

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์

การออกแบบลูกเบี้ยวสำหรับลิ้นไอดีของรถยนต์ฮอนด้าซิวิค 2536 (F20Z1)
Cam Design for Intake Valve of Honda Civic 1993 (F20Z1)

นายชัยโรจน์ อิ่มด้วยสุข
นายชิตชนก สวงบุญ
นายธรรมรัตน์ โชติกุลวานิช

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต
กลุ่มวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ปีการศึกษา 2552

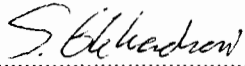
Cam Design for Intake Valve of Honda Civic 1993 (F20Z1)

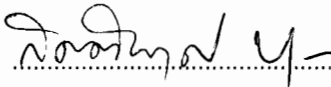
CHAIROJ	IMDUAISUK
CHITCHANOK	SA-NGUANBOON
THAMMARAT	CHOTIKULVANITCH

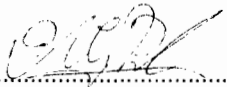
**A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF TECHNOLOGY
MAJOR OF AUTOMOTIVE AND PARTS INDUSTRIAL TECHNOLOGY
BURAPHA UNIVERSITY 2009**

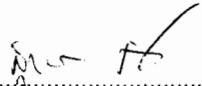
ปริญญาโท การออกแบบลูกเบี้ยวสำหรับลินีไอดีของรถยนต์ฮอนด้าซีวิค
ปี 2536 (F201Z1)
โดย นายชัยโรจน์ อิ่มด้วยสุข
นายชิตชนก สงวนบุญ
นายธรรมรัตน์ โชติกุลวานิช
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี
จำนวนหน้า 38 หน้า
ปีการศึกษา 2552

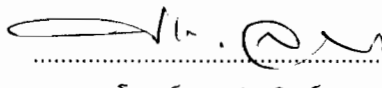
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต กลุ่มวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน

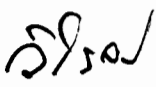

.....ประธานกรรมการสอบปริญญาโท
(อาจารย์เอกชัย สุธีร์ศักดิ์)


.....กรรมการสอบปริญญาโท
(ดร.กิตติพงศ์ บุญโลง)


.....กรรมการสอบและอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี)


.....ประธานกลุ่มวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน
(อาจารย์สุพจน์ ศิริเสนาพันธ์)


.....หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
(ดร.ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์)


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ เรืองประเทืองสุข)

บทคัดย่อ

โครงการปริญญาโทนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบลูกเบี้ยวเปิด-ปิดวาล์วของเครื่องยนต์ โดยใช้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ Honda CIVIC ปี 1993 รุ่น F20Z1 มาใช้เพื่อศึกษาเป็นแนวทางในการออกแบบการเปิด-ปิดของลิ้นไอดี และวาล์วระบายของลิ้นไอดี โดยการใช้ไดอัลเกจเป็นเครื่องมือวัดการเริ่มเปิดและสิ้นสุดการปิดของลิ้นไอดี และใช้จานองศาในการวัดองศาการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว หลังจากการนำชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ได้มาแล้ว จึงออกแบบเพลาลูกเบี้ยวโดยใช้สมการการเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์ในการคำนวณหาระยะการยกตัวของตัวตามและอัตราความเร็วและความเร่งจากการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและเขียนแบบส่วนต่าง ๆ ของเพลาลูกเบี้ยวโดยเขียนชิ้นส่วนขึ้นเอง

ผลการออกแบบลูกเบี้ยวพบว่า กราฟแสดงการเคลื่อนที่ กราฟความเร็วรวมถึงกราฟความเร่งที่คำนวณถูกต้องตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์ โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะยกของตัวตามก็จะทำให้องศาการเปิดและปิดของลิ้นนั้นมีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อนำค่าระยะการเคลื่อนที่จากการออกแบบมาเปรียบเทียบกับค่าจากชิ้นงานจริงพบว่ายังคงมีรูปร่างของลูกเบี้ยวบางส่วนที่คลาดเคลื่อนจากการออกแบบโดยมีส่วนที่คลาดเคลื่อนมากที่สุด 14.70 % ที่มุมองศาลูกเบี้ยว 140 องศา

Abstract

This objective of this present study is to design theoretically the cam profile for camshaft of Honda CIVIC with model of F20Z1, 1993. The intake valve displacement of engine is measured by the high gauge. Then, the equation of cycloid motion is used for design of cam profile. The displacement, velocity and acceleration of the follower are analyzed too. Moreover, the data from design are compared with the measured data. From the results, the cam profile from mathematical design can drive the follower with cycloid motion. The displacement, velocity and acceleration from the mathematical design agree well with the actual motion of cam. However, at 140 degree of cam angle, there is 14.7 percent of error of cam profile between the design and measured data.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลหลายฝ่าย กลุ่มผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะทางวิชาการ และสนับสนุนในด้านต่าง ๆ

คณาจารย์ ในหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชานานยนต์และชิ้นส่วนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้สามารถมีความรู้ในการศึกษาและทำโครงการ

คุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง ทุกคนที่คอยให้การสนับสนุน ช่วยเป็นกำลังใจ และส่งแรงใจในการทำโครงการมาโดยตลอด รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สมาชิกกลุ่ม

การศึกษาการออกแบบลูกเบี้ยว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช
รายการสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์	3
2.2 วัฏจักรพื้นฐานของเครื่องยนต์	8
บทที่ 3 วิธีการออกแบบลูกเบี้ยวและตัวตาม	12
3.1 ชนิดของลูกเบี้ยวและตัวตาม (Cam and Follower Classification)	14
3.2 การกำหนดศัพท์เฉพาะของลูกเบี้ยวและตัวตาม (Cam and Follower Nomenclature)	15
3.3 การเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตาม (Cam and Follower Motion)	17
บทที่ 4 ผลลัพธ์แสดงการวิเคราะห์	21
4.1 การศึกษาลูกเบี้ยว	21
4.2 การออกแบบลูกเบี้ยว	25
บทที่ 5 สรุปโครงการ	37
5.1 สรุปโครงการ	37
เอกสารอ้างอิง	38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.5	ภาพแสดงลักษณะการจับยึดลูกเบี้ยวกับชุด Punch Former Model	23
รูปที่ 4.6	ภาพแสดงการปรับตั้งศูนย์กลางของลูกเบี้ยวกับชุด Punch Former Model	23
รูปที่ 4.7	ภาพแสดงลักษณะการวัดลูกเบี้ยวด้วยแท่นหมุนองศาและขนาดโดยใช้ไฮเกจ	23
รูปที่ 4.8	ภาพแสดงการเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์ แบบ C5 และ C6	25
รูปที่ 4.9	ภาพแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ขององศาของลูกเบี้ยวกับระยะการเคลื่อนที่ (S) ของตัวตาม (Follower)	28
รูปที่ 4.10	ภาพแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ขององศาของลูกเบี้ยวกับความเร็ว (V) ของตัวตาม (Follower)	29
รูปที่ 4.11	ภาพแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ขององศาของลูกเบี้ยวกับความเร่ง (S) ของตัวตาม (Follower)	29
รูปที่ 4.12	ภาพแสดงเส้นกำหนดขอบผิวลูกเบี้ยวที่ตำแหน่งต่างๆ	30
รูปที่ 4.13	ภาพแสดงการเขียนลูกเบี้ยวโดยใช้กราฟสัมพันธ์กับขนาดและองศาของลูกเบี้ยวที่จุดที่ 1-18	31
รูปที่ 4.14	ภาพแสดงการเขียนลูกเบี้ยวโดยใช้กราฟสัมพันธ์กับขนาดและองศาของลูกเบี้ยวที่จุดที่ 18-36	31
รูปที่ 4.15	ภาพแสดงการเขียนลูกเบี้ยวโดยใช้กราฟสัมพันธ์กับขนาดและองศาของลูกเบี้ยวที่จุดที่ 1-36	32
รูปที่ 4.16	ภาพแสดงขนาดของลูกเบี้ยวไอดีที่ได้จากกราฟที่ Scale 1:1	32
รูปที่ 4.17	ภาพแสดงการเปรียบเทียบลูกเบี้ยวจากการออกแบบและจากเครื่องยนต์ Honda	34
รูปที่ 4.18	ภาพแสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดของลูกเบี้ยวทั้งสองชนิด	35
รูปที่ 4.19	ภาพแสดงกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบ	36

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 1.1	ภาพแสดงเพลาลูกเบี้ยวของเครื่องยนต์	1
รูปที่ 2.1	ภาพแสดงรูปสูบเรียง ลูกสูบตั้งขึ้น และเรียงกันในแนวเดียว	3
รูปที่ 2.2	ภาพแสดงเครื่องยนต์ เซวี รหัส LS9 ZR1 6.2L สูบวี 8 สูบ	3
รูปที่ 2.3	ภาพแสดงเครื่องยนต์สูบนอน 6 สูบ ของรถ พอร์ช (Porsche) 911	4
รูปที่ 2.4	ภาพแสดงเสื้อสูบ (Cylinder block)	4
รูปที่ 2.5	ภาพแสดงฝาสูบ (Cylinder head)	5
รูปที่ 2.6	ภาพแสดงลักษณะการทำงานของลิ้น ขณะลิ้นเปิด และลิ้นปิด	6
รูปที่ 2.7	ภาพแสดงชิ้นส่วนของวาล์วไอดี-ไอเสีย	6
รูปที่ 2.8	ภาพแสดงแหวนลูกสูบ	7
รูปที่ 2.9	ภาพแสดงก้านสูบในรูปแบบต่างๆ	7
รูปที่ 2.10	ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งเพลาช้อเหวียง	8
รูปที่ 2.11	ภาพแสดงวัฏจักรทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ จุดระเบิดด้วยประกายไฟ	9
รูปที่ 2.12	ภาพแสดงวัฏจักรทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ จุดระเบิดด้วยการอัด	10
รูปที่ 2.13	ภาพแสดง วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สองจังหวะจุดระเบิดด้วยประกายไฟ	11
รูปที่ 3.1	ภาพแสดงเครื่องยนต์ I-VTEC ของ Honda	12
รูปที่ 3.2	ภาพแสดงชิ้นส่วนต่างๆของชุดฝาสูบ (Double hade camshaft)	13
รูปที่ 3.3	ภาพแสดงลูกเบี้ยวและตัวตามชนิดต่างๆ	15
รูปที่ 3.4	ภาพแสดงการกำหนดศัพท์เฉพาะของลูกเบี้ยวและตัวตาม(Mabie and Reinholtz, 1987)	15
รูปที่ 3.5	ภาพแสดงแรงที่ตัวตามกระทำกับลูกเบี้ยว (Wilson and Sadler, 2003)	16
รูปที่ 3.6	ภาพแสดงการเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์ (Cycloidal motion characteristics: S = displacement, V = Velocity, A = acceleration, Kloomok and Muffley, 1955)	18
รูปที่ 3.7	ภาพแสดงการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก (Harmonic motion characteristics: S = displacement, V = Velocity, A = acceleration, Kloomok and Muffley, 1955)	19
รูปที่ 3.8	ภาพแสดงการเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังแปด (Eight-power polynomial motion characteristics : S = displacement, V = Velocity, A = acceleration, Kloomok and Muffley, 1955)	20
รูปที่ 4.1	ภาพแสดงลูกเบี้ยวไอดีของเครื่องยนต์ Honda Accord EX 93	21
รูปที่ 4.2	ภาพแสดงชุด Punch former model สำหรับวัดองศาการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน	21
รูปที่ 4.3	ภาพแสดง Digital Hi – gauge สำหรับวัดระยะการเคลื่อนที่ของตัวตาม (follower)	22
รูปที่ 4.4	ภาพแสดง Digimatic caliper สำหรับวัดขนาดความโตของลูกเบี้ยว	22

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนและระยะเวลาในการทำงาน	2
4.1 ขนาดของลูกเบี้ยวไอติของรถยนต์ Honda ที่ทำการเก็บข้อมูลจากการวัด	24
4.2 ผลการคำนวณระยะการเคลื่อนที่ (S), ความเร็ว (V), ความเร่ง (A)	27
4.3 เปรียบเทียบขนาดของลูกเบี้ยวที่วัดได้จริงกับการออกแบบโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากขนาดจริง	33

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	หน่วย	คำอธิบาย
S	cm	ระยะทาง(displacement)
V	cm/s	ความเร็ว(Velocity)
A	Cm/s ²	ความเร่ง(acceleration)
L	cm	ระยะการเคลื่อนที่ของตัวตามเม็องศาของ cam เปลี่ยนไป
β	องศา	มุมการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญ

เพลาลูกเบี้ยวเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในเครื่องยนต์อย่างหนึ่ง ใช้ทำการยกและเปิดปิดวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย ในจังหวะที่เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องยนต์

ลูกเบี้ยวสามารถสร้างได้หลายแบบด้วยกัน ซึ่งอาจแบ่งชนิดของลูกเบี้ยวได้ โดยอาศัยชนิดของลูกเบี้ยว, รูปร่างของลูกเบี้ยว, การเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของตัวตาม โดยการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตามที่แตกต่างกัน ก็จะทำให้เส้นผิวลูกเบี้ยวที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้น จึงมีการกำหนดลักษณะพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตาม เพื่อให้เป็นมาตรฐานที่เหมือนกัน ในการออกแบบนั้น จะยึดลูกเบี้ยวให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ แล้วให้ตัวตามเคลื่อนที่รอบๆลูกเบี้ยว ซึ่งจะไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างลูกเบี้ยวและตัวตามแต่อย่างใด นอกจากนี้ จะต้องพยายามให้มุมกดดันมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ในการเลือกลักษณะของการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตามนั้น จะต้องพิจารณากราฟ ระยะทาง (S), ความเร็ว (V), ความเร่ง (A) ให้ต่อเนื่องกัน การเคลื่อนที่ จะต้องหลีกเลี่ยงการเกิดภาวะกระแทกหรือการสั่นสะเทือนด้วย แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้จริงๆ ก็อาจจะยอมให้เกิดการสั่นสะเทือนได้

ดังนั้นโครงการนี้จึงทำการศึกษารูปร่างของเพลาลูกเบี้ยวซึ่งมีลักษณะตัวตามเป็นแบบหน้าเรียบและออกแบบโปรไฟล์ของลูกเบี้ยวซึ่งมีลักษณะตัวตามเป็นแบบหน้าเรียบเช่นกันโดยใช้สมการแบบไซคลอยด์ (Cycloidal Motion) C-5 และ C-6 และใช้วิธีการฟิสิกส์สร้างลูกเบี้ยวชิ้นใหม่จากค่าที่คำนวณได้จากสมการแล้วนำมาเทียบกับของจริง



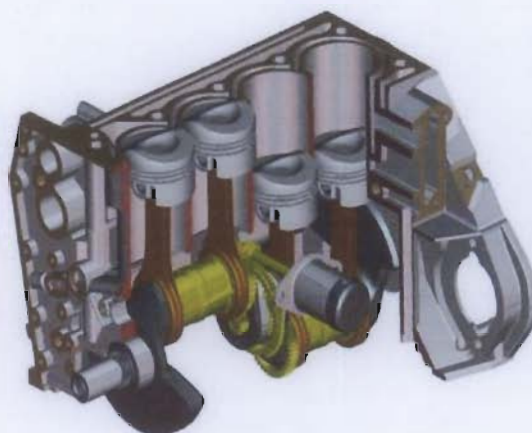
รูปที่ 1.1 เพลาลูกเบี้ยวของเครื่องยนต์

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์

เริ่มตั้งแต่การวางลูกสูบ ส่วนสำคัญของเครื่องยนต์ คือกระบอกสูบที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงภายในกระบอกสูบ เครื่องยนต์รถยนต์จะมีมากกว่าหนึ่งกระบอกสูบ โดยทั่วไปจะมี 4, 6 และ 8 กระบอกสูบ ในเครื่องยนต์หลายสูบ การวางกระบอกสูบลี้อยู่ 3 รูปแบบ คือ สูบเรียง (Inline), สูบวี (V), สูบนอน (Flat) ที่แสดงในรูป



