สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เครื่องกัดเฟือง

HOBBING MACHINE

นายกานต์ เชยชม
นายคณิต พูลสวัสดิ์
นายคมกฤษณ์ ตุจันทร์โค

เลขทะเบียน 83185
วัน,เดือน,ปี - 6 ส.ค. 2551
b 119 b2082
.1

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOBBING MACHINE

KARN CHEYCHOM

KANIT POONSAWAD

KOMKRIT TUJUNTO

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องกัดเฟือง

HOBBING MACHINE

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกานต์ เชยชม **รหัสนักศึกษา** 47010037

นายคณิต พูลสวัสดิ์ **รหัสนักศึกษา** 47010072

นายคมกฤษณ์ ตุจันทร์โต **รหัสนักศึกษา** 47010074

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์	
อ กฤษณ์ เสมอพิทักษ์	

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องกัดเฟือง		
	HOBBING MACHINE		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายกานต์	เชยชม	รหัสนักศึกษา 47010037
	นายคณิต	พูลสวัสดิ์	รหัสนักศึกษา 47010072
	นายคมกฤษณ์	ตุจันทร์โต	รหัสนักศึกษา 47010074
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ประภาษ	อุคคกิมาพันธุ์	
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่เกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเครื่องกัดเฟือง มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะผลิตเครื่องกัดเฟืองที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยได้มีการศึกษาถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเฟือง ชนิดของเฟือง การออกแบบเฟือง เรียนรู้ถึงหลักการทำงานของเฟือง ออกแบบเครื่องกัดเฟือง การหาขนาดของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการกัด ความเร็วที่เหมาะสมที่นำมาใช้กัดเฟือง โดยใช้วงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในการหมุนใบมีดและวัสดุที่นำมาตัดให้ให้มีความเร็วสัมพันธ์กัน โดยเครื่องกัดเฟืองนี้จะทำการกัดออกมาเป็นเฟืองตรง (spur gear) เพราะว่าในบรรดาเฟืองทุกชนิดเฟืองตรงเป็นเฟืองที่ง่ายที่สุด และเหมาะสมสำหรับใช้เพื่อการถ่ายทอดการเคลื่อนที่เบื้องต้น โดยวัสดุที่ใช้กัดเฟืองนั้นเป็นพลาสติกและอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Hobbing Machine	
Authors	Mr.Kam	Cheychom
	Mr Kanit	Poonsawad
	Mr.Komkrit	Tujunto
Thesis Advisor	Assoc Prof Prapart	Ukakimapam
Year	2007	

ABSTRACT

This project is about designing and building the hobbing machine The main development objective is producing an useful hobbing machine. For the designing hobbing machine all components of gears, a kind of gears, designing of gear, principle work of gears, mechanical designing and speed synchronization for fabricate gear are studied. The synchronization between the rotation of a cutter and the rotation of a gear blank is provided by servo motor control circuit. The performance of this machine is fabricating spur gears, because of spur gear is the most ordinary and appropriate for apply to the elementary movement. The material is used for fabricating gears is plastic and aluminum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็น อย่างดีเพราะผู้ศึกษาวิจัยได้รับคำแนะนำขณะเจอปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ จากอาจารย์ทุกท่านตลอดเวลา อีกทั้งยังคอยช่วยหาเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำโครงงานชิ้นนี้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและถ่ายทอดวิชาความรู้ตลอดระยะเวลา 4 ปี

และคณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่งที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป IV

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 โครงงานการศึกษาและออกแบบเครื่องกัดเฟือง..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์..... 1

1.3 แนวทางการดำเนินการ..... 1

1.4 โครงสร้างของปริญญานิพนธ์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎี.....3

2.1 เฟือง (Gear) 3

2.1.1 ความหมายของเฟือง (Gear). 3

2.1.2 ชนิดของเฟือง.....3

2.2 เฟืองตรง (spur gear) 7

2.2.1 ลักษณะและหน้าที่ของเฟืองตรง. 7

2.2.2 ส่วนประกอบของเฟืองตรง 8

2.2.3 สูตรพื้นฐานของเฟืองตรง 10

2.2.4 คอนจูเกทแอคชั่น (Conjugate action)..... .11

2.2.5 คุณสมบัติของส่วนโค้งอินเวอลูท..... ...12

2.2.6 หลักการมูลฐาน.....14

2.2.7 มาตรฐานของเฟือง.....15

2.3 เฟืองหนอน (Worm Gear) 17

2.3.1 ลักษณะและหน้าที่ของเฟืองหนอ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.2 ส่วนประกอบของที่สำคัญของเฟืองหนอน (Worm Gear).. ... .18

2.3.3 สูตรพื้นฐานของเฟืองหนอน.. 19

2.3.4 ประสิทธิภาพของเฟืองหนอน η 20

2.4 การขึ้นรูปฟันเฟือง. 23

2.4.1 Milling 23

2.4.2 Shaping 24

2.4.3 Hobbing 25

2.4.4 Finishing 25

2.4.5 การขัดเงา (Burnishing).. .... .25

2.5 มีดกลึง (Cutting Tool) .... .26

2.6 ความเร็วในการตัดของใบมีด..... 29

2.7 อัตราส่วนความเร็วรอบระหว่างมอเตอร์ใบมีดตัด กับ มอเตอร์ของตัวจับชิ้นงาน.....30

บทที่ 3 การออกแบบ และการสร้าง.....31

3.1 การออกแบบเครื่องกัดเฟือง. 31

3.1.1 เครื่องกัดเฟืองของจริง.... ... .31

3.1.2 ชิ้นส่วนของเครื่องกัดเฟือง..... 32

3.2 การควบคุมอัตราส่วนของ gear ratio.. 38

3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุมอัตราส่วนของ gear ratio.. 38

3.2.2 โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบวงจรดิจิตอลลงในบอร์ด FPGA..... 38

3.3 ชุดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์..... 41

3.3.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) และ ชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Amplifier)..... 42

3.3.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator). 45

3.3.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการควบคุมมอเตอร์..... 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....48

4.1 ขั้นตอนการทำเฟือง 48

4.1.1 การหา module ของใบมีด.....48

4.1.2 การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเกียร์แบงค์ 49

4.1.3 การหามุมในการวางใบมีด. 50

4.1.4 ระยะลึกใบมีดที่จะกัดเข้าไปในเกียร์แบงค์..... 51

4.1.5 การหา gear ratio. 53

4.1.6 การ set up ชิ้นงานและเครื่องกัดก่อนลงมือกัดชิ้นงาน..... 53

4.1.7 ชิ้นงานที่ตัดแล้ว.....54

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....55

บรรณานุกรม.....56

ภาคผนวก.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 สัดส่วนมาตราฐานของระบบอเมริกันที่ใช้ในปัจจุบัน AGMA standard... 16

2.2 ประสิทธิภาพของชุดเฟืองหนอนสำหรับ μ = 0.05. ... .22

2.3 Hobbing Machine Cutting Speed(High-Speed Steel Cutter) 32

2.4 Hobbing Machine Cutting Speed(Carbide Cutter).... ... .32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2 1 ลักษณะของเฟืองสะพาน..... 4

2.2 ลักษณะของเฟืองวงแหวน. 4

2.3 ลักษณะของเฟืองเฉียง.... 5

2 4 ลักษณะของเฟืองก้างปลา 5

2.5 ลักษณะของเฟืองดอกจอก 6

2.6 ลักษณะของเฟืองเกลียวสกรู.... 6

2.7 ลักษณะของเฟืองตรง..... 7

2.8 การส่งของเฟืองตรงสำหรับเครื่องกลึงอัตโนมัติ... 7

2.9 ส่วนประกอบของเฟืองตรง 8

2 10 ส่วนประกอบของเฟืองตรง(ต่อ)..... 9

2.11 แสดงถึงเส้น line of action 11

2.12 การสร้างโค้งอินเวอลูท..... . ... .12

2.13 อาการอินเวอลูท 12

2.14 Arc of action.. 13

2.15 โครงสร้างของโค้งอินเวอลูท. . ... .14

2 16 ลักษณะของเฟืองหนอน..... 17

2.17 การทำงานชุดเฟืองหนอนในหัวแบ่งเครื่องกัด.. 17

2.18 ส่วนประกอบของของเฟืองหนอน. . .. .18

2.19 ส่วนประกอบต่างๆของเฟืองหนอน.... 18

2 20 มุม (lead) ของเฟืองหนอน..... ... .19

2.21 แรงที่กระทำบนเฟืองหนอน.. 20

2.22 ความเร็วสไลด์..... .. .. .21

2 23 เว็คเตอร์ความเร็วประกอบในเฟืองหนอน 21

2.24 มุมเอียงของเกลียว (lead) ของเฟืองหนอน ... .22

2.25 การทำฟันเฟืองด้วย Milling cutter. 24

2 26 การทำเฟืองฟันตรงด้วย pinion cutter. ... .24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.27 การทำฟันเฟืองด้วย rack cutter 24

2.28 การทำฟันเฟืองด้วย hob ...25

3.1 ลักษณะการวางแกนของใบมีดของเครื่องกัดเฟือง.....31

3.2 รูปตัวจับชิ้นงานของเครื่องกัดเฟือง 32

3.3 รูปของโปรแกรม Solidworks2007 32

3 4 บอร์ด FPGA รุ่นPOWER ACEX1K-50.....38

3.5 โปรแกรม MAX+PLUS II. 39

3.6 วงจรหารความถี่... 40

3.7 Timing Diagram ของวงจรหาร 56.....41

3.8 Servo Motor รุ่น GYS201DC1-CA 42

3 9 Servo Amplifier รุ่น RYB201S3-VBC.....42

3.10 ส่วนประกอบ Servo Motor.....43

3 11 โครงสร้างของ AC servo Motor.....44

3.12 วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างแม่เหล็ก.....44

3.13 เครื่องกำเนิดสัญญาณ(Function Generator).....45

3.14 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการควบคุมมอเตอร์.....46

3.15 การต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณ เข้ากับบอร์ด FPGA 47

3.16 การต่ออุปกรณ์ทั้งหมด พร้อมใช้งาน.....47

3.17 ใบมีดขณะตัดกับชิ้นงาน.....47

4 1 ใบมีดที่ใช้ในการตัด 48

4.2 แสดงระยะพิตช์ของเฟืองหนอน.....48

4.3 แสดงขนาดของวัสดุที่นำมาตัดเป็นเฟือง.....49

4.4 เกียร์แบงค์ขนาด 29 มิลลิเมตร.....50

4.5 แสดงระยะของฟันที่เลื่อนไปของใบมีด.....51

4.6 แสดงแอดเดนดัมและดีเดนดัมของใบมีด 51

4.7 แสดงเส้นรัศมีของวงกลมพิตช์ของเกียร์แบงค์ 52

4.8 เฟืองตรงโมดุลเท่ากับ 0.5 และมีจำนวนฟันเท่ากับ 56 ฟัน.....54

4 9 เฟืองตรงโมดุลเท่ากับ 0 5 และมีจำนวนฟันเท่ากับ 80 ฟั 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 โครงงานการศึกษาและออกแบบเครื่องกัดเฟือง (Hobbing Machine)

โครงงานการศึกษาและออกแบบเครื่องกัดเฟืองนี้ ได้ทำการศึกษาจากทฤษฎีของเฟืองตรง (Spur Gear) และเฟืองหนอน (worm gear) ซึ่งการศึกษานี้จะเน้นศึกษาในเรื่องของ ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเฟืองตรงและเฟืองหนอน ชนิดของเฟืองการออกแบบเฟืองตรง และศึกษาถึงหลักการทำงานของฟันเฟือง ออกแบบเครื่องกัดเฟืองและควบคุมการทำงานของเครื่องกัดเฟือง เพื่อการผลิตเครื่องที่สามารถนำมาใช้กัดเฟืองได้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและเรียนรู้ส่วนประกอบต่างๆของเฟือง
2. เพื่อศึกษาและเรียนรู้ทฤษฎีของเฟือง
3. เพื่อศึกษาและเรียนรู้หลักการทำงานของเครื่องกัดเฟือง
4. ออกแบบและทำการสร้างเครื่องกัดเฟือง
5. ศึกษาและเรียนรู้โปรแกรมที่จะนำมาควบคุมเครื่องกัดเฟือง

