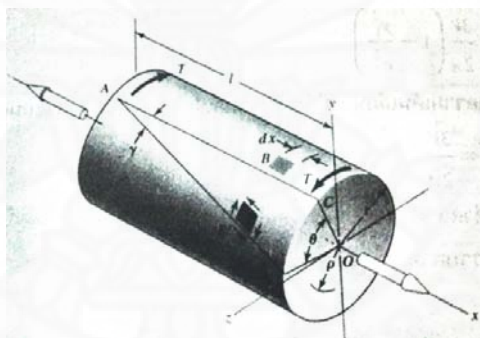
$P_w$  = กำลัง

$P$  = แรงดันของไหล

$A$  = พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ

$S$  = ระยะทางของการเคลื่อนที่

เมื่อเกิดงานและกำลังที่มากกระทำต่อเครื่องยนต์จะส่งถ่ายไปยังเพลลาหมุนจึงจะทำให้เกิดแรงที่เรียกว่า โมเมนต์บิด (Torque) ถ้าเพลลาถูกกระทำด้วยโมเมนต์จากภายนอก ทำให้โมเมนต์บิดภายใน  $T$  เกิดขึ้นภายในเพลลา จะเกิดความสัมพันธ์ของโมเมนต์บิดภายในกับการกระจายความเค้นเฉือนบนหน้าตัดของเพลลารูปวงกลม โดยมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวา ดังภาพที่ 2.4 โดยมุมที่เพลลาบิดไปจะวัดโดยใช้หน่วยเป็นเรเดียนซึ่งมีค่าดังนี้



ภาพที่ 2.4 ทิศทางแรงบิดตามกฎมือขวา

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต (2547, หน้า 124)

สำหรับการส่งถ่ายกำลัง เครื่องยนต์ที่จะทำการพัฒนาชุดเพลลาข้อเหวี่ยงนั้นจะอ้างอิงโดยใช้ หน่วย SI ด้วยสูตร

$$H = T\omega \quad (2.9)$$

$H$  = กำลังงาน มีหน่วยเป็น วัตต์

$T$  = โมเมนต์บิด มีหน่วยเป็น  $N \cdot m$  ( $T = 9.55 \frac{H}{n}$ )

$\omega$  = ความเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น rad/s

$N$  = ความเร็วในการหมุนของเพลลา มีหน่วยเป็น รอบ/นาที

3) แรงความดัน (Pressure) แรงดัน คือ ค่าของแรงที่กระทำกับของไหลต่อพื้นที่ที่ถูกกระทำ โดยความดันแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- แรงดันสถิต (Hydrostatic pressure) ความดันเกิดจากน้ำหนักตัวมันเอง โดยความดันที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = h \times \rho \times g \quad (2.10)$$

$P$  = แรงดัน

$h$  = ลำตั้งของน้ำมัน

$\rho$  = ความหนาแน่น

$g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

- แรงดันเกิดจากแรงภายนอก (Static pressure) หมายถึง ความดันที่เกิดจากแรงมากระทำ ถ้าแรงกระทำมากความดันจะมากตาม ในทำนองเดียวกันถ้าแรงกระทำน้อยความดันที่เกิดขึ้นก็น้อยตามไปด้วยคำนวณจากสมการ

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.11)$$

$P$  = แรงดัน

$F$  = แรงที่กระทำบนพื้นที่ (N)

$A$  = พื้นที่ที่ถูกกระทำ ( $\text{m}^2$ )

4) กฎของปาสคาล (Pascal's law) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อปาสคาลพบว่า ของไหลที่อยู่ในที่ที่มีขอบเขตจำกัดนั้นการถ่ายทอดแรงที่กระทำจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุอยู่ โดยที่กฎของปาสคาลสรุปได้ดังนี้

- แรงดันที่เกิดจากการไหล ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดจะไปปรากฏและกระทำมีค่าเท่ากันในทุกทิศทางต่อพื้นผิวภาชนะ

- ทิศทางของแรงดันของของไหลกระทำในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ที่ไหลนั้น

สัมผัสอยู่

- แรงดันของของไหลจะมีค่าเท่ากันในระดับเดียวกัน

5) การส่งถ่ายกำลัง (Transmission) การส่งถ่ายกำลังในระบบกำลังงานของไหล (Fluid power transmission of force) แบ่งการส่งถ่ายกำลังไว้ 2 ลักษณะดังนี้

- การส่งถ่ายแรงเนื่องจาก  $p$  คงที่ หมายถึง การส่งถ่ายแรงกำลังงานของไหลจากต้นทางของสายลมส่งไปยังปลายสาย โดยหากมีการต่อท่อแบบลดขนาดของหน้าตัดของสาย จะทำให้หน้าตัดสายที่ใหญ่จะรับแรงได้มากกว่าพื้นที่หน้าตัดเล็ก

- การส่งถ่ายแรงต่อเนื่องจาก  $F$  คงที่ หมายถึง การส่งแรงโดยพื้นที่ของสายลมที่มีหน้าตัดไม่เท่ากันส่งผลให้แรงดันไม่เท่ากัน

6) อัตราการไหล (Flow rate) สมาน เจริญกิจจุฬพล กับมนตรี พิรุณเกษตร, (2545) ได้นิยามปริมาตรของของเหลวที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดที่กำหนดในหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า อัตราการไหล หน่วยที่ใช้สำหรับอัตราการไหลจึงเป็นหน่วยของปริมาตรต่อหน่วยของเวลา นิยมใช้ในลักษณะงานต่างกัน เช่น ลูกบาศก์นิ้วต่อวินาที (C.I.S.) แกลลอนต่อนาที (G.P.M.) ลิตรต่อนาที (L.P.M.) เป็นต้น สามารถหาได้จากสมการ

$$Q = v \times A \quad (2.12)$$

$Q$  = อัตราการไหลของน้ำมันที่ผ่านท่อ

$V$  = ความเร็วน้ำมัน

$A$  = พื้นที่หน้าตัดท่อ

7) สมการการไหลอย่างต่อเนื่อง (Continuity equation) จากกฎการคงตัวของมวลที่ว่า มวลสารไม่สามารถสร้างขึ้นหรือหายไปได้ หมายถึง มวลสารที่ไหลเข้าไปในระบบหนึ่งย่อมเท่ากับมวลของสารที่ไหลออกจากระบบนั้น ดังนั้นในระบบที่มีการไหลสม่ำเสมอ มวลของของไหลที่ไหลผ่านทุกส่วนภาคตัดต่างๆ ในท่อในระยะเวลาหนึ่งย่อมเท่ากันเสมอ

8) พลังงานของของไหล (Fluid of energy) พลังงานของของไหลมีขอบเขตเหมือนพลังงานกล ถ้าของเหลวมีการเคลื่อนที่พลังงานทั้งหมดของของไหลมี 3 ลักษณะดังนี้

- พลังงานศักย์ หรือพลังงานจากแรงดึงดูดของโลก (Gravitational energy) ขึ้นอยู่กับความสูงของลำตัวของเหลว

- พลังงานจากแรงดัน หรือพลังงานสถิตของเหลว (Hydrostatic energy) ขึ้นอยู่กับความดัน

- พลังงานจลน์ หรือพลังงานการเคลื่อนที่ของของเหลว (Hydrodynamic energy) ขึ้นอยู่กับความเร็ว



จากหลักการข้างต้น สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\text{ค่าคงที่} = PW_{ps} + PW_{ps} + PW_{ks} \quad (2.13)$$

$$PW_{ps} = \text{พลังงานศักย์}$$

$$PW_{ps} = \text{พลังงานจากแรงดัน}$$

$$PW_{ks} = \text{พลังงานจลน์}$$

9) หลักการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's principle) สมการเบอร์นูลลี คือ สมการความสัมพันธ์ของการไหล การไหลในท่อพลังงานของไหลแบบยุบตัวไม่ได้และเป็นของไหลในอุดมคติว่า พลังงานทั้งหมดในการไหลแบบสม่ำเสมอที่หนึ่งคงที่และไม่คิดความเสียดทานจากการไหลจึงไม่สูญเสียพลัง

10) กำลังงานไฮดรอลิก (Hydraulic power) กำลังงานไฮดรอลิก หมายถึง ความดันใช้งานที่เกิดขึ้นตามภาระของงานกล กระทำต่อพื้นที่ภายในห้องปริมาตรของอุปกรณ์การทำงานจนได้แรงผลักดันให้ภาระของงานกลนั้นเคลื่อนที่ไปโดยสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{กำลังงานไฮดรอลิก} = \frac{PV}{t} \quad (2.14)$$

$$PV = \text{งานไฮดรอลิก}$$

$$t = \text{เวลา}$$

11) ความหนืด (Viscosity) ความหนืดเป็นคุณสมบัติของของไหลจริงที่ต่อต้านกับความเค้นเฉือน และเป็นแรงต้านทานต่อแรงเฉือนมีความสำคัญในการวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลที่ยึดติดอยู่กับพื้นผิวของของแข็งที่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งความหนืดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity) และความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity)

12) การไหลของของไหลภายในท่อ ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะการไหลคือ ชนิดของของไหล ขนาดและความเรียบของผิวภายในท่อทางอุณหภูมิน้ำมันและชนิดคอคอดต่างๆ ของอุปกรณ์ในระบบที่จะเกิดขวางการไหลได้ เช่น วาล์ว ข้อต่อ และอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งลักษณะการไหลของของไหลมีดังนี้

- การไหลที่มีความเร็วสม่ำเสมอ เรียกว่า การไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow) น้ำมันที่ไหลผ่านท่อความเร็วเฉลี่ยจะสม่ำเสมอตลอดเวลาในการไหล แต่บริเวณศูนย์กลางท่อความเร็วจะเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับบริเวณผิวผนังท่อ

- การไหลที่มีความเร็ววิกฤติ เป็นลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Tubulent flow) มีการสูญเสียพลังงานสูงมาก จึงควรหลีกเลี่ยงการไหลแบบนี้ นอกจากนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อก็มีผลต่อการสูญเสียพลังงาน ความเร็ววิกฤติของการไหลสามารถคำนวณได้และไม่ควรมีมากจนเกิดการเสียในระบบ

- การสูญเสียความดันขณะการไหลภายในท่อ มีสาเหตุมาจากการไหลเกิดความดันขึ้น สำหรับของเหลวคือเนื่องจากมีสิ่งกีดขวางการไหลของมัน ส่วนอากาศหรือก๊าซก็เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางการพุ่งกระจาย สิ่งที่เป็นตัวต้านทานหรือสิ่งกีดขวางการไหล ดังนั้นการสูญเสียความดันขณะการไหลภายในท่อ ได้แก่

(1) การหาค่าความสูญเสียหลัก (Major loss or friction loss) เนื่องจากแรงเสียดทานเมื่อของไหลไหลในท่อปิด พบว่ามีค่าดังสมการของ ดาร์ซี-ไวส์บซ์ ได้ทำการทดลองหาค่าการสูญเสียในท่อแล้วพบว่า เมื่อการไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลุมค่าความสูญเสียในท่อที่เกิดขึ้นจะเป็นตามสมการ

$$h_L = \frac{fLV^2}{2gD}$$

(2) การหาค่าความสูญเสียรอง (Minor loss) เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลอย่างทันทีทันใด เช่น การกีดขวางของการไหล หรือการเปลี่ยนแปลงความเร็วหรือทิศทางของการไหล ดังนั้นจึงเกิดในข้อลด ข้อขยาย วาล์ว ข้อต่อ ข้องอ เป็นต้น ทางเข้าและทางออกจากท่อ การพิจารณาในเชิงทฤษฎีมีสมการดังนี้

$$h_L = \frac{KV^2}{2g}$$

$h_L$  = ค่าสูญเสียจากความดันในท่อ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

f = ตัวประกอบแรงเสียดทาน

V = ความเร็วของของไหล

L = ความยาวท่อ

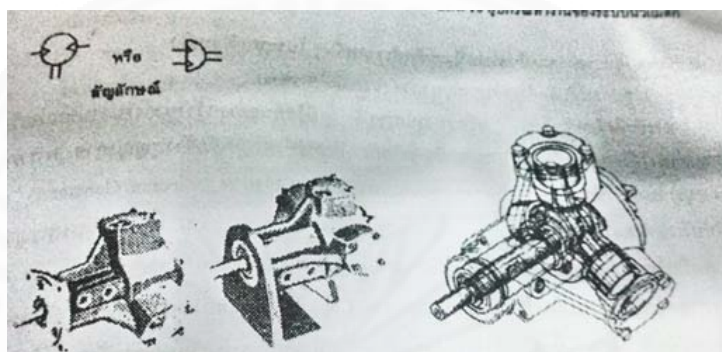
K = สัมประสิทธิ์ของค่าสูญเสียรอง

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

### 2.1.3 มอเตอร์ลม

มอเตอร์ลมสามารถควบคุมความเร็วให้ช้าหรือเร็วได้แล้วแต่ลักษณะงาน ซึ่งการออกแบบเครื่องยนต์ที่จะทำการพัฒนาชุดเพลลาข้อเหวี่ยงให้รับแรงจากพลังงานที่ใช้ลมเป็นตัวขับเคลื่อน ให้ลูกสูบทำงานซึ่งมีหลักการเดียวกันกับมอเตอร์ลมตามท้องตลาด สามารถแบ่งโครงสร้างของมอเตอร์ลมได้ 2 แบบดังนี้

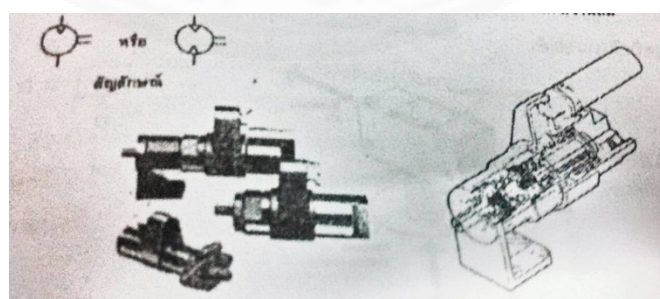
1) โครงสร้างมอเตอร์ลมที่เป็นลักษณะลูกสูบ มอเตอร์ลมประเภทนี้จะใช้ลูกสูบริบมอัดมาเปลี่ยนเป็นแรงกระทำในลักษณะการหมุน สามารถหมุนได้ 2 ทิศทาง ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.7 ลักษณะมอเตอร์ลมแบบลูกสูบ

ที่มา : กำลังงานของไหล อัครรัตน์ พูลกระจ่าง (2551, หน้า 259)

2) โครงสร้างมอเตอร์ลมที่เป็นลักษณะแผ่นเวน มอเตอร์ลมที่เป็นลักษณะแผ่นเวนนี้ จะประกอบด้วยแผ่นเวนโดยรอบ การหมุนมีทั้งแบบหมุนทางเดียวและ 2 ทิศทาง ลักษณะที่นำไปใช้งานเช่น สว่านลม จะมีรูปร่าง ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ลักษณะมอเตอร์ลมที่เป็นแบบมีแผ่นเวน

ที่มา : กำลังงานของไหล อัครรัตน์ พูลกระจ่าง (2551, หน้า 259)

### 2.1.4 เฟือง

เฟือง ที่พบเห็นทั่วไปมีลักษณะเป็นวงกลมคล้ายล้อที่มีฟันเฟืองที่ขอบโดยรอบ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็ว แรง หรือ เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่โดยการส่งกำลังหรือ ถ่ายทอดการหมุนจากเฟืองตัวหนึ่งไปยังเฟืองอีกตัวหนึ่ง โดยทั่วไปเฟืองจะทำงานควบคู่กับเพลลา ซึ่งเพลลาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งกำลังจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในลักษณะของการหมุน หากเพลลาเกิดการหมุนเฟืองก็จะหมุนตาม เฟืองมีหลายชนิดให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม เช่น เฟืองตรง เฟืองนอน เฟืองดอกจอก

#### 1) หน้าที่การทำงานของเฟือง มีดังนี้

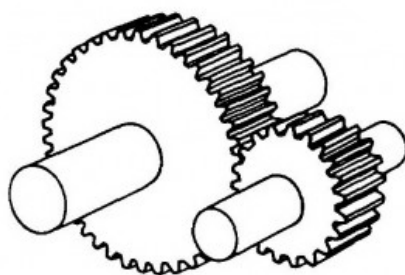
- การเพิ่มแรงและลดความเร็ว เฟืองจะทำหน้าที่เพิ่มแรงและลดความเร็วได้ นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งาน เช่น เฟืองตรง ทำงานโดยการหมุนรอบแกนเพลลาและส่งแรงหมุน นั้นไปยังเฟืองอีกตัวหนึ่งผ่านทางฟันของเฟืองทั้งสองที่สับกัน เฟืองที่อยู่กับต้นกำเนิดของแรง เรียกว่า เฟืองขับ ส่วนเฟืองที่สับอยู่แล้วหมุนตามเรียกว่า เฟืองตาม โดยเฟืองทั้งสองตัวจะหมุนใน ทิศทางตรงกันข้ามกัน

- การลดแรงและเพิ่มความเร็ว ถ้าเฟืองตรง ที่ใช้เป็นเฟืองขับที่มีจำนวนฟัน 50 ซี่ และเฟืองตามจำนวนฟัน 10 ซี่ เมื่อเฟืองขับหมุนไป 1 รอบจะทำให้เฟืองตามหมุนไปถึง 5 รอบ การใช้งานลักษณะนี้เป็นการเพิ่มความเร็วในการหมุนให้มากขึ้นแต่จะมีแรงในหมุนน้อยลง

- การเปลี่ยนแกนในการหมุน เฟืองดอกจอกมีลักษณะคล้ายกรวย ฟันของ เฟืองดอกจอกมีทั้งแบบตรงและแบบเฉียง เฟืองดอกจอก มีหน้าที่ส่งกำลังเพื่อเปลี่ยนแกนการหมุน ของเพลลา โดยจะใช้เฟืองดอกจอก 2 ตัวประกบกันทำมุม 90 องศา ตัวอย่างสิ่งของเครื่องมือเครื่องใช้ ในชีวิตประจำวันที่มีส่วนประกอบของเฟืองดอกจอก เช่น สว่านมือ เมื่อเราหมุนมือจับสว่านใน แนวนอนจะทำให้ดอกสว่านเคลื่อนที่โดยทำมุม 90 องศากับด้ามจับ