รูปที่ 2.1 รูปสูบเรียง ลูกสูบตั้งขึ้น และเรียงกันในแนวเดียว

ที่มา: http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?passTo=12a5dac1a952d5f9d3f52c070a56844b&pageid=3&bookID=1494&read=true&count=true



รูปที่ 2.2 เครื่องยนต์ เชวี รหัส LS9 ZR1 6.2L สูบวี 8 สูบ

ที่มา: http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?passTo=12a5dac1a952d5f9d3f52c070a56844b&pageid=3&bookID=1494&read=true&count=true

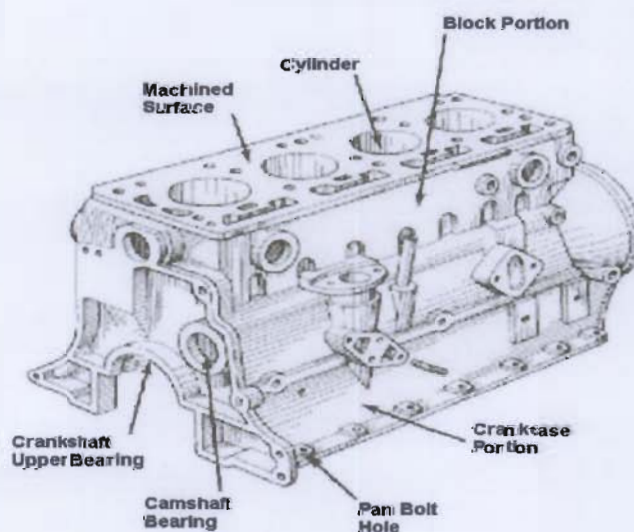


รูปที่ 2.3 รูปเครื่องยนต์สูบนอน 6 สูบ ของรถ พอร์ช (Porsche) 911

ที่มา: http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?passTo=12a5dac1a952d5f9d3f52c070a56844b&pageid=3&bookID=1494&read=true&count=true

โครงสร้างความแตกต่างแต่ละการวางกระบอกสูบจะมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันไปในด้าน การเดินเครื่องเรียบไม่สั่น, ลักษณะรูปร่าง และต้นทุนการผลิต

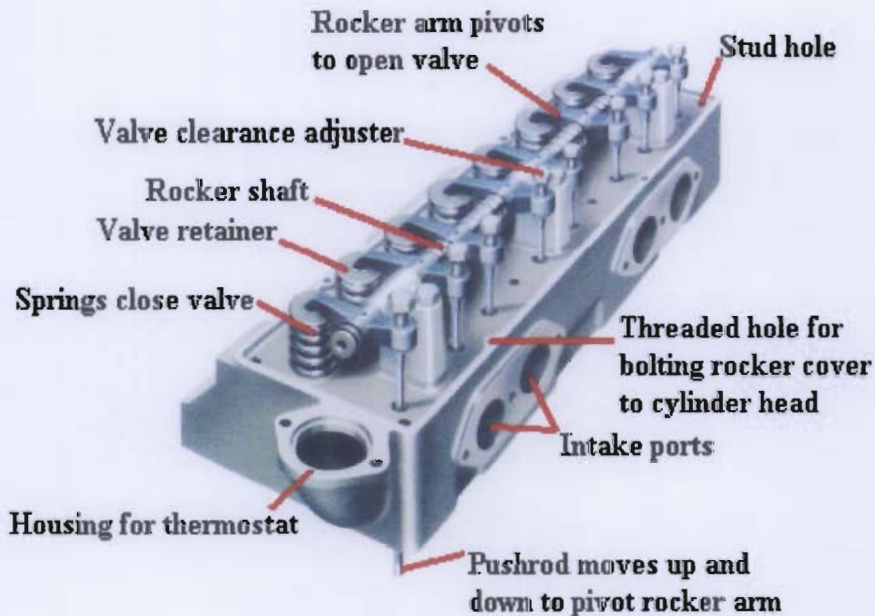
เสื้อสูบ (Cylinder Block) เป็นชิ้นส่วนที่ใหญ่ส่วนหนึ่งของเครื่องยนต์ บางที่เรียกว่า Engine Block ดังแสดงในรูปที่ 19 เสื้อสูบเป็นชิ้นส่วนที่อยู่ระหว่างฝาสูบ ซึ่งอยู่ด้านบนของเสื้อสูบกับห้องเครื่อง โดยทั่วไปเสื้อสูบทำจากเหล็กหล่อ หรือเหล็กหล่อผสม ภายในเสื้อสูบมีรูที่เจาะไว้สำหรับระบายความร้อนของเครื่องยนต์ด้วยน้ำ และยังมีรูไว้ส่งน้ำมันหล่อลื่นไปหล่อลื่นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ภายในกระบอกสูบด้วย ภายในเสื้อสูบจะมีลูกสูบบรรจุอยู่ ซึ่งทำหน้าที่ในการรับกำลังอัดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.4 เสื้อสูบ (Cylinder block)

ที่มา <http://www.zidofile.com/RtenSD>

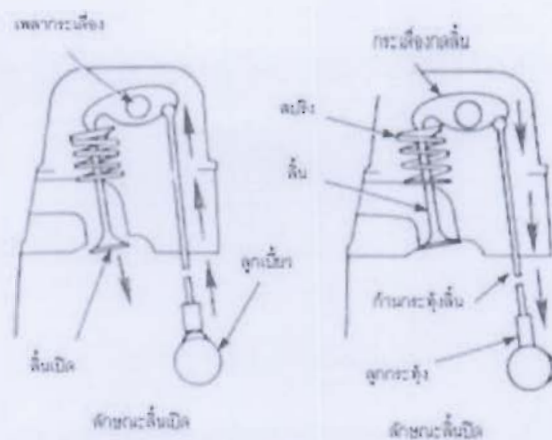
ฝาสูบ (Cylinder Head) ฝาสูบจะยึดติดอยู่ส่วนบนของเสื้อสูบ ทำหน้าที่ปิดและซีล (Seal) ครอบอกสูบ ฝาสูบยังเป็นส่วนบนของห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นพื้นที่ในการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ ฝาสูบมักทำด้วยเหล็กหล่อ เหล็กหล่อผสม หรืออะลูมิเนียมผสม ฝาสูบประกอบด้วย โพรงน้ำ ซึ่งทำหน้าที่หล่อเย็นช่องไอตี ซึ่งเป็นช่องทางการเข้าของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง และช่องไอเสีย เป็นช่องทางออกของอากาศเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ลักษณะของฝาสูบ



รูปที่ 2.5 ฝาสูบ (Cylinder head)

ที่มา <http://www.zidofile.com/RtenSD>

ลิ้น (Valve) และกลไกวาล์ว (Valve Train) โดยทั่วไปเครื่องยนต์ ไม่ว่าจะเครื่องยนต์ดีเซลหรือเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ลิ้นจะมีอยู่ 2 ชนิด คือลิ้นไอดี (Intake Valve) ทำหน้าที่เปิดให้ไอดีไหลเข้ากระบอกสูบ ลิ้นไอดีจะทำมาจากวัสดุเหล็กกล้าผสมโคเมียม-นิกเกิล และลิ้นไอเสีย (Exhaust Valve) ซึ่งทำหน้าที่ในการเปิดให้ไอเสียไหลออกจากกระบอกสูบหลังการเผาไหม้ ทำจากวัสดุโลหะผสมพิเศษที่มีความทนทานต่อความร้อนสูงที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบกลไกลิ้น ทำหน้าที่ในการควบคุมการเปิด-ปิดของลิ้นไอดี และลิ้นไอเสีย การเปิด-ปิดลิ้นโดยใช้ลูกเบี้ยวส่งกำลังทำให้ลิ้นเคลื่อนที่ของลิ้น การจัดวางกลไกสำหรับเปิด-ปิดลิ้น มี 3 รูปแบบ คือ แบบตัวแอล แบบก้านกระทุ้ง (Pushrod) และแบบใช้เพลาลูกเบี้ยวบนฝาสูบ หรือโอเวอร์เฮดแคมชาฟต์ (OHC) และลิ้นจะกลับสู่ตำแหน่งเดิม หรือในลักษณะปิด โดยใช้สปริงซึ่งอยู่บริเวณปลายก้านลิ้นลักษณะการทำงานเปิด-ปิดของลิ้น



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการทำงานของลิ้น ขณะลิ้นเปิด และลิ้นปิด

ที่มา : <http://pirun.ku.ac.th/~b4855324/3.html>

วาล์วไอดี-ไอเสีย วาล์วทั้งสองจะเปิดตามจังหวะ และเวลา ในการหมุนของเครื่องยนต์ วาล์วไอดีเปิดเพื่อเอาส่วนผสมน้ำมัน และอากาศเข้ามา วาล์วทั้งคู่อจะปิดเมื่อลูกสูบอัดตัวและเกิดการเผาไหม้ ส่วนวาล์วไอเสียจะเปิดเพื่อขับไอเสียหลังจากได้ทำการเผาไหม้ไอดีแล้ว



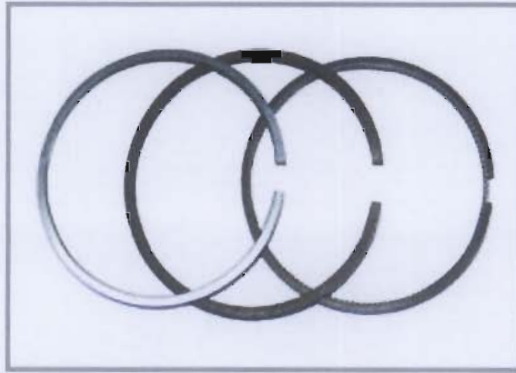
รูปที่ 2.7 แสดงชิ้นส่วนของวาล์วไอดี- ไอเสีย

ที่มา:http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?passTo=12a5dac1a952d5f9d3f52c070a56844b&pageid=3&bookID=1494&read=true&count=true

แหวนลูกสูบ (Piston ring) ประกอบอยู่ที่ลูกสูบอยู่ที่ขอบของลูกสูบ มีหน้าที่เป็นซีลป้องกันการรั่วระหว่างที่ลูกสูบทำงาน และอีกอย่างหนึ่งก็คือทำหน้าที่เป็นตัวกลางระบายความร้อนภายในห้องเผาไหม้ออกไปที่น้ำหล่อเย็น ทัวไปแล้วแหวนลูกสูบจะมี 2 อย่าง คือ

- แหวนอัด จะป้องกันไม่ให้ไอดี และไอเสียในกระบอกสูบรั่วไหลออกไประหว่างเกิดการอัด และเผาไหม้

- แหวนกวาดน้ำมัน จะคอยป้องกันน้ำมันเครื่อง จากอ่างน้ำมันเครื่องไม่ให้รั่วไปในห้องเผาไหม้ ถ้า น้ำมันเครื่องไหลเข้าในห้องเผาไหม้ได้จะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และสิ่งมีชีวิต จึง ควรตรวจสอบอยู่เสมอ



รูปที่ 2.8 แหวนลูกสูบ

ที่มา http://www.siammotorsparts.com/product_riken_th.php

ก้านสูบ มีบทบาทสำคัญโดยมีหน้าที่ในการเชื่อมต่อส่งถ่ายกำลัง งานที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ไปยังเพลาค้อเหวี่ยงเพื่อขับเคลื่อนให้เพลาค้อเหวี่ยงหมุน ก้านสูบจะต้องสามารถทนแรงเค้น อักและแรงดึงที่เกิดจาก ความเร็วของเครื่องยนต์ ก้านสูบทำจากโลหะประเภท เหล็กกล้าชนิดพิเศษ ประกอบด้วยคาร์บอน 0.35 ถึง 0.45% ผสมกับโครเมียม แมงกานีส ซิลิโคน หรือ โมลิบดีนัม

รูปร่างของก้านสูบจะถูกออกแบบให้มีรูปร่างเป็นรูปตัว T ซึ่งปลายสั้นหนึ่งจะเล็ก อีกด้านจะใหญ่ ในส่วนปลาย ด้านเล็กจะ ทำการยึดติดกับลูกสูบด้วย สลักลูกสูบซึ่งจะยึดกันอยู่ด้วยนูนของแคงอัลลอย หรือบุชอลูมิเนียม ส่วนปลายอีก ด้านหนึ่งจะยึดติดกับ เพลาค้อเหวี่ยง (Crankshaft) โดยปลายด้านนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนโดยการยึดก้านสูบติดกับ เพลานั้นจะมีตัวกลางที่อยู่ระหว่าง ก้านสูบและเพลาค้อเหวี่ยง (Bearing)

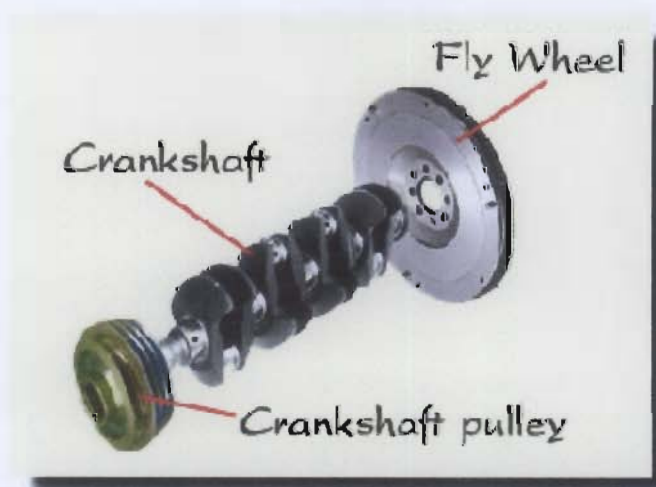


รูปที่ 2.9 ก้านสูบในรูปแบบต่างๆ

ที่มา <http://www.automobile.taladnuds.com/asse2.php>

เพลาช้อเหวี่ยง (Crankshaft) เพลาช้อเหวี่ยง ทำหน้าที่ รับแรงกระทำที่ส่งมาจาก ก้านสูบ (Rod piston) โดยเปลี่ยนจากแรงกำลังแนวขึ้น-ลง ของลูกสูบ มาเป็น แรงกำลังในแนวหมุน เพลาช้อเหวี่ยง มีแกนข้างหนึ่งโผล่ออกไป นอกเสื้อสูบเพื่อยึดติดกับ ล้อช่วยแรง (Fly wheel) ส่วนแกนอีกข้างหนึ่งก็โผล่ออก ไปนอกเสื้อสูบเช่นกัน เพื่อยึดติดกับ พลุเลย์เพลาช้อเหวี่ยง (Crankshaft pulley)

ก้านสูบที่ยึดติดกับเพลาช้อเหวี่ยงนั้น จะมี แบริ่ง (Bearing) ประกอบอยู่ระหว่างกลาง ทำให้มีความสิ้นในการเสียดสีกัน อีกทั้ง ยังมีน้ำมันหล่อลื่นช่วยลดแรงเสียดสีดังกล่าวด้วย การทำงานจึงราบรื่น และที่สำคัญ เพลาช้อเหวี่ยง จะมีเหล็กถ่วงดุลน้ำหนัก อยู่บนแกนเดียวกัน เพื่อทำให้เกิดการถ่วงดุลในเวลาที่กำลังเพลาช้อเหวี่ยง ตัวขึ้น-ลง ตามลูกสูบ