1.3 แนวทางการดำเนินการ

1. ศึกษาทฤษฎี และ ส่วนประกอบของเฟืองต่าง
2. ตรวจสอบความถูกต้องของทฤษฎีโดยการทดลอง
3. ออกแบบสร้างตัวเครื่องกัดเฟืองและวงจรที่ทำการควบคุมอัตราส่วนมอเตอร์
4. การออกแบบวงจรที่ทำการควบคุมอัตราส่วนมอเตอร์
5. ศึกษาการใช้งานของชุดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์
6. ทดสอบการนำแต่ละส่วนมาทำงานร่วมกัน
7. สรุป และจัดทำหนังสือโครงงานพร้อมทั้งเขียนคู่มือประกอบการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 โครงสร้างของปริญญานิพนธ์

รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการนำเสนอการสร้างเครื่องกัดเฟือง

บทที่ 1 จะกล่าวถึงความสำคัญ ขอบเขตของการศึกษา และโครงสร้างทั้งหมดของโครงงาน

บทที่ 2 ได้อธิบายถึงรายละเอียดของทฤษฎี และหลักการของเครื่องกัดเฟือง

บทที่ 3 ได้เสนอขั้นตอนการออกแบบในแต่ละส่วนของการสร้างเครื่องกัดเฟือง

บทที่ 4 แสดงผลการทดลองและการทำงานของเครื่องกัดเฟือง

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองที่ได้จากบทที่ 4 และสรุปปัญหาหรือจุดบกพร่องต่าง ๆ ที่พบขณะทำการออกแบบและทดสอบในประเด็นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 เฟือง (Gear)

2.1.1 ความหมายของเฟือง (Gear)

เฟืองคือชิ้นส่วนที่ใช้ในการถ่ายทอดกำลัง และถ่ายทอดการหมุนระหว่างเพลาทั้งสอง โดยสามารถถ่ายทอดการหมุนได้แม่นยำและถ่ายทอดกำลังสูง ดังจะเห็นได้ว่าสายพานหรือโซ่ก็อาจจะทำงานได้เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การใช้เฟืองจะช่วยให้ทำงานได้แม่นยำมากกว่า นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายทอดการหมุนได้ที่ความเร็วสูงๆ ซึ่งจะกระทำได้อย่างแม่นยำ แต่ต้องการการดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดมากกว่าเครื่องส่งถ่ายกำลัง เช่น การหล่อลื่น การป้องกันฝุ่นผง

2.1.2 ชนิดของเฟือง

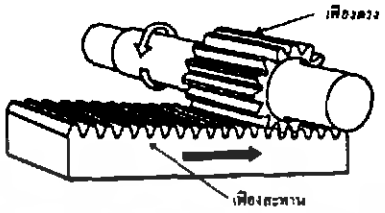
เฟืองที่ใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ และ ในอุตสาหกรรมนั้นมีอยู่ด้วยกันอยู่หลากหลายชนิด ดังเช่น

- เฟืองตรง (Spur gear)
- เฟืองเอียงคู่ (Double hehical)
- เฟืองสะพาน (Rack gears)
- เฟืองดอกจอกฟันโค้ง (Spiral bevel gear)
- เฟืองเอียงขวา (Crossed helical gear)
- เฟืองหนอนโอบสองด้าน (Double enveloping worm gear)
- เฟืองเฉียงก้างปลา (Herringbone gears)
- เฟืองเฉียง (Helical gears)
- เฟืองวงแหวน (Internal gears)
- เฟืองดอกจอกฟันตรง (Straight bevel gear)
- เฟืองหน้าตรง (Facc gear)
- เฟืองหนอนทรงกระบอก(Cylindrical worm gear)
- เฟืองหน้าเอียง(Hypoid gear)
- เฟืองเกลียวสกรู(Spiral gears)

ยกตัวอย่างเฟืองที่ถูกนำไปใช้บ่อย เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

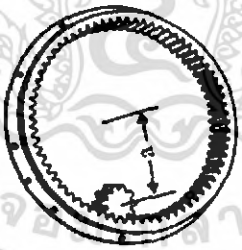
(1) เฟืองสะพาน (RACK GEARS) เป็นเฟืองตรง มีลักษณะรูปร่างยาวเป็นเส้นตรงเหมือนสะพาน ฟันเฟืองทำมุมกับลำตัว 90 องศา โดยประมาณ และต้องใช้คู่กับเฟืองตรง เฟืองสะพานที่ใช้งานกันทั่วไปมีรูปร่างลักษณะ ดังรูป



รูปที่ 2.1 ลักษณะของเฟืองสะพาน

หน้าที่การใช้งานของเฟืองสะพาน ในการใช้งานของเฟืองสะพาน(RACK) จะต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่เรียกว่า พินเนียน (PINNION) เสมอถึงจะสามารถทำการส่งกำลังได้ ลักษณะการใช้งานของเฟืองสะพาน ตัวอย่างเช่น เฟืองสะพานของเครื่องกลึงยันศูนย์ ที่ช่วยให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปทาง ซ้าย-ขวา หรือเฟืองสะพานของเครื่องเจาะที่ทำหน้าที่เคลื่อนเพลาเครื่องเจาะให้ขึ้นลง

(2) เฟืองวงแหวน (INTERNAL GEARS) เป็นเฟืองตรงอีกชนิดหนึ่งที่มีรูปร่างลักษณะกลมเช่นเดียวกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะอยู่ด้านบนของวงกลม และต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่มีขนาดเล็กกว่า ขบอยู่ภายในเฟืองวงแหวนจะมีรูปร่างลักษณะ ดังรูป

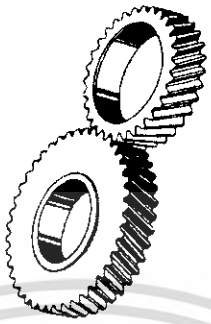


รูปที่ 2.2 ลักษณะของเฟืองวงแหวน

หน้าที่การใช้งานของเฟืองวงแหวน เฟืองชนิดนี้เป็นเฟืองเฉพาะอย่าง ที่ใช้งานกับเครื่องจักรกลเช่นเป็นเฟืองสำหรับปั๊มเฟืองสำหรับปั๊มน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์โดยที่เฟืองตัวเล็กที่อยู่ภายในนั้นเป็นตัวขับ ส่วนตัวใหญ่จะหมุนในลักษณะการเยื้องศูนย์ เพื่อดูดน้ำมันเครื่องส่งไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

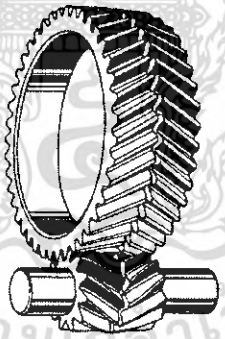
(3) เฟืองเฉียง (HELICAL GEARS) จะมีลักษณะรูปร่างคล้ายเฟืองตรง คือ จะเป็นล้อกลมเช่นกัน ซึ่งเฟืองเฉียงจะมีแนวสันฟันเฟืองเอียงไปจากแนวสันของฟันเฟืองตรง อาจเอียงไปทางซ้ายหรือเอียงไปทางขวาขึ้นกับใช้การใช้งาน เฟืองเฉียงจะมีรูปร่างลักษณะ ดังรูป



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเฟืองเฉียง

หน้าที่การใช้งานเฟืองเฉียง เฟืองเฉียงมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกับเฟืองตรงทุกอย่าง แต่มีข้อดีกว่าเฟืองตรงที่เมื่อส่งกำลังด้วยความเร็วรอบสูงๆแล้วจะไม่เกิดเสียงสันคลอนหรือเกิดน้อยมาก

(4) เฟืองเฉียงก้างปลา (HERRINGBONE GEARS) เป็นเฟืองที่มีลักษณะคล้ายกับเฟืองครงแค่ของเฟืองเฉียงก้างปลา จะเอียงสลับกันเป็นฟันปลา เฟืองชนิดนี้จะมีรูปร่าง ลักษณะ ดังรูป

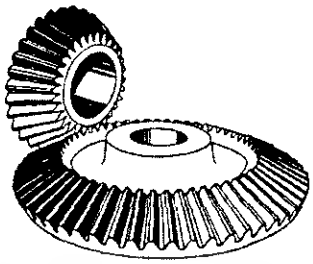


รูปที่ 2.4 ลักษณะของเฟืองก้างปลา

หน้าที่การใช้งานของเฟืองก้างปลา เฟืองก้างปลาเป็นเฟืองที่ออกแบบมาเพื่อ ลบล้างแรงดันที่ปลายฟันเฟือง เนื่องจากเฟืองก้างปลาเป็นเฟืองเฉียงที่สร้างมาให้คู่ติดกัน เฟืองก้างปลาใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกันเท่านั้น ข้อดีของเฟืองชนิดนี้ คือ เฟืองจะเลื่อนออกจากกันไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) เฟืองดอกจอก (BEVEL GEARS) ลักษณะของเฟืองคล้ายกับกรวยฟันของเฟืองดอกจอกมีทั้งแบบตงและแบบเฉียง เฟืองดอกจอกมีลักษณะ ดังรูป



รูปที่ 2.5 ลักษณะของเฟืองดอกจอก

หน้าที่การใช้งานของเฟืองดอกจอก เฟืองดอกจอกเป็นที่ใช้ส่งกำลังเพื่อเปลี่ยนทิศทางของเพลา หรือเพลาสามารถทำมุมได้ 90 องศา และเป็นเฟืองที่ให้กำลังในการส่งมาก ส่วนใหญ่เป็นเฟืองของรถยนต์ เฟืองเกียร์รถยนต์

(6) เฟืองเกลียวสกรู (SPIRAL GEARS) เป็นเฟืองเกลียวที่ใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุม 90 องศา เฟืองเกลียวชนิดนี้มีลักษณะ ดังรูป

รูปที่ 2.6 ลักษณะของเฟืองเกลียวสกรู

หน้าที่การใช้งานเฟืองสกรูเกลียว เป็นเฟืองที่ใช้เพื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางของเพลาให้ทำมุมกัน 90 องศา คล้ายกับชุดเฟืองหนอน (ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 2.3) แต่สามารถส่งกำลังได้น้อย เนื่องจากด้านข้างของฟันมีพื้นที่สัมผัสกันน้อยมาก สามารถให้อัตราทดได้ระหว่าง 1 ถึง 5

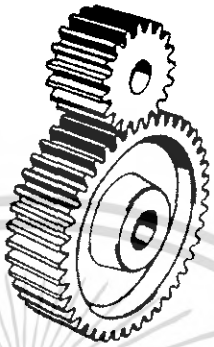
เครื่องกัดเฟืองที่ได้ทำการศึกษาในโครงงานนี้ เป็นเครื่องที่ออกแบบไว้สำหรับผลิตเฟืองตรง แล้วใบมีดที่ใช้ในการตัดก็มีลักษณะที่คล้ายกับเฟืองหนอน ดังนั้น เราจึงจะทำการศึกษาถึงเฟืองทั้ง 2 ชนิดนี้ ซึ่งก็คือเฟืองตรง และ เฟืองหนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เฟืองตรง (spur gear)

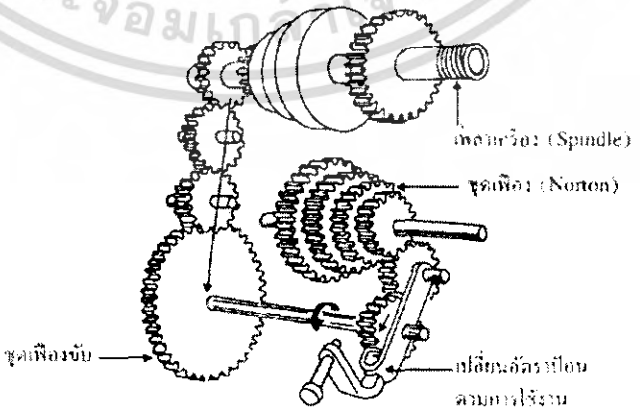
2.2.1 ลักษณะและหน้าที่ของเฟืองตรง

เฟืองตรง (spur gear) เป็นเฟืองที่ฟันของเฟืองมีความตรงขนานกับรูเพลา เฟืองตรงจะมีลักษณะ ดังรูป