#### 2) ประเภทของเฟืองโดยทั่วไปที่นิยมใช้กันในหาอุตสาหกรรม มีดังนี้

- เฟืองตรง (Spur gears) เป็นเฟืองที่มีฟันขนานกับแกนหมุนและใช้ในการ ส่งกำลังการหมุนจากเพลลาหนึ่งไปยังอีกเพลลาหนึ่ง เฟืองตรงเป็นเฟืองที่มีโครงสร้างง่ายและไม่ สลับซับซ้อน โดยถ้าเฟืองตรงสองตัวขบกันเราเรียกว่า เฟืองพีเนียน (Pinion Gears) โดยทั่วไปแล้ว เฟืองตรงที่ใช้ส่งกำลังแต่ละคู่ นั้นจะมีขนาดของฟันเฟืองหรือโมดูล (Module, m) เท่า ๆ กัน หมุนด้วย ความเร็วเชิงเส้นที่เท่ากันแต่การได้เปรียบเชิงกลที่เกิดขึ้นจะเกิดจากจำนวนฟันที่ต่างกัน (อัตราทด, Ratio) ของเฟืองแต่ละตัวเฟืองตรงส่วนมากจะนำมาใช้ในระบบส่งกำลัง (Transmission Component) ดังภาพที่ 2.7



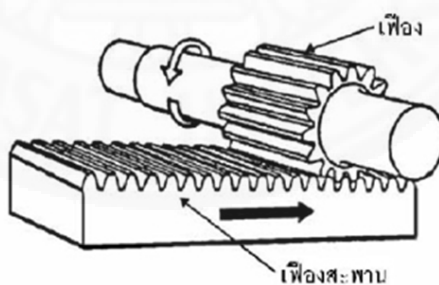
ภาพที่ 2.7 เฟืองตรง (Spur gears)

ที่มา : ชิ้นส่วนเครื่องกล อ่ำพล ชี้อตรง (2536, หน้า 214)

การใช้งานเฟืองตรง

- (1) ใช้ขับเพลลาเครื่องจักรกล
- (2) ใช้ขับเคลื่อนชิ้นส่วนเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ในระบบกลไก

- เฟืองสะพาน (Rack gears) เป็นเฟืองตรงชนิดหนึ่ง มีลักษณะรูปร่างยาวเป็นเส้นตรงเหมือนสะพาน ฟันเฟืองทำมุมกับลำตัว 90 องศา โดยประมาณ และต้องใช้คู่กับเฟืองตรง หน้าที่ของเฟืองสะพาน คือ ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในลักษณะการหมุน หรือการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น หรือการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ดังภาพที่ 2.8



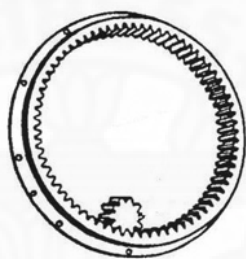
ภาพที่ 2.8 เฟืองสะพาน (Rack gears)

ที่มา : ชิ้นส่วนเครื่องกล อ่ำพล ชี้อตรง (2536, หน้า 216)

การใช้งานเฟืองสะพาน

- (1) การส่งถ่ายกำลังในเครื่องจักรกล
- (2) การส่งถ่ายกำลังในระบบบังคับเลี้ยวของรถยนต์ (Steering)

- เฟืองวงแหวน (Internal gears) เป็นเฟืองตรงชนิดหนึ่ง มีรูปร่างลักษณะกลมเช่นเดียวกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะอยู่ด้านบนของวงกลม และต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่มีขนาดเล็กกว่าขบอยู่ภายในเฟืองวงแหวน เฟืองวงแหวนจะใช้งานในลักษณะที่ต้องการให้เฟืองขับและเฟืองตามทำงานหรือหมุนในทิศทางเดียวกันสำหรับอัตราทดนั้นสามารถออกแบบให้มากหรือน้อยได้โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองตัวนอก (Ring) และเฟืองตัวใน (Pinion) ดังภาพที่ 2.9 โดยที่ถ้าหากเฟืองตัวในเล็กกว่าเฟืองตัวนอกมากอัตราทดก็จะมากและถ้าหากเฟืองตัวในมีขนาดใกล้เคียงกับเฟืองตัวนอกอัตราทดก็จะน้อย โดยปกติของเฟืองวงแหวนแล้วเฟืองตัวเล็ก (Pinion Gear) ที่อยู่ด้านในจะทำหน้าที่เป็นตัวขับ

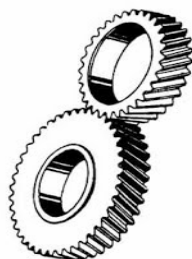


ภาพที่ 2.9 เฟืองวงแหวน (Internal gears)  
ที่มา : ชิ้นส่วนเครื่องกล อ่ำพล ชี้อตรง (2536, หน้า 217)

การใช้งานเฟืองวงแหวน

(1) ใช้เป็นเฟืองทดรอบในชุดพานาโทลี

- เฟืองเฉียง (Helical gears) เป็นเฟืองส่งกำลังที่มีฟันเฉียงทำมุมกับแกนหมุน มีลักษณะคล้ายเฟืองฟันตรง ดังภาพที่ 2.10 แต่มีเสียงที่เกิดจากการทำงานเบากว่าเฟืองฟันตรง นอกจากนั้นเฟืองเฉียงยังใช้ในการส่งกำลังให้กับเพลลาที่ไม่ขนานกันได้อีกด้วย



ภาพที่ 2.10 เฟืองเฉียง (Helical gears)  
ที่มา : ชิ้นส่วนเครื่องกล อ่ำพล ชี้อตรง (2536, หน้า 218)

### การใช้งานเฟืองเฉียง

#### (1) ใช้ส่งกำลังเพลลาที่ขนานกันและต้องการแรงบิดที่สูง

- เฟืองก้างปลา (Herringbone gears) เป็นเฟืองที่มีลักษณะคล้ายกับเฟืองตรงแต่ฟันของเฟืองจะเอียงสลับกันเป็นฟันปลา ซึ่งมีลักษณะของฟันเฟืองที่เอียงเข้าหากันในมุมที่เท่ากัน ทำให้แรงลัพท์ของแรงรูน (Trust) เท่ากับศูนย์ จากลักษณะของเฟืองก้างปลาดังภาพที่ 2.11 จะเห็นว่ามึลักษณะเหมือนกับการเอาเฟืองเฉียงมาประกบกันในลักษณะที่สมมาตร จากลักษณะของเฟืองก้างปลาที่มุมเอียงของเฟืองเอียงเข้าหากันในลักษณะที่องศาเท่ากันทำให้ผลลัพท์ของแรงรูนไม่มี



ภาพที่ 2.11 เฟืองก้างปลา (Herringbone gears)

ที่มา : ชิ้นส่วนเครื่องกล อ่ำพล ชี้อตรง (2536, หน้า 219)

### การใช้งานเฟืองก้างปลา

#### (1) ใช้ในการสร้างเครื่องจักรกลที่ต้องการลบแรงดันที่ปลายเฟือง

- เฟืองดอกจอก (Bevel gears) เป็นเฟืองที่มีการตัดฟันเฟือง ใช้สำหรับส่งกำลังจากเพลลาหนึ่งไปยังอีกเพลลาหนึ่งที่ตัดกัน มุมระหว่างเพลลาทั้งสองเป็นมุมระหว่างเส้นศูนย์ศูนย์กลางร่วมที่ตัดกัน ของฟันเฟือง ดังภาพที่ 2.12 มุมระหว่างเพลลาประมาณ  $90^{\circ}$

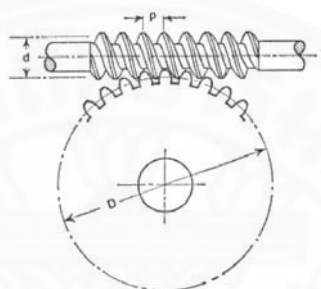


ภาพที่ 2.12 เฟืองดอกจอก (Bevel gears)

ที่มา : ชิ้นส่วนเครื่องกล อ่ำพล ชี้อตรง (2536, หน้า 220)



- เฟืองตัวหนอน (Worm gears) ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) และเฟืองตัวหนอน (Worm gear) ประกอบกันเป็นชุด ใช้ส่งกำลังที่แกนเพลลาที่ฉากกัน ลักษณะของเกลียวที่วางอยู่บนก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) เหมือนลักษณะของสกรูและเฟือง (Worm wheel) ซึ่งมีลักษณะเป็นล้อเฟืองคล้าย ๆ กับเฟืองเฉียง (Helical gear) แต่จะต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงสันฟันเฟืองจะมีลักษณะเว้าเพื่อให้รับกับความโค้งของเกลียวตัวหนอน ดังภาพที่ 2.13 แนวเพลลาขับ (Worm Shaft) และเพลลาตาม (Worm wheel shaft) ของเฟืองตัวหนอนจะทำมุมกันที่มุมฉาก 90 องศา



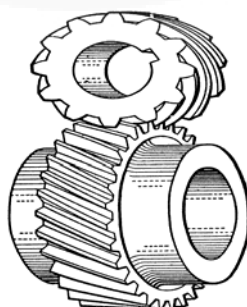
ภาพที่ 2.13 เฟืองตัวหนอน (Worm gears)

ที่มา : ชิ้นส่วนเครื่องกล อ่ำพล ชี้อตรง (2536, หน้า 220)

การใช้งานเฟืองหนอน

(1) ใช้ในการหมุนเปลี่ยนระนาบแกนเพลลา

- เฟืองเกลียวสกรู (Spiral gears) เป็นเฟืองเกลียวที่ใช้ส่งกำลังระหว่างเพลลาที่ทำมุม 90 องศา การใช้งานเฟืองชนิดนี้ส่วนมากจะใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการส่งกำลังของเพลลา มีรูปร่างดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 เฟืองเกลียวสกรู (Spiral gears)

ที่มา : ชิ้นส่วนเครื่องกล อ่ำพล ชี้อตรง (2536, หน้า 221)



### 2.1.5 ประสิทธิภาพของต้นแบบรถลมอัดของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มีเป้าหมายเพื่อเป็นการสนับสนุนนโยบาย ธรรมศาสตร์สีเขียวในปี 2557 ฝ่ายการศึกษานำโดย ผศ. ดร.ปริญญา เทวานฤมิตรกุล ร่วมกับ กลุ่มนักวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์นำโดย รศ. ดร. มณฑล ศาสนนันท์ จึงมีโครงการพัฒนารถ ต้นแบบพลังงานทางเลือก (Compressed air vehicle) เพื่อใช้กับระบบขนส่งมวลชนภายใน มหาวิทยาลัย ออกแบบโดย ดร.ยศวีร์ วีระกำแหง มีรูปทรงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 รถต้นแบบพลังงานลมอัด Compressed - air vehicle)

ที่มา : “โครงการพัฒนารถต้นแบบพลังงานลมอัดสำหรับขนส่งมวลชนภายใน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต” รศ. ดร. มณฑล ศาสนนันท์และคณะ (2557)

ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบรถต้นแบบรถพลังงานลมอัดมีถึงบรรจุมทั้งหมด 5 ถึง ซ้ำเคลื่อนด้วยมอเตอร์ลม ผลที่ได้จากการทดสอบมีดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

ประสิทธิภาพรถต้นแบบพลังงานลมอัด(Compressed - air vehicle)

สิ่งที่ต้องการทดสอบ	ประสิทธิภาพที่ได้
1. ความเร็วสูงสุด (ก.ม./ชม.)	7 ก.ม./ชม.
2. ระยะทาง (ก.ม./ลิตร)	0.010 ก.ม./ลิตร
3. ความจุลม (ลิตร/ถัง)	12 ลิตร/ถัง
4. ระยะเวลาการอัดลมเข้าถัง (นาที/ถัง)	13 นาที/ถัง

จากข้อมูลจะเห็นว่ารถต้นแบบที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ลม สามารถขับเคลื่อนด้วยความเร็วที่ต่ำ ระยะทางที่ได้ค่อนข้างจะน้อยเกินไป เมื่อเทียบกับลมจำนวน 60 ลิตร จึงนำไปสู่การพัฒนาการขับเคลื่อนด้วยระบบเครื่องยนต์โดยการพัฒนาชุดเพลาค้อเหวี่ยงให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการนำมาใช้กับรถลมอัด หากได้เครื่องยนต์ที่เหมาะสมต่อการใช้งานแล้ว ก็จะได้ทำการนำไปติดตั้งยังรถต้นแบบพลังลมอัด



ภาพที่ 2.16 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องยนต์ลมอัด

## 2.2 วรรณกรรมปริทรรศน์

รถพลังงานทางเลือกเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจในยุคปัจจุบัน เมื่อพลังงานเชื้อเพลิงมีการปรับตัวสูงขึ้นและเชื้อเพลิงก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความสนใจที่จะใช้พลังงานทดแทนเพื่อความประหยัดและเป็นการรักษาสีสิ่งแวดล้อม ทำให้มีบุคคลที่มีแนวคิดที่จะสร้างรถพลังงานทดแทนทั้งรถพลังงานไฟฟ้า รถพลังงานแสงอาทิตย์ หรือแม้กระทั่งรถพลังงานลม โดยเป็นที่นิยมเมื่อปี 2547 เดิร์ค เกียน และสเตฟาน ซิมเมอร์ ชาวเยอรมัน ได้สร้างรถยนต์ที่เรียกว่า Wind Explorer ซึ่งมีลักษณะคล้ายรถแข่ง 2 ที่นั่งความเร็วสูงสุด 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง วิ่งได้มากที่สุด 493 กิโลเมตรต่อวัน แต่แนวคิดนี้ไม่ได้ถูกนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ ในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2553 นักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สาขาเครื่องกลได้สร้างรถต้นแบบขับเคลื่อนด้วยพลังลมออกซิเจนใช้ถังออกซิเจน 2 ถัง ใช้เครื่องยนต์แบบลูกสูบเดี่ยวมาดัดแปลง สามารถนั่งได้เพียงคนขับคนเดียว วิ่งได้ระยะทางประมาณ 1.5 กิโลเมตร (ผศ.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท, 2553) ต่อมาในปี พ.ศ. 2554 นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าได้สร้างรถต้นแบบใช้พลังลมจากออกซิเจน 2 ถัง นั่งได้เพียงคนขับ ขับเคลื่อนด้วยชุดบล็อกลมวิ่งได้ระยะทางประมาณ 1.5 กิโลเมตร

(อ.สุจิตรา ฝาระนัด, 2554) จนกระทั่งมาในปี พ.ศ. 2557 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มีเป้าหมายเพื่อเป็นการสนับสนุนนโยบายธรรมศาสตร์สีเขียว ทางด้านนักวิจัยนำโดย รศ. ดร. มณฑล ศาสนนันท์ ได้พัฒนารถต้นแบบพลังลมอัด สำหรับขนส่งมวลขนภายใน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต ออกแบบโดย ดร.ยศวีร์ วีระกำแหง ซึ่งสามารถขับเคลื่อนด้วยพลังลมที่อัดในถังลมได้จริง ไม่มีมลพิษที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีเสียงรบกวนจากเครื่องยนต์เนื่องจากขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ลม ซึ่งจากรถต้นแบบคันดังกล่าวจะนำไปสู่ การพัฒนาให้มีระบบการขับเคลื่อนแบบเครื่องยนต์ โดยปรับปรุงและพัฒนาาระบบเพลาค้อเหวี่ยงมาเป็นระบบการส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยฟันเฟืองร่วมกับลูกสูบส่งกำลัง และลดการเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบเพื่อยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนของระบบเครื่องยนต์ให้ยาวนานมากขึ้น

ในการศึกษาและการออกแบบเครื่องยนต์ที่ใช้ หลักการทำงานแบบเพลาค้อเหวี่ยงในการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่นิยมใช้กันทั่วไป พบว่ายังมีข้อบกพร่องในจังหวะการทำงานของเพลาค้อเหวี่ยง ซึ่งผลจากงานวิจัยของ F.S. Silva (2545) ได้ศึกษาวิเคราะห์ความเสียหายของเพลาค้อเหวี่ยงที่ผ่านการเจียรนัยแล้ว เมื่อนำไปทดสอบการใช้งาน 1000 กิโลเมตร พบว่ามีผลกระทบต่อความเสียหายกับเพลาค้อเหวี่ยงหลังจากผ่านการเจียรนัย ทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลาก่อเกิดการเยื้องศูนย์ Aleksandar Vencl (2014) ยังพบรอยแตกและความล้าที่เกิดจากความร้อนเมื่อเกิดการเสียดสีระหว่างเพลาค้อเหวี่ยงที่เยื้องศูนย์กับแบริ่ง (เมนชาร์ป) ซึ่งรอยแตกที่มองไม่เห็นจะมีความคมที่เป็นจุดเริ่มต้นของความเสียหายอย่างรวดเร็วต่อแบริ่งและเพลาค้อเหวี่ยงเอง เมื่อปัจจัยที่เกิดจากการเจียรนัยแล้วส่งผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลาค้อเหวี่ยงทำให้ Koehler และคณะ (2556) ได้ทำการปรับสภาพเพลาค้อเหวี่ยงด้วยเลเซอร์ เพื่อปรับสภาพของการสวมใส่แบริ่งกับเพลาค้อเหวี่ยงหลัก ให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งผลที่ได้พบว่า การใช้เลเซอร์ปรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลาค้อเหวี่ยงทำให้ไม่เจอรอยแตกร้าวภายใน แต่ยังสามารถกระจายความร้อนเคลือบเสริมความแข็งแรงได้ แต่การซ่อมบำรุงด้วยลักษณะนี้มีค่าใช้จ่ายสูงมาก ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเพลาค้อเหวี่ยงอาจเกิดจากความผิดพลาดในการเคลื่อนไหวยของเพลาค้อเหวี่ยง จึงมีความจำเป็นที่จะประเมินแรงบิดของเครื่องยนต์ โดยการหาค่าเฉลี่ยแรงดันที่มีประสิทธิภาพต่อการเคลื่อนไหวย โดย Rachid Outbib (2553) ได้ทำการวิเคราะห์แรงดันที่จะใช้ในการขับเคลื่อนเพลาค้อเหวี่ยงโดยการศึกษาอิทธิพลและรูปแบบของค่าเฉลี่ยแรงดันที่มีประสิทธิภาพอยู่สองกรณี คือ รูปแบบของค่าเฉลี่ยแรงดันต่ำกับค่าเฉลี่ยแรงดันสูง พบว่าค่าเฉลี่ยแรงดันที่มีประสิทธิภาพแบบแรงดันสูง มีประสิทธิภาพในการให้แรงบิดที่สม่ำเสมอทำให้การขับเคลื่อนเครื่องยนต์มีความราบเรียบไม่สะดุดในช่วงจังหวะการส่งถ่ายกำลัง

### บทที่ 3 วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบเพลลาข้อเหวี่ยงลูกสูบ สำหรับการขับเคลื่อนเครื่องยนต์รถมอเตอร์ไซด์และชุดเพลาราวลัน เพื่อให้เหมาะสมกับระบบลมอัดที่จะสร้างขึ้นใหม่ มีจุดมุ่งหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งกำลังด้วยลมอัด และลดความเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ เพื่อยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆ ในระบบเครื่องยนต์ให้ยาวนานมากขึ้น โดยใช้หลักการของชุดเฟืองในการขับเคลื่อนลูกสูบให้เคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับเสื้อสูบ ซึ่งมีขั้นตอนและการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