รูปที่ 2.10 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเพลาช้อเหวี่ยง
ที่มา <http://www.automobile.taladnuds.com/asse3.php>

2.2 วัฏจักรพื้นฐานของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์สันดาปภายในเกือบทั้งหมด ทั้งแบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟ และแบบจุดระเบิดด้วยการอัดล้วนทำงานด้วยวัฏจักรอย่างใดอย่างหนึ่ง คือวัฏจักรสี่จังหวะ หรือวัฏจักรสองจังหวะ

วัฏจักรเครื่องยนต์สี่จังหวะจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (เครื่องยนต์เบนซิน)

1. จังหวะแรก: จังหวะดูด (Intake Stroke) ลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนไปยังศูนย์ตายล่าง ขณะที่ลิ้นไอดีเปิดและลิ้นไอเสียปิด เป็นการขยายปริมาตรของห้องเผาไหม้และทำให้เกิดความดันต่ำกว่าบรรยากาศ อากาศภายนอกจึงถูกดันไหลเข้าสู่กระบอกสูบเชื้อเพลิงจากหัวฉีด หรือคาร์บิวเรเตอร์จะถูกผสมกับอากาศ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้

2. จังหวะที่สอง: จังหวะอัด (Compression stroke) ลิ้นไอดีปิดเมื่อลูกสูบถึงศูนย์ตายล่าง ลูกสูบเคลื่อนที่กลับไปยังศูนย์ตายบนในขณะที่ลิ้นทุกตัวปิด ไอดีจะถูกกดปริมาตรทั้งความดันและอุณหภูมิ จะสูงขึ้น

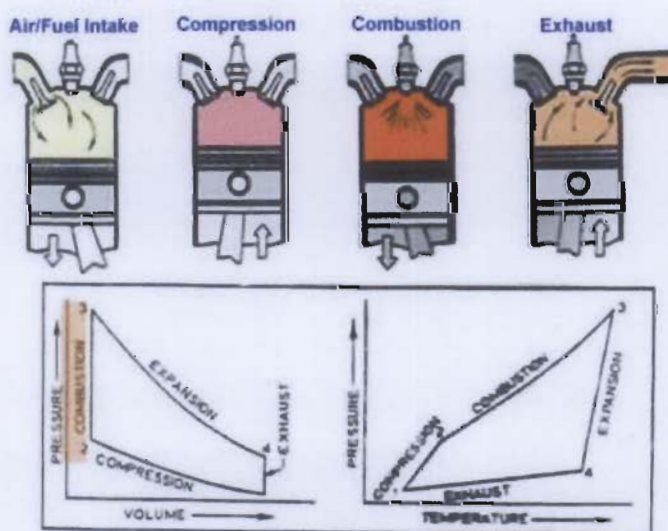
เนื่องจากลิ้นไอดีไม่สามารถปิด ได้ทันที เพราะฉะนั้นการอัดไอดีจะเริ่มเมื่อลิ้นไอดีปิดสนิทหลังศูนย์ตายล่าง และเมื่อลูกสูบเคลื่อน ที่เก็อบถึงศูนย์ตายบนหัวเทียนจะปล่อยประกายไฟเพื่อกระตุ้นให้เกิดการเผาไหม้

3. การเผาไหม้ การเผาไหม้ของไอดี (ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ) เกิด ขึ้นในช่วงเวลาสั้น มากก่อนลูกสูบถึงศูนย์ตายเล็กน้อย เป็นการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ปริมาตรค่อนข้างคงที่ และสิ้นสุดเมื่อลูกสูบ ผ่านศูนย์ตายบนไปเล็กน้อย การเผาไหม้เปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของก๊าซให้กลายเป็นไอเสีย พร้อมกับเพิ่ม อุณหภูมิของการให้สูงขึ้นมาก ทำให้ความดันของก๊าซในห้องเผาไหม้สูงมากตามไปด้วย

4. จังหวะที่สาม: จังหวะกำลัง หรือจังหวะขยายตัว (Power Stroke หรือ Expansion Stroke) ขณะที่ ลิ้นทุกตัวปิด ก๊าซความดันสูงให้ห้องเผาไหม้ จะดันลูกสูบเคลื่อนที่ลงจากศูนย์ตายล่าง เป็นจังหวะที่เครื่องยนต์ ให้กำลังและงาน การขยายตัวของห้องเผาไหม้ ทำให้ความดันและอุณหภูมิลดลง

5. การระบายไอเสีย ช่วงท้ายของจังหวะกำลังลิ้นไอเสียจะเปิดเพื่อระบายไอ เสีย ความดันและ อุณหภูมิของไอเสียในระบบสูบ ยังสูงมากอยู่เมื่อเทียบกับบรรยากาศภายนอกระบบสูบ ทำให้ไอเสียส่วนใหญ่ถูกคายออกจากระบบสูบตั้งแต่ลูกสูบยังไม่ถึงศูนย์ตายล่าง เป็นไอเสียที่ยังมีปริมาณแอนธาลพีอยู่สูงทำให้ประสิทธิภาพของวัฏจักรลดลงการเปิดลิ้นไอเสียก่อนลูกสูบถึงศูนย์ล่าง ทำให้งานที่เครื่องยนต์ลดน้อยลง แต่ เป็นความจำเป็น เพราะการระบายไอเสียออกต้องใช้เวลา

6. จังหวะที่สี่: จังหวะคายไอเสีย (Exhaust Stroke) ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายล่าง ในระบบสูบยังเต็มไปด้วยไอเสียความดันต่ำ ใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศลูกสูบเคลื่อนตัวขึ้นจากศูนย์ตายล่างใน ขณะที่ลิ้นไอเสียยังเปิดอยู่ ไอเสียจะถูกไล่ออกจากระบบสูบ จนเหลือตกค้างเพียงปริมาตรอัด (clearance volume) เมื่อลูกสูบจากระบบสูบ จนเหลือตกค้างเพียงปริมาตรอัด (clearance volume) เมื่อลูกสูบถึงศูนย์ ตายบน ก่อนลูกสูบจะถึงศูนย์ตายบนลิ้นไอดีจะเริ่มเปิด และเปิดสุดที่หลังศูนย์ตายบน เป็นการเริ่มต้นจังหวะ แรกของวัฏจักรต่อไป ส่วนลิ้นไอเสียจะเริ่มปิดก่อนศูนย์ตายบน และปิดสนิทหลังศูนย์ตายบนเล็กน้อย ช่วงก่อน และหลังศูนย์ตายบนเล็กน้อยในช่วงสุดท้ายของจังหวะคายไอเสีย และช่วงเริ่มต้นของจังหวะดูด จึงเป็นช่วงที่ ลิ้นไอดีและไอเสียเปิดอยู่ด้วยกัน เราเรียกช่วงนี้ว่า มุมลิ้นซ้อนเหลื่อม (valve overlap)



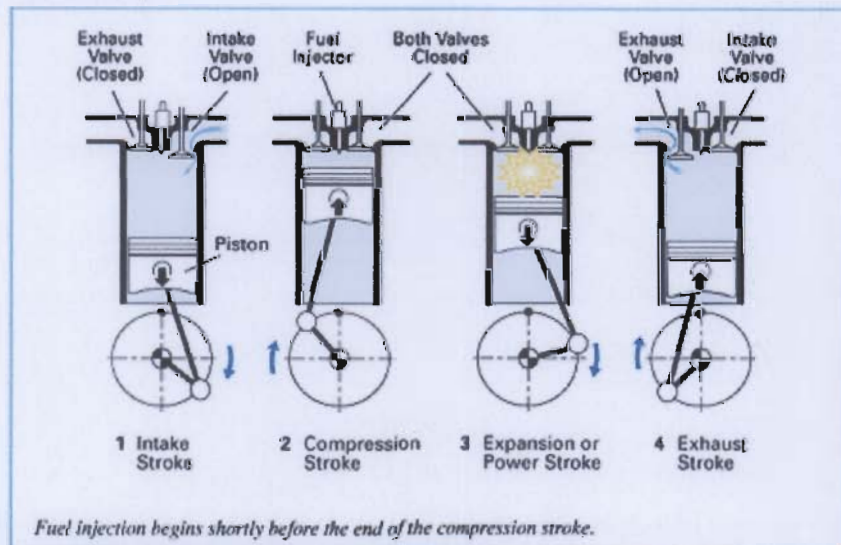
รูปที่ 2.11 วัฏจักรทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

ที่มา <http://www.atom.mutphysics.com/charud/oldnews/241/1210394826.jpg>

วัฏจักรเครื่องยนต์สี่จังหวะจุดระเบิดด้วยการอัด (เครื่องยนต์ดีเซล)

1. จังหวะแรก: จังหวะดูด เช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟยกเว้นตรงที่เป็นการดูดแต่อากาศเท่านั้น ไม่มีการผสมเชื้อเพลิง
2. จังหวะที่สอง: จังหวะอัดเช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่เป็นการอัดที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่า ในช่วงสุดท้ายของจังหวะนี้ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเป็นฝอยตรงเข้าห้องเผาไหม้ และผสมกับอากาศร้อนจัด เชื้อเพลิง จะถูกฉีดเป็นฝอยตรงเข้าห้องเผาไหม้ และผสมกับความดันร้อนจัด เชื้อเพลิงจะระเหยอย่างรวดเร็ว และลุกไหม้ขึ้นเอง เป็นการเริ่มต้นการเผาไหม้
3. การเผาไหม้ การเผาไหม้เกิดขึ้นเต็มที่ที่ศูนย์ตายบน เป็นการเผาไหม้ที่ความดันคงที่อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง และลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ลงสู่ศูนย์ตายล่าง
4. จังหวะที่สาม: จังหวะกำลัง เริ่มเมื่อการเผาไหม้สิ้นสุด และลูกสูบเคลื่อนที่ไปยังศูนย์ตายล่าง
5. การระบายไอเสีย เช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ
6. จังหวะที่สี่: จังหวะคายไอเสีย เช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

Figure 6-1
Four-Stroke Cycle



Reprinted with permission from Robert Bosch GMBH.

รูปที่ 2.12 วัฏจักรทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ จุดระเบิดด้วยการอัด
ที่มา <http://www.vcharkarn.com/vcafe/62205/7>

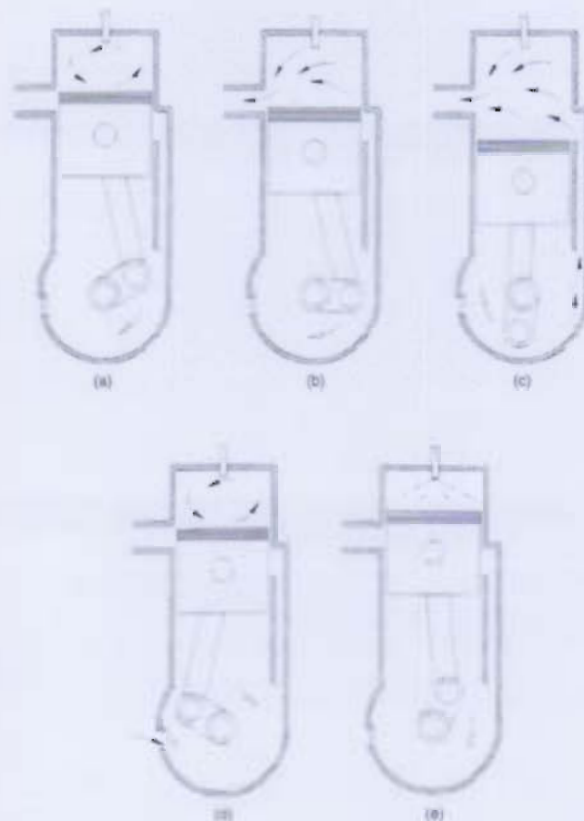
วัฏจักรเครื่องยนต์สองจังหวะ จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

1. การเผาไหม้ เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วที่ศูนย์ตายบน อุณหภูมิและความดันจะเริ่มขึ้นสูงมาที่ปริมาตรค่อนข้างคงที่
2. จังหวะแรก: จังหวะกำลังหรือจังหวะขยายตัว ภาซความดันสูงจากการเผาไหม้ ดันลูกสูบเคลื่อนที่ลง การเพิ่มปริมาตรทำให้ความดันและอุณหภูมิลด ในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงสู่ศูนย์ตายล่าง

3. การระบายไอเสีย ประมาณ 75 องศา ก่อนศูนย์ตายล่าง ลิ้นไอเสียจะเปิดและการระบายไอเสียเริ่มขึ้น ลิ้นไอเสียอาจเป็นลิ้นดอกเห็บในฝาสูบ หรืออาจเป็นช่องที่ผนังกระบอกสูบก็ได้ และจะเริ่มเปิดเต็มที่เมื่อลูกสูบใกล้ศูนย์ตายล่าง หลังการระบายไอเสีย จะเหลือไอเสียความดันต่ำค้างอยู่ในกระบอกสูบ

4. การดูดไอดีและการไล่ไอเสีย เมื่อการระบายไอเสียใกล้สิ้นสุดที่ปริมาณ 50 องศา ก่อนศูนย์ตายล่าง หัวลูกสูบจะเริ่มพันขอบช่องไอดี ไอดีในห้องข้อเหวี่ยงซึ่งถูกลูกสูบเพิ่มความดันขณะเคลื่อนที่ลงจะไหลเข้ากระบอกสูบพร้อมกับไล่ไอเสียที่ตกค้างออกไปทางช่องไอเสียเป็นการขับไล่ไอเสีย(scavenging) ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจากศูนย์ตายล่าง พร้อมกับปิดช่องไอดี และช่องไอเสียตามลำดับ (หรือลิ้นไอเสียปิดถ้าใช้ลิ้นดอกเห็บ) ไอดีความดันสูงจะถูกบ้อนเข้ากระบอกสูบได้สองวิธีด้วยกันคือใช้ตัวอัดบรรจุอากาศ (supercharger) ในเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ หรือใช้ไอดีจากห้องข้อเหวี่ยงในเครื่องยนต์ขนาดเล็ก โดยให้ห้องข้อเหวี่ยงและลูกสูบทำหน้าที่บีบอัดไอดีไปในตัว

5. จังหวะที่สอง: จังหวะอัด ในช่วงที่ลิ้นหรือช่องไอดีและไอเสียปิดหมด และลูกสูบกำลังเคลื่อนที่สู่ศูนย์ตายบน พร้อมกับไอดีถูกอัดเพิ่มความดันและอุณหภูมิหัวเทียนจะปล่อยประกายไฟก่อนสิ้นสุดจังหวะอัดการเผาไหม้จะเริ่มที่ใกล้ศูนย์ตายบนและเข้าสู่วัฏจักรถัดไป



รูปที่ 2.13 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สองจังหวะจุดระเบิดด้วยประกายไฟ

ที่มา http://www.gmcworkshop.com/new_lpg/lpg74.asp

LNG/CNG power ฉบับที่ 163 ประจำวันที่ 25 พฤศจิกายน 2552 Next Update: 10 ธันวาคม 2552