รูปที่ 2.7 ลักษณะของเฟืองตรง

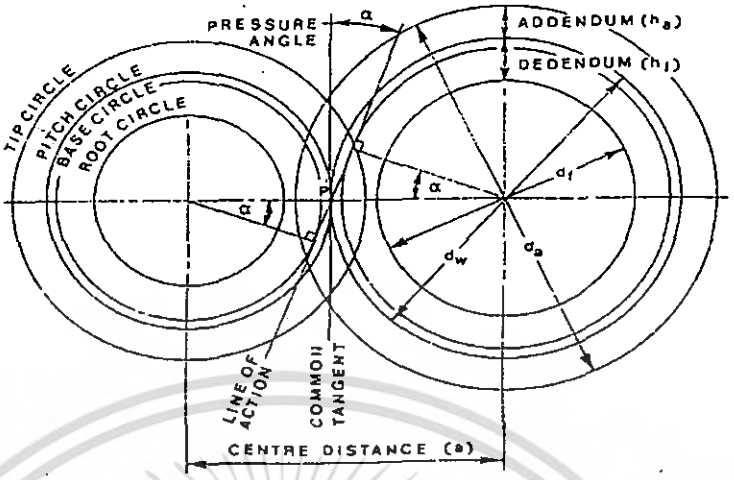
หน้าที่การใช้งานของเฟืองตรง เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกัน เฟืองตรงเหมาะสำหรับการส่งกำลังที่มีความเร็วรอบต่ำ หรือความเร็วรอบปานกลางไม่เกิน 20 เมตร ต่อนาที เช่น ชุดเฟืองทดลองของเครื่องกลึงเพื่อเดินกลึงอัตโนมัติ หรือชุดเฟืองทดลองของเครื่องจักรกลการเกษตรที่ความเร็วรอบต่ำๆ ข้อดีของเฟืองตรงขณะใช้งานจะไม่เกินแรงในแนวแกน ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูง หน้ากว้างของเฟืองตรงสามารถเพิ่มได้เพื่อให้เกิดผิวสัมผัสที่มากขึ้น เพื่อลดการสึกหรอให้น้อยลง ในบรรดาเฟืองทุกชนิดเฟืองตรงเป็นเฟืองที่ธรรมดาที่สุด และเหมาะสมสำหรับใช้เพื่อส่งถ่ายกำลังการเคลื่อนที่ในเบื้องต้น ซึ่งเป็นไปตามลักษณะรูปแบบของฟันเฟือง ตัวอย่างการใช้งานของเฟือง ดังรูป



รูปที่ 2.8 การส่งของเฟืองตรงสำหรับเครื่องกลึงอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ส่วนประกอบของเฟืองตรง



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของเฟืองตรง

Gear ratio (u) คือ อัตราส่วนของจำนวนฟันเฟืองตัวใหญ่กับเฟืองตัวเล็ก (pinion)

Pitch circle คือ วงกลมพิตช์ของคู่เฟืองที่ขบกันและสัมผัสซึ่งกันและกัน

Module (m) คือ อัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์กับจำนวนฟัน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

Number of teeth (z) คือ จำนวนฟันของเฟืองตรง

Pitch circle diameter (d_w) คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์ , $d_w = m \times z$

Pitch point (P) คือ จุดที่สัมผัสกันระหว่างวงกลมพิตช์ของคู่เฟืองที่ขบกัน

Centre distance (a) คือ ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางทั้งสองของเฟืองที่ขบกัน

Base circle คือ วงกลมสมมติที่หมุนรอบจุดกำเนิด

Tip circle คือ วงกลมวงนอกสุดที่อยู่บนยอดสูงสุดของฟัน

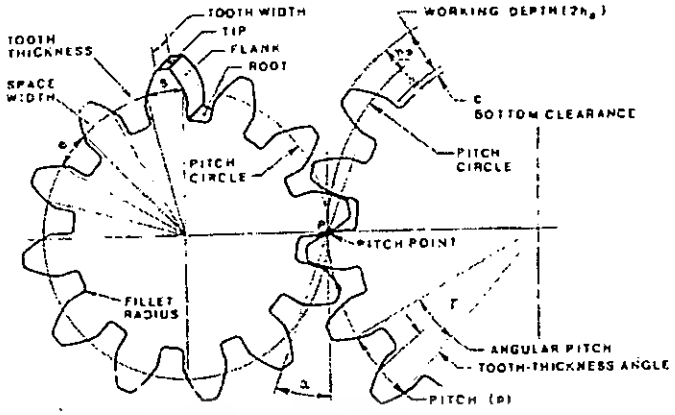
Root circle คือ วงกลมที่มีรัศมีจากจุดศูนย์กลางจนถึงฐานของฟัน

Line of action คือ เส้นบอกทิศทางของแรงที่เกิดจากเฟืองสองเฟืองขบกัน

Common tangent คือ เส้นสัมผัสของวงกลมพิตช์ของคู่เฟืองที่ขบกัน

Pressure angle คือ มุมระหว่างเส้น line of action และ common tangent ปกติจะมีค่าประมาณ20 องศา การผลิตจะมีตัวกัดเฟืองขนาดมาตรฐานที่ทำขึ้นมาแล้วซึ่งเป็นขนาดมาตรฐาน ในปัจจุบันขนาดมุมกดมาตรฐานที่ใช้กันคือ 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเฟืองตรง(ต่อ)

Addendum (h_a) คือ ระยะวัดในแนวรัศมีระหว่างยอดฟัน (top land) และวงกลมพิตช์

Dedendum (h_f) คือ ระยะวัดในแนวรัศมีจากโคนฟัน (buttom land) ไปยังวงกลมพิตช์

Working depth คือ ระยะระหว่างยอดฟันเฟืองถึง bottom clearance หรือเป็นระยะทางสองเท่าของ addendum ($2h_a$)

Tooth flank คือ ผิวด้านข้างของฟันตั้งแต่ยอดจนถึงฐานของฟัน

Bottom clearance (c) คือ ระยะระหว่าง root circle จนถึงยอดของเฟืองที่มาขบ

Space width (e) คือ ความยาวของวงกลมพิตช์ระหว่างฟันเฟือง 2 ฟัน

Tooth thickness (s) คือ ความยาวของวงกลมระหว่างด้านข้างฟันเฟืองหนึ่งฟัน ซึ่งจะมีความยาวเท่ากับ Space width

Angular pitch (τ) คือ อัตราส่วนมุมของเส้นรอบวงกับจำนวนฟันเฟือง

Whole depth คือ ผลรวมของแอดแดนดัม และดีแดนดัม

Clearance (c) คือ ปริมาณซึ่งดีแดนดัมของเฟืองตัวหนึ่งต้องมีค่ามากกว่าแอดแดนดัมของอีกเฟืองหนึ่งที่มาขบกัน

Backlash คือ ปริมาณซึ่งเป็นผลต่างระหว่างช่องว่างของฟันกับความหนาของฟันเฟืองอีกอัน ที่มาขบกันโดยวัดบนวงกลมพิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สูตรพื้นฐานของเฟืองตรง

Module (m) = $\frac{d_w}{z}$ mm

Pitch (p) = $\frac{\pi \times d_w}{z}$ = $\pi \times m$

Tooth thickness (s) = p/2

Addendum (h_a) = โมดูล = m

Clearance (c) = 0.25 × addendum = $0.25 \times h_a$

Dedendum (h_f) = addendum + clearance = h_a

= $h_a + 0.25 \times h_a = 1.25h_a$

= 1.25m

Gear ratio (u) = $\frac{Z_2}{Z_1}$

Number of teeth (z_1) คือ จำนวนฟันของเฟืองตรงตัวที่ใหญ่กว่าอีกตัวหนึ่ง

Number of teeth (z_2) คือ จำนวนฟันของเฟืองตรงตัวที่เล็กกว่าอีกตัวหนึ่ง

Centre distance (a) = $\frac{D_{w2} + D_{w1}}{2}$

Pitch circle diameter (d_{w1}) คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์ของเฟืองตรงตัวที่ใหญ่กว่าอีกตัวหนึ่ง

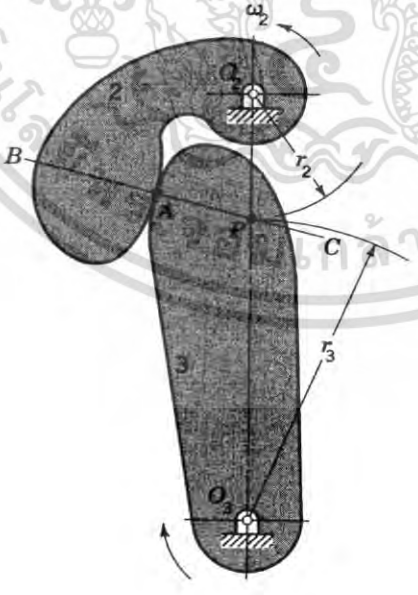
Pitch circle diameter (d_{w2}) คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์ของเฟืองตรงตัวที่เล็กกว่าอีกตัวหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Angular pitch (τ) $= \frac{360}{Z}$

2.2.4 คอนจูเกทแอคชั่น (Conjugate action)

สมมุติให้ฟันของเฟืองที่จะอธิบายมีรูปแบบที่สมบูรณ์ มีความเรียบเป็นอย่างดี และเป็นวัตถุแข็งเกร็งสมบูรณ์ ในทางปฏิบัติข้อสมมุติจะไม่เป็นความจริงเพราะแรงจะทำให้เกิดการแอ่นตัว (Deflection) การขบกันของฟันเฟืองเป็นอาการที่ต้านการหมุนซึ่งคล้ายกับลูกเบี้ยวในการออกแบบฟันเฟืองให้ได้อัตราส่วนความเร็วของการหมุนคงที่ เราเรียกว่าทำให้เกิด คอนจูเกทแอคชั่น (Conjugate action) ในการออกแบบฟันเฟืองให้เกิดคอนจูเกทชั่น จำเป็นต้องเลือกส่วนโค้งของฟันเฟืองให้เหมาะสมมีส่วนโค้งหลายแบบที่ทำให้เกิดคอนจูเกทชั่นเมื่อฟันเฟืองขบกัน ส่วนโค้งอันหนึ่งที่เลือกใช้คือส่วนโค้งแบบอินเวอลูท เมื่อผิวส่วนโค้งของสองผิวสัมผัสกันด้วยการผลักและแรงต้านดังรูปที่ 2.11 จุดที่เกิดการสัมผัสของสองผิวคือจุด A และอาการของแรงที่เกิดจะไปตามทิศทางของเส้น BC ที่สัมผัสร่วมกับเส้นโค้งสองเส้น เรียกเส้น BC ว่า line of action ซึ่งจะตัดกับเส้นเชื่อมระหว่างจุดศูนย์กลาง O_2-O_3 ของแขนทั้งสองที่จุด P อัตราส่วนความเร็วของการหมุนจะเป็นส่วนกลับของอัตราระหว่างระยะรัศมี O_2P ของแขนทั้งสอง วงกลมที่เขียนผ่านจุด P จากจุดศูนย์กลางทั้งสองวงเรียกว่าวงกลมพิตช์ (pitch circle) และรัศมีของแต่ละวงเรียกว่า รัศมีพิตช์ (pitch radius) จุด P เรียกว่าจุดพิตช์ (pitch point)



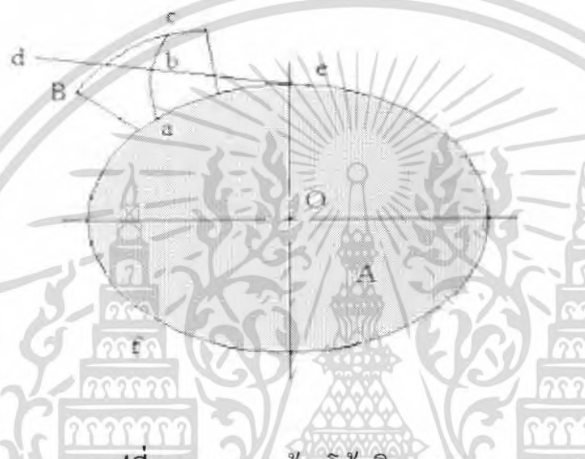
รูปที่ 2.11 แสดงถึงเส้น Line of action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