#### 3.1 ศึกษาข้อมูลและรูปแบบของระบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงปัจจุบัน

เมื่อผู้วิจัยได้ทำการศึกษารูปแบบและข้อจำกัดในการหมุนของชุดเพลลาข้อเหวี่ยงส่งกำลังแบบเดิม โดยใช้ระบบการส่งกำลังด้วยเพลลาข้อเหวี่ยงแบบหนีศูนย์ในการขับเคลื่อนลูกสูบให้เคลื่อนที่ขึ้นลงตามจังหวะการทำงาน และยังมีระบบเพลาราวลันที่เป็นชุดควบคุมการปิด-เปิดระบบวาล์วไอดีและไอเสีย โดยใช้หลักทฤษฎีสัมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบของ วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร (2546) มาทำการวิเคราะห์หาค่า เมื่อทราบถึงลักษณะของชิ้นส่วนและระบบการส่งกำลังแบบเดิมแล้ว ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลนี้นำไปออกแบบพัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### 3.2 กำหนดตัวชี้วัดประสิทธิภาพของงานวิจัย

เมื่อศึกษาระบบกลไกของชุดเพลลาข้อเหวี่ยงแบบเดิม พบว่าระบบการส่งกำลังด้วยเพลลาข้อเหวี่ยงแบบหนีศูนย์ในการขับเคลื่อนลูกสูบให้เคลื่อนที่ขึ้นลง แล้วนำมาคำนวณหาค่าเชิงศูนย์หรือค่าหนีศูนย์ของก้านสูบที่จับยึดกับเพลลาข้อเหวี่ยง แล้วส่งผลกระทบต่อแบร็งก้านสูบและแบร็งเพลลาข้อเหวี่ยงเนื่องจากแรงเหวี่ยงของเพลลา ยังส่งผลต่อการเสียดสีของลูกสูบกับกระบอกสูบอีกด้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของชิ้นส่วนลดลง เพื่อลดความเสียหายของชิ้นส่วนและยืดอายุการใช้งาน จำเป็นที่จะต้องออกแบบให้มีค่าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ของเพลลาข้อเหวี่ยงให้ลดน้อยลง

### 3.3 การออกแบบและการจำลองระบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงแบบใหม่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เมื่อผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลและรูปแบบของระบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงที่ใช้ในปัจจุบันแล้ว จึงได้กำหนดตัวชี้วัดสำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการออกแบบ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงแบบใหม่ โดยใช้ตัวชี้วัดเป็นองศาของแกนสลัก ลูกสูบกับแกนเพลลาข้อเหวี่ยงในการเคลื่อนที่ขึ้นลงตลอดการหมุน 360 องศา ซึ่งตัวชี้วัดนี้จะใช้เพื่อสะท้อนถึงการลดความเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ และระบบกลไกเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนด้วยลมอัดหลังจากการปรับปรุงระบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงแบบใหม่

หลังจากการศึกษาปัญหาและแนวทางการพัฒนาได้แล้วผู้วิจัยก็ได้ทำการออกแบบระบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงส่งกำลังแบบใหม่ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้การขับเคลื่อนเพลลาข้อเหวี่ยงกับชุดลูกสูบด้วยระบบฟันเฟืองแบบหนีศูนย์และส่งกำลังด้วยลมอัด โดยใช้การพัฒนาเครื่องยนต์สูบเดียว 4 จังหวะ ดังนั้น จำเป็นที่จะต้องพัฒนาระบบเพลลาราวลื่นให้มีจังหวะการทำงาน ปิด-เปิดเพียง 2 จังหวะ โดยจะเหลือแค่จังหวะดูดและจังหวะคายเท่านั้น จะไม่มีจังหวะอัดและจังหวะระเบิดของเครื่องยนต์ โดยผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม Solid Works มาช่วยในการออกแบบและจำลองการเคลื่อนที่ 2 มิติและ 3 มิติ

### 3.4 สร้างแบบจำลองของระบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงแบบใหม่

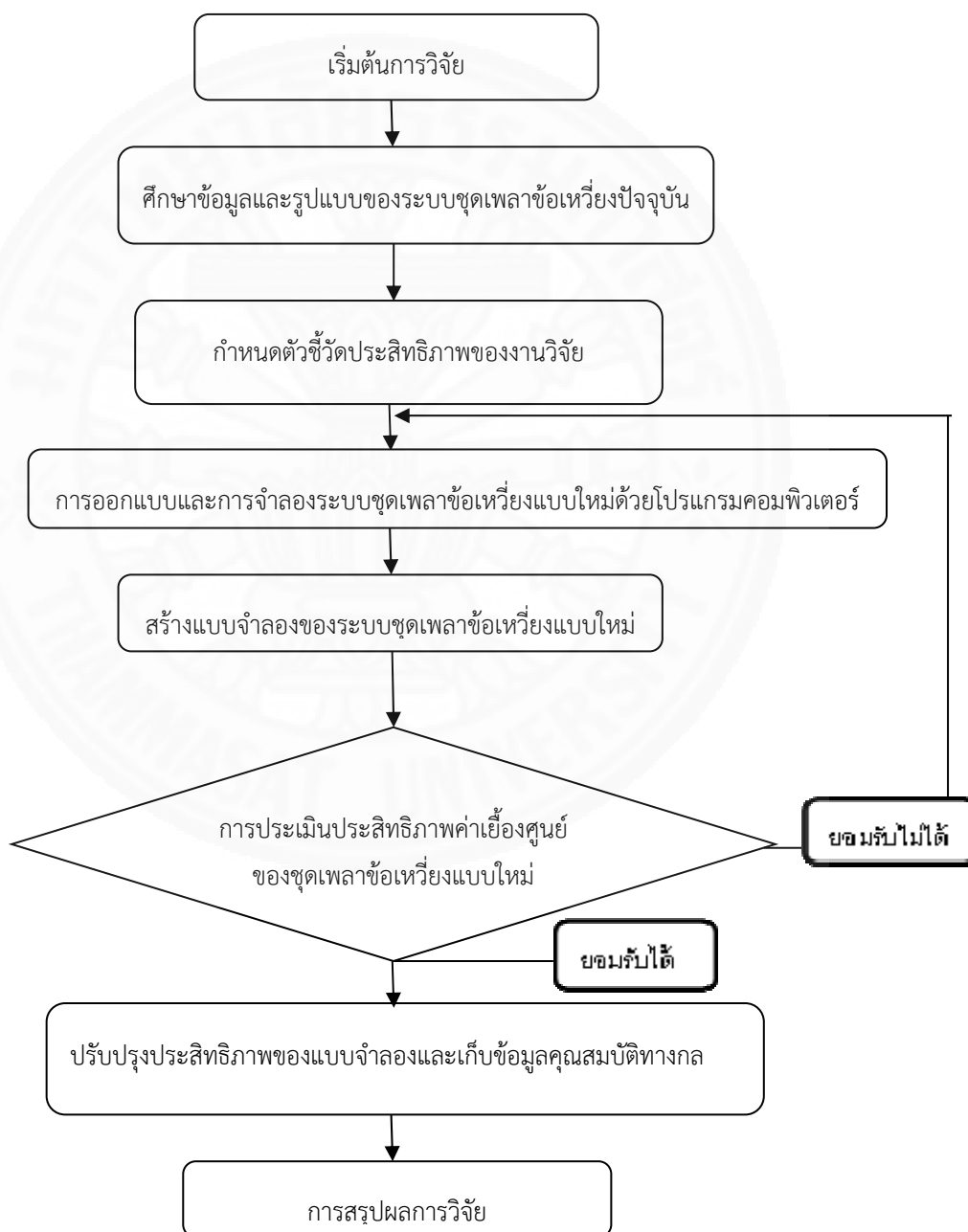
เมื่อผู้วิจัยได้ออกแบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงใหม่และระบบกลไกของเครื่องยนต์ขับเคลื่อนด้วยลมอัดจากโปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์แล้ว ก็จะนำผลที่ได้จากการออกแบบมาผลิตสร้างเป็นชิ้นงานและระบบกลไกจำลองการเคลื่อนที่จริง

### 3.5 ปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองและเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกล

นำผลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงแบบใหม่และทำการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพแล้ว จะนำผลที่ได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบหลักการทำงานของชุดเพลลาข้อเหวี่ยงและกลไกเครื่องยนต์แบบเดิมกับชุดเพลลาข้อเหวี่ยงและกลไกเครื่องยนต์หลังจากการพัฒนาแบบใหม่

### 3.6 การสรุปผลการวิจัย

นำผลที่ได้มาทำการสรุปผลการทดสอบระบบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงและกลไกภายใน เครื่องยนต์รถลมอัดแบบใหม่กับชุดเพลลาข้อเหวี่ยงและกลไกแบบเดิม เพื่อรับรองว่างานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ ทำขึ้นมานี้จะบรรลุผลตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ ซึ่งจะมีขั้นตอนการดำเนินงานโดยรวมสามารถสรุป ได้ตามภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนของวิธีดำเนินงานวิจัย



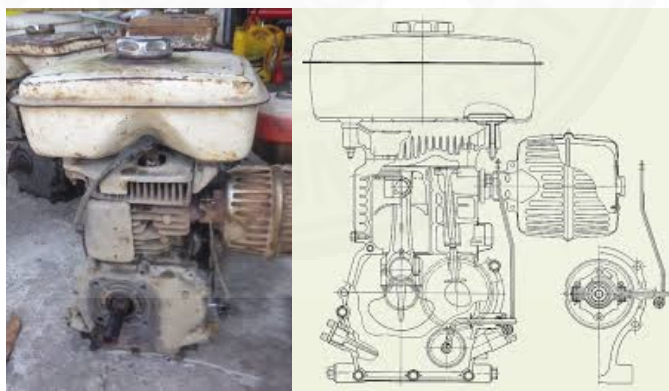
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาชุดเพลาค้อเหวี่ยงสำหรับเครื่องยนต์รถมอโต จะประยุกต์ใช้หลักการชุดเฟืองแทนการใช้เพลาค้อเหวี่ยงแบบเดิม และได้ดำเนินการตามวิธีการดำเนินงานวิจัยดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งได้ผลของการวิจัยในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### 4.1 รูปแบบของระบบชุดเพลาค้อเหวี่ยงแบบเดิม

จากงานวิจัยชิ้นนี้ทางผู้วิจัยได้นำเครื่องยนต์เบนซินแบบ 1 ลูกสูบดังภาพที่ 4.1 มาทำการวิจัยและพัฒนา ซึ่งหลักการโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ชนิดนี้ คือ จะมีการใช้น้ำมันและการจุดระเบิดด้วยชุดคอยล์หัวเทียนดังนั้นในระบบจะต้องพึ่งพาแรงเหวี่ยงจากเพลาค้อเหวี่ยงให้มากที่สุดเพื่อให้เกิดจังหวะอัดและจังหวะระเบิดของเชื้อเพลิง จากแรงเหวี่ยงเยื้องศูนย์กลางกับลูกสูบที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ และเมื่อมีการหล่อลื่นไม่ทั่วถึงจะเกิดการเสียดสีมีความร้อนเกิดขึ้นยังชุดแบร้งเพลาค้อเหวี่ยง ดังภาพที่ 4.2 เชื่อมโยงไปยังแบร้งก้านสูบและเพลาค้อเหวี่ยง ดังภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 จะส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์และชิ้นส่วนลดน้อยลง



ภาพที่ 4.1 เครื่องยนต์เบนซินแบบ 1 ลูกสูบ

ที่มา : [www.108engine.com/Engine\\_Gasoline5HP](http://www.108engine.com/Engine_Gasoline5HP) สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ธ.ค. 2558

แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความเสียหาย



ภาพที่ 4.2 แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความเสียหายจากการหนีศูนย์กลางของเพลา

เพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดรอยไหม้และร่องรอยเกิดความเสียหาย



ภาพที่ 4.3 เพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดรอยไหม้และร่องรอยเกิดความเสียหาย

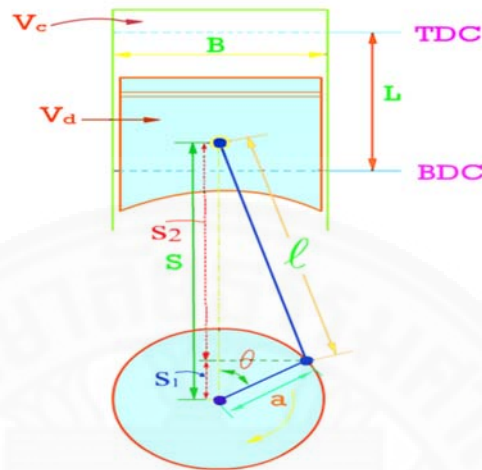
แบริ่งก้านลูกสูบที่เกิดความเสียหายจากเพลาข้อเหวี่ยง



ภาพที่ 4.4 แบริ่งก้านลูกสูบที่เกิดความเสียหายจากเพลาข้อเหวี่ยง



จากหลักทฤษฎีสัมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบของ วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร (2546) ดังภาพที่ 4.5 มาทำการวิเคราะห์หาค่า เพื่อให้ทราบลักษณะของชิ้นส่วนและระบบการส่งกำลังแบบเดิมดังนี้



ภาพที่ 4.5 สัมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ  
ที่มา : วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร (2546), หน้า 4

มีค่าตัวแปรในการหาค่าต่างๆ ดังนี้

B คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ = 67 มม.

L คือ ระยะชักหรือช่วงชัก = 55.6 มม.

l คือ ความยาวก้านสูบ = 98 มม.

a คือ รัศมีข้อเหวี่ยง = 30 มม.

$\theta$  คือ มุมข้อเหวี่ยง = 0 / 30 / 45 / 60 / 90 / 120 / 135 / 150 / 180 / 210  
225 / 240 / 270 / 300 / 315 / 330 / 360 องศา

S คือ เป็นระยะระหว่างแกนข้อเหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ

d คือ ค่าเยื้องหนีศูนย์กลางของเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉากกับลูกสูบ

m คือ ระยะห่างของจุดกึ่งกลางเพลานี้ศูนย์กลางถึงจุดกึ่งกลางเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉาก

#### 4.1.1 อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบกับระยะชัก

$$R_{bs} = B/L \Rightarrow 67/55.6 = 1.205 \text{ มม.}$$

#### 4.1.2 อัตราส่วนของความยาวก้านสูบกับรัศมีข้อเหวี่ยง

$$R = l/a \quad \Rightarrow \quad 98/30 = 3.26 \text{ มม.}$$

#### 4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะชักและรัศมีข้อเหวี่ยง

$$L = 2a \quad \Rightarrow \quad 2(30) = 60 \text{ มม.}$$

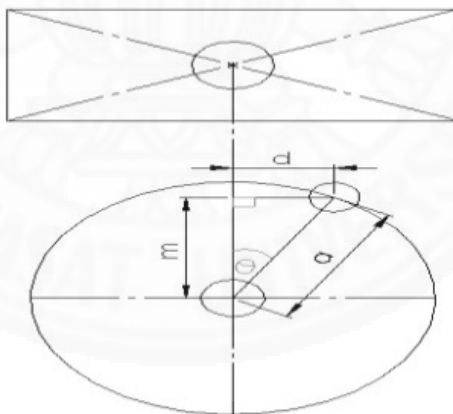
#### 4.1.4 S เป็นระยะระหว่างแกนข้อเหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ

$$S = a \cdot \cos(\theta) + \left( l^2 - a^2 \cdot \sin^2(\theta) \right)^{1/2} \quad (2.6)$$

#### 4.1.5 ค่าเยื้องหนีศูนย์ของเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉากกับลูกสูบ

ค่าเยื้องหนีศูนย์ของเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉากกับลูกสูบจะแทนค่าด้วย

ตัว d ใช้สูตรพีทาโกรัสหาได้จากสมการ  $d^2 = a^2 - m^2$  ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 สมการหาค่า d ค่าเยื้องหนีศูนย์ของเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉากกับลูกสูบ

#### 4.1.6 ค่าระยะห่างของจุดกึ่งกลางเพลานี้ศูนย์ถึงจุดกึ่งกลางเพลาค้อนเหวี่ยง

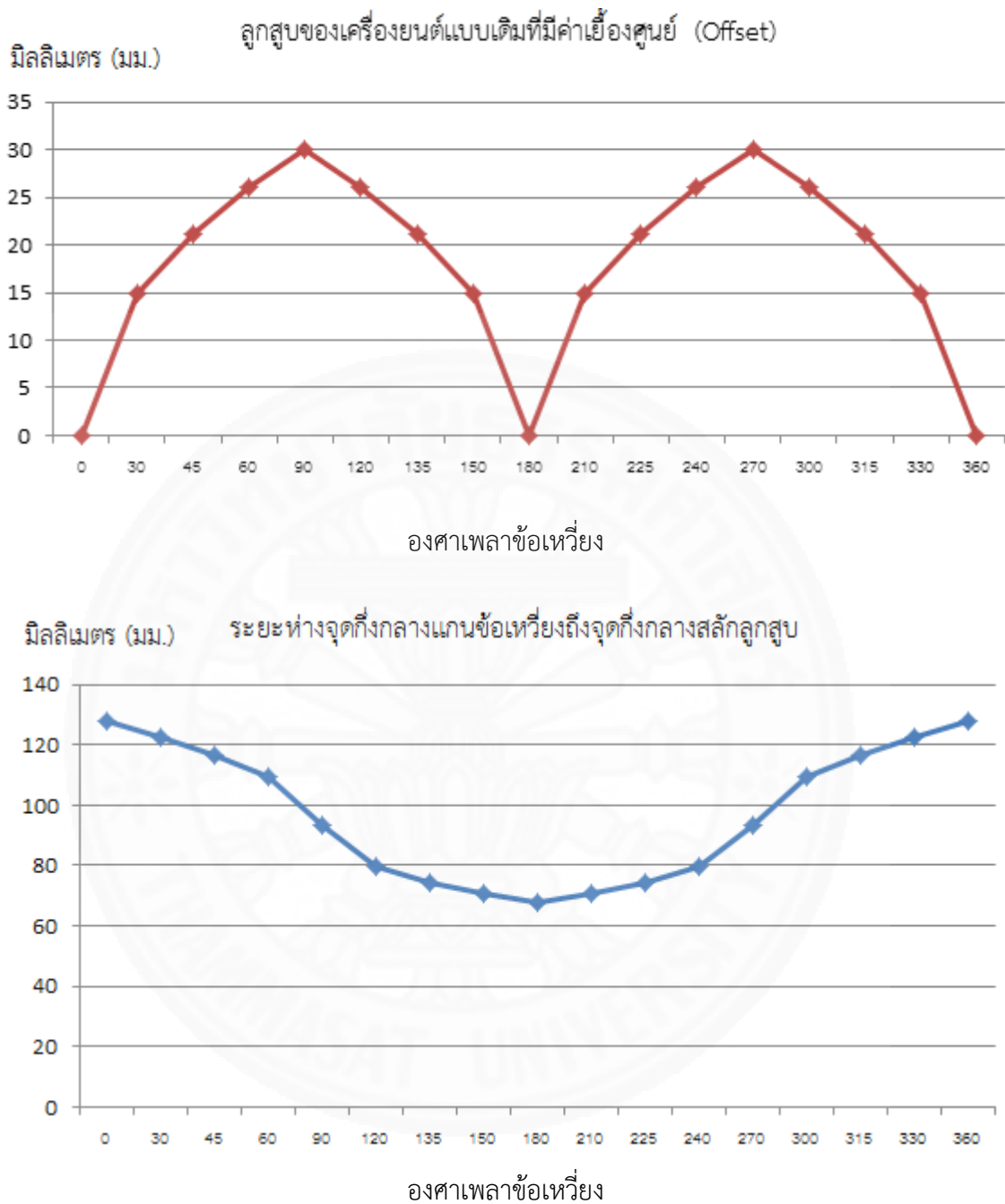
ค่าระยะห่างของจุดกึ่งกลางเพลานี้ศูนย์ถึงจุดกึ่งกลางเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉากจะแทนค่าด้วยตัว m หาได้จากสมการ  $a \cdot \cos(\theta)$  โดยค่า m จะมีค่าเป็นบวกเสมอ