บทที่ 3

วิธีการออกแบบลูกเบี้ยวและตัวตาม

เครื่องยนต์ VTEC เป็นลิขสิทธิ์ของค่าย Honda นั้น ขึ้นชื่อว่ามี การออกแบบฝาสูบที่ยอดเยี่ยมอยู่ แล้ว ด้วยระบบวาล์วแปรผันที่มีแคมชาฟท์ "โหนกที่ 3" เป็นสัญลักษณ์ เมื่อใดที่แคมชาฟท์เคลื่อนที่เข้าล็อกให้โหนก VTEC ทำงาน จะได้เห็นความสามารถของเครื่องยนต์ NA ที่ไม่ธรรมดาในทันที ระบบเปิดปิดการทำงานถูกสั่งการด้วย ECU อันชาญฉลาดและสามารถปรับแต่งได้ดั่งใจ เครื่องยนต์ที่เป็นแบบ DOHC VTEC ส่วนใหญ่จะมีการออกแบบมาใน 2 ลักษณะ อย่างแรกคือแบบธรรมดา แทนออกด้วย "ฝาดำ" และแบบที่สองคือ พิเศษแทนด้วย "ฝาแดง" พื้นฐานของเครื่องยนต์ทั้งสองแบบนี้ มีความใกล้เคียงกันมาก แต่ก็มี ความแตกต่างอยู่ที่ชิ้นส่วนภายในบางตัว เช่น วาล์ว สปริง วาล์ว แคมชาฟท์ หรือ เกียร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นส่วนในฝาสูบแทบทั้งสิ้น จึงมีผู้คิดวิธีการโมดิฟาย โดยนำเอาชิ้นส่วนที่แตกต่างกันของเครื่องฝาแดง มาใส่ในเครื่องฝาดำ เช่น สปริงวาล์ว หรือแคมชาฟท์ เป็นต้น ซึ่งวิธีนี้ก็นิยมกันมาก

VTEC คือระบบที่ควบคุมการทำงานของวาล์วไอดี ให้เหมาะสมกับการทำงานของ รอบเครื่องยนต์ในแต่ละช่วง โดยในเครื่องยนต์ปกติทั่วไป ที่ไม่มีระบบ VTEC หรือการควบคุม การทำงานของวาล์วไอดี จะมีระบบและช่วงเวลาของการเปิด-ปิดวาล์วไอดีที่ตายตัว นั้นหมายถึงว่า ปริมาณของอากาศที่ไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จะสม่ำเสมอ ไม่ว่าจะ เป็นรอบเครื่องยนต์ที่สูง หรือต่ำ



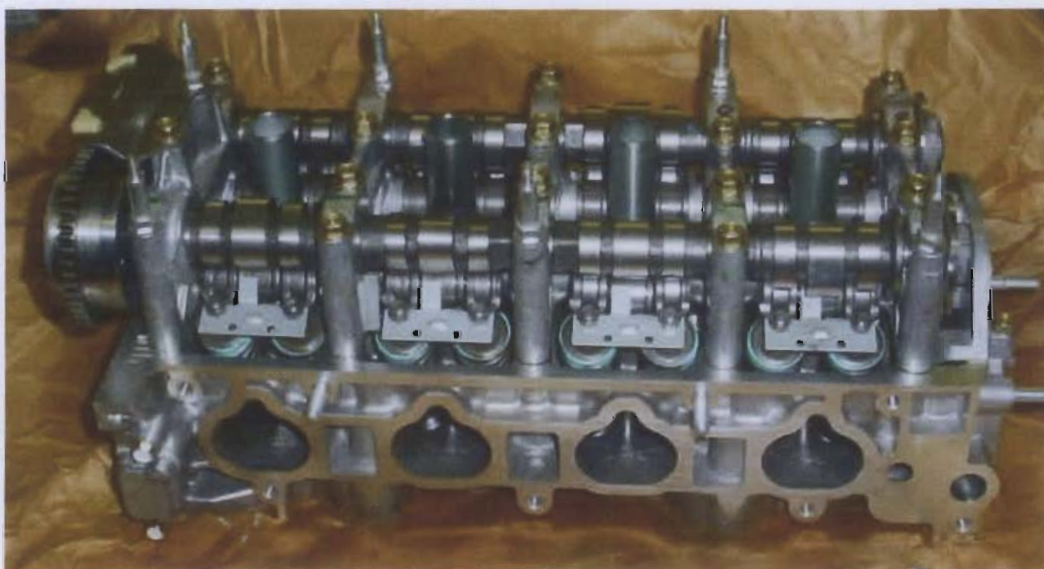
รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ i-VTEC ของ Honda

ปัจจุบัน ระบบ VTEC มีอยู่ 3 แบบ คือ

1. DOHC VTEC ลักษณะการทำงาน ในจังหวะที่เครื่องยนต์ทำงานในรอบต่ำ การทำงานของ วาล์วทั้ง 4 ตัวนี้จะทำงานตามลูกเบี้ยวของเพลาราวล้นตัวรอบต่ำ ให้จังหวะ "Timing" เปิด/ปิด วาล์วในระดับปกติ แต่เมื่อใช้งานเครื่องยนต์ถึงความเร็วรอบสูงขึ้น ระบบก็จะเปลี่ยนมาใช้ลูกเบี้ยวตัวองศาสูง มาควบคุมการทำงานของวาล์วแทน เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงาน

2. SOHC VTEC โดยแบ่งเป็นไอดี 2 ไอเสีย 2 แต่ที่เพลาราวล้นแห่งเดียวกันนั้นจะมีลูกเบี้ยว อยู่ในตัว 2 ชุด ชุดหนึ่ง สำหรับการงานของเครื่องยนต์ในช่วงรอบการทำงานต่ำ ๆ ส่วนอีกชุดหนึ่ง เป็นองศาและลิฟท์สำหรับในช่วงรอบเครื่องยนต์สูง การทำงานจะใช้กระเดื่องกดวาล์วเป็นตัว ควบคุมการทำงานของวาล์ว การเปลี่ยนการทำงานของลูกเบี้ยวหนึ่งไปอีกลูกเบี้ยวหนึ่ง จะขึ้นอยู่กับ ความเร็วแต่เมื่อความเร็วลดลง ชุดกระเดื่องก็จะถูกส่งงานให้กลับมาใช้ ลูกเบี้ยวเดิมที่เคยใช้ในรอบต่ำ เพื่อเน้นความประหยัด

3. VTEC-E เป็นเครื่องยนต์ 4 วาล์วต่อสูบใช้เพลาราวล้นเพียงตัวเดียวเป็นตัวควบคุมการ ทำงานของวาล์วทั้ง 4 ตัว ลักษณะของระบบแบบง่าย ๆ คือในช่วงรอบการ ทำงานต่ำ ๆ จะเป็น วาล์ว ไอดีไว้ตัวหนึ่ง ซึ่งออกแบบให้ไอดีหมุนวนอย่างรุนแรง แต่เป็นระเบียบทำให้อัตราส่วนผสมน้ำมัน เชื้อเพลิงที่ไหลเข้าสู่กระบอกสูบต่ำสามารถนำไป เผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและหมดจดจน กระทั่งผู้ขับใช้รอบสูง

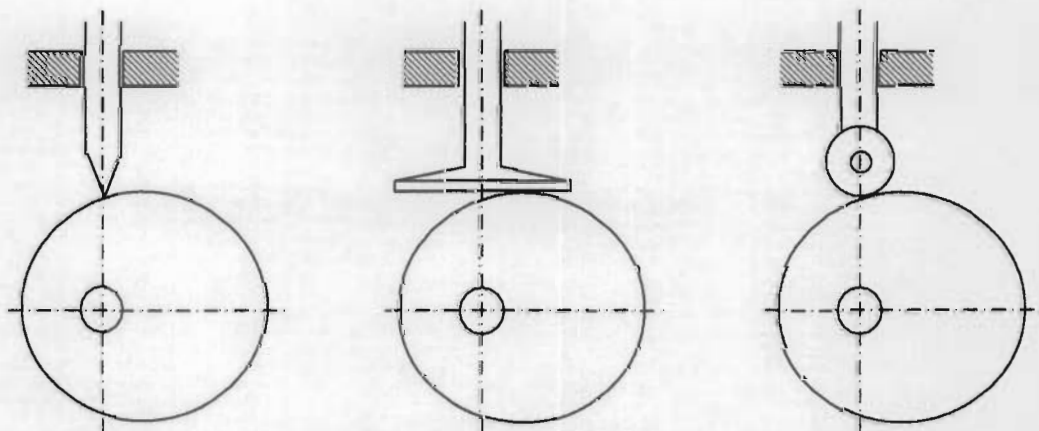


รูปที่ 3.2 ชิ้นส่วนต่างๆของชุดฝาสูบ (Double hade camshaft)

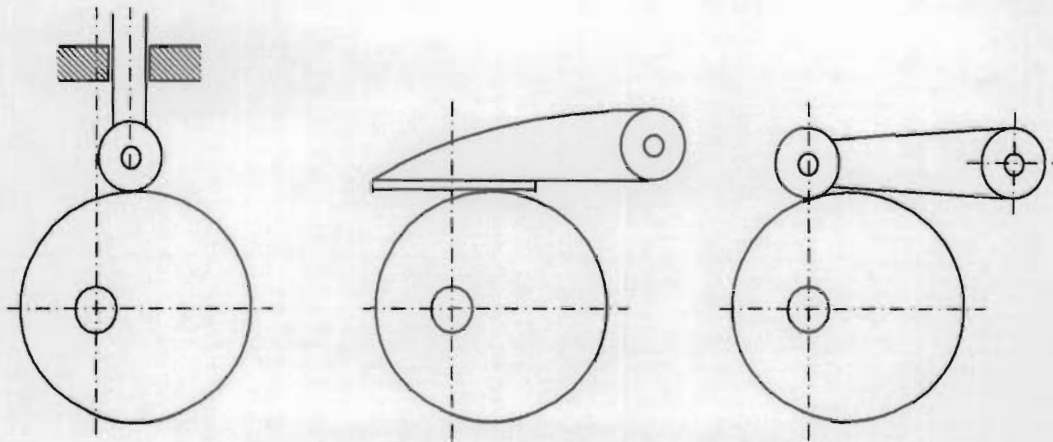
3.1 ชนิดของลูกเบี้ยวและตัวตาม (Cam and Follower Classification)

ลูกเบี้ยวและตัวตาม เป็นกลไกกันต่อที่มี 3 ชั้นต่อโยง ซึ่งอาจแบ่งชนิดของลูกเบี้ยวได้ โดยอาศัยชนิดของลูกเบี้ยว, รูปร่างของลูกเบี้ยว, การเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของตัวตาม เป็นต้น ลูกเบี้ยวและตัวตามที่มักจะนิยมใช้งาน ได้แก่ ลูกเบี้ยวแบบแผ่นหมุน (Rotating-Disk Cam), ตัวตามแบบขึ้นลง (Reciprocating Follower) และตัวตามแบบแกว่งกวัด (Oscillating Follower) เป็นต้น โดยในรูปที่ 3.3 แสดงลูกเบี้ยว แบบแผ่นหมุนกับตัวตาม 6 ชนิด ต่างๆกัน รูปที่ 3.3(ก) เป็นลูกเบี้ยวแบบแผ่นหมุนและตัวตามแบบปลายแหลมแนวรัศมี (Rotating-Disk Cam and Radial Knife Edge Follower), รูปที่ 3.3(ข) เป็นลูกเบี้ยวแบบแผ่นหมุนและตัวตามแบบผิวหน้าเรียบแนวรัศมี (Rotating-Disk Cam and Radial Flat-Faced Follower), รูปที่ 3.3(ค) เป็นลูกเบี้ยวแบบแผ่นหมุนและตัวตามแบบกลิ้งแนวรัศมี (Rotating-Disk Cam and Radial Roller Follower), รูปที่ 3.3(ง) เป็นลูกเบี้ยวแบบแผ่นหมุนและตัวตามแบบกลิ้งเอียงแนวรัศมี (Rotating-Disk Cam and Offset Roller Follower), รูปที่ 3.3(จ) เป็นลูกเบี้ยวแบบแผ่นหมุนและตัวตาม

แบบผิวหน้าเรียบแกว่งกวัด (Rotating-Disk Cam and Oscillating Flat-Faced Follower), รูปที่ 3.3(ฉ) เป็น ลูกเบี้ยวแบบแผ่นหมุนและตัวตามแบบกลิ้งแกว่งกวัด (Rotating-Disk Cam and Oscillating Roller Follower)



(ก) ตัวตามแบบปลายแหลมแนวรัศมี (ข) ตัวตามแบบผิวหน้าเรียบแนวรัศมี (ค) ตัวตามแบบกลิ้งแนวรัศมี



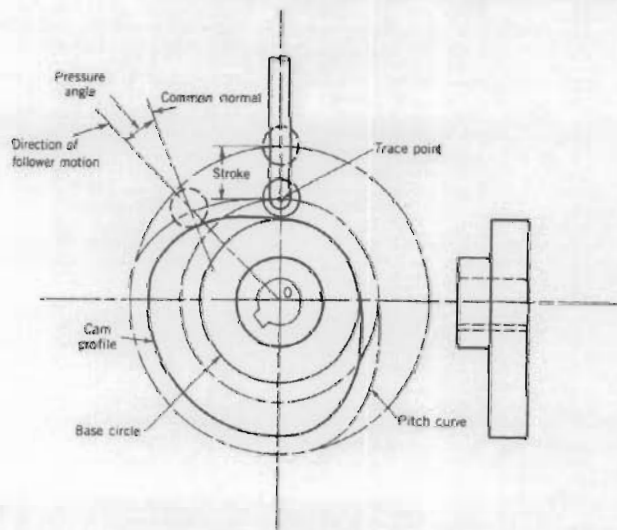
(ง) ตัวตามแบบกลิ้งเยื้องแนวรัศมี (จ) ตัวตามแบบผิวหน้าเรียบแกว่งกวัด (ฉ) ตัวตามแบบกลิ้งแกว่งกวัด

รูปที่ 3.3 ลูกเบี้ยวและตัวตามชนิดต่างๆ

3.2 การกำหนดศัพท์เฉพาะของลูกเบี้ยวและตัวตาม (Cam and Follower Nomenclature)

ส่วนประกอบต่างๆของลูกเบี้ยว ดังแสดงในรูปที่ 3.4 มีการกำหนด ดังต่อไปนี้

- วงกลมฐาน (Base Circle) คือ วงกลมที่เล็กที่สุดที่สัมผัสกับผิวของลูกเบี้ยว โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกับกับจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยว
- วงกลมหลัก (Prime Circle) คือ วงกลมที่เล็กที่สุดที่สัมผัสกับส่วนโค้งพิทช์ โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกับกับจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยว



รูปที่ 3.4 การกำหนดศัพท์เฉพาะของลูกเบี้ยวและตัวตาม (Mabie and Reinholtz, 1987)

วงกลมพิทช์ (Pitch Circle) คือ วงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะจากจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยวถึงจุดพิทช์ และมีจุดศูนย์กลางอยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกับกับจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยว

จุดพิทช์ (Pitch Point) คือ จุดบนส่วนโค้งพิทช์ ณ ตำแหน่งที่มีมุมกดดันมากที่สุด

จุดทางเดิน (Trace Point) คือ จุดทางเดินของตัวตาม ซึ่งจะทำให้เกิดส่วนโค้งพิทช์ (Pitch Curve)

เส้นผิวลูกเบี้ยว (Cam Profile) คือ ตำแหน่งต่างๆที่ลูกเบี้ยวสัมผัสกับตัวตาม

ส่วนโค้งพิทช์ (Pitch Curve) คือ ส่วนโค้งที่เป็นทางเดินของตัวตาม

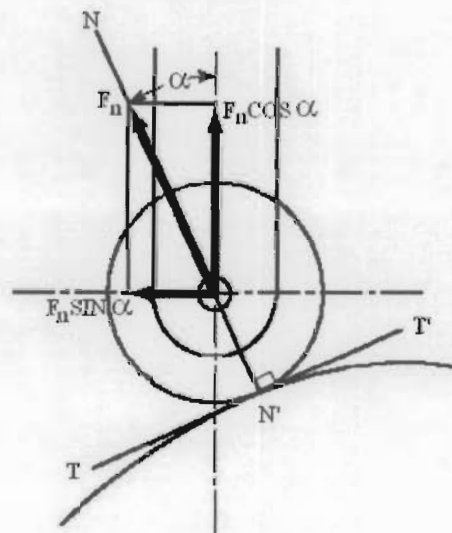
มุมกดดัน (Pressure Angle) คือ มุมระหว่าง แนวรัศมีที่เกิดจากจุดหมุนของลูกเบี้ยวกับเส้นตั้งฉากกับส่วนโค้งพิทช์ ณ ตำแหน่งนั้นๆ