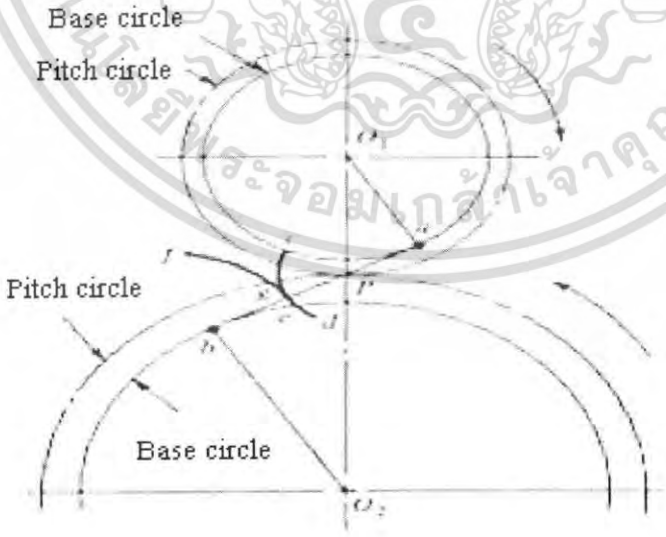
รูปที่ 2.11 การถ่ายทอดการหมุนให้ได้อัตราส่วนของความเร็วเชิงมุมคงที่นั้น เส้นแอคชั่นจะต้องผ่านจุดพิตช์เสมอ กรณีของส่วนโค้งอินเวอลูท จะแสดงให้เห็นว่าจุดสัมผัสทั้งหมด จะอยู่บนเส้นตรง BC ทุกฟัน ดังนั้นส่วนโค้งนี้ถ่ายทอดการหมุนได้คงที่สม่ำเสมอ

2.2.5 คุณสมบัติของส่วนโค้งอินเวอลูท

โค้งอินเวอลูทสามารถสร้างได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ส่วนของปีกยื่น B ยึดติดกับกระบอก A ซึ่งมีเชือกพันอยู่รอบโดยดึงให้ตึง



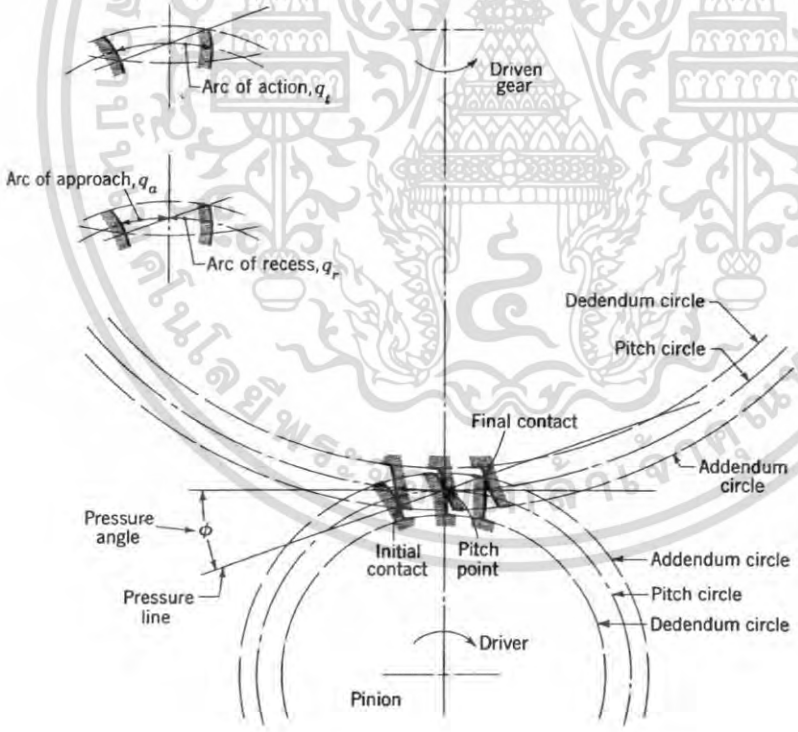
รูปที่ 2.12 การสร้างโค้งอินเวอลูท



รูปที่ 2.13 อาการอินเวอลูท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วคลายเชือกออก การเคลื่อนที่ของจุด b ที่อยู่บนเชือกจะได้โค้งอินเวอลูท ac รัศมีของโค้งอินเวอลูทจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เริ่มต้น 0 ที่จุด a และสูงสุดที่ c ที่จุด b รัศมีของโค้งอินเวอลูทเท่ากับระยะทาง be ดังนั้นจึงทำให้เส้น de ตั้งฉากกับเส้นโค้งอินเวอลูท ac ทุกจุดของการตัดผ่าน ที่เวลาเดียวกัน และสัมผัสกระบอก A อยู่เสมอทรงกระบอก A ที่มีการเกิดโค้งอินเวอลูทเรียกว่าวงกลมฐาน (base circle) เพื่อความแน่ใจว่าโค้งอินเวอลูทสามารถถ่ายทอดการหมุนได้คงที่ พิจารณาดูเฟืองคู่หนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.13 มีจุดศูนย์กลาง O_1 และ O_2 ของวงกลมฐานสองวงตามลำดับอยู่ซึ่งอยู่กับที่ มีรัศมีคือ O_1a และ O_2b มีเส้นสัมผัส ab สัมผัสวงกลมฐานของเฟืองทั้งสอง มีเส้นโค้งอินเวอลูท cd ของเฟือง 1 และ ef ของเฟือง 2 สมมุติ ให้เฟือง 1 หมุนตามเข็มนาฬิกา เฟือง 2 หมุนทวนเข็มนาฬิกา จุดที่ฟันเฟืองสัมผัสกันจุด g จะเคลื่อนที่ไปตามเส้นสัมผัสร่วม ab เส้นสัมผัสร่วม (ab) จะไม่เปลี่ยนตำแหน่งเพราะสัมผัสวงกลมฐานเสมอ เส้น ab นี้จะไปตัดเส้นโยงระหว่าง O_1 และ O_2 ที่จุด P ซึ่งอยู่บนวงกลมพิตช์ของเฟืองทั้งสองเส้นสัมผัสร่วม ab นี้คือแนวที่เฟืองขบกันเรียกว่าเส้นแอคชั่น



รูปที่ 2.14 Arc of action

จากรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นว่าในการขบกันของเฟืองนั้นจะเกิดระยะทางที่มีชื่อเรียกดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

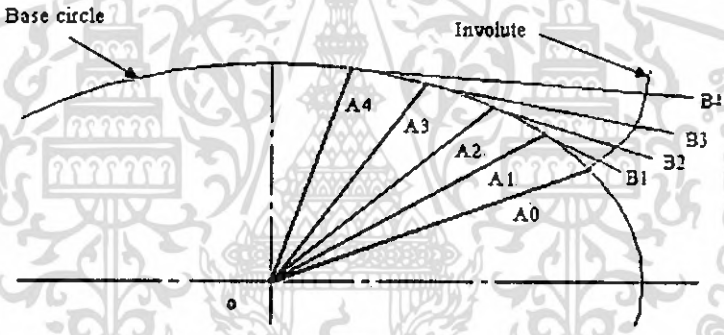
- Arc of approach, q_a – ส่วนความยาวของวงกลมพิทช์ที่วัดจากจุดเริ่มต้นของการขบกันของฟันจนถึงจุดที่ฟันสัมผัสกันที่จุดพิทช์

- Arc of recess, q_r – ส่วนความยาวของวงกลมพิทช์ที่วัดจากจุดที่ฟันสัมผัสกันที่จุดพิทช์จนถึงจุดที่ฟันจากกัน

- Arc of action, q_t – ส่วนความยาวของวงกลมพิทช์จากจุดเริ่มต้นของการขบกันของฟันจนถึงจุดที่ฟันจากกัน

2.2.6 หลักการมูลฐาน

โครงสร้างของโค้งอินเวอลูท ดังแสดงในรูปที่ 2.14 แบ่งวงกลมฐานออกเป็นส่วนเท่า ๆ กัน ลากเส้นรัศมี OA_0, OA_1, OA_2.... เริ่มต้นที่ A_1 ลากเส้นตั้งฉากกับรัศมีได้ A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3... ให้$A_1B_1=A_1A_0$, $A_2B_2=2A_1A_0$, $A_3B_3=3A_1A_0$... ลากเส้นโค้งโยงจุด B_1, B_2, B_3 ก็จะได้โค้งอินเวอลูท



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของโค้งอินเวอลูท

เมื่อเฟืองดรงสองตัวขบกันวงกลมพิตช์ของเฟืองทั้งสองจะกลิ้งสัมผัสกัน โดยไม่เกิดการสลิป กำหนดให้รัศมีพิตช์คือ r_1 และ r_2 และความเร็วเชิงมุมคือ ω_1 และ ω_2 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ความเร็วพิตช์ (Pitch-line velocity) คือ

$$V = |r_1\ \omega_1| = |r_2\ \omega_2|$$

V = ความเร็วพิตช์ (Pitch-line velocity)

ω_1 = ความเร็วรอบเฟืองตัวที่1

ω_2 = ความเร็วรอบเฟืองตัวที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r_1 = รัศมีพิตช์ของเฟืองตัวที่ 1

r_1 = รัศมีพิตช์ของเฟืองตัวที่ 2

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีพิตช์และความเร็วเชิงมุมคือ

$$\left|\frac{\omega_1}{\omega_2}\right| = \frac{r_2}{r_1}$$

2.2.7 มาตรฐานของเฟือง

การทำให้เป็นมาตราฐานมีข้อดีคือทำให้สามารถที่จะใช้ร่วมกันได้ ซึ่งในการผลิตจะมีตัวกัดเฟืองขนาดมาตราฐานที่ทำขึ้นมาแล้วซึ่งเป็นขนาดมาตราฐาน ในปัจจุบันขนาดมุมกดมาตราฐานที่ใช้กันคือ 20 องศา ในอุตสาหกรรมการบินและยานยนต์ก็มีการใช้มุมกดที่ 22.5 และ 25 องศา เพราะมีความแข็งแรงสูง อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะผลิตขนาดที่แตกต่างไปจากมาตราฐานได้

- ในอเมริกามีการเรียกขนาดของตัวกัดเฟืองเป็น diametral pitch, P

$$P = \frac{Z}{D_p}$$

เมื่อ Pitch circle diameter (D_p) คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์ , มีหน่วยเป็นนิ้ว
Number of teeth (z) คือ จำนวนฟันของเฟืองตรง

- ในยุโรปมีการเรียกขนาดของตัวกัดเฟืองเป็น module, *m*

$$m = \frac{D_p}{Z}$$

เมื่อ Pitch circle diameter (D_p) คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์ , มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
Number of teeth (z) คือ จำนวนฟันของเฟืองตรง

- ความสัมพันธ์ของ circular pitch กับ diametral pitch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_c = \frac{\pi D_w}{Z} = \frac{\pi}{P} \quad \text{(U.S.)}$$

$$p_c = \frac{\pi D_w}{Z} = \pi m \quad \text{(Metric)}$$

- สัดส่วนของฟันเฟืองตามมาตรฐาน

ตารางที่ 2.1 เป็นสัดส่วนมาตราฐานของระบบอเมริกันที่ใช้ในปัจจุบัน AGMA standard (American Gear Manufacturer Association)

TABLE 4.1 Tooth Proportions—Involute Spur Gears

	Coarse Pitch ($1–19.99\ P_d$) AGMA 201.02 August 1974 20° or 25° Full Depth	Fine Pitch ($20–200\ P_d$) AGMA 207.06 November 1977 20° Full Depth
Addendum (a)	$\frac{1.000}{P_d}$	$\frac{1.000}{P_d}$
Dedendum (b)	$\frac{1.250}{P_d}$	$\frac{1.200}{P_d} + 0.002$ (min)
Clearance (c) (dedendum − addendum)	$\frac{0.250}{P_d}$	$\frac{0.200}{P_d} + 0.002$ (min)*
Working depth (h_k) (twice addendum)	$\frac{2.000}{P_d}$	$\frac{2.000}{P_d}$
Whole depth (h_t) (addendum + dedendum)	$\frac{2.250}{P_d}$	$\frac{2.200}{P_d} + 0.002$ (min)
Fillet radius of basic rack (r_f)	$\frac{0.300}{P_d}$	Not given
Tooth thickness (t)	$\frac{1.5708}{P_d}$	$\frac{1.5708}{P_d}$

*For shaved or ground teeth, $c = 0.350/P_d + 0.002$ (min).