จากสมการจะได้ผลคำนวณหาค่าระยะการเยื้องศูนย์ของชุดเพลลาข้อเหวี่ยงแบบเดิม จากผลที่ได้จากการวัดระยะการเยื้องศูนย์ของเครื่องยนต์แบบเดิมมีค่าดังตารางที่ 4.1 และแสดงค่า เป็นเส้นกราฟในภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.1

ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางแกนข้อเหวี่ยงถึงจุดกึ่งกลางสลักลูกสูบแบบดั้งเดิม

มุม ( $\theta$ ) องศา	S เป็นระยะระหว่างแกนข้อ เหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ (มม.)	มุม ( $\theta$ ) องศา	S เป็นระยะระหว่างแกนข้อ เหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ (มม.)	d ระยะห่างของจุด กึ่งกลางเพลลาหนีศูนย์ ถึงจุดกึ่งกลางเพลลาข้อ เหวี่ยง ในแนวแกนตั้ง ฉากกับลูกสูบ (มม.)
0	$30+98 = 128$			0
30	$25.98+96.85 = 122.83$	210	$(-25.98)+96.85 = 70.87$	15
45	$21.21+95.68 = 116.89$	225	$(-21.21)+95.68 = 74.47$	21.21
60	$15+94.49 = 109.49$	240	$(-15)+94.49 = 79.49$	25.98
90	$0+93.30 = 93.30$	270	$0+93.30 = 93.30$	30
120	$(-15)+94.49 = 79.49$	300	$15+94.49 = 109.49$	25.98
135	$(-21.21)+95.68 = 74.47$	315	$21.21+95.68 = 116.89$	21.21
150	$(-25.98)+96.85 = 70.87$	330	$25.98+96.85 = 122.83$	15
180	$(-30)+98 = 68$	360	$30+98 = 128$	0

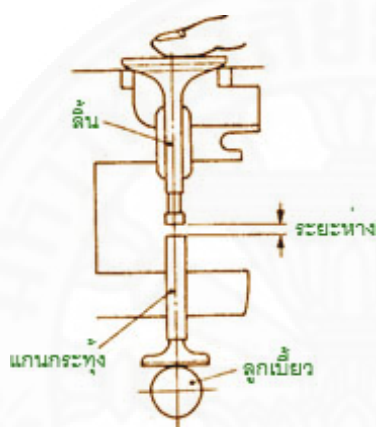


ภาพที่ 4.7 เส้นกราฟในการเคลื่อนที่ของชุดเพลาค้อเหวี่ยงใน 1 รอบ (360 องศา)

จากภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าในการเคลื่อนที่ของชุดเพลาค้อเหวี่ยง 1 รอบแบบหมุนตามเข็มนาฬิกา ที่องศา รวม 360 องศาจะเกิดค่าเยื้องศูนย์มากที่สุดที่ตำแหน่ง 90 องศา และ 270 องศา ระยะเยื้องศูนย์มากถึง 30 มม. ทำให้ส่งผลกระทบต่อมีการเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบและส่งผลถึงการเสียดสีระหว่างแบร็งก์้านสูบ แบร็งก์ข้อเหวี่ยงที่จะเกิดความร้อนส่งผลต่อการสึกหรอของ

เพลาค้อเหวียง จึงจำเป็นที่จะหาแนวทางแก้ไข ปรับปรุงข้อบกพร่องเพื่อลดการสึกหรอต่อชิ้นส่วนให้มากที่สุด ผลที่ได้จากการหาแนวทางศึกษาและออกแบบชิ้นส่วนจะได้เพลาค้อเหวียงแบบใหม่ที่จะส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนต่างๆ น้อยที่สุด

นอกจากนี้เครื่องยนต์สูบเดียว 4 จังหวะ จะมีจังหวะการทำงานของระบบ 4 จังหวะ คือ จังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะระเบิด และจังหวะคาย ซึ่งชุดเพลาราวลิ่งจะทำหน้าที่ ปิด-เปิด การทำงานของเครื่องยนต์ทั้ง 4 จังหวะ ดังภาพที่ 4.8 โดยการทำงานของ การเปิด-ปิดวาล์วไอดีและไอเสีย มีดังตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.8 ชุดเพลาราวลิ่งทำหน้าที่ ปิด-เปิด วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย

ตารางที่ 4.2

การทำงานของ การเปิด-ปิดวาล์วไอดีและไอเสีย

จังหวะการทำงาน	สถานะวาล์วไอดี	สถานะวาล์วไอเสีย
จังหวะดูด	/	x
จังหวะอัด	x	x
จังหวะระเบิด	x	x
จังหวะคาย	x	/

หมายเหตุ / เปิด x ปิด

## 4.2 การออกแบบและจำลองระบบชุดเฟลาข้อเหวี่ยงแบบใหม่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เมื่อผู้วิจัยได้ศึกษาระบบเครื่องยนต์แบบเดิมแล้ว จึงคิดที่จะปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยลมอัด ซึ่งก่อนการจะผลิตจะต้องทำการออกแบบตามหลักของการออกแบบเครื่องจักรกล โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ วิเคราะห์หลักการทำงาน และจำลองกลไกการทำงานบนหน้าจคอมพิวเตอร์ หาจุดบกพร่องแล้วทำการแก้ไขให้เกิดความสมบูรณ์มากที่สุด แล้วค่อยนำแบบที่ได้ไปสั่งการผลิตต่อไป ซึ่งผู้วิจัยได้นำโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบและจำลองการเคลื่อนที่ของระบบกลไกเครื่องยนต์ คือ Solidworks 2014

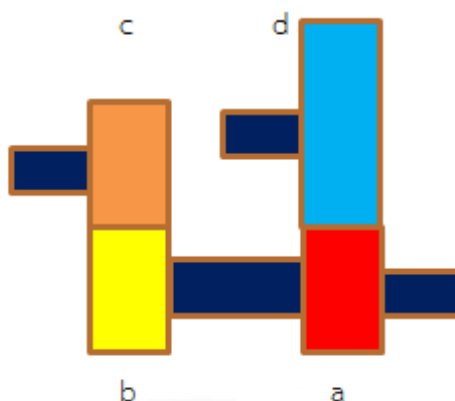
### 4.2.1 การออกแบบชุดฟันเฟืองเฟลาแบบหนีศูนย์หรือเฟลาข้อเหวี่ยง

จากข้อมูลพื้นฐานจากระบบกลไกของเครื่องยนต์แบบเดิมที่จะนำอ้างอิงในใช้ในการออกแบบ คือ ระยะชักหรือช่วงชัก = 55.6 มม. รัศมีข้อเหวี่ยง = 30 มม. จุดกึ่งกลางระหว่างเฟลาข้อเหวี่ยงกับเฟลาราวลีน = 61.50 มม. และอัตราทดของชุดเฟืองเดิม จากการคำนวณจะได้ชุดเฟืองที่จะใช้ในการเหวี่ยงลูกสูบแบบใหม่ให้เหมาะสมกับความสัมพันธ์ของกลไกระยะขึ้นลงลูกสูบกับชุดเฟลาราวลีนที่ใช้ทำการ ปิด-เปิดวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย จะได้ข้อมูลฟันเฟืองตามตารางที่ 4.3 และอัตราทดที่ได้จากการคำนวณดังภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.3

ข้อมูลฟันเฟือง

โมดูลที่ใช้	$m = 1.75$ มม.
จำนวนฟันเฟือง	$Z = 25$ ฟัน
ความสูงฟัน	$h = 3.792$ มม.
ยอดฟัน	$D = m+(Z+2) = 1.75+(25+2) = 47.25$ มม.
รูสมแกนเฟลาแบบหนีศูนย์	$a = 30$ มม.
ความหนาฟันเฟือง	$b = 18$ มม.



ภาพที่ 4.9 ชุดเฟืองขับเคลื่อน

โดย เฟืองขับเพลาช้อเหวี่ยง  $a = 25$  ฟัน      เฟืองขับแกนลูกสูบ  $c = 25$  ฟัน  
เฟืองตามเพลาช้อเหวี่ยง  $b = 25$  ฟัน      เฟืองตามเพลาราวล้น  $d = 50$  ฟัน

จากสูตรคำนวณหาอัตราทดเฟือง

$$i = \frac{\text{ผลคูณของจำนวนฟันเฟืองตามทั้งหมด}}{\text{ผลคูณของจำนวนฟันเฟืองขับทั้งหมด}}$$

$$i = 50 \times 25 / 25 \times 25$$

$$i = 2$$

เพราะฉะนั้นจะได้อัตราทดของชุดเฟืองขับเคลื่อนเพลาช้อเหวี่ยงและเพลาราวล้นเป็นอัตราทด 2 : 1 รอบ

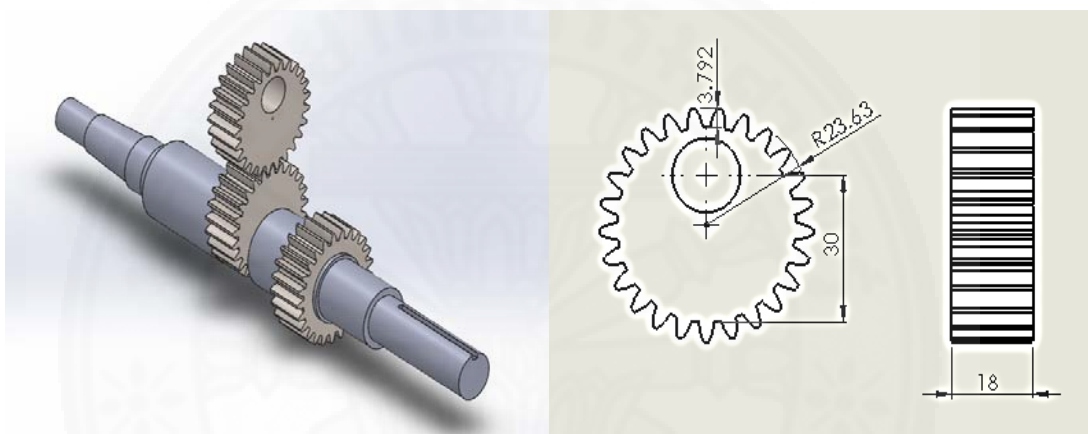
เมื่อคำนวณขนาดของเฟืองแล้วก็จะทำการออกแบบและกำหนดขนาดของชุดฟันเฟืองจะได้ดังภาพที่ 4.10 มากำหนดวัสดุที่ใช้ในการผลิตชุดเฟือง สำหรับสร้างแบบจำลองระบบเพลาช้อเหวี่ยงสำหรับเครื่องยนต์รถลมนัดแบบใหม่ ซึ่งวัสดุที่จะใช้ในการผลิตเฟืองของแบบจำลอง จะเป็นอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 5083 ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร อาทิเช่น งานกลึง งานเจาะ งานกัด ได้ง่าย มีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อนสูง จะมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของอลูมิเนียมอัลลอย เป็นอลูมิเนียมทำอะไหล่ ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรและชิ้นส่วนอื่นๆ

## ตารางที่ 4.4

## ส่วนผสมของอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 5083

ส่วนผสมทางเคมี (%)	แมกนีเซียม (Mg)	โครเมียม (Cr)	แมกกาเนิส (Mn)
	5.20	0.10	0.10

ที่มา : [www.methametal.com/14996049/อลูมิเนียมอัลลอย](http://www.methametal.com/14996049/อลูมิเนียมอัลลอย) สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ธันวาคม 2558



ภาพที่ 4.10 แบบขนาดฟันเฟืองหนีศูนย์

เมื่อชุดเฟืองที่ได้ทำการออกแบบ แล้วนำไปผลิตด้วยอลูมิเนียมเพื่อสร้างแบบจำลอง หากได้การออกแบบที่ถูกต้องและเหมาะสม ในการจะทำการผลิตเฟืองใช้กับเครื่องยนต์รถลมอัดจริง จะทำการเปลี่ยนวัสดุจากอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 5083 เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C เนื่องจากเป็นเหล็กที่นำมาผลิตเฟืองใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป จะมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 4.5

## ตารางที่ 4.5

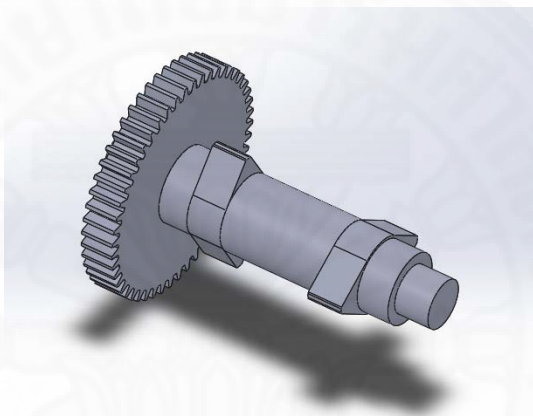
## ส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C

ส่วนผสมทางเคมี (%)	คาร์บอน (C)	ซิลิกอน (Si)	แมกกาเนิส (Mn)
	0.42	0.35	0.90



#### 4.2.2 การออกแบบชุดเพลาาราวลื่น

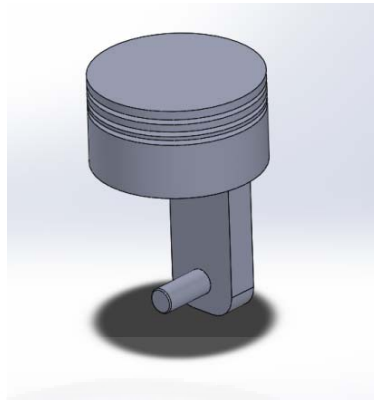
ในงานวิจัยชิ้นนี้ทางผู้วิจัยได้ใช้การพัฒนาเครื่องยนต์สูบเดี่ยว 4 จังหวะ ดังนั้น จำเป็นที่จะต้องพัฒนาระบบเพลาาราวลื่นให้มีจังหวะการทำงาน ปิด-เปิดเพียง 2 จังหวะ โดยจะเหลือแค่จังหวะดูดและจังหวะคายเท่านั้น จะไม่มีจังหวะอัดและจังหวะระเบิดของเครื่องยนต์ เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานในระบบขับเคลื่อนด้วยลมอัด หลักการพัฒนาชุดเพลาาราวลื่นปิด-เปิดวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย จะทำโดยการเพิ่มกระเดื่องกดวาล์วทั้งสองด้าน เพื่อที่จะให้การทำงานของระบบวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย ทำงานสลับกัน ขจัดการทำงานของวาล์วทั้งสองที่จะปิดพร้อมกัน จะได้แบบและขนาดของเพลาาราวลื่นแบบ 3 มิติดังภาพที่ 4.11



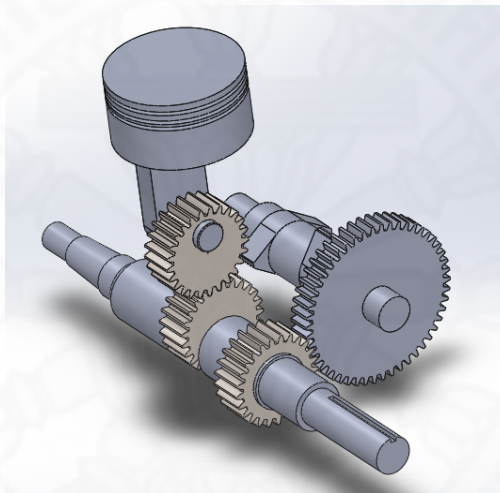
ภาพที่ 4.11 แบบของเพลาาราวลื่น 3 มิติที่ได้ทำการออกแบบใหม่

#### 4.2.3 การออกแบบลูกสูบและก้านสูบ

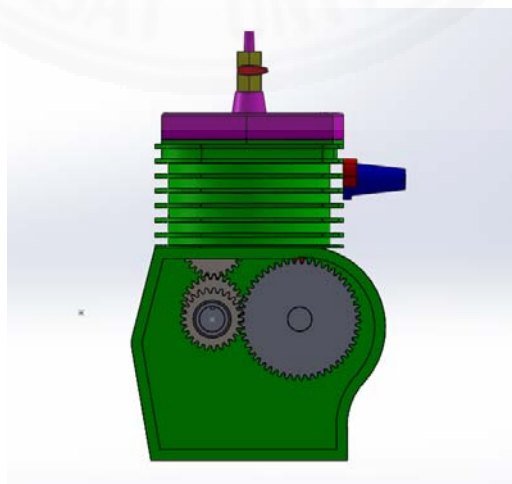
ในงานวิจัยนี้จะต้องมีการออกแบบพัฒนาชุดก้านสูบขึ้นมาใหม่ ซึ่งในเครื่องยนต์ปัจจุบันนั้นมีระบบกลไกของก้านสูบยึดกับลูกสูบโดยมีสลักเป็นตัวยึดอิสระไม่ยึดแน่น ทำให้ก้านสูบสามารถเหวี่ยงตัวได้เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ด้วยเพลาช้อเหวี่ยง ทำให้ในการเคลื่อนที่ลูกสูบจะเกิดแรงกระแทกเสียดสี ดังนั้นการออกแบบก้านสูบที่จะใช้แรงหนีศูนย์กลางจากพินเฟืองเป็นตัวดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ จำเป็นที่จะต้องยึดก้านสูบกับลูกสูบแบบยึดแน่นตั้งฉากกันเพื่อที่จะกำจัดการเยื้องศูนย์กลางของลูกสูบกับเพลาช้อเหวี่ยง หลังจากออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็ได้ชุดก้านสูบขึ้นมาใหม่ดังภาพที่ 4.12 และภาพแสดงระบบกลไกภายในของชุดเพลาช้อเหวี่ยงหลังจากการออกแบบพัฒนาดังภาพที่ 4.13 รวมไปถึงการแสดงผลภาพประกอบแบบแยกชิ้นส่วนในระบบกลไกเครื่องยนต์ดังภาพที่ 4.14 และภาพที่ 4.15