ระยะชัก (Stroke) คือ ระยะทางระหว่าง ตำแหน่งที่ตัวตามเคลื่อนที่ออกห่างจากจุดหมุนของลูกเบี้ยวมากที่สุด และตำแหน่งที่ตัวตามเคลื่อนที่เข้าใกล้จุดหมุนของลูกเบี้ยวมากที่สุด

การเคลื่อนที่ขึ้น (Rise) คือ การที่ตัวตามเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยว

การเคลื่อนที่ลง (Return) คือ การที่ตัวตามเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยว

การค้าง (Dwell) คือ การที่ตัวตามไม่มีการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.5 แรงที่ตัวตามกระทำกับลูกเบี้ยว (Wilson and Sadler, 2003)

จากรูปที่ 3.5 แรง F_n เป็นแรงในแนวเส้นตั้งฉากร่วม (Common Normal) ที่ลูกเบี้ยวกระทำกับตัวตาม โดยตัวตามจะเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้ง ดังนั้น $F_n \cos \alpha$ จึงเป็นแรงในแนวการเคลื่อนที่ของตัวตาม ในขณะที่ $F_n \sin \alpha$ เป็นแรงในแนวตั้งฉากการเคลื่อนที่ของตัวตาม โดย $F_n \sin \alpha$ จะเป็นแรงที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ดังนั้น มุมกดตัน (α) จึงควรจะมีค่าน้อย

3.3 การเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตาม (Cam and Follower Motion)

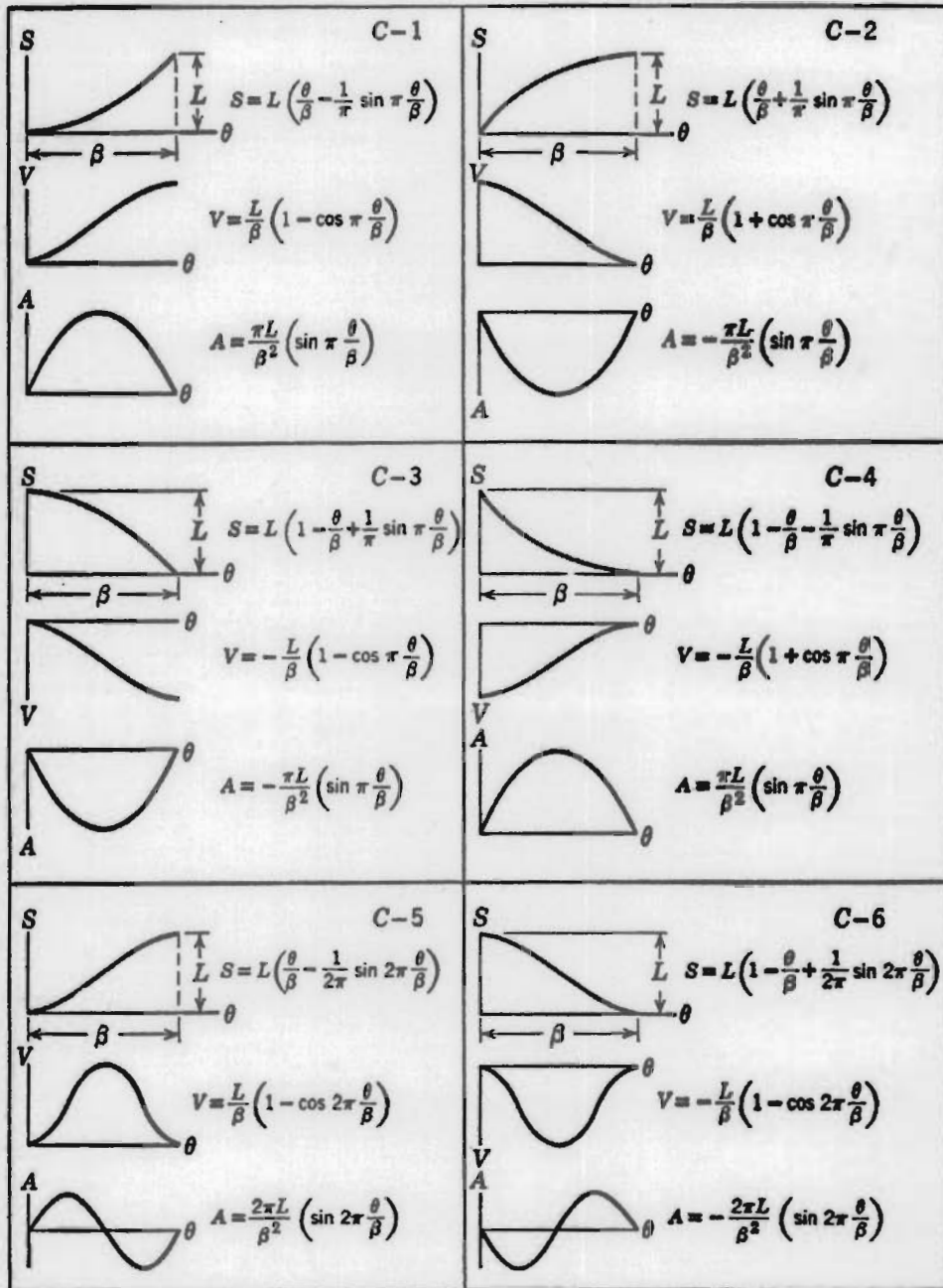
ในการออกแบบลูกเบี้ยวและตัวตามนั้น สิ่งที่จะต้องพิจารณาคือลำดับแรก ได้แก่ การเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตาม โดยการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตามที่แตกต่างกัน ก็จะทำให้เส้นผิวลูกเบี้ยวที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้น จึงมีการกำหนดลักษณะพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตาม เพื่อให้เป็นมาตรฐานที่เหมือนกัน

การเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตามที่ใช้เป็นมาตรฐานนั้น มีอยู่ 3 ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.4-3.6 โดยนอกจากการเคลื่อนที่ที่ปรากฏในรูปที่ 3.4-3.6 แล้ว ยังมีการเคลื่อนที่พื้นฐานต่างๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง แต่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป เช่น การเคลื่อนที่ที่มีความเร็วคงที่ เป็นต้น

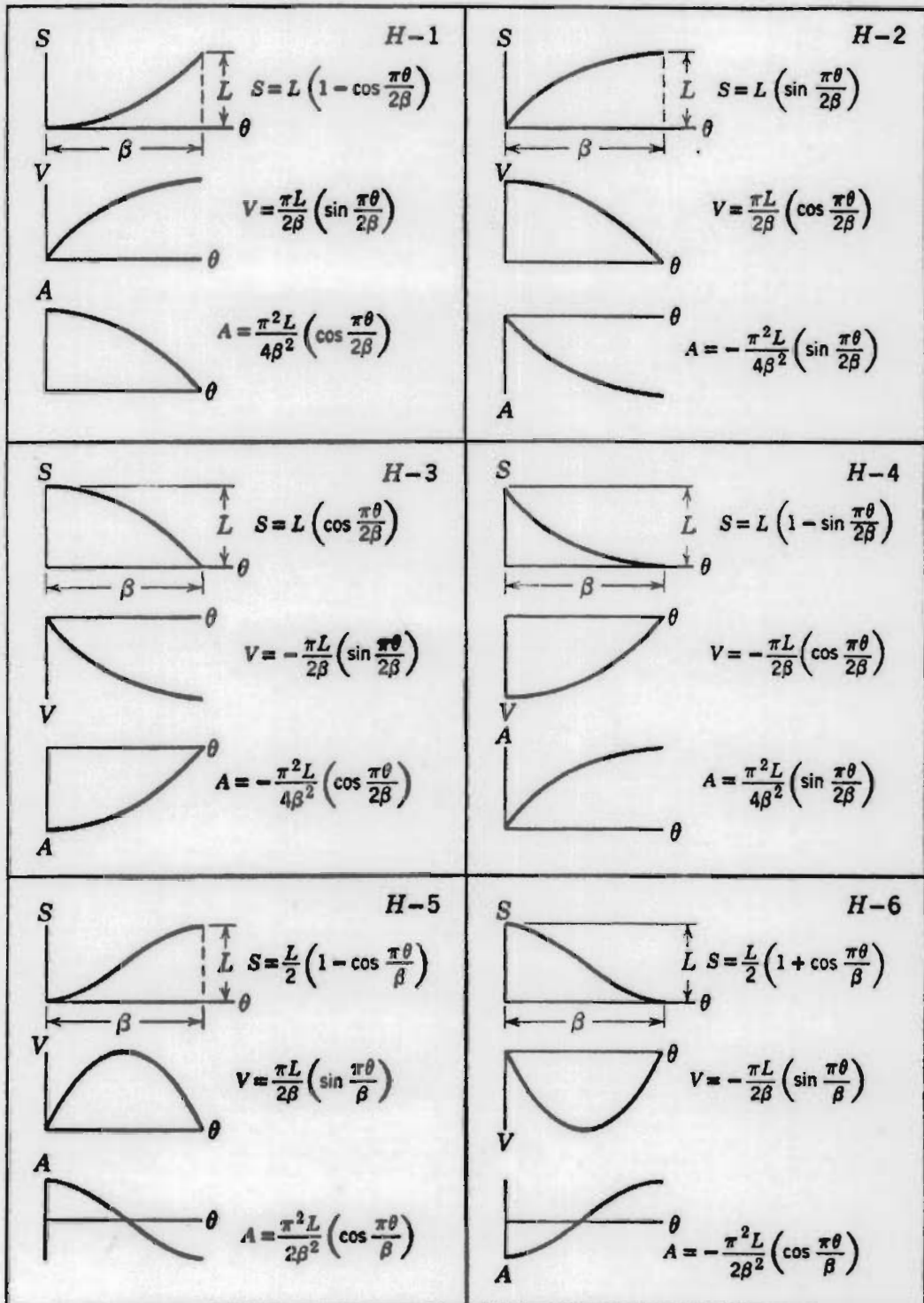
สำหรับข้อดีและข้อด้อยของลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตาม ทั้ง 3 ลักษณะนั้น มีดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์ (Cycloidal Motion) จะให้ความเร่งเป็นศูนย์ที่ปลายทั้งสองด้าน ดังนั้น สามารถนำไปต่อกับช่วงการค้าง (Dwell) ได้ทั้งสองด้าน แต่จะให้มุมกดตันและความเร่งมีค่ามากที่สุด อีกทั้งความเร่งจะมีค่าเปลี่ยนเป็นศูนย์บ่อยเกินไปโดยไม่จำเป็น
2. การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก (Harmonic Motion) จะให้มุมกดตันและความเร่งมีค่าต่ำที่สุด แต่ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม โดยจะต้องระมัดระวังการเกิดเจอร์คที่มีค่านันต์
3. การเคลื่อนที่แบบโพลิโนเมียลกำลังแปด (Eight-Power Polynomial Motion) จะให้ลักษณะการเคลื่อนที่ที่ไม่สมมาตรกัน โดยจะให้มุมกดตันและความเร่งมีค่าปานกลาง

ในการเลือกลักษณะของการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวและตัวตามนั้น จะต้องพิจารณารูป ระยะเวลา (S), ความเร็ว (V), ความเร่ง (A) ให้ต่อเนื่องกัน โดยอนุพันธ์อันดับที่ 3 ของระยะทาง ซึ่งเรียกว่า เจิร์ค (Jerk) นั้น เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เพราะ เจิร์ค คือ อนุพันธ์ของความเร่ง ซึ่งเปรียบเสมือนปริมาณที่บอกถึงอนุพันธ์ของแรงเฉื่อย (Inertial Force) ด้วย ดังนั้น ถ้าเจิร์คมีค่านันต์ ก็คือแรงเฉื่อยมีค่าเปลี่ยนไปอย่างกะทันหัน ซึ่งจะทำให้เกิดภาระกระแทก (Impact Load) แต่ถ้าเจิร์คมีค่าไม่ต่อเนื่อง ก็จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (Vibration) ดังนั้น ในการเลือกลักษณะของการเคลื่อนที่ จะต้องหลีกเลี่ยงการเกิดภาระกระแทกหรือการสั่นสะเทือนด้วย แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้จริงๆ ก็อาจจะยอมให้เกิดการสั่นสะเทือนได้



รูปที่ 3.6 การเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์ (Cycloidal motion characteristics : S = displacement, V = Velocity, A = acceleration, Kloмок and Muffley, 1955)



รูปที่ 3.7 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic motion characteristics : S = displacement,

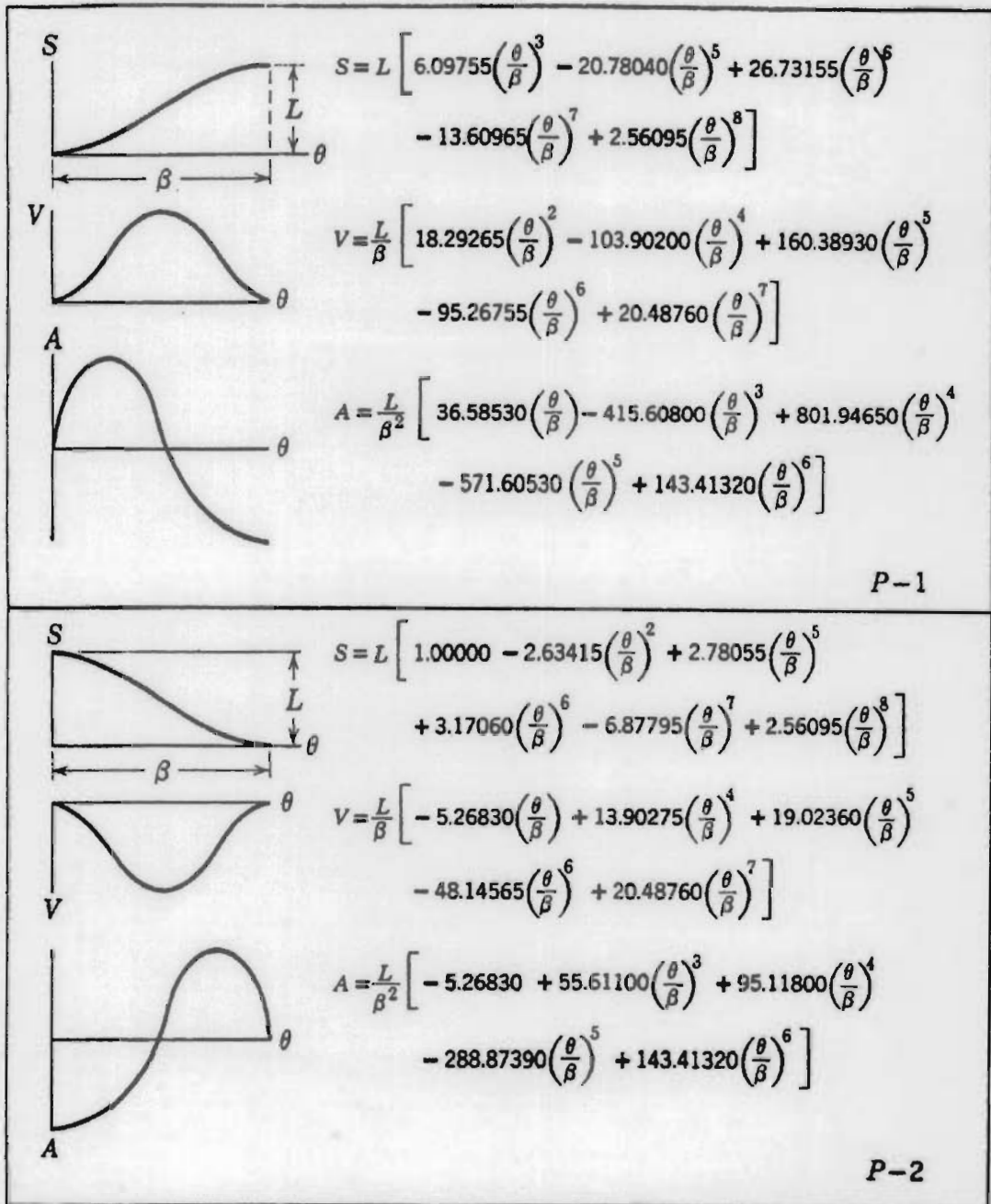
V = Velocity, A = acceleration, Kloomok and Muffley, 1955)

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา

วันลงทะเบียน.....