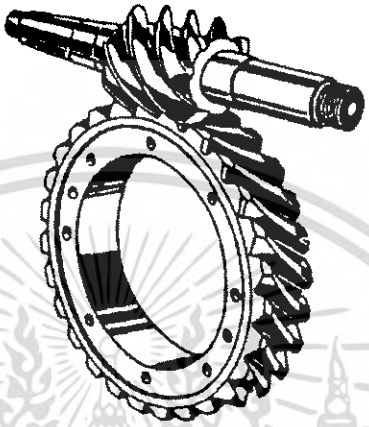
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3 เฟืองหนอน (Worm Gear)

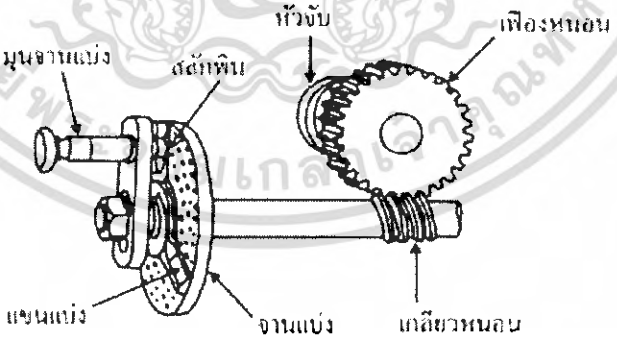
2.3.1 ลักษณะและหน้าที่ของเฟืองหนอน

เฟืองหนอน (WORM GEARS) เป็นชุดเฟืองประกอบด้วยเกลียวและเฟืองที่ใช้ในการส่งกำลัง รูปร่างลักษณะของเฟืองหนอนจะรูปร่าง ดังรูป



รูปที่ 2.16 ลักษณะของเฟืองหนอน

หน้าที่การใช้งานของเฟืองหนอน เฟืองหนอนประกอบด้วยเกลียวหนอน เพื่อให้เฟืองหนอนส่งกำลังไป เฟืองหนอนเป็นการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมกัน 90 องศา เป็นการส่งกำลังจากความเร็วรอบสูงให้มาเป็นความเร็วรอบต่ำ การส่งกำลังของชุดเฟืองหนอนของชุดหัวแบ่งเพื่อเฟืองของเครื่องกัด ลักษณะการใช้งาน ดังรูป

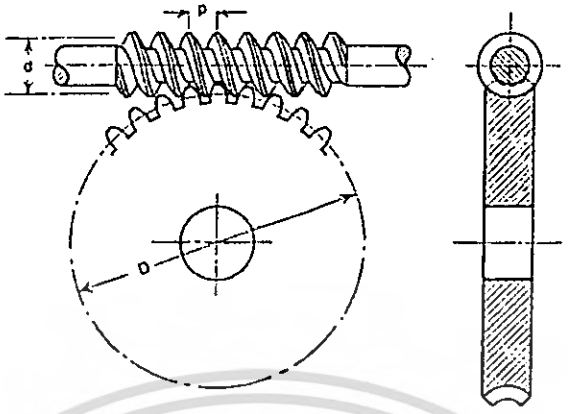


รูปที่ 2.17 การทำงานชุดเฟืองหนอนในหัวแบ่งเครื่องกัด

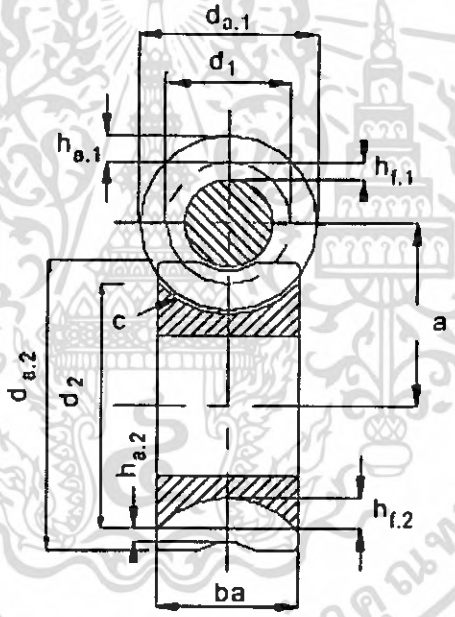
หัวเครื่องกัดแบ่งคือส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของเครื่องกัด ซึ่งหัวแบ่งในงานกัดนั้นมีหน้าที่ในการแบ่งรอบในการกัดชิ้นงาน ซึ่งสเกลก็จะแตกต่างกันไปตามลักษณะชนิดของหัวแบ่ง การแบ่งนั้นสเกลละเอียดมากขึ้นก็จะทำให้ส่วนประกอบของหัวแบ่งซับซ้อนขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
83185

2.3.2 ส่วนประกอบของที่สำคัญของเฟืองหนอน (Worm Gear)



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบของของเฟืองหนอน



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบต่างๆของเฟืองหนอน

Clearance (c) คือ ปริมาณซึ่งดีแดนดัมของเฟืองตัวหนึ่งต้องมีค่ามากกว่าแอดแดนดัมของอีกเฟืองหนึ่งที่มาขบกัน

Pitch diameter of worm (d_1) คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิดช์ของเฟืองหนอน

Tip diameter of worm ($d_{a.1}$) คือ วงกลมวงนอกสุดที่อยู่บนยอดสูงสุดของฟันของเฟืองหนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pitch diameter of wormwheel (d_2) คือ เส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตช์ของเฟืองตรงที่มาขบกับเฟืองหนอน

Addendum ($h_{a.1}$) คือ ระยะวัดในแนวรัศมีระหว่างยอดฟัน (top land) และวงกลมพิตช์

Dedendum ($h_{f.1}$) คือ ระยะวัดในแนวรัศมีจากโคนฟัน (buttom land) ไปยังวงกลมพิตช์ ของเฟืองหนอน

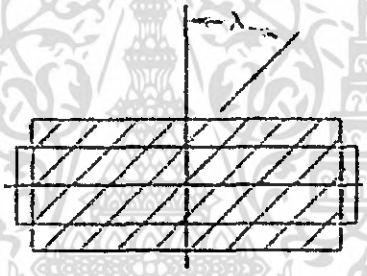
Module (m) คือ โมดุลของเฟืองหนอน

n_1 คือ ความเร็วรอบของเฟืองหนอน (รอบ/นาที)

n_2 คือ ความเร็วรอบของเฟืองตรงที่มาขบกับเฟืองหนอน (รอบ/นาที)

Pitch (p_x) คือ ระยะพิตช์

Lead angle of worm (λ) คือ มุมที่หน้าสัมผัสของผิวเฟืองทำกับเส้นตั้งฉาก



รูปที่ 2.20 มุม (lead) ของเฟืองหนอน

2.3.3 สูตรพื้นฐานของเฟืองหนอน

Module (m) $= \dfrac{p_x}{\pi}$

Pitch (p_x) $= \pi . m$

Clearance (c) $= c_{min} = 0.2\ m \cos\gamma$

$= c_{max} = 0.25\ m \cos\gamma$

Module (m) คือ โมดุลของเฟืองหนอน

Tip diameter of worm ($d_{a.1}$) $= d_1 + 2.h_{a.1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

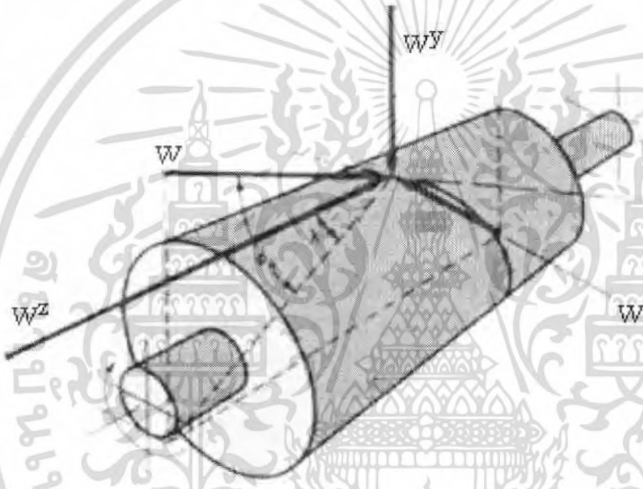
Pitch dia of wormwheel (d_2) $= (\frac{p_x \, Z}{\pi})$

$= 2.a - d_1 \, d_{a.2}$

$= h_{a.1} = m$

2.3.4 ประสิทธิภาพของเฟืองหนอน (η)

บนเฟืองหนอนจะมีแรงเพียงแรงเดียวกระทำบนเฟืองคือแรง W ดังแสดงในรูป 2.21 มีการประกอบกันของแรงในสามแนวแกน คือ W^x , W^y , และ W^z จากรูปเราจะได้ มุม ϕ_n และ λ

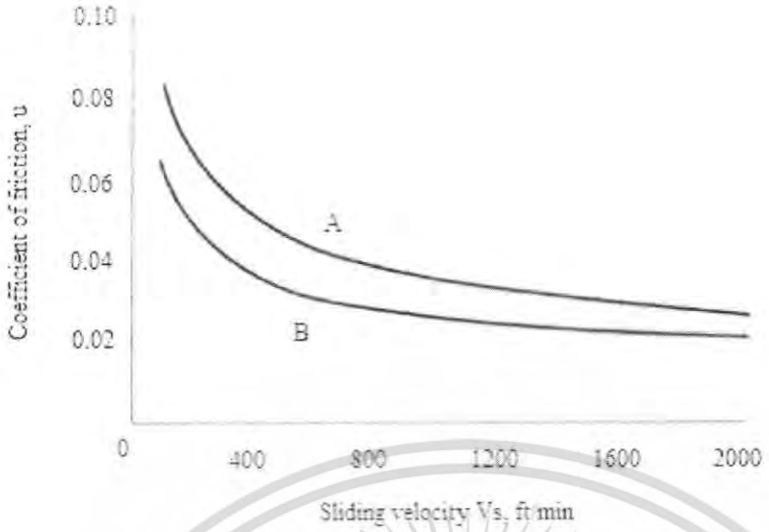


รูปที่ 2.21 แรงที่กระทำบนเฟืองหนอน

ค่าประสิทธิภาพของเฟืองหนอน (η) หาได้จากสูตร

$$\eta = \frac{\cos\phi_n - \mu \tan\lambda}{\cos\phi_n + \mu \cot\lambda}$$

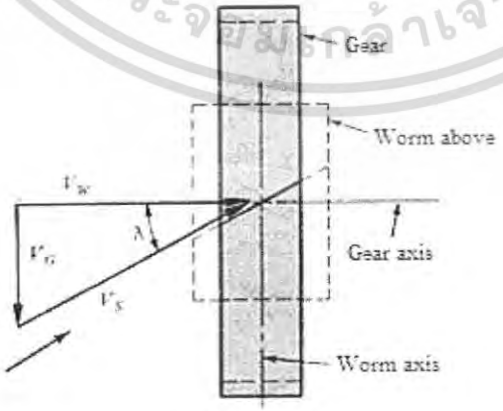
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ความเร็วสไลด์

จากศึกษาการเคลื่อนที่ของเฟืองตรง จะเห็นได้ว่าที่จุดพิตช์จะเป็นการเคลื่อนที่แบบกลิ้งอย่างเดียว ส่วนการเคลื่อนที่ระหว่างตัวหนอนและเฟืองหนอนจะเป็นแบบสไลด์เท่านั้น จากการทดลองหลาย ๆ ครั้ง ได้นำมาเขียนเป็นกราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความเร็วสไลด์ คือเส้น A และ B พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานขึ้นอยู่กับความเร็วสไลด์ ดังในรูป 2.20, V_G คือความเร็วเชิงเส้นพิตช์ของเฟืองหนอนและ V_w คือความเร็วเชิงเส้นพิตช์ของตัวหนอน V_s คือความเร็วสไลด์ของตัวหนอน รวมตามเวคเตอร์จะได้

$$V_w = V_G + V_s$$

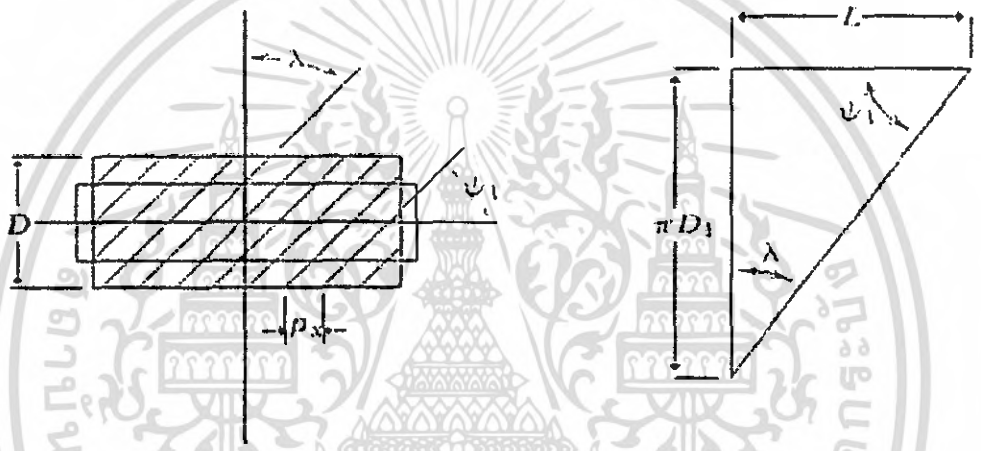


รูปที่ 2.23 เว็คเตอร์ความเร็วประกอบในเฟืองหนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเป็นการรวมกันของ V_G คือความเร็วเชิงเส้นพิตช์ของเฟืองหนอนและ V_s คือความเร็วสไลด์ของตัวหนอน นอกจากนี้จากรายงานยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ยังแตกต่างกันไปอีกประมาณ 20%ซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับผิวที่สมบูรณ์,ชนิดวัสดุ,และการหล่อลื่น