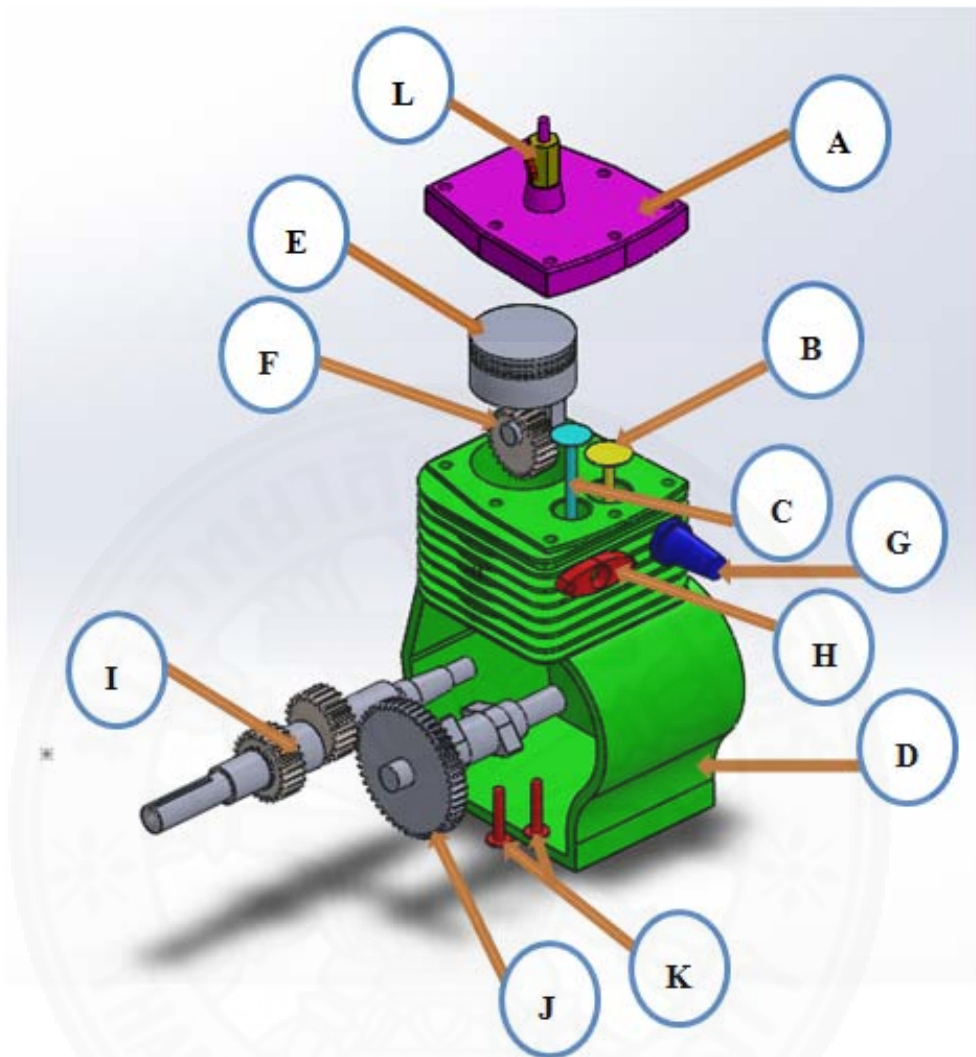
ภาพที่ 4.12 แบบของก้านลูกสูบและลูกสูบ 3 มิติที่ได้ทำการออกแบบใหม่



ภาพที่ 4.13 ภาพระบบกลไกภายในของชุดเพลลาข้อเหวี่ยงหลังจากการออกแบบพัฒนา



ภาพที่ 4.14 ภาพประกอบชุดเพลลาข้อเหวี่ยงหลังจากการพัฒนาและระบบกลไกของเครื่องยนต์ลมอัด



ภาพที่ 4.15 ภาพแยกประกอบหลังจากการพัฒนาและระบบกลไกของเครื่องยนต์ด้วยลมอัด

ชิ้นส่วนของระบบเครื่องยนต์หลังจากการออกแบบและพัฒนาระบบกลไกภายในเครื่องยนต์ด้วยลมอัด

- |                             |  |                                    |
|-----------------------------|--|------------------------------------|
| A = ฝาสูบ                   | F = เฟืองดันลูกสูบ                         | K = ลิ้นดันวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย |
| B = วาล์วลิ้นไอดี           | G = อุดตันลมกลับลิ้นไอดี                   | L = วาล์วลมเข้า                    |
| C = วาล์วลิ้นไอเสีย         | H = ช่องระบายลมออกลิ้นไอเสีย               |                                    |
| D = เสือสูบลมและเสือเครื่อง | I = ชุดเพลลาเฟืองข้อเหวี่ยง                |                                    |
| E = ลูกสูบ                  | J = ชุดเพลลาวัลลิ้นวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย |                                    |

### 4.3 สร้างแบบจำลองของระบบชุดเพลาข้อเหวี่ยงแบบใหม่

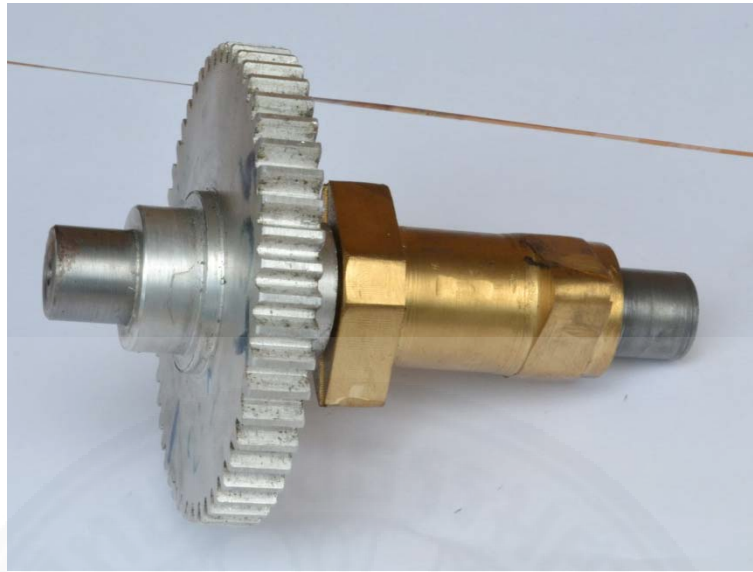
เมื่อผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและการจำลองระบบชุดเพลาข้อเหวี่ยงแบบใหม่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้ว ก็จะนำแบบที่ได้ไปสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ ตั้งแต่ขั้นตอนการขึ้นรูป ลูกสูบ รวมถึงระบบเพลาข้อเหวี่ยงแบบฟันเฟือง ก่อนที่จะนำไปติดตั้งกับระบบเครื่องยนต์รถถมอัดจริงต่อไป ตามภาพที่ 4.16 ซึ่งผลจากการสร้างชิ้นงานขึ้นมาเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลจะเป็นชิ้นงานดังภาพที่ 4.17 ถึง ภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.16 เพลาข้อเหวี่ยงแบบฟันเฟืองเยื้องศูนย์



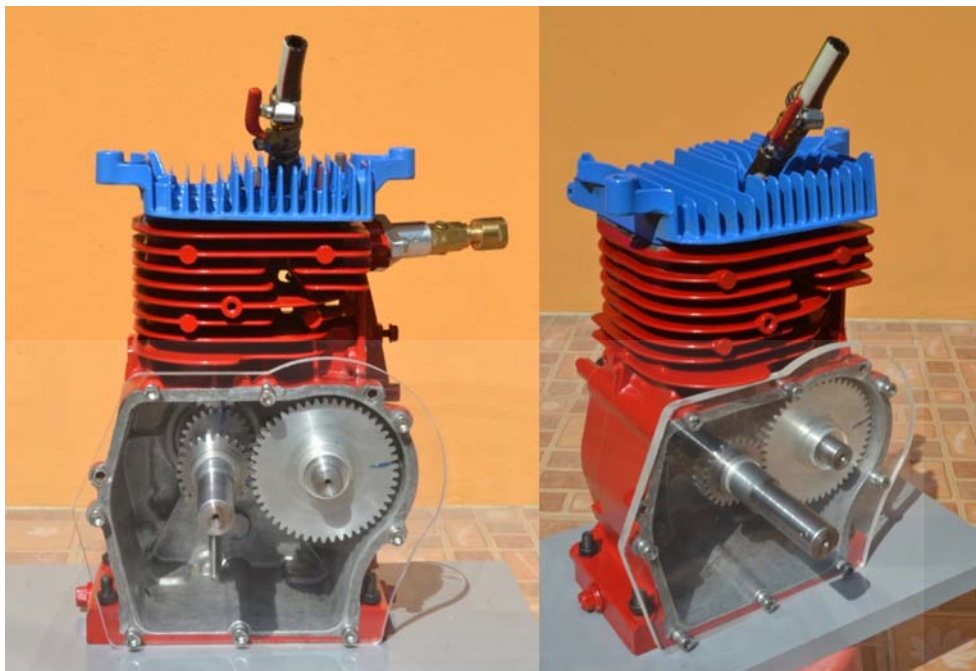
ภาพที่ 4.17 เฟืองเยื้องศูนย์ติดปลายก้านลูกสูบ



ภาพที่ 4.18 เฟลาราวลีนแบบกระเดื่องคู่



ภาพที่ 4.19 ก้านลูกสูบยึดติดกับลูกสูบแบบคงที่



ภาพที่ 4.20 ภาพประกอบเมื่อพัฒนาเพลาค้อเหวี่ยงและระบบกลไกของเครื่องยนต์ด้วยลมอัด

#### 4.4 ปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองและเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกล

เมื่อสร้างแบบจำลองของระบบเพลาค้อเหวี่ยงและระบบกลไกเครื่องยนต์ที่จะใช้กับรถลมอัดได้แล้ว ก็จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกล โดยผลที่ได้จะช่วยลดปัญหาการเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบได้ อีกทั้งสามารถได้ระบบเครื่องยนต์ที่เหมาะสมต่อการใช้ลมอัด พร้อมทั้งจะติดตั้งกับรถพลังลมอัดต่อไป ซึ่งต้นแบบการจำลองมีผลตามตารางที่ 4.5 และภาพแสดงกราฟการเคลื่อนที่ดังภาพที่ 4.21 ตามข้อมูลดังนี้

มีค่าตัวแปรดังนี้

B คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ = 67 มม.

L คือ ระยะชักหรือช่วงชัก = 40 มม.

l คือ ความยาวก้านสูบ = 46.30 มม.

a คือ รัศมีข้อเหวี่ยง = 0 มม.

$\theta$  คือ มุมข้อเหวี่ยง = 0 / 30 / 45 / 60 / 90 / 120 / 135 / 150 / 180 / 210  
225 / 240 / 270 / 300 / 315 / 330 / 360 องศา

S คือ เป็นระยะระหว่างแกนข้อเหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ



S คือ เป็นระยะระหว่างแกนข้อเหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ  
 d คือ ค่าเยื้องหนีศูนย์กลางของเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉากกับลูกสูบ  
 m คือ ระยะห่างของจุดกึ่งกลางเพลานี้ศูนย์กลางถึงจุดกึ่งกลางเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉาก

#### 4.4.1 อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบกับระยะชัก

$$R_{bs} = B/L \quad \Rightarrow \quad 67/40 = 1.675 \text{ มม.}$$

#### 4.4.2 อัตราส่วนของความยาวก้านสูบกับรัศมีข้อเหวี่ยง

$$R = l/a \quad \Rightarrow \quad 46.30/0 = - \text{ มม.}$$

#### 4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะชักและรัศมีข้อเหวี่ยง

$$L = 2a \quad \Rightarrow \quad 2(0) = 0 \text{ มม.}$$

#### 4.4.4 S เป็นระยะระหว่างแกนข้อเหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ

$$S = a \cdot \cos(\theta) + \left( l^2 - a^2 \cdot \sin^2(\theta) \right)^{1/2} \quad (2.6)$$

#### 4.4.5 ค่าเยื้องหนีศูนย์กลางของเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉากกับลูกสูบ

ค่าเยื้องหนีศูนย์กลางของเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกนตั้งฉากกับลูกสูบจะแทนค่าด้วย

ตัว d ใช้สูตรพีทาโกรัสหา ได้จากสมการ  $d^2 = a^2 - m^2$

#### 4.4.6 ค่าระยะห่างของจุดกึ่งกลางเพลานี้ศูนย์กลางถึงจุดกึ่งกลางเพลาค้อนเหวี่ยง

ค่าระยะห่างของจุดกึ่งกลางเพลานี้ศูนย์กลางถึงจุดกึ่งกลางเพลาค้อนเหวี่ยงในแนวแกน

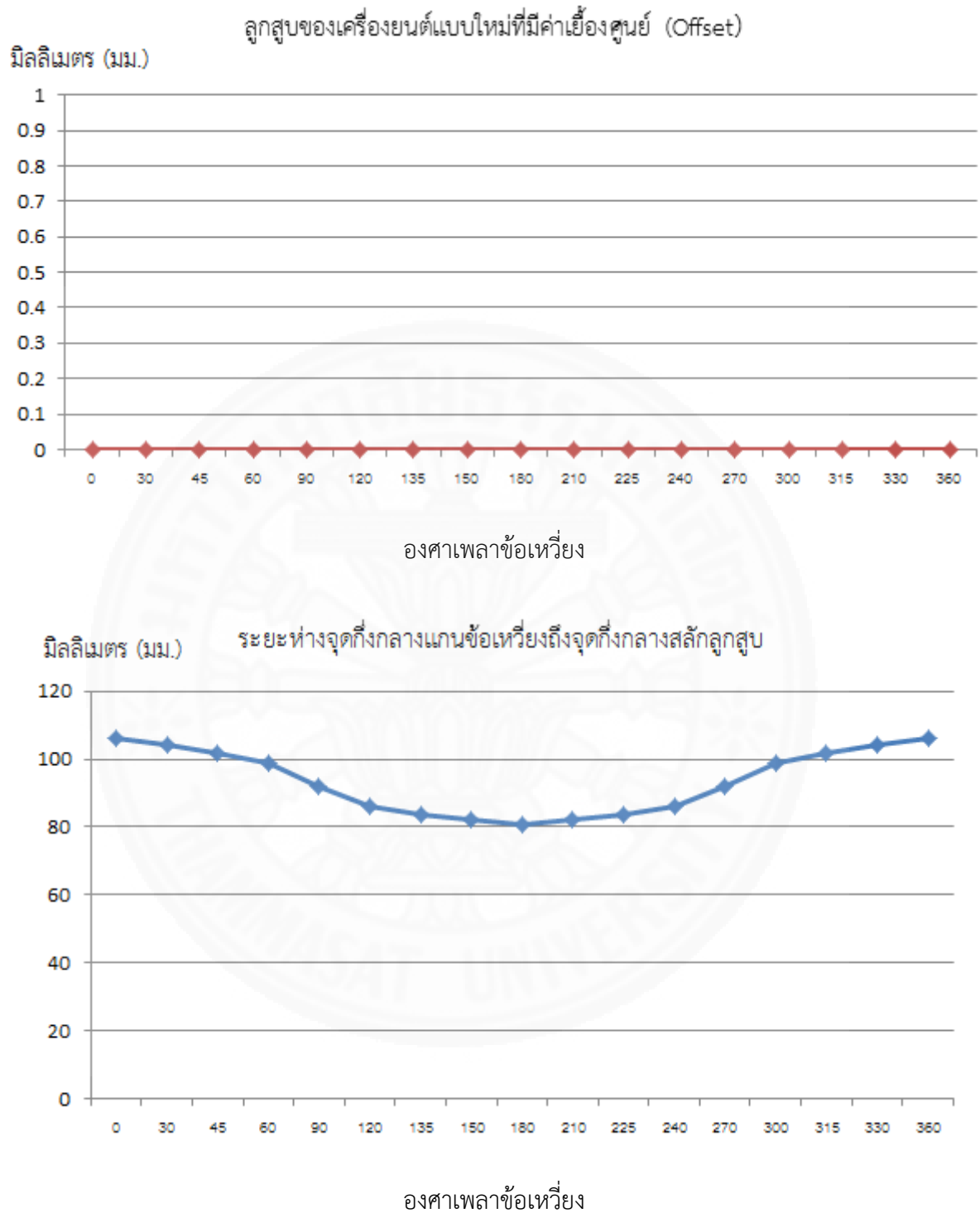
ตั้งฉากจะแทนค่าด้วยตัว m หาได้จากสมการ  $a \cdot \cos(\theta)$  โดยค่า m จะมีค่าเป็นบวกเสมอ

## ตารางที่ 4.5

ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางแกนข้อเหวี่ยงถึงจุดกึ่งกลางสลักลูกสูบที่พัฒนาใหม่

มุม ( $\theta$ ) องศา	S เป็นระยะระหว่างแกนข้อ เหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ (มม.)	มุม ( $\theta$ ) องศา	S เป็นระยะระหว่างแกนข้อเหวี่ยง และแกนสลักลูกสูบ (มม.)	d ระยะห่างของจุด กึ่งกลางเพลลาหนี ศูนย์ถึงจุดกึ่งกลาง เพลลาข้อเหวี่ยง ใน แนวแกนตั้งฉากกับ ลูกสูบ (มม.)
0	$(30 \times 2) + 46.30 = 106.30$			0
30	$(28.93 \times 2) + 46.30 = 104.16$	210	$(17.89 \times 2) + 46.30 = 82.08$	0
45	$(27.70 \times 2) + 46.30 = 101.70$	225	$(18.68 \times 2) + 46.30 = 83.66$	0
60	$(26.16 \times 2) + 46.30 = 98.62$	240	$(19.78 \times 2) + 46.30 = 85.86$	0
90	$(22.75 \times 2) + 46.30 = 91.80$	270	$(22.75 \times 2) + 46.30 = 91.80$	0
120	$(19.78 \times 2) + 46.30 = 85.86$	300	$(26.16 \times 2) + 46.30 = 98.62$	0
135	$(18.68 \times 2) + 46.30 = 83.66$	315	$(27.70 \times 2) + 46.30 = 101.70$	0
150	$(17.89 \times 2) + 46.30 = 82.08$	330	$(28.93 \times 2) + 46.30 = 104.16$	0
180	$(17.25 \times 2) + 46.30 = 80.80$	360	$(30 \times 2) + 46.30 = 106.30$	0