เลขทะเบียน.....

เลขเริ่มหนังสือ.....



รูปที่ 3.8 การเคลื่อนที่แบบโพลีโนเมียลกำลังแปด (Eight-power polynomial motion characteristics

: S = displacement, V = Velocity, A = acceleration, Klopmok and Muffley, 1955)

บทที่ 4

ผลลัพธ์แสดงการวิเคราะห์

4.1 การศึกษาลูกเบี้ยว

4.1.1 คุณลักษณะของลูกเบี้ยว

ลูกเบี้ยวที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นลูกเบี้ยวของเครื่องยนต์ Honda Accord ปี 1993 model F202 โดยได้เลือกลูกเบี้ยวไอตีมาทำการศึกษา



รูปที่ 4.1 ลูกเบี้ยวไอตีของเครื่องยนต์ Honda Accord EX 93

4.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้วัดขนาดและองศาของลูกเบี้ยว

1. ชุด **Punch former model** เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้จับยึดชิ้นงาน (ลูกเบี้ยว) ที่มีมุม 360 องศาออกขนาดของมุมติดอยู่ที่อุปกรณ์ เพื่อให้สามารถหมุนวัดองศาการเคลื่อนที่ของชิ้นงานได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2



Rear view

24 position index plate for quick, auto index every 15 degrees. Any other angle can also be set and locked manually



รูปที่ 4.2 แสดงชุด Punch former model สำหรับวัดองศาการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน

2. Digital Hi – gauge ใช้วัดขนาดการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวโดยเปรียบ Digital Hi – gauge เป็นตัวตาม (Follower) ว่ามีการเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใด ในแต่ละองศาที่ทำกรวัด ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดง Digital Hi – gauge สำหรับวัดระยะการเคลื่อนที่ของตัวตาม (follower)

3. Digimatic Caliper เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดความโตของลูกเบี้ยว เพื่อจะได้ทราบขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกเบี้ยว ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดง Digimatic caliper สำหรับวัดขนาดความโตของลูกเบี้ยว

4.1.3 การเตรียมลูกเบี้ยว

นำชุดลูกเบี้ยวของ Honda accord ที่จะทำการศึกษามาทำการตัดเอาเฉพาะส่วนที่เป็นลูกเบี้ยวไอดีออกมา โดยใช้เลื่อย หรือไฟเบอร์คัทแมทชีน

เมื่อได้ส่วนที่เป็นลูกเบี้ยวไอดีแล้ว นำลูกเบี้ยวมากลึงปาดหน้าให้เรียบด้วยเครื่องกลึงแต่งผิว ทำการขีดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกเบี้ยวโดยใช้มีดกลึงเป็นตัวขีด เพื่อระบุตำแหน่งที่จะเริ่มต้นวัด

4.1.4 ขั้นตอนการวัด

1. วัดเพลของลูกเบี้ยวด้วย Digimatic Caliper แล้วนำมาเทียบกับขนาดของลูกเบี้ยวจากจุดศูนย์กลางถึงจุดที่ต่ำที่สุด จะได้ขนาดของลูกเบี้ยว

2. นำตัวลูกเบี้ยวที่ผ่านการ Machine แล้วมายึดเข้ากับชุด Punch Former Model ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ลักษณะการจับยึดลูกเบี้ยวกับชุด Punch Former Model

3. ต่อจากนั้นตั้งลูกเบี้ยวให้ได้จุดศูนย์กลาง โดยใช้ Dial Gauges วัดที่แกนของลูกเบี้ยวตามรูป และทำการปรับตั้งให้ได้ศูนย์กลางของชุด Punch Former Model ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงการปรับตั้งศูนย์กลางของลูกเบี้ยวกับชุด Punch Former Model

4. นำชุด Punch Former Model พร้อมตัวลูกเบี้ยวที่ปรับได้ศูนย์กลางแล้วมาวางบริเวณกลางโต๊ะระดับ
5. นำ Height Gauges วางที่ด้านข้างของชุด Punch Former Model เพื่อจะวัดค่าของลูกเบี้ยว
6. นำปลายวัดมุมของ Height Gauges วางลงที่ลูกเบี้ยวตามตำแหน่งที่กำหนดเริ่มเป็น 0° องศา แล้ว Set Zero ที่ Height Gauge ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ลักษณะการวัดลูกเบี้ยวด้วยแท่นหมุนองศาและขนาดโดยใช้ไฮเกจ

7. เริ่มหมุนชุด Punch Former Model ไปตามเข็มนาฬิกาทีละ 10° องศา แล้วอ่านค่าที่หน้าจอ Height Gauges พร้อมกับบันทึกผล จนครบ 360° องศาจะได้ข้อมูลขนาดของลูกเบี้ยว ดังแสดงในตารางที่ 4.1

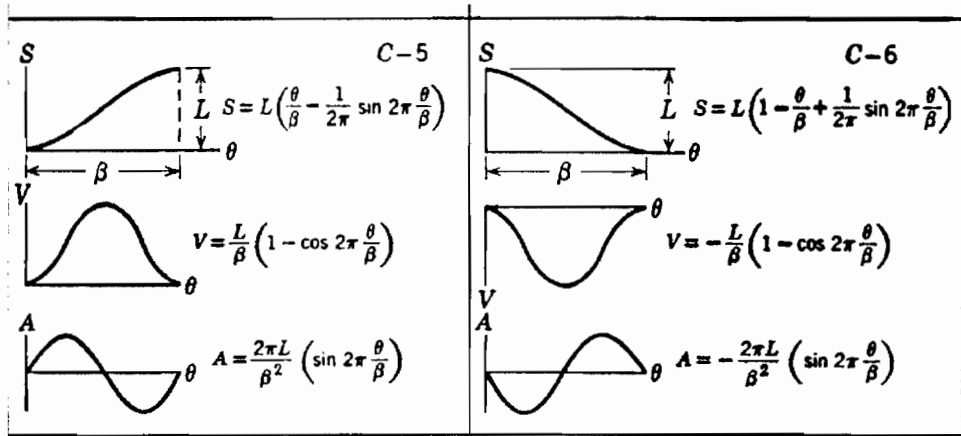
ตารางที่ 4.1 ขนาดของลูกเบี้ยวไอดีของรถยนต์ Honda ที่ทำการเก็บข้อมูลจากการวัด

องศาการวัด	ระยะการเคลื่อนที่	องศาการวัด	ระยะการเคลื่อนที่
0	0.000	190	4.967
10	0.002	200	4.106
20	0.004	210	2.658
30	0.006	220	1.274
40	0.007	230	0.565
50	0.007	240	0.287
60	0.007	250	0.206
70	0.009	260	0.119
80	0.010	270	0.033
90	0.011	280	0.010
100	0.012	290	0.004
110	0.118	300	0.004
120	0.248	310	0.003
130	0.468	320	0.003
140	1.066	330	0.003
150	2.192	340	0.003
160	3.610	350	0.002
170	4.671	360	0.000
180	5.125		

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกเบี้ยว Honda Civic ปี 1993 รุ่น F20Z1 ที่วัดได้เท่ากับ 33.35 มิลลิเมตรซึ่งเมื่อเทียบกับจุดสูงสุดของลูกเบี้ยวอยู่ที่ 38.475 มิลลิเมตร ($33.35 + 5.125 = 38.475$ มิลลิเมตร) ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานของรถยนต์รุ่นนี้ที่กำหนดไว้ที่ 38.74 มิลลิเมตร จะได้ค่าที่ต่างกันอยู่ประมาณ 0.265 มิลลิเมตรนั้นอาจเกิดจากการใช้งานของรถนั่นเอง

4.2 การออกแบบลูกเบี้ยว

นำข้อมูลจากตารางที่ 4.1 มาทำการคำนวณหา ระยะทาง (S), ความเร็ว (V), ความเร่ง (A) โดยการออกแบบโดยใช้ไซคลอยด์



รูปที่ 4.8 การเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์ แบบ C5 และ C6

4.2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวที่จะออกแบบ

จากลูกเบี้ยวไอตีสของรถยนต์ Honda ดังหัวข้อ 4.1 จะได้ว่า

0 – 80 องศา	ลูกเบี้ยวหยุดนิ่ง	0	mm.
80 – 180 องศา	ลูกเบี้ยวยกตัวขึ้น	5.12	mm.
180 – 280 องศา	ลูกเบี้ยวลดตัวลง	5.12	mm.
280 – 360 องศา	ลูกเบี้ยวหยุดนิ่ง	0	mm.

4.2.2 การสร้างสมการ $S-\theta, V-\theta, A-\theta$

$0^\circ - 80^\circ$ เลือกไซคลอยด์ C-5 ลูกเบี้ยวหยุดนิ่ง 0 mm.

ดังนั้น

$$S = 0$$

$$V = 0$$

$$A = 0$$

$80^\circ - 180^\circ$ เลือกละออยด์ C-5 ลูกเบี้ยวยกตัวขึ้น 5.12 mm.
ดังนั้น

$$S = 5.120 * \left(\frac{\theta - \frac{5\pi}{18}}{\frac{13\pi}{18}} - \frac{1}{2\pi} \text{SIN} 2\pi \frac{\theta - \frac{5\pi}{18}}{\frac{13\pi}{18}} \right)$$

$$V = \frac{5.120}{\frac{13\pi}{18}} * \left(1 - \text{COS} 2\pi \frac{\theta - \frac{5\pi}{18}}{\frac{13\pi}{18}} \right)$$

$$A = \frac{2\pi 5.120}{\left(\frac{13\pi}{18}\right)^2} * \left(\text{SIN} 2\pi \frac{\theta - \frac{5\pi}{18}}{\frac{13\pi}{18}} \right)$$

$180^\circ - 280^\circ$ เลือกละออยด์ C-5 ลูกเบี้ยวเคลื่อนตัวลง 5.12 mm.
ดังนั้น

$$S = 5.120 * \left(1 - \frac{\theta - \pi}{\frac{5\pi}{6}} + \frac{1}{2\pi} \text{SIN} 2\pi \frac{\theta - \pi}{\frac{5\pi}{6}} \right)$$

$$V = \frac{5.120}{\frac{5\pi}{6}} * \left(1 - \text{COS} 2\pi \frac{\theta - \pi}{\frac{5\pi}{6}} \right)$$

$$A = -\frac{2\pi 5.120}{\left(\frac{5\pi}{6}\right)^2} * \left(\text{SIN} 2\pi \frac{\theta - \pi}{\frac{5\pi}{6}} \right)$$

$280^\circ - 360^\circ$ เป็นช่วงค้าง

ดังนั้น $S = 0, V = 0, A = 0$

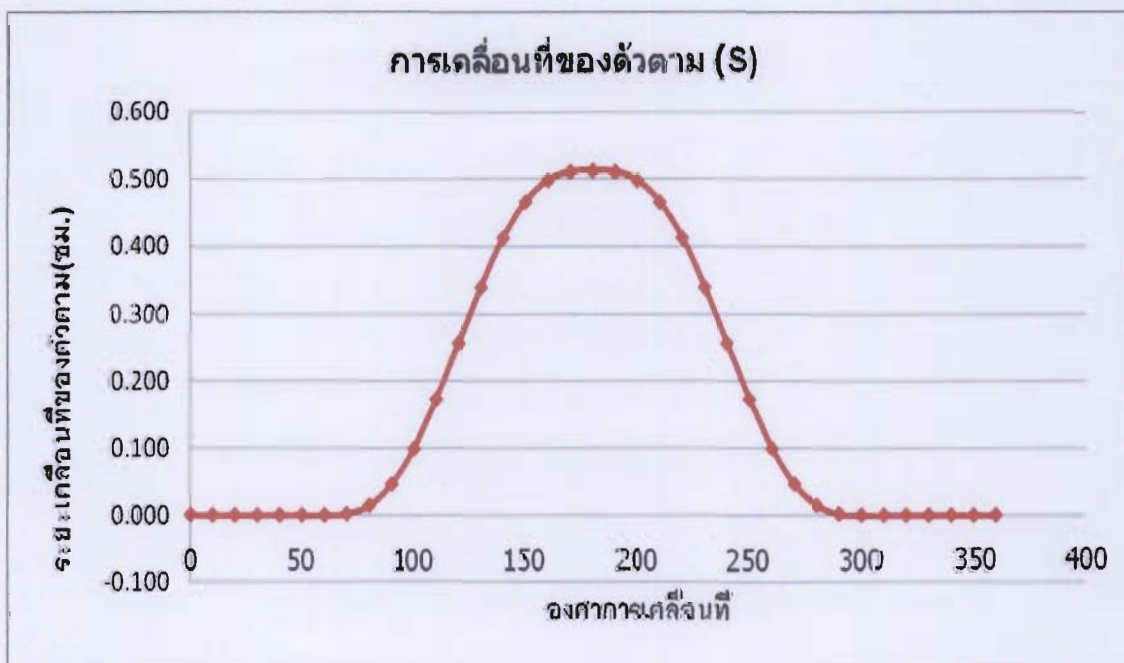
จากสมการดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหา ระยะทาง (S), ความเร็ว (V), ความเร่ง (A) จะได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณระยะการเคลื่อนที่ (S), ความเร็ว (V), ความเร่ง (A)