ในการพิจารณาถึงคุณลักษณะของดัวหนอนค่ามุมเอียง ระหว่างเกลียว λ (Lead angle) เป็นสิ่งสำคัญอันดับแรก และอาจจะนิยามได้ว่าเป็นระยะในแนวแกนที่จุดหนึ่งบนเกลียวของตัวหนอนที่จะเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ของดัวหนอนจะมีความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของเกลียวกับพิทช์ในแนวแกนคือ $L = p_x N_1$ เมื่อ N_1 คือจำนวนของเกลียวหรือฟัน(Threads) ที่ห่อหุ้มบนทรงกระบอกพิทช์ของดัวหนอนตัวหนอน 1 ตัวสามารถประกอบด้วย 1 เกลียวจนถึง 10 เกลียว ถ้าคลี่แนวการเคลื่อนที่ครบรอบของเกลียวฟัน 1 เกลียวบนตัวหนอน จะได้สามเหลี่ยมซึ่ง



รูปที่ 2.24 มุมเอียงของเกลียว (lead) ของเฟืองหนอน

$$\tan\lambda = \frac{L}{\pi D_1}$$

เมื่อ D1 คือเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวหนอน

$L = p_x N_1$ เมื่อ N_1 คือ จำนวนฟันของเฟืองหนอน

เส้นผ่าศูนย์กลางของเฟืองตัวหนอนสามารถคำนวณได้จาก

$$D_2 = (p_x \pi)\, N_2$$

เมื่อ N_2 คือจำนวนฟันของเฟืองตัวหนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{D_2 \cos\psi_2}{D_1 \cos\psi_1}$$

อัตราส่วนความเร็วเชิงมุมคือ

ซึ่งมีค่าเท่ากับ $$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\pi D_2}{L}$$

เงื่อนไขที่จะทำให้ตัวหนอนและเฟืองตัวหนอนขบกันได้เป็นอย่างดีมีดังนี้

1. มุมเอียงของเกลียว (lead) ของตัวหนอน = มุมเกลียวเฮริสของเฟืองตัวหนอน
2. พิตช์ตามแนวแกนเพลา p_x ของตัวหนอน = เส้นโค้งพิตช์ของเฟืองตัวหนอน
3. ถ้ามุมเอียงของเกลียวของตัวหนอนใหญ่กว่าค่ามุมความเสียดทานบนพื้นผิวของการสัมผัส
4. ตัวหนอนและเฟืองตัวหนอนสามารถใช้เป็นตัวขับสลับกันได้
5. ตัวหนอนจะถูกพิจารณาว่าเป็นการล๊อก-ตัวเอง (Self-locking) ได้เมื่อมุมเอียงของเกลียวของตัวหนอนต่ำกว่า 5°

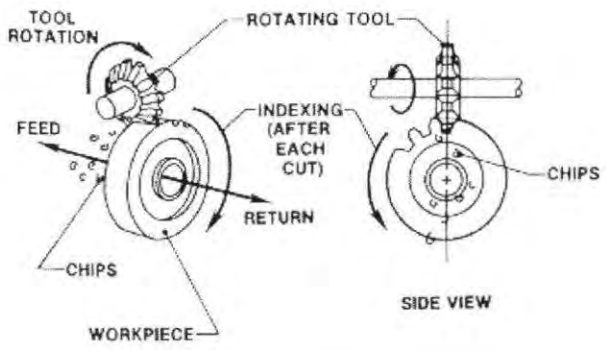
2.4 การขึ้นรูปฟันเฟือง

การขึ้นรูปฟันเฟืองมีหลายวิธี เช่น Sand casting, shell molding, inverstmemt casting, permanent-mold casting, diccasting และ centrifugal casting นอกจากนี้ฟันเฟืองสามารถขึ้นรูปโดยใช้ขบวนการ powder-metallurgy หรือโดยใช้ Extrusion และยังมีฟันเฟืองผลิตจากเครื่องจักรโดย milling, shaping หรือ hobbing. แล้วตกแต่งด้วย shaving, burnishing, grinding หรือ lapping

2.4.1 Milling

ฟันเฟืองสามารถตัดให้มีรูปร่างสอดคล้องกับช่องว่างของฟันด้วย milling cutter ตามทฤษฎีของวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ชุดคัทเตอร์แตกต่างกันไปสำหรับแต่ละเฟือง เพราะว่าตัวอย่างเช่นเฟืองที่มี 25 ฟัน จะมีรูปร่างของช่องว่างระหว่างฟันแตกต่างกันกับเฟืองที่มี 24 ฟัน ตามความเป็นจริงช่องว่างฟันจะไม่เปลี่ยนมากนัก

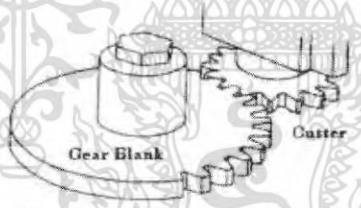
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



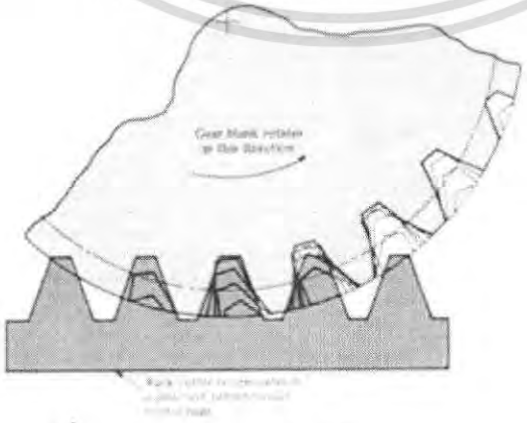
รูปที่ 2.25 การทำฟันเฟืองด้วย Milling cutter

2.4.2 Shaping

เป็นการทำฟันเฟืองโดย pinion cutter และ rack cutter pinion cutter (รูปที่ 2.26 และ 2.27) เคลื่อนที่ไปมาตามความยาวในแนวดิ่งของแกนและเคลื่อนที่ช้า ๆ ไปตามความลึกที่ต้องการของเฟืองเปล่า เมื่อวงกลมพิตช์สัมผัสกันทั้ง cutter และเฟืองเปล่าจะหมุนไปช้า ๆ ฟันทั้งหมดจะถูกตัดเสร็จสมบูรณ์ หลังจากเฟืองเปล่าหมุนครบหนึ่งรอบ



รูปที่ 2.26 การทำเฟืองฟันตรงด้วย pinion cutter



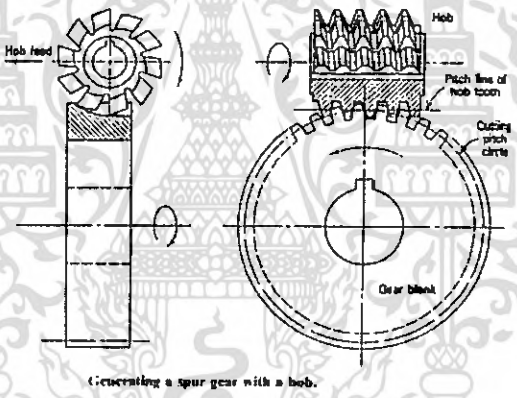
รูปที่ 2.27 การทำฟันเฟืองด้วย rack cutter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านข้างที่เป็นอินเวอลูทของ rack จะตรง ด้วยเหตุนี้ rack-cutter จึงเป็นวิธีการตัดเฟืองที่แม่นยำ การทำงาน rack-cutter ดังรูปที่ 2.27 จะเคลื่อนที่ไปมาตัดเฟืองเปล่าจนกระทั่งวงกลมพิตช์สัมผัสกัน หลังจากจังหวะการตัดแต่ละครั้งเฟืองเปล่าและใบมีด หมุนไปช้า ๆ บนวงกลมพิตช์ของแต่ละตัว เมื่อเฟืองเปล่า และ cutter มีระยะกลิ้งเท่ากับเซอคิวลาพิตช์ cutter จะกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้น และขบวนการนี้จะเป็นไปเรื่อยๆจนกระทั่งฟันเฟืองถูกตัดครบหมด

2.4.3 Hobbing

ขบวนการ Hobbing มีภาพประกอบในรูปที่ 2.25 hob เป็นเครื่องมือตัดที่ง่ายซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับเฟืองหนอน ฟันมีด้านข้างตรงดังเช่น รางฟัน (rack) แต่แกนของ hob จะต้องหมุนผ่านทำให้เกิดมุมในลำดับการตัดเฟืองตรง ด้วยเหตุนี้ฟันที่ผลิตโดย hob จะมีรูปร่างต่างจากการทำด้วย rack cutter ทั้ง hob และเฟืองเปล่าจะถูกทำให้หมุนด้วยอัตราส่วนความเร็วที่เหมาะสม หลังจากนั้น hob ก็หมุนเคลื่อนที่ตามแนวแกนตัดเฟืองเปล่าจนกระทั่งมีฟันครบตามต้องการ



รูปที่ 2.28 การทำฟันเฟืองด้วย hob

2.4.4 Finishing

เฟืองซึ่งทำงานที่ความเร็วรอบสูงและถ่ายทอดแรงจำนวนมาก หากส่วนโค้งของฟันผิดพลาด จะเป็นการเพิ่มแรงไดนามิกส์ ความผิดพลาดนี้ทำให้น้อยลงได้โดยการดกแต่งส่วนโค้งของฟันการดกแต่งจะทำหลังจากการตัดฟันโดยวิธี shaving หรือ burnishingวิธีใดวิธีหนึ่ง เครื่องมือ shaving เหมาะที่จะใช้ตัดเนื้อโลหะออกภายในค่าที่จำกัดไม่เกิน 250 μin ในเวลาอันสั้น ทำให้โค้งฟันมีความแม่นยำถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 การขัดเงา (Burnishing)

คล้ายกับการขูด (shaving) วิธีนี้ใช้กับเฟืองที่มีการตัดโดยไม่ทำให้เกิดความร้อน ในการขัดเฟืองที่จะเป็นตัวขัดจะถูกทำให้แข็งและมีขนาดฟันโตกว่าเฟืองชิ้นงาน เฟืองชิ้นงานหมุนขบเฟืองตัวขัดจนกระทั่งได้เฟืองชิ้นงานที่ผิวเรียบ

2.5 มีดกลึง (Cutting Tool)

มีดกลึง คือเครื่องมือที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานให้เป็นรูปร่างต่างๆ ในขบวนการกลึง การดำเนินการผลิตในปัจจุบันนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีเครื่องมือกลเข้าช่วยในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาในด้านของเครื่องมือและวัสดุในการผลิตเครื่องมือขึ้นมาเป็นลำดับ โดยวัสดุที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตใดๆ คือวัสดุที่ใช้ในการตัดปาดชิ้นงานได้ผลถูกต้องในราคาต่ำสุดเท่าที่ทำได้ ซึ่งคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับวัสดุเครื่องมือกลใด ๆ ได้แก่ ความสามารถในการต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง ความมีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ความด้านทานต่อการขัดสี และ ความเหนียวแน่น ซึ่งเพียงพอที่จะด้านทานต่อการแตกร้าวได้ ชุดเครื่องมือตัดใดๆอาจทำขึ้นได้จากวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิดสำหรับวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น ในการกลึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ขนาด จำต้องใช้อัตราการตัดของเครื่องมือแตกต่างกันไปตามขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางที่ต้องการ ซึ่งไม่จำเป็นที่เครื่องมือตัดต้องทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน อันอาจจะก่อให้เกิดผลเสียต่อทั้งชิ้นงานและตัวเครื่องมือตัดเอง วัสดุหลักที่ใช้ในการทำเครื่องมือตัดอาจกล่าวได้ดังนี้