ภาพที่ 4.21 เส้นกราฟในการเคลื่อนที่ของชุดเพลาค้อเหวี่ยงใน 1 รอบ (360 องศา)

จากการเคลื่อนที่ของชุดเพลาค้อเหวี่ยงที่ได้ออกแบบพัฒนาขึ้นมาใหม่เมื่อเครื่องยนต์หมุนไป 1 รอบแบบตามเข็มนาฬิกา ที่องศารวม 360 องศาจะไม่เกิดค่าเยื้องศูนย์ทุกตำแหน่งองศา เนื่องจากการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงแบบฟันเฟืองเยื้องศูนย์จะขับเคลื่อนก้านสูบในแนวตั้งหรือตั้งฉากกับกระบอกสูบเท่านั้น จึงจะไม่เกิดค่าเยื้องศูนย์ที่จะทำให้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ อีกทั้งปราศจากการเสียดสีของแบริ่งก้านสูบและแบริ่งค้อเหวี่ยงเปรียบเทียบได้จากภาพที่ 4.22 เนื่องจากไม่มีการนำมาใช้สำหรับการออกแบบพัฒนาของชุดเพลาค้อเหวี่ยงที่ส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยลมอัดของเพลาค้อเหวี่ยง จึงจำเป็นที่จะลดข้อบกพร่องของการทำงานของเพลาค้อเหวี่ยงและชิ้นส่วนต่างๆ ส่วนค่าของระยะห่างจุดกึ่งกลางแกนเพลากับจุดกึ่งกลางสลักลูกสูบเพื่อขึ้นเพื่อป้องกันการโยกตัวของลูกสูบ จากข้อมูลดังกล่าวก็จะลดการสึกหรอของชิ้นส่วนให้มีระยะเวลาใช้งานที่ยาวนานมากที่สุด ซึ่งผลที่ได้หลังจากการออกแบบพัฒนาปรับปรุงชุดเพลาค้อเหวี่ยงและระบบกลไกเครื่องยนต์ใหม่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดเพลาค้อเหวี่ยงและระบบกลไกเครื่องยนต์แบบเดิม ประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบกับกระบอกสูบลดการเสียดสีอย่างชัดเจนดังภาพที่ 4.23

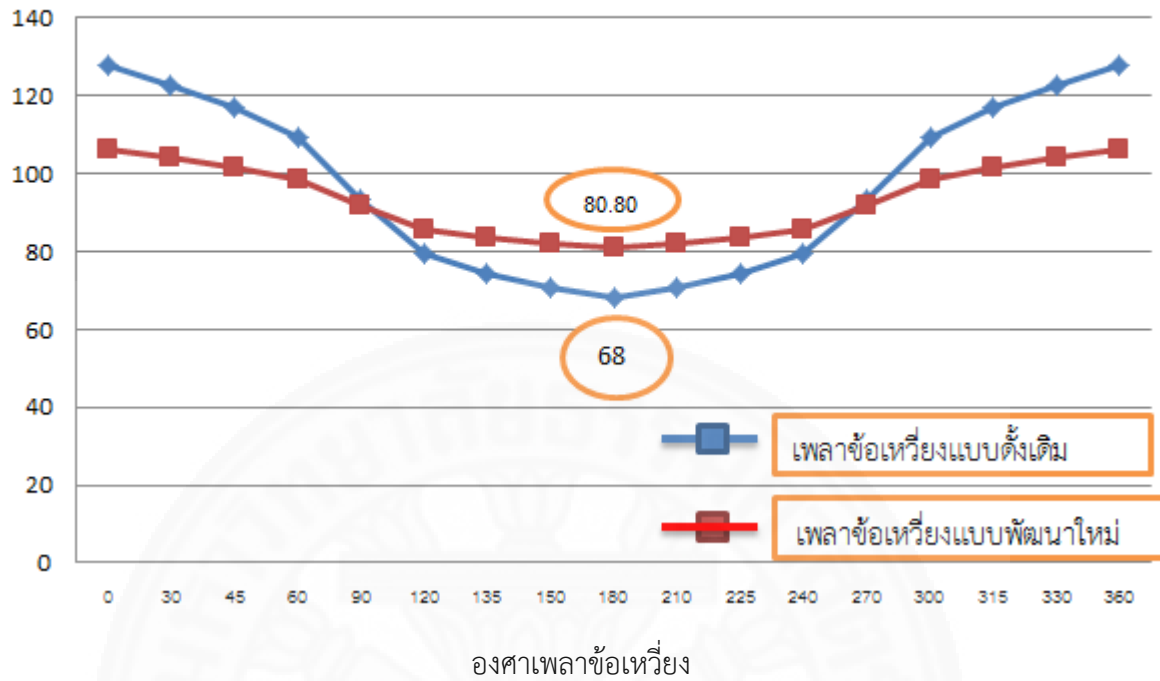


(ก)

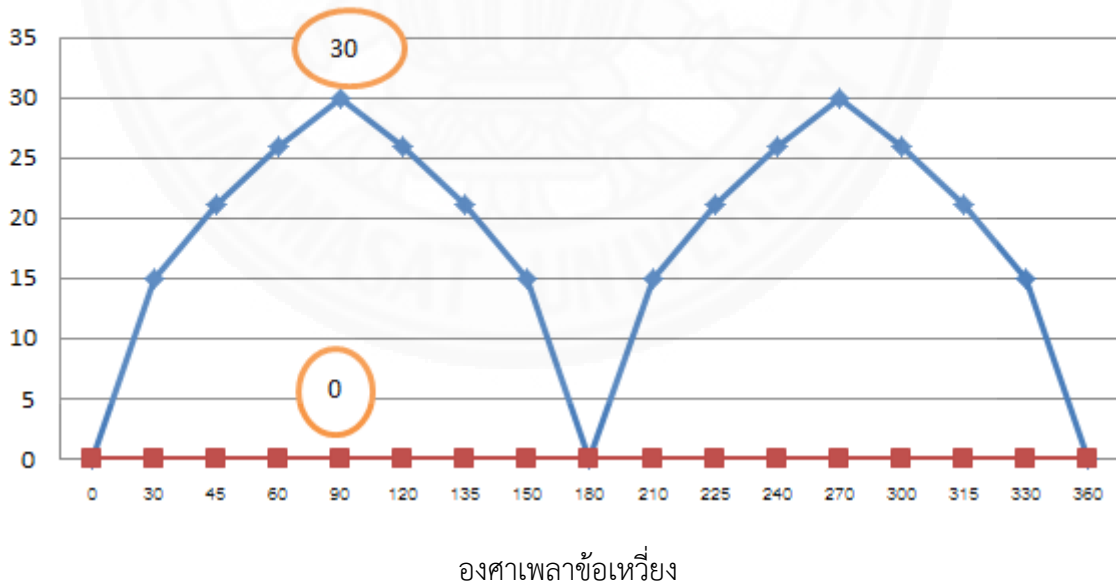
(ข)

ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบชุดลูกสูบแบบใหม่ (ก) กับชุดลูกสูบแบบเดิม (ข)

มิลลิเมตร (มม.) เปรียบเทียบระยะห่างจุดกึ่งกลางแกนข้อเหวี่ยงถึงจุดกึ่งกลางสลักลูกสูบ



มิลลิเมตร (มม.) เปรียบเทียบลูกสูบของเครื่องยนต์ที่มีค่าเอียงศูนย์ (Offset)



ภาพที่ 4.23 เส้นกราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของชุดเพลาค้อนเหวี่ยงก่อนและหลัง (360 องศา)

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 การสรุปผลการศึกษาและออกแบบ

จากผลที่ได้ทำการทดลองวิจัยพบว่าสาเหตุของการสึกหรอของชุดขับเคลื่อนเพลาค้อนเหวี่ยงและชุดลูกสูบลูกสูบกับกระบอกสูบ รวมไปถึงชุดแบร็ริงก้านลูกสูบกับแบร็ริงเพลาค้อนเหวี่ยง เกิดจากการเสียดสีระหว่างการขับเคลื่อนของชุดเพลาค้อนเหวี่ยงแบบเอียงศูนย์ หากค่าเอียงศูนย์ที่เพลาค้อนเหวี่ยงตั้งจังหวะขึ้นลงของก้านลูกสูบลูกสูบมีค่าเอียงศูนย์มาก ก็จะทำให้เกิดการเสียดสีของชิ้นส่วนมากยิ่งขึ้น จากการหาค่าเอียงศูนย์ของชุดเพลาค้อนเหวี่ยงของเครื่องยนต์ลูกสูบเดี่ยวแบบดั้งเดิมจะพบว่ามีค่าเอียงศูนย์มากที่สุด ในตำแหน่งการเคลื่อนที่ 90 องศา และ 270 องศา ที่ระยะค่าเอียงศูนย์ 30 มม. มีค่าระยะห่างจากจุดกึ่งกลางแกนค้อนเหวี่ยงถึงจุดกึ่งกลางสลักลูกสูบลูกสูบมีระยะต่ำสุดที่ 68 มม. เมื่อทำการออกแบบและพัฒนาชุดเพลาค้อนเหวี่ยงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และต้องการยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อความเหมาะสมสำหรับการใช้พลังงานอัดในการขับเคลื่อน จึงพัฒนาให้ชุดเพลาค้อนเหวี่ยงเป็นแบบชนิดฟันเฟืองในการขับเคลื่อนลูกสูบขึ้นลง โดยก้านลูกสูบจะอยู่แนวตั้งและจับยึดกับลูกสูบแบบยึดแน่นไม่มีการแกว่ง จะอาศัยการเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ด้วยเฟืองปลายก้านลูกสูบที่มีจุดสวมแกนกลางเอียงศูนย์จากจุดกึ่งกลางเฟือง เพื่อควบคุมการขึ้นลงของลูกสูบได้ ผลที่ได้จึงทำให้ค่าเอียงศูนย์ของเพลาค้อนเหวี่ยงเท่ากับ 0 มม. มีค่าระยะห่างจากจุดกึ่งกลางแกนค้อนเหวี่ยงถึงจุดกึ่งกลางสลักลูกสูบลูกสูบมีระยะต่ำสุดที่ 80.80 มม. ส่งผลให้การเสียดสีลดน้อยลงอายุการใช้งานก็จะยาวนานขึ้นด้วย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เครื่องยนต์ลมอัดที่จะทำการพัฒนาชุดเพลาค้อนเหวี่ยงและระบบกลไกภายในเครื่องยนต์แบบลูกสูบเดี่ยวจะมีโครงสร้างเครื่องยนต์ภายนอกที่ใหญ่และต้องใช้กำลังแรงดันของลมอัดในการขับเคลื่อน ซึ่งรถต้นแบบมีโครงสร้างตัวถังที่เล็ก จึงมีพื้นที่การวางติดตั้งเครื่องยนต์ลมอัดและถังบรรจุลมที่มีพื้นที่จำกัด โดยในอนาคตเมื่อนำรถลมอัดมาใช้ในองค์กรให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นก็ต้องขยายตัวถังโครงสร้างของตัวรถให้สามารถบรรจุถังและวางเครื่องยนต์ลมอัดหรือเพิ่มอุปกรณ์มาช่วยอำนวยความสะดวกให้ดียิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

### หนังสือและบทความในหนังสือ

- ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต, 2547. “การออกแบบเครื่องจักรกล”, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ท็อป.
- ทวีศักดิ์ มั่นชวนนท์, มานะ อารมณ์ประเสริฐ, 2552. “เครื่องจักรกลของไทย”, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- สิทธิพร พึ่งใหญ่, 2542 “หลักพื้นฐานและประยุกต์ทางอุณหพลศาสตร์”, กรุงเทพฯ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สมาน เจริญกิจพูลผล, มนตรี พิรุณเกษตร, 2545. “กลศาสตร์ของไทย”, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร, 2546. “เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ทฤษฎีและการคำนวณ”, กรุงเทพฯ, วิทยพัฒน์.
- อัศวรัตน์ พูลกระจ่าง, 2551. “กำลังงานของไทย”, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- จุฬามาศ จิระสังข์, 2555. “ออกแบบงาน 3 มิติ ด้านงานวิศวกรรม Solidworks 2012”, กรุงเทพฯ. ธีไวว่า.
- ปฎิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ, 2556. “การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตขั้นพื้นฐาน Solidcam”, กรุงเทพฯ.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อำพล ชี้อตรง, 2536 “ชิ้นส่วนเครื่องกล”, กรุงเทพฯ. ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.

### วิทยานิพนธ์และงานวิจัย

- มณฑล ศาสนนันท์, 2557 “โครงการพัฒนารถต้นแบบพลังลมอัด (Compressed - air vehicle) สำหรับขนส่งมวลขนภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต”, ปทุมธานี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต.
- ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท, 2553 “รถพลังลมอัด (Compressed - air vehicle)”, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร,
- สุจิตรา ผาระนัด, 2554 “รถพลังลมอัด (Compressed - air vehicle)”, มหาสารคาม, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

Silva FS. 2003. “Analysis of a vehicle crankshaft failure”. Engineering Failure Analysis.10 ; 605-616.

S. Tasgetiren, F. Aksoy . 2007. “Failures of single cylinder diesel engines crank shafts”. Engineering Failure Analysis.14 ; 725–730.

Rafic Younes , Rachid Outbib , Rabih Omran. 2011. “New Indicated Mean Effective Pressure (IMEP) model for predicting crankshaft movement”. Energy Conversion and Management.52 ; 3376–3382

Aleksandar Vencl , Aleksandar Rac . 2014. “Diesel engine crankshaft journal bearings failures: Case study”. Engineering Failure Analysis.14 ; 217-228.

### **สื่ออิเล็กทรอนิกส์**

รวมเรื่อง รถยนต์ รถจักรยานยนต์ และ พาหนะอื่นๆ. (พฤศจิกายน 2558) , เข้าถึงได้จาก  
[www.google.co.th : www.auto2drive.com/สลักลูกสูบ](http://www.google.co.th : www.auto2drive.com/สลักลูกสูบ)

108 Engine . (ธันวาคม 2558) ,เข้าถึงได้จาก [www.google.co.th :  
www.108engine.com/Engine\\_Gasoline5HP](http://www.google.co.th : www.108engine.com/Engine_Gasoline5HP)



ภาคผนวก

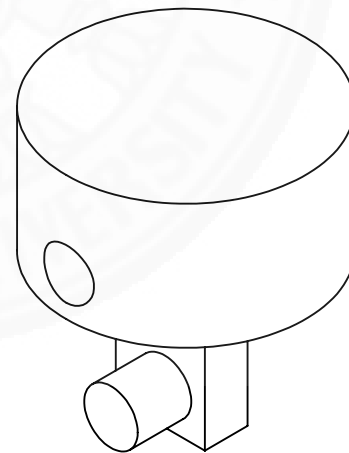
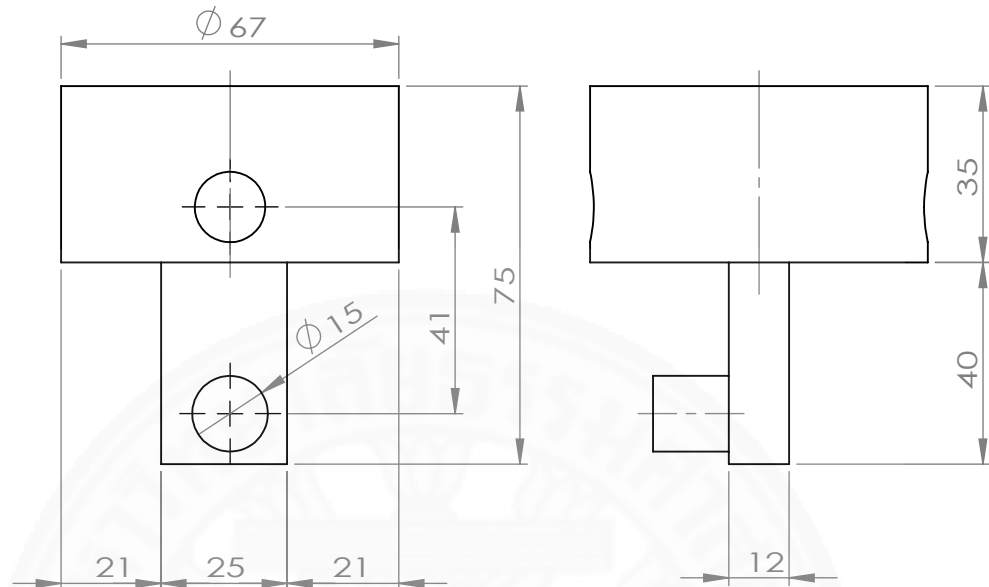
## ภาคผนวก ก