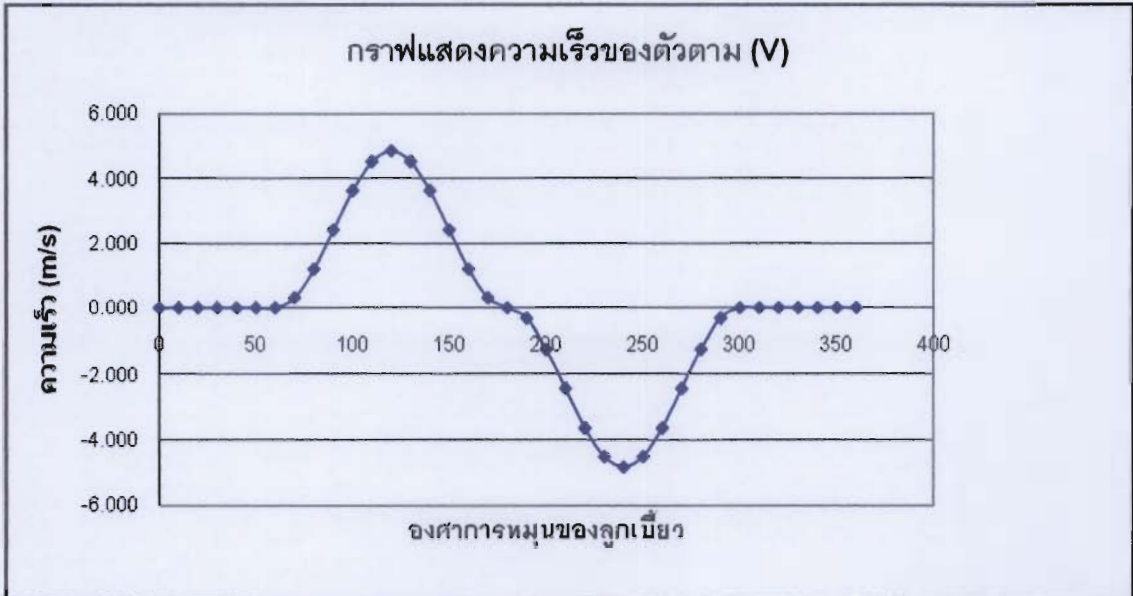
องศาการวัด	การเคลื่อนที่ของตัวตาม	S	V	A
0	0.000	0	0	0
10	0.002	0	0	0
20	0.004	0	0	0
30	0.006	0	0	0
40	0.007	0	0	0
50	0.007	0	0	0
60	0.007	0	0	0
70	0.009	0.002	0.324	0.367
80	0.010	0.015	1.208	0.636
90	0.011	0.047	2.415	0.734
100	0.012	0.100	3.623	0.636
110	0.118	0.173	4.507	0.367
120	0.248	0.256	4.830	0.000
130	0.468	0.340	4.507	-0.367
140	1.066	0.412	3.623	-0.636
150	2.192	0.466	2.415	-0.734
160	3.610	0.498	1.208	-0.636
170	4.671	0.511	0.324	-0.367
180	5.125	0.513	0.000	0.000
190	4.967	0.511	-0.324	-0.367
200	4.106	0.498	-1.208	-0.636
210	2.658	0.466	-2.415	-0.734
220	1.274	0.412	-3.623	-0.636
230	0.565	0.340	-4.507	-0.367
240	0.287	0.256	-4.830	0.000
250	0.206	0.173	-4.507	0.367
260	0.119	0.100	-3.623	0.636
270	0.033	0.047	-2.415	0.734
280	0.010	0.015	-1.208	0.636
290	0.004	0.002	-0.324	0.367
300	0.004	0.000	0.000	0.000
310	0.003	0.000	0.000	0.000
320	0.003	0.000	0.000	0.000
330	0.003	0.000	0.000	0.000

องศาการวัด	การเคลื่อนที่ของตัวตาม	S	V	A
340	0.003	0.000	0.000	0.000
350	0.002	0.000	0.000	0.000
360	0.000	0.000	0.000	0.000

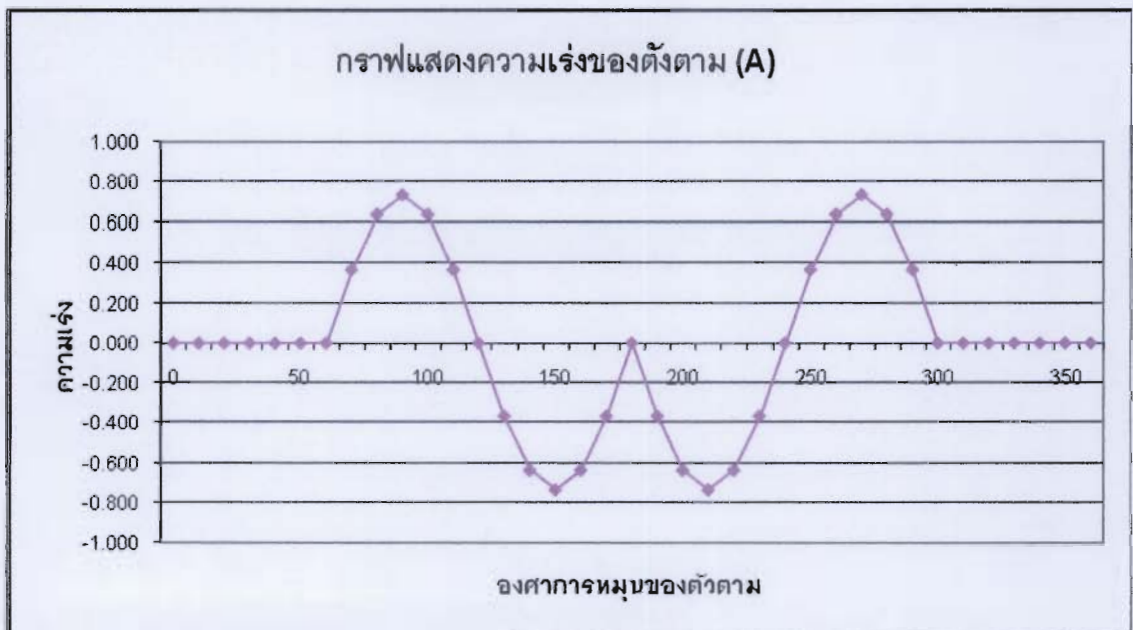
จากตารางที่ 4.2 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำกราฟแสดงความสัมพันธ์ขององศาของลูกเบี้ยวกับระยะการเคลื่อนที่ (S) ของตัวตาม (Follower) จะแสดงดังกราฟรูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ขององศาของลูกเบี้ยวกับความเร็ว (V) ของตัวตาม (Follower) จะแสดงดังกราฟรูปที่ 4.10 และความสัมพันธ์ขององศาของลูกเบี้ยวกับความเร่ง (S) ของตัวตาม (Follower) จะแสดงดังกราฟรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ขององศาของลูกเบี้ยวกับระยะการเคลื่อนที่ (S) ของตัวตาม (Follower)



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ขององศาของลูกเบี้ยวเกี่ยวกับความเร็ว (V) ของตัวตาม (Follower)

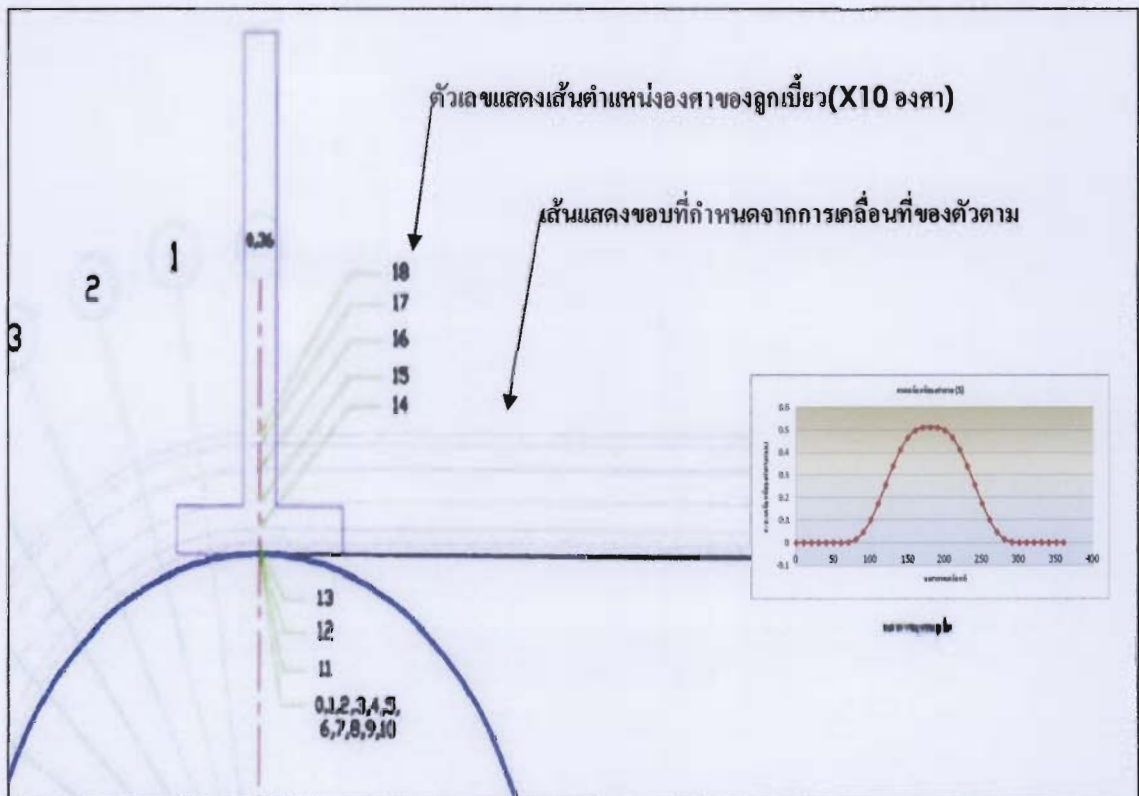


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ขององศาของลูกเบี้ยวเกี่ยวกับความเร่ง (S) ของตัวตาม (Follower)

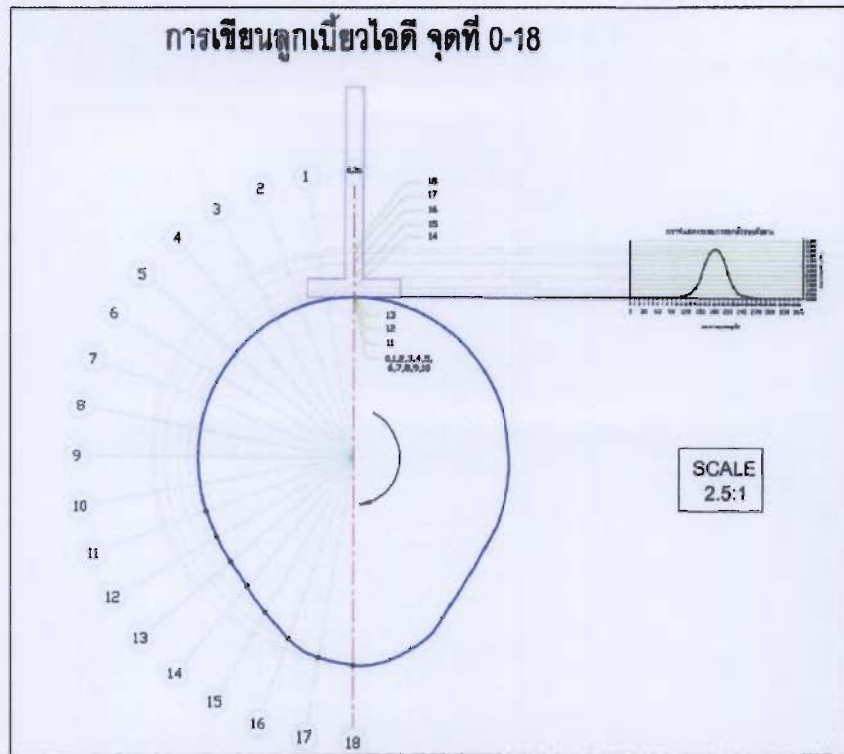
จากข้อมูลดังกล่าวเราสามารถนำกราฟการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวที่ได้มาเขียนลูกเบี้ยวจะได้ดังนี้

4.2.3 การสร้างโปรไฟล์ของลูกเบี้ยว (cam profile)

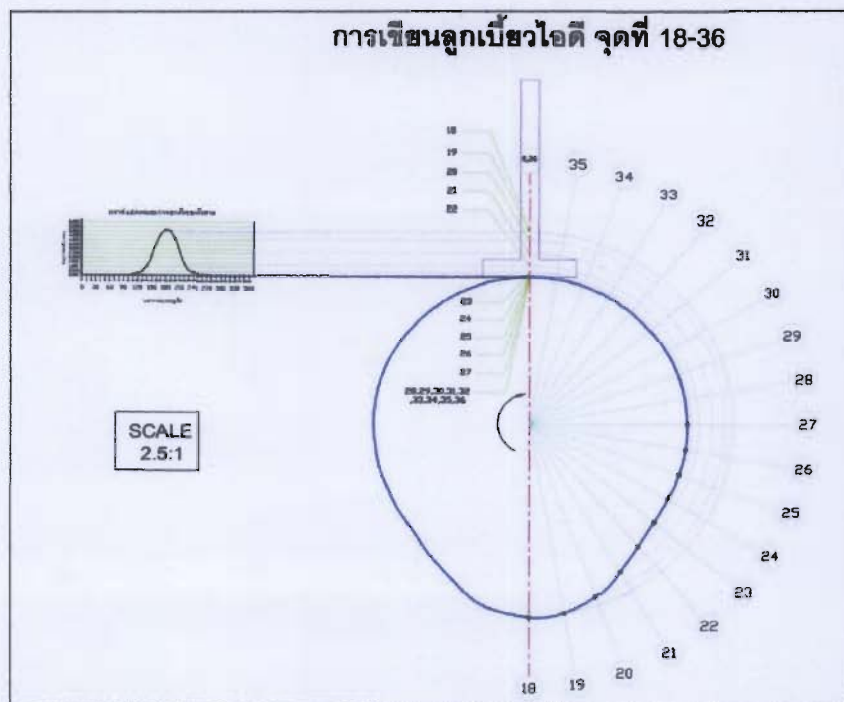
1. เริ่มจากนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกเบี้ยว (Base circle) ที่ต่ำที่สุด 33.35 มิลลิเมตรมาวาดวงกลมฐานก่อน
2. นำกราฟการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวมาเป็นข้อมูลในการสร้างลูกเบี้ยว โดยเทียบองศาการเคลื่อนที่ของแต่ละองศาที่ระยะที่ตัวตามเคลื่อนที่ เช่นที่ 10 องศาการเคลื่อนที่ของตัวตามเท่ากับ 0 มิลลิเมตร แต่พอเคลื่อนที่ไปที่ 140 องศา การเคลื่อนที่ของตัวตามจะอยู่ที่ 1.066 มิลลิเมตร นำค่าการเคลื่อนที่ของตัวตามมากำหนดจุดที่เป็นผิวของลูกเบี้ยว ดังรูปที่ 4.12 แสดงเส้นกำหนดขอบผิวลูกเบี้ยวที่ตำแหน่งต่างๆ



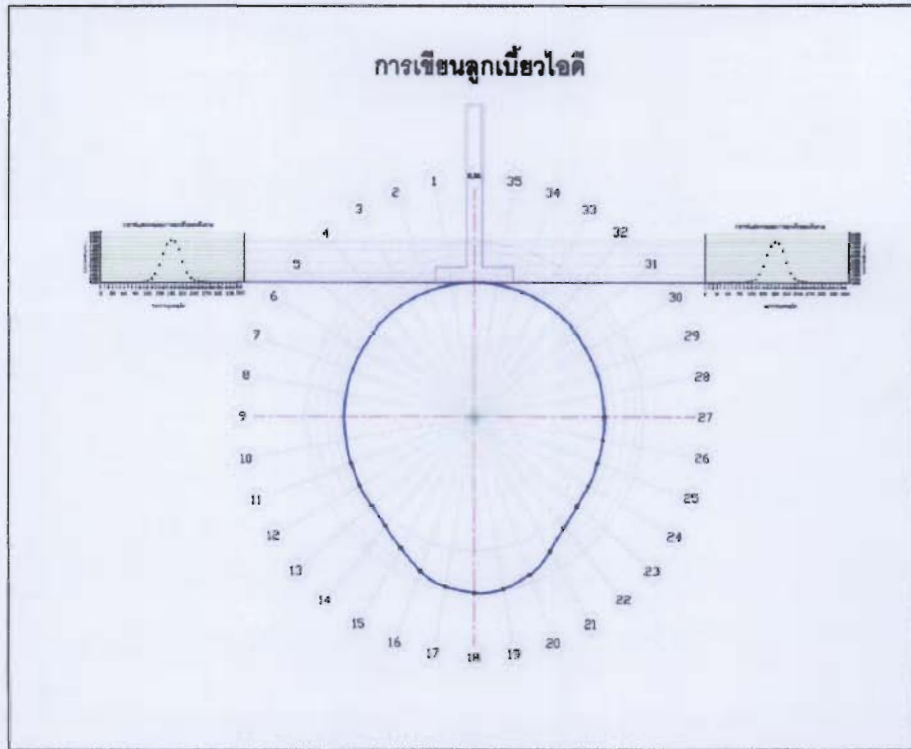
รูปที่ 4.12 แสดงเส้นกำหนดขอบผิวลูกเบี้ยวที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 4.13 การเขียนลูกเบี้ยวโดยใช้กราฟสัมพันธ์กับขนาดและองศาของลูกเบี้ยวที่จุดที่ 1-18