(1) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) ใช้กันในช่วงที่ยังไม่มีการค้นพบเหล็กกล้าความเร็วสูง โดยวัสดุนี้จะมีปริมาณคาร์บอน 0.8%–1.20% จึงสามารถทำการชุบแข็งได้ดีและด้วยกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสมอาจเพิ่มความแข็งของมันจนมีค่าใกล้เคียงกับเหล็กกล้าความเร็วสูงต่างๆ หรืออาจทำให้มีความเหนียวแน่นได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตามเหล็กกล้านี้มีความสามารถในการชุบแข็งหรือความลึกในการชุบแข็งต่ำและจะสูญเสียความแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศา ดังนั้นจึงถูกจำกัดใช้เฉพาะเครื่องมือตัดขนาดเล็ก และไม่เหมาะสมในการตัดด้วยความเร็วสูงหรือใช้ในงานหนักแต่จะใช้ในการปฏิบัติกับวัสดุอ่อน

(2) เหล็กกล้าความเร็วสูง (High Speed Steel : HSS) เหล็กกล้าความเร็วสูงหรือเหล็กรอบสูงจะมีส่วนประกอบของโลหะผสมสูง มีความสามารถในการชุบแข็งได้ดีเป็นพิเศษ และสามารถรักษาสภาพของคมตัดที่ดีไว้ได้จนถึงอุณหภูมิประมาณ 650 องศา ซึ่งสภาพนี้เป็นคุณสมบัติในด้านความต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง หรือ ความแข็งขณะร้อนแดง (red hardness) อันเป็นคุณสมบัติที่ต้องการมากที่สุดในบรรดาเครื่องมือตัดต่างๆ โดยเหล็กกล้าทำเครื่องมือตัดชนิดแรกที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติดังกล่าถูกพัฒนาขึ้นโดย Frederick W. Taylor และ M. White ในปี ค.ศ. 1900 ซึ่งทำโดยการเติมทังสะเตน (tungsten) 18% และโครเมี่ยม 5.5% ลงเป็นธาตุผสมในเหล็กกล้า ส่วนผสมนี้สืบทอดมาจนถึงปัจจุบันโดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากธาตุผสมข้างต้นแล้ว ธาตุอื่นที่ใช้กันโดยปกติได้แก่ วานาเดียม โมลิบดินั่ม หรือ พลวงและคาร์บอน อนึ่งแม้ว่าเหล็กกล้าที่มีความเร็วสูงมีส่วนผสมแปรเปลี่ยนไปได้มากแต่อาจจัดกลุ่มออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- เหล็กกล้าความเร็วสูง 18–4–1 เหล็กกล้าชนิดนี้ประกอบด้วยทังสเตน 18% โครเมี่ยม 4% และวานาเดียม 1% จัดได้ว่าเป็นเหล็กกล้าที่ใช้ทำเครื่องมือได้เอนกประสงค์ที่ดีที่สุดตัวหนึ่ง

- เหล็กกล้าความเร็วสูงจากพลวง (Molybdenum High – Speed Steel) เหล็กกล้าความเร็วสูงจำนวนมากจะใช้พลวงเป็นธาตุผสมหลัก เนื่องจากหนึ่งส่วนผสมของมันจะใช้แทนทังสเตนได้ถึงสองส่วนเหล็กกล้าความเร็วสูงจากพลวง 6-6-4-2 ประกอบด้วยทังสเตน 6% พลวง 6% โครเมี่ยม 4% และวานาเดียม 2% มีคุณสมบัติในด้านความเหนียวแน่นและความสามารถในการตัดที่ดีเยี่ยม

-เหล็กกล้าความเร็วสูงพิเศษ เป็นเหล็กกกล้ารอบสูงที่มีการเติมโคบอลต์ลงไปในช่วง 2%–5 % เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูง ตัวอย่างในส่วนผสมหนึ่งในเหล็กกล้าชนิดนี้ ได้แก่ ส่วนธาตุผสมที่ประกอบด้วย ทังสเตน 20% โครเมี่ยม 4% วานาเดียม 2% และโคบอลต์ 12% ซึ่งจะใช้เฉพาะการตัดขนาดหนักที่จะต้องด้านทานกับแรงดันและอุณหภูมิสูง เนื่องจากราคาของวัสดุนี้จัดว่าสูงมาก

(3) โลหะผสมหล่อนอกกลุ่มเหล็ก (Cast Nonferrous Alloy) โลหะผสมนอกกลุ่มเหล็กจำนวนมากประกอบด้วยส่วนผสมหลัก โครเมี่ยม โคบอลต์และทังสเตนกับธาตุผสมในปริมาณน้อยกว่าตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปที่มีการสร้างรูปแบบคาร์ไบด์ เช่น แทนทาลัม (tantalum) พลวงหรือโบรอน (boron) ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมเป็นพิเศษสำหรับทำเครื่องมือตัด เมื่อหล่อให้เข้ารูปแล้ววัสดุจะมีความแข็งขณะร้อนแดงสูงและสามารถรักษามุมตัดที่ดีไว้ได้จนถึงอุณหภูมิ 925 องศาเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าความเร็วสูง มันจะสามารถใช้ได้ที่อัตราเร็วตัดสูงกว่าถึง 2 เท่าที่อัตราการป้อนเดียวกัน อย่างไรก็ตามโลหะผสมนี้จะมีความเปราะมากกว่า ไม่ตอบสนองต่อกรรมวิธีทางความร้อนและทำการตัดปาดได้ด้วยการเจียรนัยเพียงวิธีเดียวเท่านั้น เครื่องมือตัดที่มีรูปร่างซับซ้อนสามารถขึ้นรูปได้ โดยการหล่อในแม่แบบเซรามิคส์หรือโลหะ แล้วทำผิวสำเร็จโดยการเจียรนัย คุณสมบัติของชิ้นงานภายหลังการหล่อจะแปรสภาพไปตามระดับของการหล่อเย็นที่เนื้อวัสดุได้รับในระหว่างการหล่อ ซึ่งส่วนผสมของเนื้อวัสดุเหล่านี้จะอยู่ในช่วงของทังสเตน 12%–25% โคลอบต์ 40%–50% และโครเมี่ยม 15%–35% ร่วมกับธาตุที่ทำให้เกิดการก่อตัวของคาร์ไบด์ เช่นคาร์บอนในช่วง 1% –4% โดยสมบัติที่ได้จากส่วนผสมเหล่านี้คือ มีความต้านทานต่อการเกิดแอ่งและความต้านทานต่อการกระแทกได้มาก ส่วนในด้านของประสิทธิภาพในการตัดนั้นจะอยู่ระหว่างเหล็กกล้าความเร็วสูงและเหล็กกล้าคาร์ไบด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) คาร์ไบด์ (Carbide) มีดคาร์ไบด์ (Carbide cutting tool) ทำขึ้นได้ โดยทางโลหะผงเท่านั้นโดยผงโลหะของทังสเตนคาร์ไบด์และโคบอลต์จะถูกอัดให้มีรูปร่างตามต้องการแล้วนำเข้าสู่กระบวนการกึ่งยึดเหนี่ยวในเตาซึ่งมีบรรยากาศของไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 1550 องศา จากนั้นจึงทำผิวสมบูรณ์โดยการเจียรนัย เครื่องมือคาร์ไบด์นี้มีส่วนผสมของทังสเตนคาร์ไบด์ประมาณ 94% และโคบอลต์ 6% เหมาะสมกับการตัดปาดเหล็กหล่อและวัสดุอื่น ๆ จำนวนมาก ยกเว้นเหล็กกล้าเนื่องจากเศษดัดจะยึดติด หรือเชื่อมตัวเข้ากับผิวหน้าคาร์ไบด์และผังตัวลงในเครื่องมือตัดอย่างเร็ว อย่างไรก็ตามข้อบกพร่องนี้อาจแก้ไขได้ โดยการเติมไททาเนียมและแทนทาลัมคาร์ไบด์เข้าผสมพร้อมกันกับเพิ่มปริมาณของโคบอลต์ ซึ่งในเครื่องมือดัดของคาร์ไบด์ที่เหมาะแก่การปฏิบัติสำหรับเหล็กล้าจะประกอบไปด้วย ทังสเตนคาร์ไบด์ 82% ไททาเนี่ยมคาร์ไบด์ 10% และโคบอลต์ 8% ส่วนผสมนี้จะมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ เป็นผลให้มีแนวโน้มการสึกหรอที่ด้านบนน้อยลง เนื่องจากการแปรเปลี่ยนส่วนประกอบทำให้คาร์ไบด์มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไป โดยคาร์ไบด์ระดับคุณภาพต่างๆสามารถหาซื้อให้เหมาะสมกับการปฏิบัติการทั่วไป

คาร์ไบด์จะสามารถคงตัวไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1200 องศา ดังนั้นความแข็งขณะร้อนแดงของวัสดุนี้จึงมีเหนือว่าวัสดุโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุจากการสังเคราะห์ที่แข็งที่สุดเท่าที่ผลิตขึ้นได้และยังมีความแข็งแรงทางด้านแรงอัดสูงเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามมันมีข้อเสียในด้านที่มีความเปราะสูง มีความต้านทานต่อการกระทบกระแทกต่ำและต้องการฐานรองรับอย่างมั่นคงแข็งแรงเพื่อป้องกันการแตกร้าว ทั้งยังทำการเจียรนัยได้อย่างลำบาก เฉพาะกับล้อขัดซิลิกอนคาร์ไบด์หรือเพชรเท่านั้น โดยจะต้องรักษามุมห่าง (clearance angle) ไว้ให้ต่ำที่สุด เครื่องมือตัดคาร์ไบด์จะสามารถทำการตัดด้วยอัตราเร็ว 2 – 3 เท่า ของเครื่องมือตัดจากโลหะผสมหล่อแต่ในอัตราการป้อนที่น้อยกว่ามาก ในแง่เศรษฐกิจแล้วจึงควรนำเครื่องมือคาร์ไบด์มาใช้ให้มากที่สุด โดยเครื่องจักรสำหรับเครื่องมือคาร์ไบด์จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง มีกำลังพอเพียงและมีช่วงของการป้อนและอัตราเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับวัสดุต่าง ๆ

ทังสเตนคาร์ไบด์ที่มีความละเอียดของเกรนสูง (micrograin carbide) จะมีความแข็งและความแข็งแรงสูงเป็นอย่างยิ่ง ใช้งานในที่ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือตัดคาร์ไบลด์ปกติเนื่องจากอัตราเร็วตัดที่ใช้มีค่าต่ำจนเกินไปและในกรณีซึ่งเครื่องมือตัด โดยทั่วไปไม่สามารถทานต่อการสึกหรอได้ รวมทั้งปฏิบัติการขึ้นรูปหรือการตัดขาดเครื่องมือคาร์ไบด์อาจเคลือบด้วยตัวประสาน (bonded layer) ที่ขนาดความหนา 0.05-0.08 ม.ม. ของไททาเนี่ยมคาร์ไบด์ อลูมินัมออกไซด์ (aluminum oxide) หรือไทนาเนี่ยมไนไตรด์ (titanium nitride) เพื่อลดความร้อนจากการวิ่งผ่านของเศษตัดบนเครื่องมือและการแพร่ซึมหรือการยึดติดของเศษตัดรวมทั้งป้องกันการเกิดหลุมจากการสึกหรอโดยเครื่องมือที่เคลือบด้วยอลูมินัมออกไซด์จะสามารถทำการตัดด้วยอัตราเร็วใกล้เคียงกัน 2 เท่าของอัตราเร็วที่ได้จากการเคลือบด้วยสารอื่น อย่างไรก็ดีเครื่องมือตัดที่มีการเคลือบนี้ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีสะเก็ดมากหรือมีทรายเจือปนอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) เพชร (Diamond) เพชรใช้เป็นเครื่องมือตัดคมเดี่ยวสำหรับการตัดขนาดเบาที่อัตราเร็วสูง ซึ่งต้องมีการรองรับอย่างมั่นคงแข็งแรงเนื่องจากวัสดุเพชรมีความแข็งและเปราะสูงมากเป็นพิเศษ รูปแบบของการใช้งานคือ ใช้ในการตัดปาดวัสดุที่มีความแข็งจนยากต่อการปฏิบัติการด้วยเครื่องมืออื่น ๆ ทั้งยังต้องการความแม่นยำและผิวสมบูรณ์ที่ดีเยี่ยมหรือใช้ในการตัดขนาดเบาที่ความเร็วสูงสำหรับวัสดุอ่อนกว่า เช่น การตัดปาดพลาสติก ยางแข็ง คาร์บอนอัดและอลูมินัมที่อัตราเร็วตัด 5-25 เมตรต่อวินาที รวมทั้งสามารถใช้ในการตบแต่งล้อหินเจียรนัย การเจียรนัยและการขัดถูจำเพาะอย่าง