### การกำหนดขนาดแบบชิ้นงาน

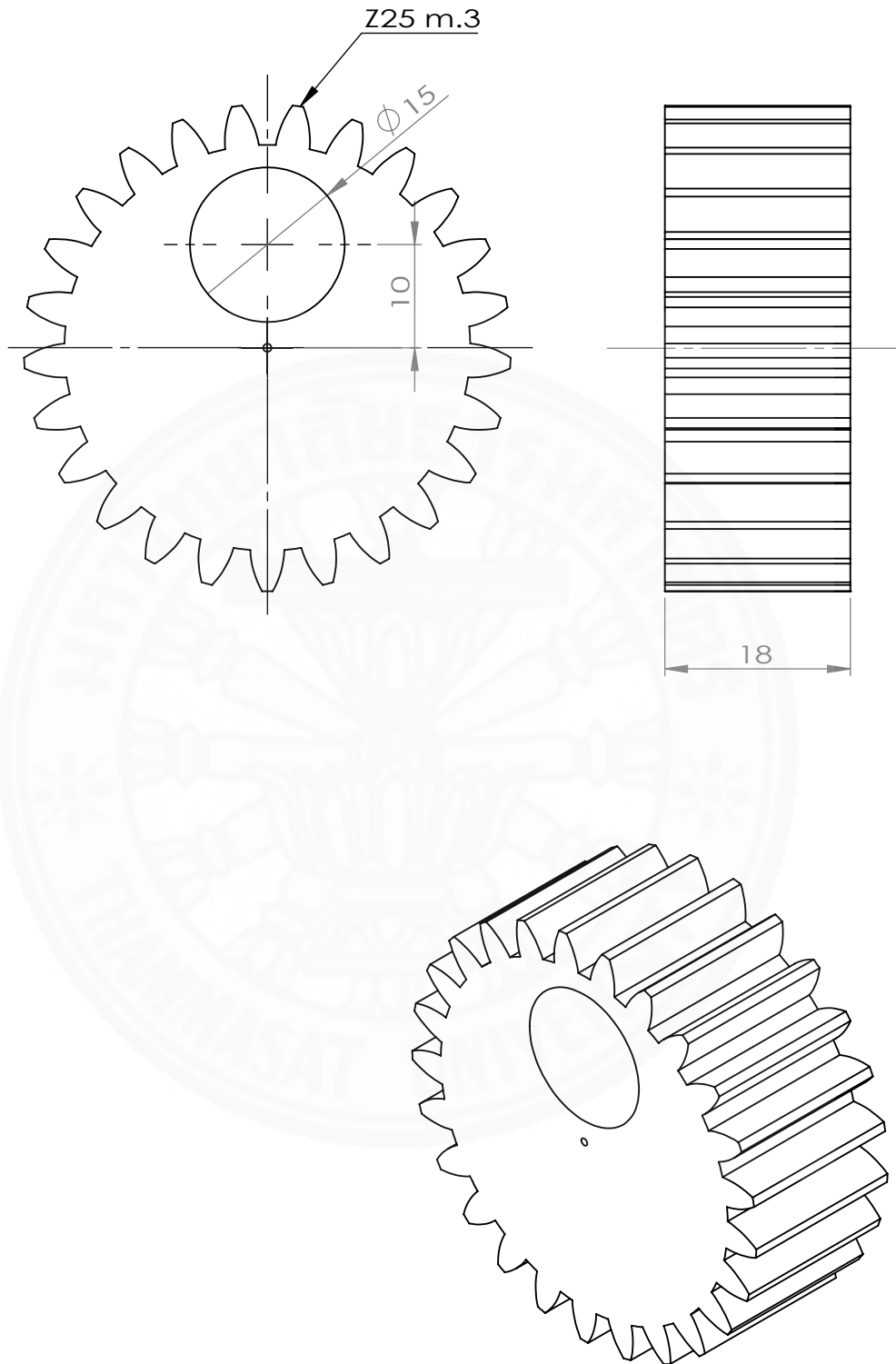
งานวิจัยฉบับนี้จะมีขั้นตอนการวิจัยมาเป็นลำดับ ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งหนึ่งในขั้นตอนนั้นก็ คือ การออกแบบชิ้นส่วนที่เป็นการพัฒนาชุดเพลาคือเพื่อสำหรับเครื่องยนต์รถลมอัด จะต้องมีการกำหนดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ให้ครบถ้วน เพื่อสะดวกแก่การผลิตและประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกันได้อย่างสมบูรณ์ สามารถขับเคลื่อนให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ และเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการผลิตหรือมีผู้ที่สนใจจะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาวิจัยเพิ่มเติม ดังนั้นจะได้กำหนดขนาดแบบชิ้นงานหลังเนื้อหาของงานวิจัย ซึ่งมีการออกแบบและกำหนดขนาด ดังนี้



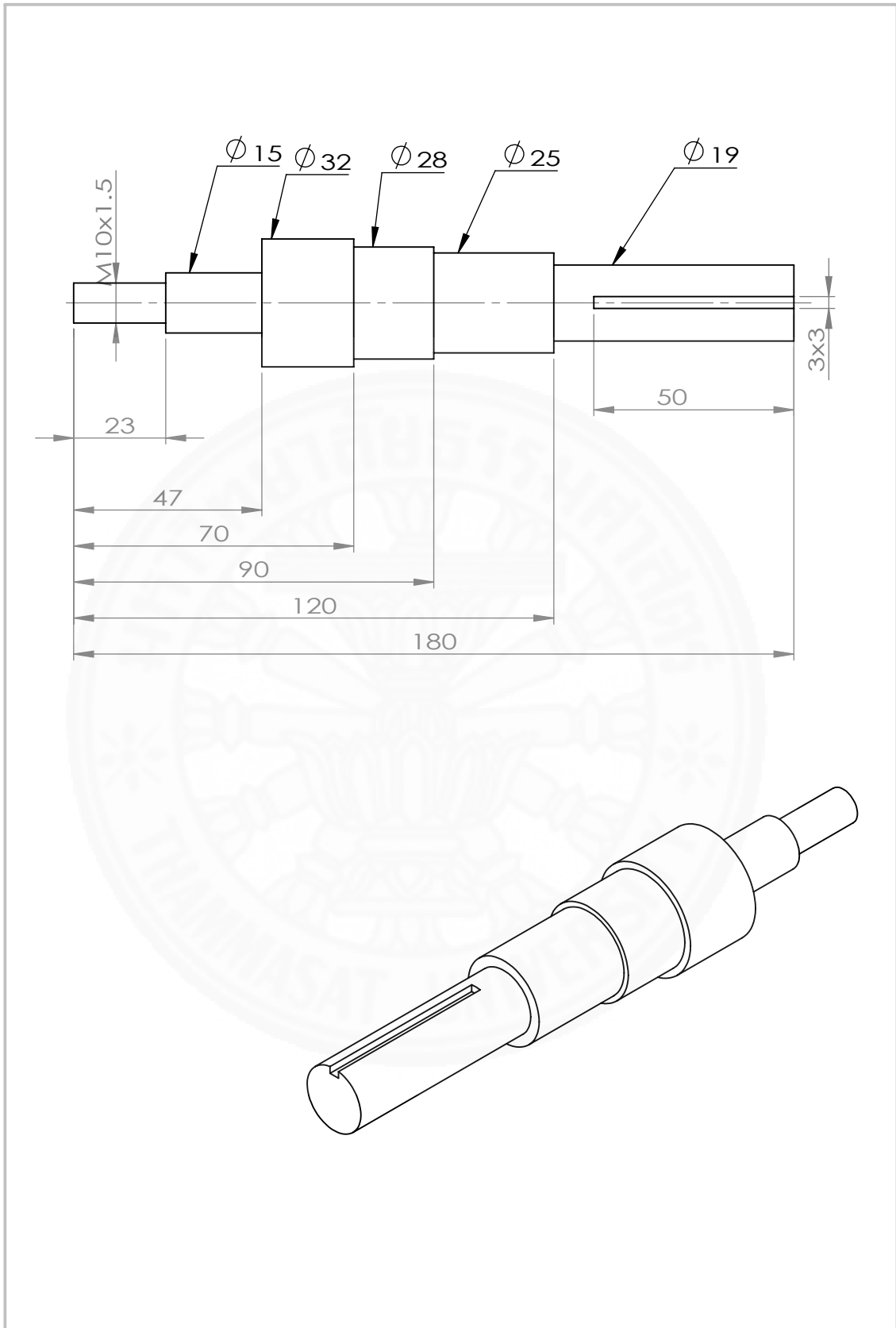




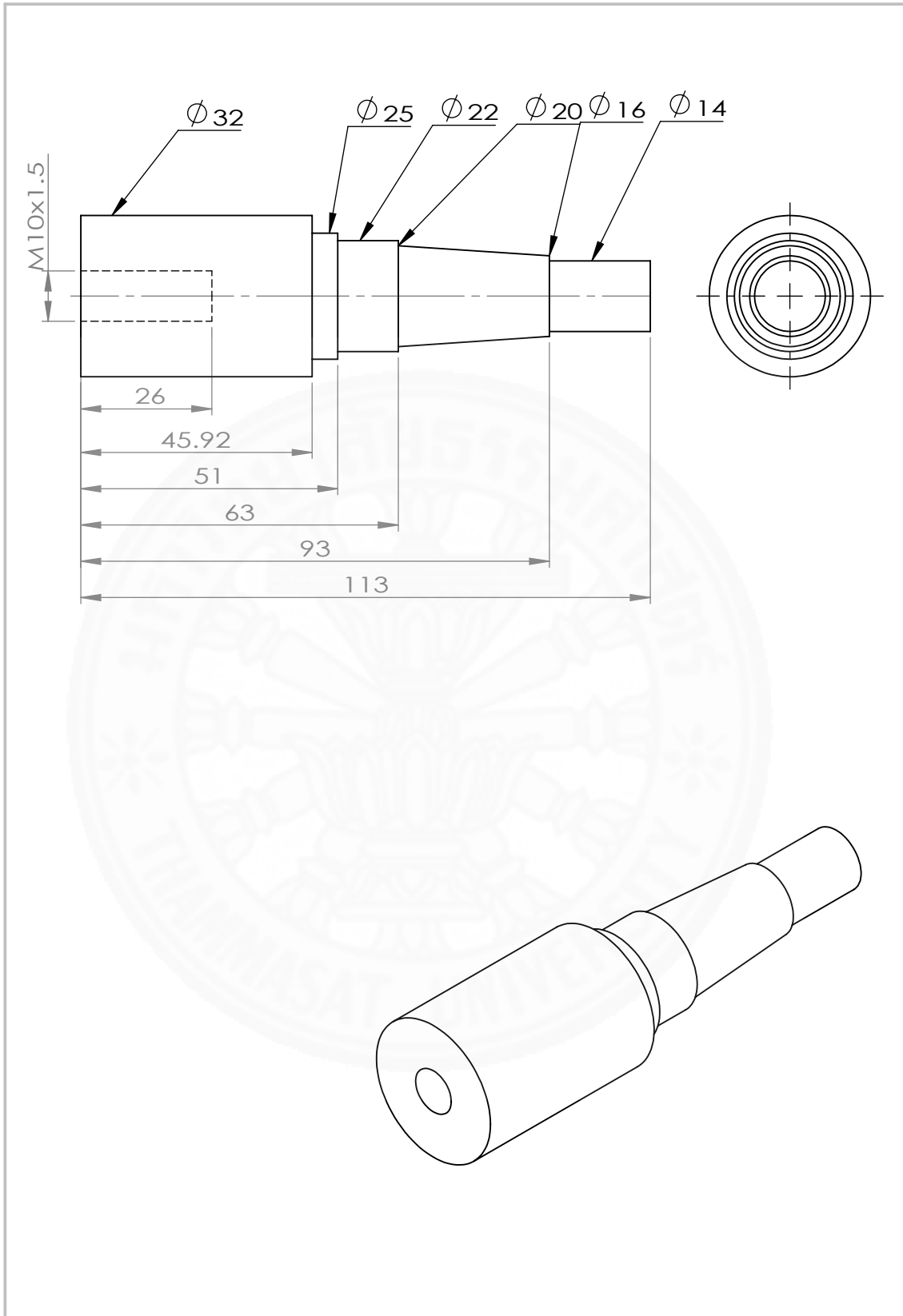
	NAME	DATE	TITLE:	
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	ลูกสูบและก้านสูบ	1 Pcs.
CHK'D	Mr.Noppadon			
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee			
	MATERIAL:	DWG NO.		
	Aluminium	NP05		1:1.5



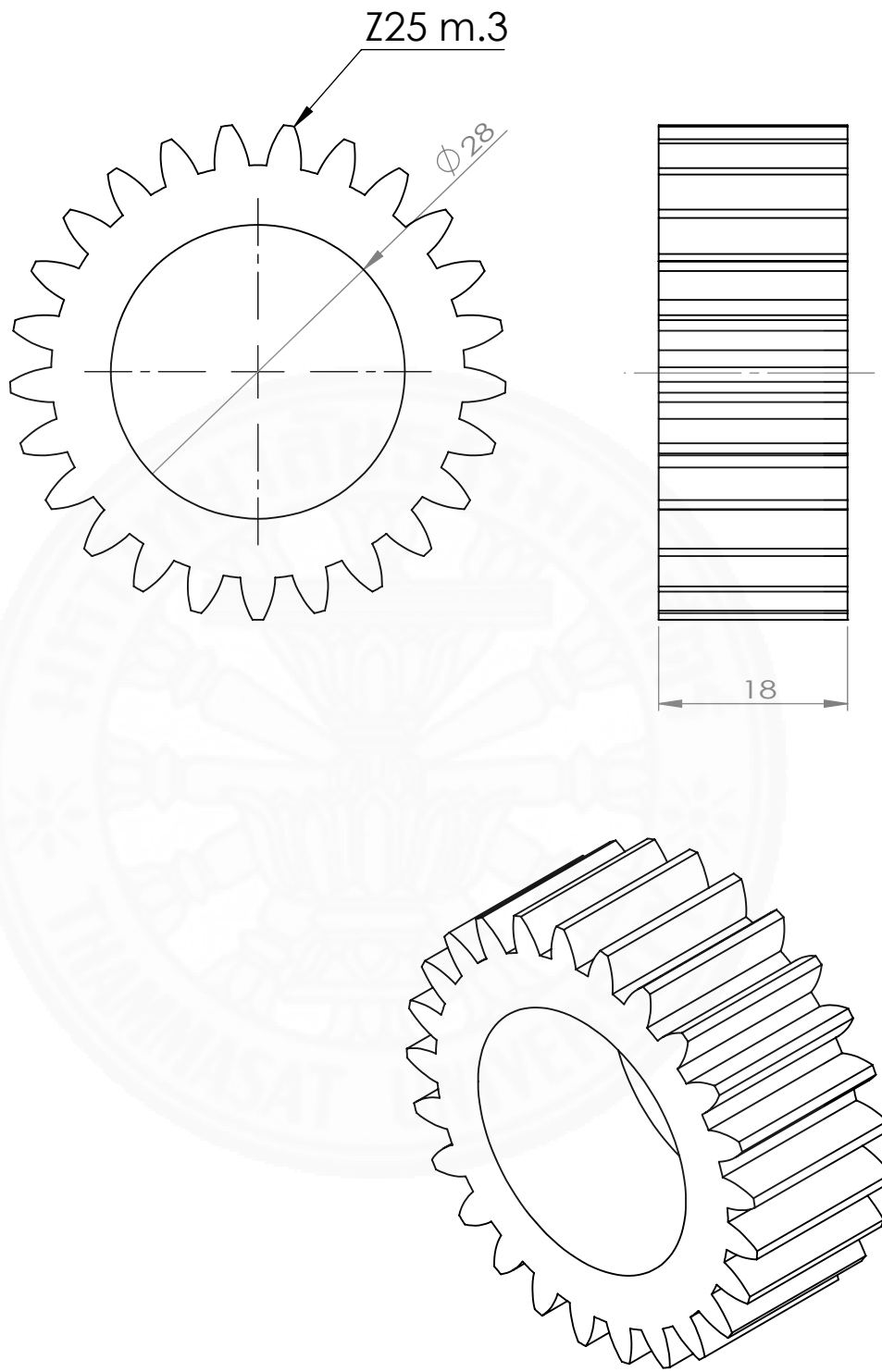
NAME		DATE	TITLE:	
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	เฟืองปลายก้านสูบและเพลาชับ 2 Pcs.	
CHK'D	Mr.Noppadon			
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee			
MATERIAL:			DWG NO.	
Steel (St.60)			NP06/07	1.5:1



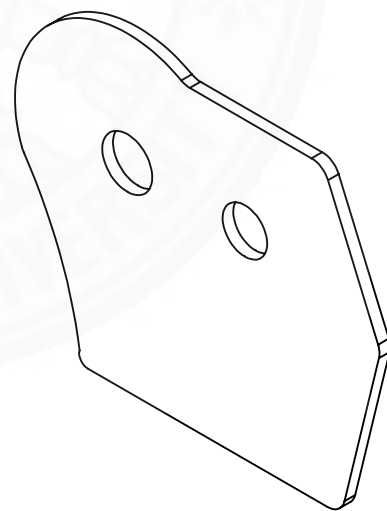
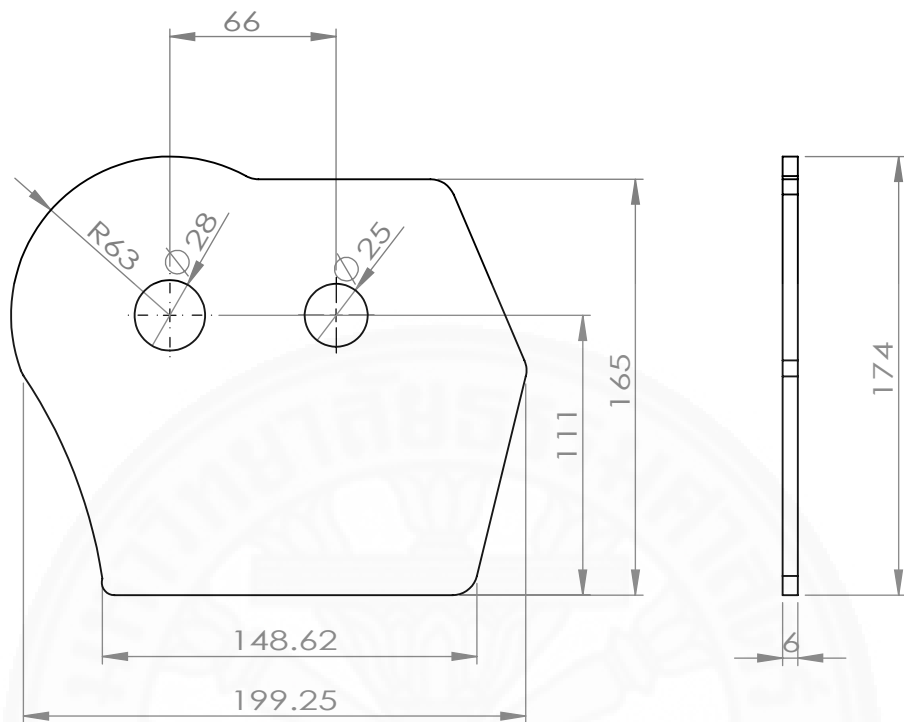
	NAME	DATE	TITLE:	
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	เพล่าเฟืองข้อเหวี่ยง A	1 Pcs.
CHK'D	Mr.Noppadon			
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee			
	MATERIAL:	DWG NO.		
	Steel (St.60)	NP08	1:1.5	