รูปที่ 4.14 การเขียนลูกเบี้ยวโดยใช้กราฟสัมพันธ์กับขนาดและองศาของลูกเบี้ยวที่จุดที่ 18-36



รูปที่ 4.15 การเขียนลูกเบี้ยวโดยใช้กราฟสัมพันธ์กับขนาดและองศาของลูกเบี้ยวที่จุดที่ 1-36



รูปที่ 4.16 ขนาดของลูกเบี้ยวไอดีที่ได้จากกราฟที่ Scale 1:1

การเปรียบเทียบผลลัพธ์การออกแบบ

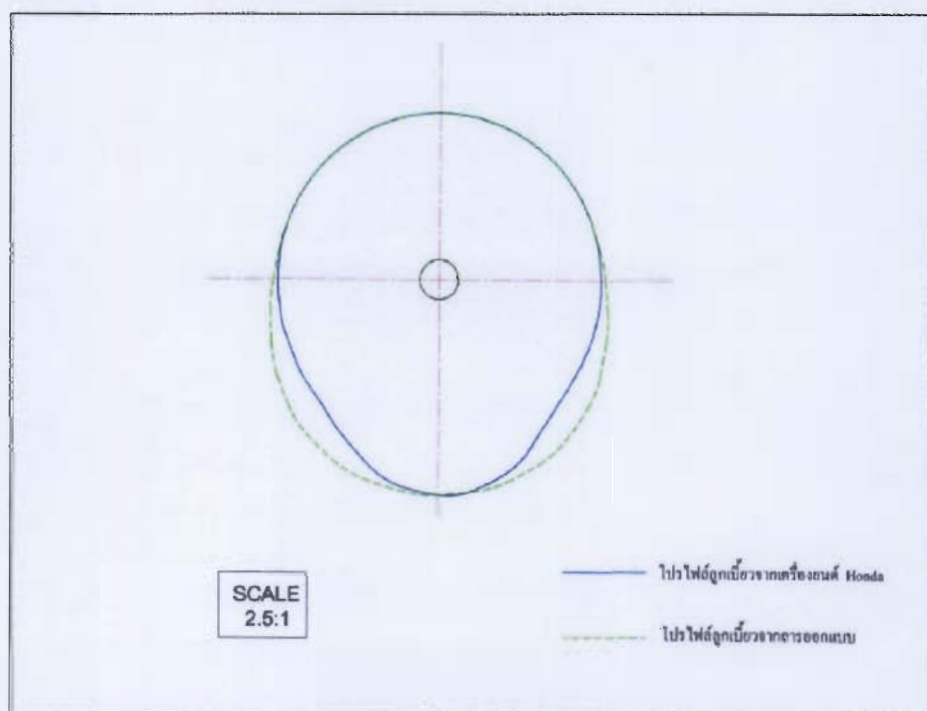
จากผลลัพธ์การออกแบบลูกเบี้ยวที่ได้จากการเลือกใช้สมการการเคลื่อนที่แบบไซโคลอย ทำให้ได้ผลลัพธ์ระยะการยกตัวของตัวตามรวมถึงอัตราความเร็วและความเร่ง จากนั้นนำข้อมูลและแบบจำลองลูกเบี้ยวที่ได้มาเปรียบเทียบกับชิ้นงานจริงที่นำมาศึกษา เพื่อศึกษาค่าความผิดพลาดจากการออกแบบ

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบขนาดของลูกเบี้ยวที่วัดได้จริงกับการออกแบบโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากขนาดจริง

องศาการหมุนของลูกเบี้ยว	จากชิ้นงานจริง	จากการออกแบบ	ค่าความต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
0	16.675	16.675	0.000	0
10	16.675	16.675	0.000	0
20	16.675	16.675	0.000	0
30	16.675	16.675	0.000	0
40	16.675	16.675	0.000	0
50	16.675	16.675	0.000	0
60	16.675	16.675	0.000	0
70	16.684	16.694	0.010	0.06
80	16.685	16.823	0.138	0.82
90	16.686	17.141	0.455	2.65
100	16.687	17.677	0.990	5.60
110	16.793	18.403	1.610	8.75
120	16.923	19.238	2.315	12.03
130	17.143	20.072	2.929	14.59
140	17.741	20.798	3.057	14.70
150	18.867	21.334	2.467	11.57
160	20.285	21.652	1.367	6.31
170	21.346	21.781	0.435	2.00
180	21.800	21.800	0.000	0.00
190	21.642	21.781	0.139	0.64
200	20.781	21.652	0.871	4.02
210	19.333	21.334	2.001	9.38
220	17.949	20.798	2.849	13.70
230	17.240	20.072	2.832	14.11
240	16.962	19.238	2.276	11.83
250	16.881	18.403	1.522	8.27

องศาการหมุนของลูกเบี้ยว	จากชิ้นงานจริง	จากการออกแบบ	ค่าความต่าง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
260	16.794	17.677	0.883	4.99
270	16.708	17.141	0.433	2.52
280	16.685	16.823	0.138	0.82
290	16.679	16.694	0.015	0.09
300	16.675	16.675	0.000	0
310	16.675	16.675	0.000	0
320	16.675	16.675	0.000	0
330	16.675	16.675	0.000	0
340	16.675	16.675	0.000	0
350	16.675	16.675	0.000	0
360	16.675	16.675	0.000	0

ตารางที่ 4.3 เป็นการนำข้อมูลการวัดโปรไฟล์ของชิ้นงานจริงมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการใช้สมการการเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์ C5 และ C6 โดยมีการแบ่งโปรไฟล์ของลูกเบี้ยวออกเป็น 36 จุด จุดละ 10 องศาและแบ่งจนครบ 36 จุดจนครบรอบ 360 องศา และในส่วนของผลลัพธ์จากการคำนวณจะแบ่งออกเป็น 36 จุดเช่นกันเพื่อให้ผลการทดสอบสอดคล้องกับชิ้นงานจริง จากนั้นนำแต่ละจุดมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบ

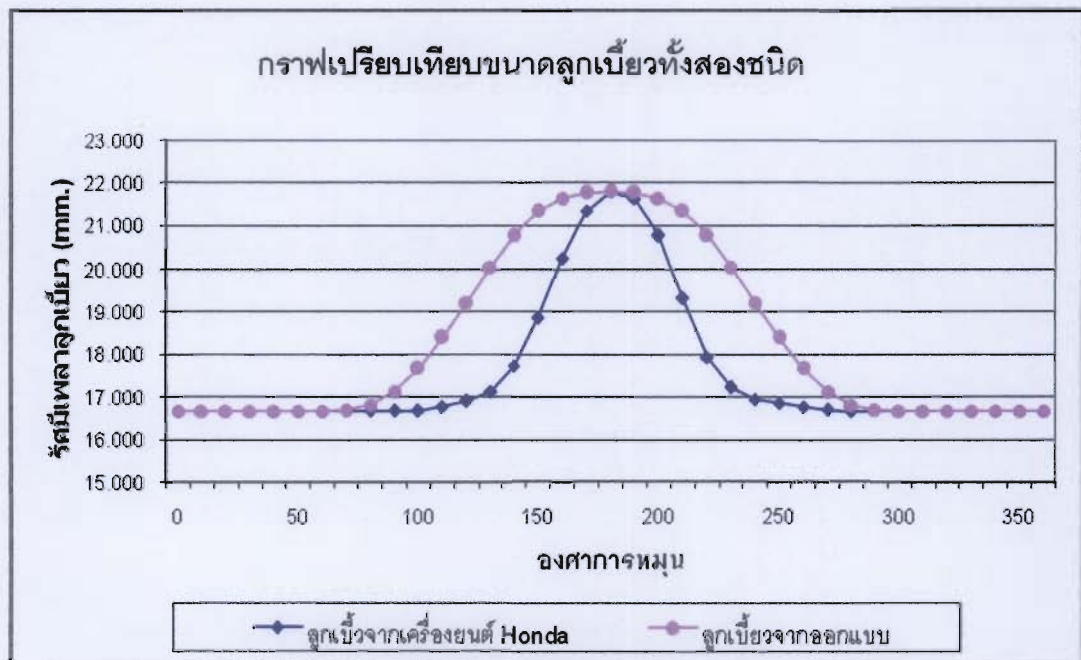


รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบลูกเบี้ยวจากการออกแบบและจากเครื่องยนต์ Honda

จากรูปที่ 4.17 เป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้สมการการเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์มาเขียนโปรไฟล์ของถนนโปรไฟล์ของชั้นงานจริงโดยใช้จุดศูนย์กลางร่วมกัน เริ่มต้นเขียนโปรไฟล์ 0 องศาโดยให้อยู่ด้านบนหรือ 12 นาฬิกาของจุดศูนย์กลางจากนั้นเขียนจุดต่อไปทิศทางทวนเข็มนาฬิกาทำไปเรื่อยจนครบ 360 องศาเมื่อเสร็จสมบูรณ์จะได้โปรไฟล์ของเพลาลูกเบี้ยวทั้งสองชนิดซ้อนกันดังรูป 4.15

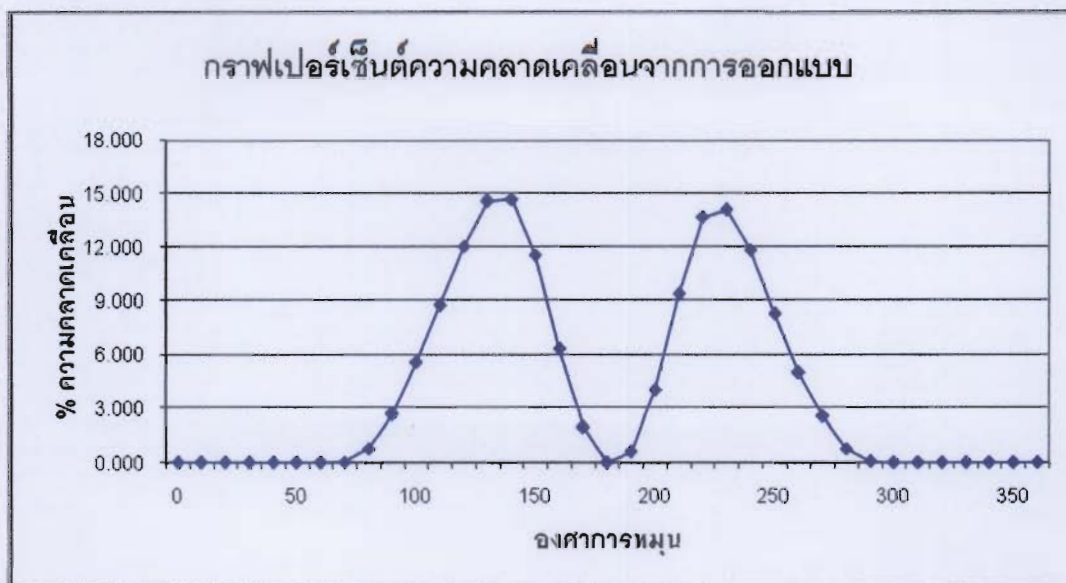
จากรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบโปรไฟล์ของเพลาลูกเบี้ยวทั้งสองชนิด โดยนำข้อมูลจากตาราง 4.3 มาเขียนโปรไฟล์โดยวิธีกราฟิก เพื่อให้เห็นความคลาดเคลื่อนของโปรไฟล์จากการออกแบบอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

จากการสรุปข้อมูลจากตารางที่ 4.3 จุดที่โปรไฟล์จากการออกแบบเกิดการคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ ที่ตำแหน่ง 140 องศา มีความคลาดเคลื่อน 3.057 มิลลิเมตร โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 14.70 %



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดของลูกเบี้ยวทั้งสองชนิด

จากรูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบขนาดของลูกเบี้ยวทั้งสองชนิดโดยแกน Y เป็นการอธิบายถึงระยะรัศมีของลูกเบี้ยวมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรเทียบกับแกน X เมื่อองศาของลูกเบี้ยวหมุนไป



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบ

จากรูปที่ 4.19 เป็นการนำค่าสัดส่วนความคลาดเคลื่อนของการออกแบบจากรายที่ 4.3 มาแสดงในกราฟ โดยที่แกน Y จะบอกถึงเปอร์เซ็นต์ที่โปรไฟล์ของชิ้นงานจากการออกแบบเทียบกับองศาการหมุนของลูกเบี้ยว โดยในกราฟนี้จุดที่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือที่ตำแหน่ง 140 องศา มีความคลาดเคลื่อน 3.057 มิลลิเมตร โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 14.70 %

บทที่ 5

สรุปโครงการ

ในโครงการนี้ได้ศึกษาลูกเบี้ยวของ Honda Civic ปี 1993 รุ่น F20Z1 โดยได้นำลูกเบี้ยวไอดีของเครื่องยนต์ดังกล่าวมาทำการวัดขนาดของลูกเบี้ยวที่องศาการเคลื่อนที่ต่างๆดังที่แสดงในบทที่ 4 ที่ตารางที่ 4.1 มาศึกษาได้ข้อสรุปดังนี้

5.1 สมการการออกแบบลูกเบี้ยวไซคลอยด์ C-5 และ C-6 สามารถใช้ออกแบบลูกเบี้ยวได้อย่างถูกต้อง โดยระยะยกตัวของ Follower ที่ระยะยกสูงสุดที่ทำการออกแบบมีระยะเท่ากับชิ้นงานจริงรวมถึงองศาการหมุนของลูกเบี้ยว

5.2 โปรไฟล์ของลูกเบี้ยวสามารถสร้างด้วยวิธีการทางกราฟิก โดยใช้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบไซคลอยด์

5.3 โปรไฟล์ของลูกเบี้ยวที่ออกแบบเมื่อนำผลลัพธ์จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับข้อมูลชิ้นงานจริง พบว่ามีความผิดพลาดที่เกิดจากการออกแบบมากที่สุด 14.70 % ที่มุม 140 องศา และเมื่อนำโปรไฟล์จากการออกแบบมาซ้อนเทียบกับแบบชิ้นงานจริง จะพบว่าบริเวณที่มีค่าความผิดพลาดมากที่สุดจะมีรูปร่างที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://seedang.com/stories/51306> (สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2552)
- [2] http://www.gmcworkshop.com/new_lpg/lpg74.asp
LNG/CNG power ฉบับที่ 163 ประจำวันที่ 25 พฤศจิกายน 2552 Next Update: 10 ธันวาคม 2552(สืบค้นเมื่อ
วันที่ 23 ธันวาคม 2552)
- [3] <http://pirun.ku.ac.th/~b4855324/3.html> (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2552)
- [4] ผศ.ดร.วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี, เอกสารประกอบการสอนเรื่องลูกเบี้ยวเบี้ยว, หน้า 31-38