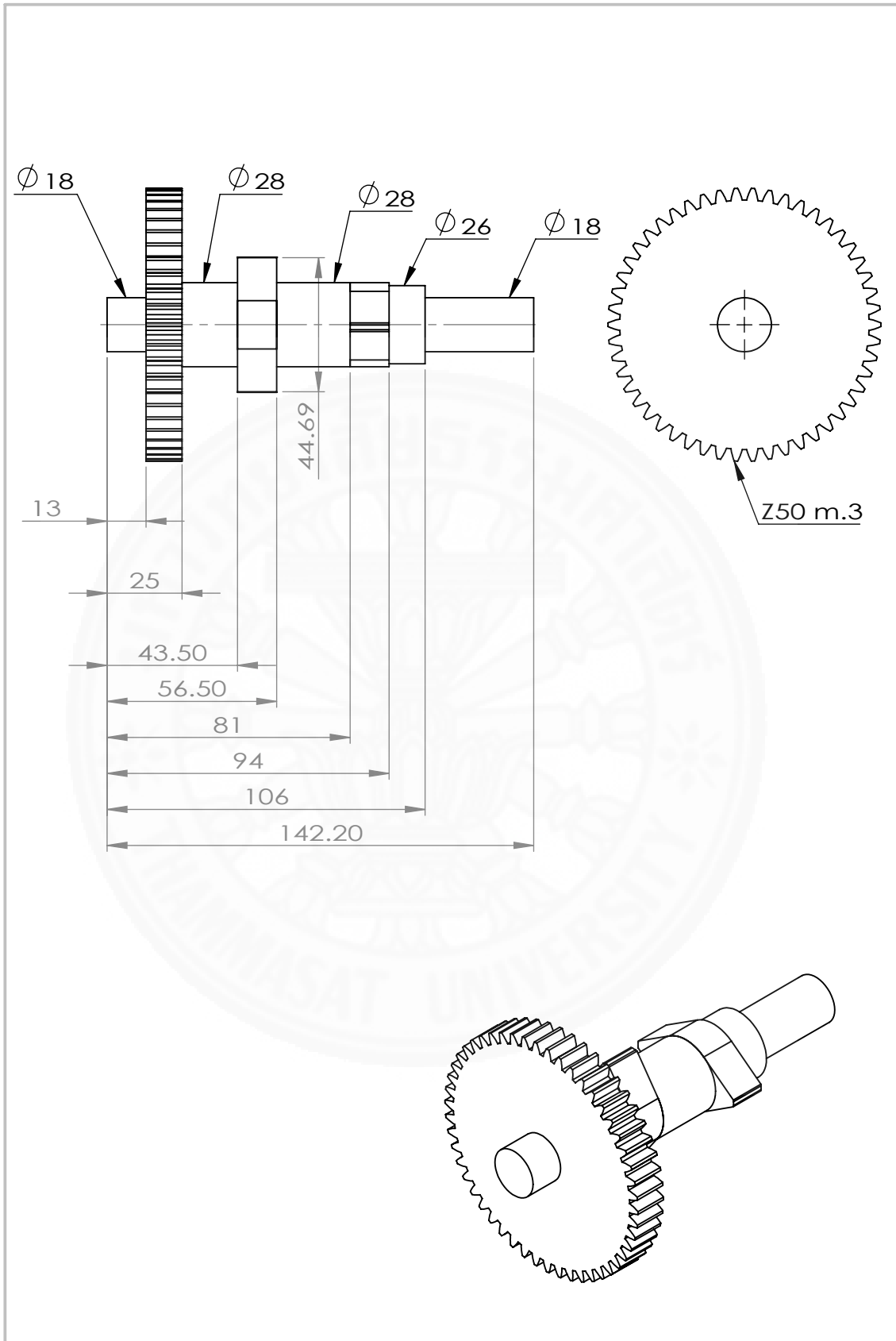
NAME		DATE	TITLE:  <b>เพลาคือข้อเหวี่ยง B 1 Pcs.</b>
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	
CHK'D	Mr.Noppadon		
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee		
MATERIAL:		DWG NO.	
Steel (St.60)		NP09	1:1.2



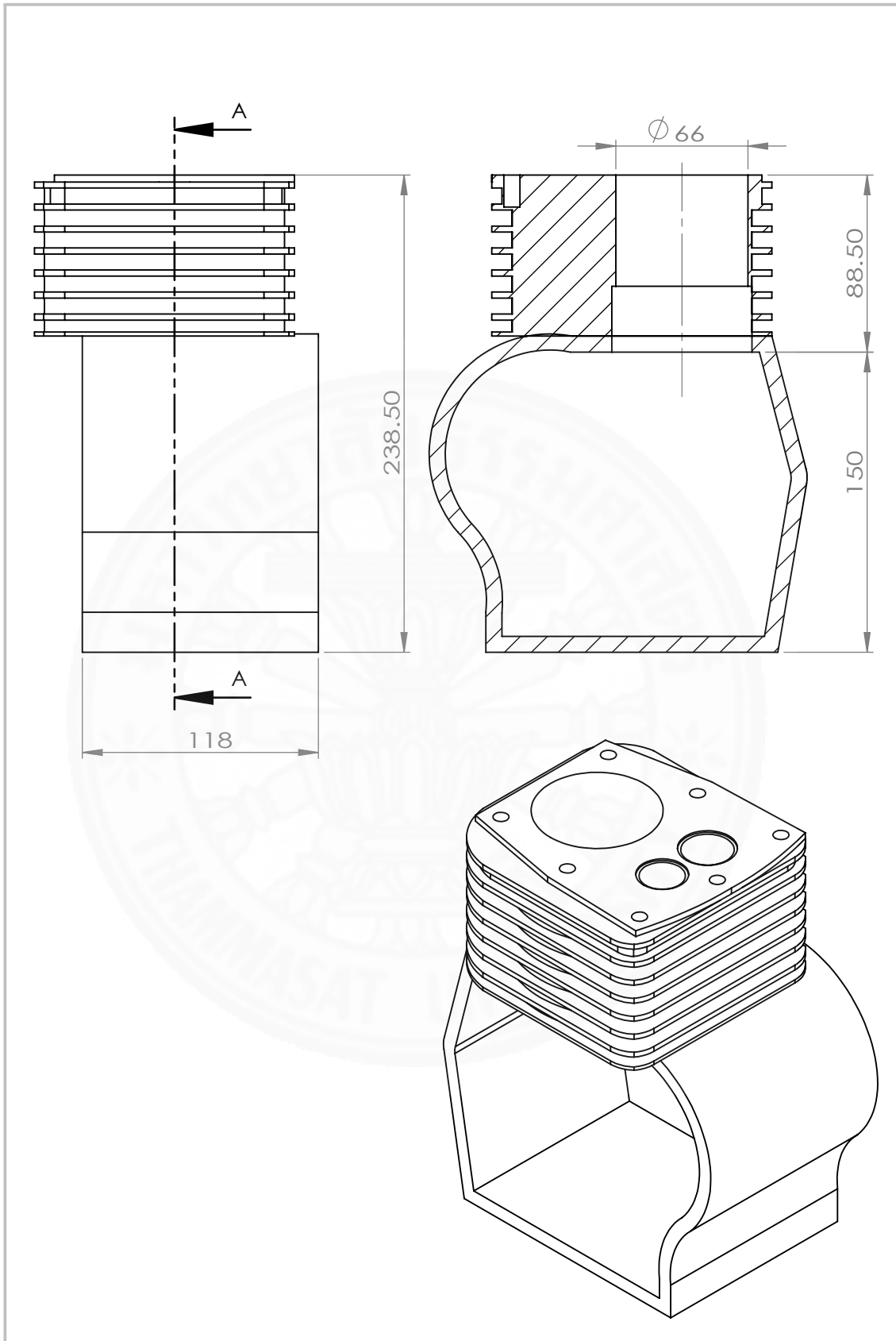
NAME		DATE	TITLE:	
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	เฟืองขับเพลากระตือองวาล์ว 1 Pcs.	
CHK'D	Mr.Noppadon			
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee			
MATERIAL:			DWG NO.	
Steel (St.60)			NP10	1.5:1



NAME		DATE	TITLE:	
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	<p style="text-align: center;"><b>ฝาครอบข้าง</b></p> <p style="text-align: right;">1 Pcs.</p>	
CHK'D	Mr.Noppadon			
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee			
MATERIAL:			DWG NO.	
Acrylic price			NP11	1:3

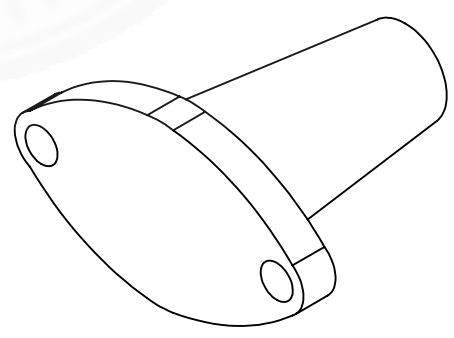
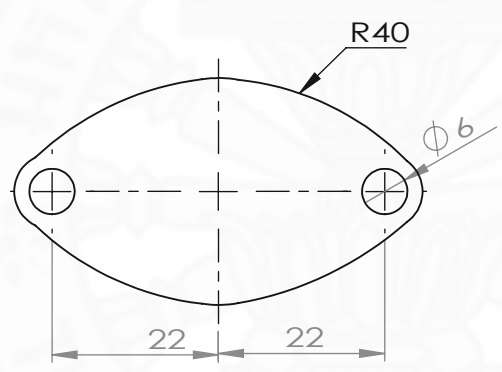
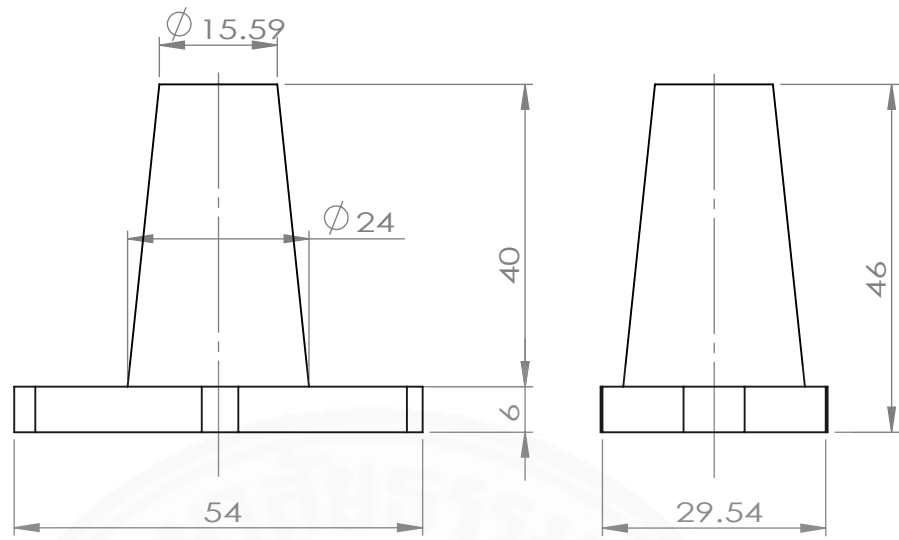


	NAME	DATE	TITLE:	
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	เฟลากระตืองกตวาลัว 1 Pcs.	
CHK'D	Mr.Noppadon			
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee			
	MATERIAL:	DWG NO.		
	Aluminium	NP12		1:2

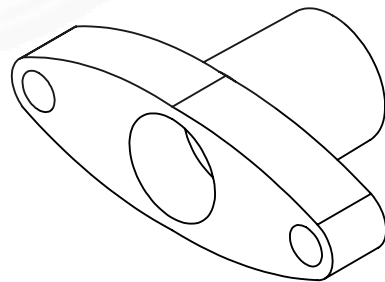
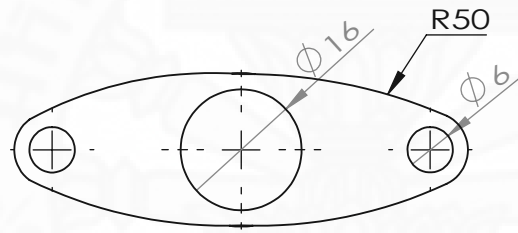
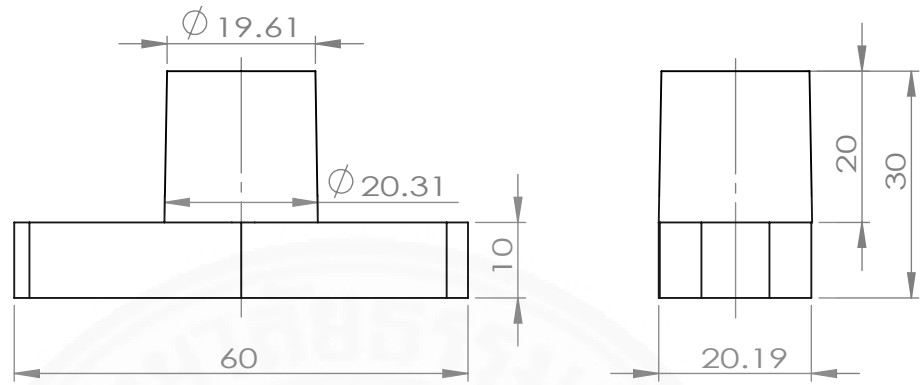


	NAME	DATE	TITLE:	
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	<b>เสื่อสุบ</b>	1 Pcs.
CHK'D	Mr.Noppadon			
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee			
	MATERIAL:	DWG NO.		
	Aluminium	NP15		1:3

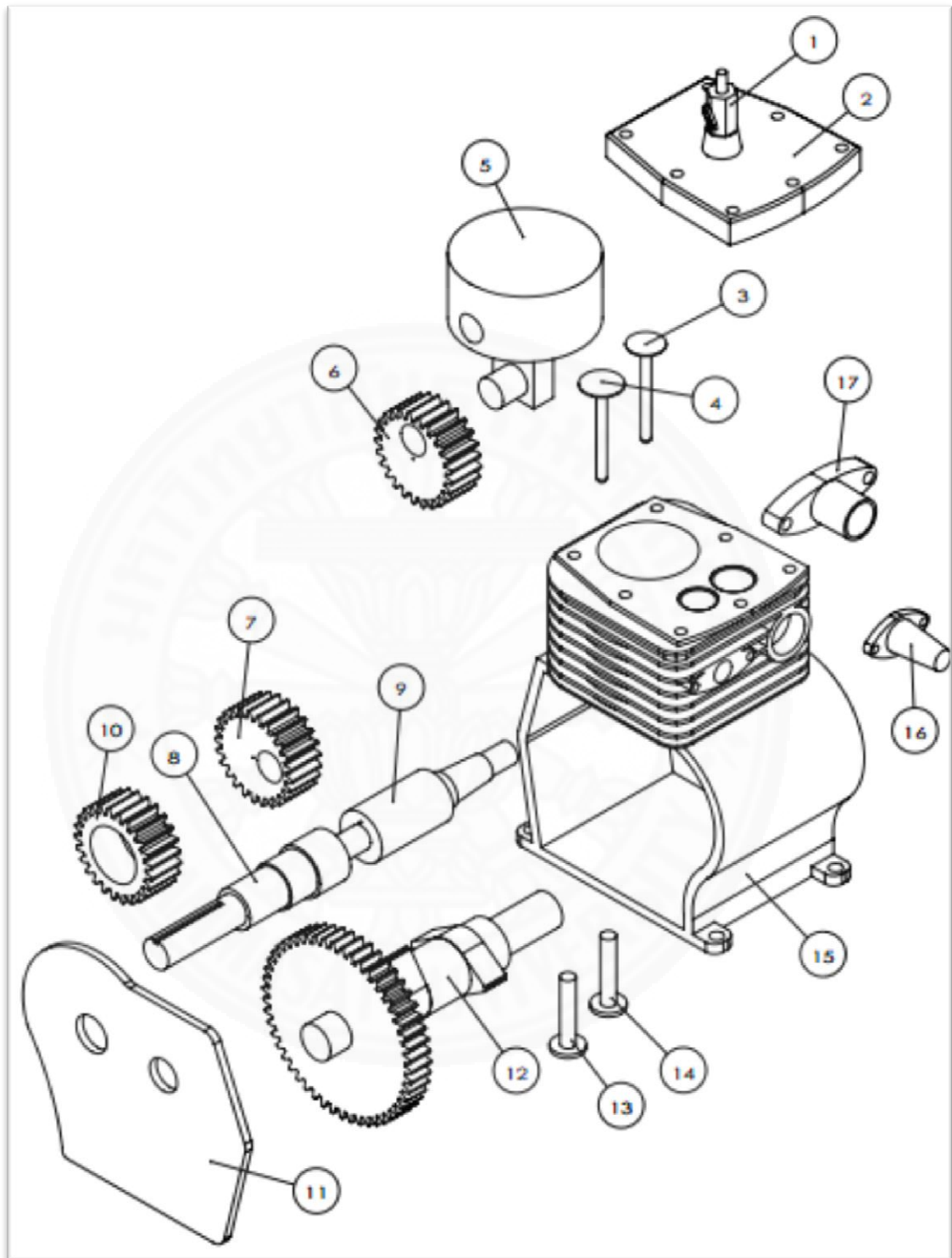




	NAME	DATE	TITLE:	
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	ปิดทางระบายลม	1 Pcs.
CHK'D	Mr.Noppadon			
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee			
	MATERIAL:	DWG NO.		
	Aluminium	NP16		1:1



	NAME	DATE	TITLE:	
DRAWN	Mr.Noppadon	12 May 2016	ท่อระบายลมออก	1 Pcs.
CHK'D	Mr.Noppadon			
APPV'D	Assoc.Prof. Montalee			
	MATERIAL:	DWG NO.		
	Aluminium	NP17		1:1



แบบแยกชิ้นส่วนเครื่องยন্ত্রถลมหัด

ตารางรายการชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สำหรับรถลมอัด

ตารางรายการชิ้นส่วน		
ลำดับที่	ชื่อ	จำนวน
1	วาล์วลม	1
2	ฝาเสื้อสูบ	1
3	วาล์วปิด-เปิดท่อไอเสีย	1
4	วาล์วปิด-เปิดท่อไอดี	1
5	ลูกสูบและก้านลูกสูบ	1
6	เฟืองเยื้องศูนย์ปลายก้านลูกสูบ	1
7	เฟืองเยื้องศูนย์เพลาชับ	1
8	เพลาเฟืองข้อเหวี่ยง A	1
9	เพลาเฟืองข้อเหวี่ยง B	1
10	เฟืองขับเพลาระเบิดองกดวาล์ว	1
11	ฝาครอบข้าง	1
12	เฟืองกระเดื่องกดวาล์ว	1
13	ลิ้นกดวาล์วไอดี	1
14	ลิ้นกดวาล์วไอเสีย	1
15	เสื้อสูบ	1
16	ปิดทางระบายลม	1
17	ท่อระบายลมออก	1

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายนพดล พลายชุม
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529
ตำแหน่ง	วิศวกร บริษัท เมฆา กรุ๊ป จำกัด
ผลงานทางวิชาการ	เรื่อง “นวัตกรรมและงานวิจัย กลไกพัฒนาประเทศ” จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2 TECHCON 2016
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2558 – ปัจจุบัน : วิศวกร บริษัท เมฆา กรุ๊ป จำกัด พ.ศ. 2550 – พ.ศ. 2557 : หัวหน้าช่างซ่อมบำรุง หจก. บุรินทร์แมชินเนอร์รี่