2.6 ความเร็วในการตัดของใบมีด

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดของการทำงานของใบมีดให้มีประสิทธิภาพ คือ ความเร็วของใบมีดในการตัด ความเร็วของใบมีดที่ใช้ในการตัดมีหน่วยเป็น f/min หรือ m/min เมื่อเครื่องกัดทำงานเราต้องกำหนดความเร็วรอบต่อนาที (r/min) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เพื่อนำไปหาความเร็วของใบมีด เหล็กที่เราใช้ตัดมีด้วยกันหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีความแข็ง และโครงสร้าง ที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นความเร็วของใบมีดก็จะต้องแตกต่างกันไปตามวัสดุที่นำมาตัดนั้นให้เหมาะสมกันไปด้วย

ส่วนประกอบอื่นๆที่นำมาใช้พิจารณาหาความเร็วรอบ มีดังนี้

- ชนิดของวัสดุที่นำมาตัด
- ชนิดของวัสดุที่นำมาทำใบมีด
- ความลึกของชิ้นงานที่เราตัด
- ประสิทธิภาพของเครื่องกัดและการตั้งค่าของเครื่อง

ตารางที่ 2.2 Hobbing Machine Cutting Speed(High-Speed Steel Cutter)

Hobbing Machine Cutting Speed		
Material	High-Speed Steel Cutter	
	f/min	m/min
Machine steel	70-100	21-30
Tool steel	60-70	18-20
Cast iron	50-80	15-25
Bronze	65-120	20-35
Aluminum	500-1000	150-300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงความเร็วรอบของใบมีดที่เหมาะสม ใช้ในการตัดชิ้นงาน โดยใช้มีดเหล็กกล้าความเร็วสูง (High-Speed Steel Cutter) (ที่มาจาก Fundamentals of Gear Design (Raymond J.drago))

ตารางที่ 2.3 Hobbing Machine Cutting Speed(Carbide Cutter)

Hobbing Machine Cutting Speed		
Material	Carbide Cutter	
	f/min	m/min
Machine steel	150-250	45-75
Tool steel	125-200	40-60
Cast iron	125-200	40-60
Bronze	200-400	60-120
Aluminum	1000-2000	300-600

จากตารางแสดงความเร็วรอบของใบมีดที่เหมาะสมใช้ในการตัดชิ้นงานโดยใช้ มีดคาร์ไบด์ (Carbide Cutter) (ที่มาจาก Fundamentals of Gear Design (Raymond J.drago))

2.7 อัตราส่วนความเร็วรอบระหว่างมอเตอร์ใบมีดตัด กับ มอเตอร์ของตัวจับชิ้นงาน

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของ Carbide Cutter และ ความเร็วรอบของวัสดุที่นำมาตัด คือ

$$\left|\frac{\omega_1}{\omega_2}\right| = \frac{z_2}{z_1}$$

ω_1 = ความเร็วรอบของ Carbide Cutter

ω_2 = ความเร็วรอบของวัสดุที่นำมาตัด

z_1 = จำนวนฟันของ Carbide Cutter

z_2 = จำนวนฟันของ วัสดุที่นำมาตัด

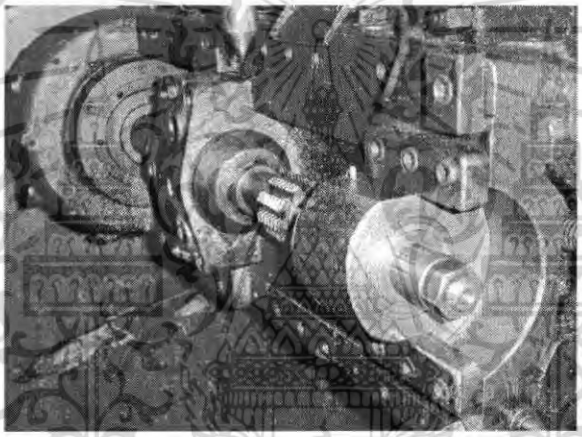
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ และการสร้าง

3.1 การออกแบบเครื่องกัดเฟือง

3.1.1 เครื่องกัดเฟืองของจริง

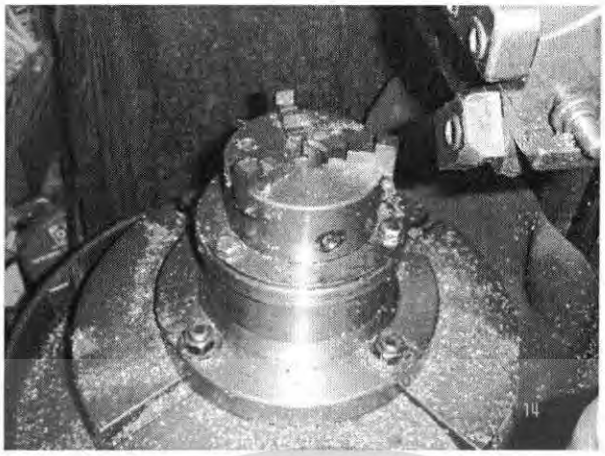
ในการออกแบบเครื่องกัดเฟือง เราได้ไปดูเครื่องกัดเฟืองที่ใช้ในการผลิตเฟืองของจริง และศึกษาถึงการสร้างและการทำงานมาจาก บริษัท ว่องไววิทย์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตและจัดจำหน่ายเฟือง



รูปที่ 3.1 ลักษณะการวางแกนของใบมีดของเครื่องกัดเฟือง

จากรูปที่ 3.1 จะเป็นรูปลักษณะของใบมีดที่ใช้ในการกัดชิ้นงาน ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนได้ตามขนาดโมดูลที่เราต้องการ และตัวที่ใช้ยึดจับใบมีด ก็สามารถเปลี่ยนทิศทางองศาของการวางใบมีดตามขนาดมาตรฐานของใบมีดนั้นๆ รวมทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ตามความหนาของเฟืองที่ต้องการได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 รูปตัวจับชิ้นงานของเครื่องกัดเฟือง

จากรูปที่ 3.2 จะเป็นแท่นที่ใช้จับยึดชิ้นงานที่จะนำมากัดเป็นเฟือง ซึ่งมีความแข็งแรงทนต่อการกัดของใบมีดได้ โดยไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเคลื่อน

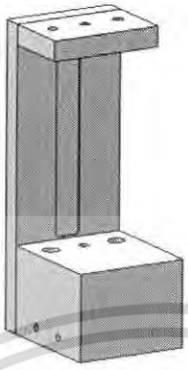
3.1.2 ชิ้นส่วนของเครื่องกัดเฟือง

ในการออกแบบส่วนประกอบของเครื่องกัดเฟืองนั้น เราจะใช้โปรแกรม Solidworks 2007 เป็นโปรแกรมของบริษัท SolidWorks Corporation เป็นโปรแกรมที่มีลิขสิทธิ์ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่จะช่วยออกแบบ 3 มิติและสร้างแบบ 2 มิติ ของเครื่องจักร, ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่าง ๆ รวมทั้งออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องกัดเฟืองด้วยซึ่งมีขนาดของชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ออกแบบอยู่ในภาคผนวก

รูปที่ 3.3 รูปของโปรแกรม Solidworks2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) โครงเครื่องกัดเฟือง



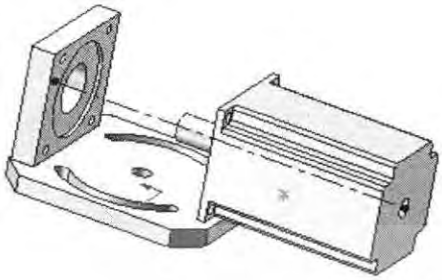
ตัวโครงเครื่องกัดเฟืองทำจากเหล็ก เป็นโครงสร้างหลักของเครื่องกัดเฟืองที่จะทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบต่างๆเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อให้มีความแข็งแรงต่อการทำงาน

(2) ก้านเพลาพร้อมเสื้อใส่แบริ่ง 2 ชิ้น

ประกอบด้วย แบริ่ง เสื้อใส่แบรริ่ง และก้านเพลา ที่ประกอบเข้าด้วยกันจำนวน 2 ชุด ซึ่งทำมาจากเหล็ก ทำหน้าที่ รับน้ำหนักมอเตอร์ ประครองเพื่อไม่ให้มอเตอร์สั่นขณะทำการกัดเฟืองและช่วยในการเคลื่อนที่ขึ้นลงของมอเตอร์

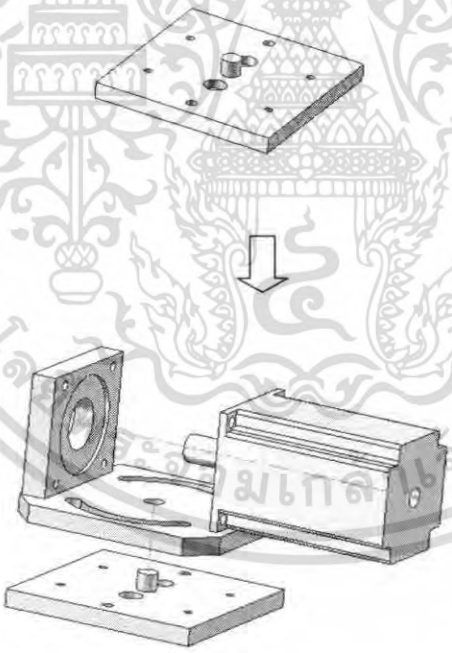
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ตัวแอลรองมอเตอร์



ตัวแอลรองมอเตอร์ทำมาจากเหล็ก ทำหน้าที่ เป็นตัวยึดมอเตอร์และมีร่องสำหรับใช้ปรับองศาของตัวมอเตอร์จับมีดตัด

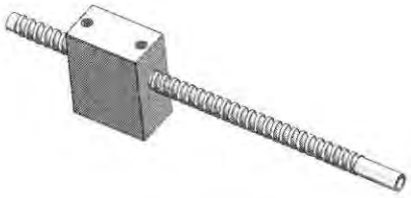
(4) จานล็อคมอเตอร์



จานล็อคมอเตอร์ทำมาจากเหล็ก ทำหน้าที่ ยึดตัวแอลรองมอเตอร์ไว้ติดกับตัวมันเองในลักษณะที่มอเตอร์จับใบมีดสามารถปรับทำองศาต่างๆกับเฟืองเปล่าได้

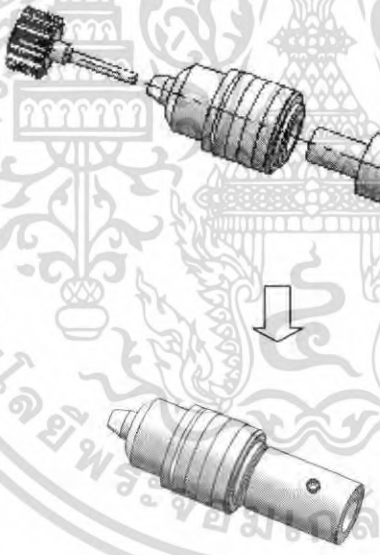
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) สกรูและตัวยึด



สกรูและตัวยึดทำมาจากเหล็ก ทำหน้าที่ ยึดจานล็อคมอเตอร์และเป็นตัวปรับการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวมอเตอร์ตัวจับมีดตัว

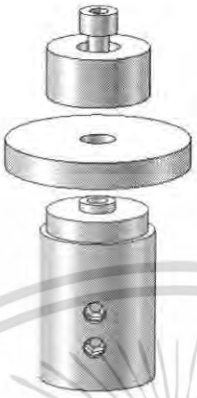
(6) กานเรียวแบบพอดีสวมแลตัวจับใบมีด



กานเรียวแบบพอดีสวมและตัวจับใบมีดยี่ห่อ Globe ขนาด 3/8 นิ้ว ก้านเรียวทำมาจากเหล็กเหลา ทำหน้าที่ ยึดเพลาของมอเตอร์และตัวจับใบมีดเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อให้ใบมีดให้หมุนไปได้ตามการหมุนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) ตัวยึดชิ้นงานที่จะนำมาตัด



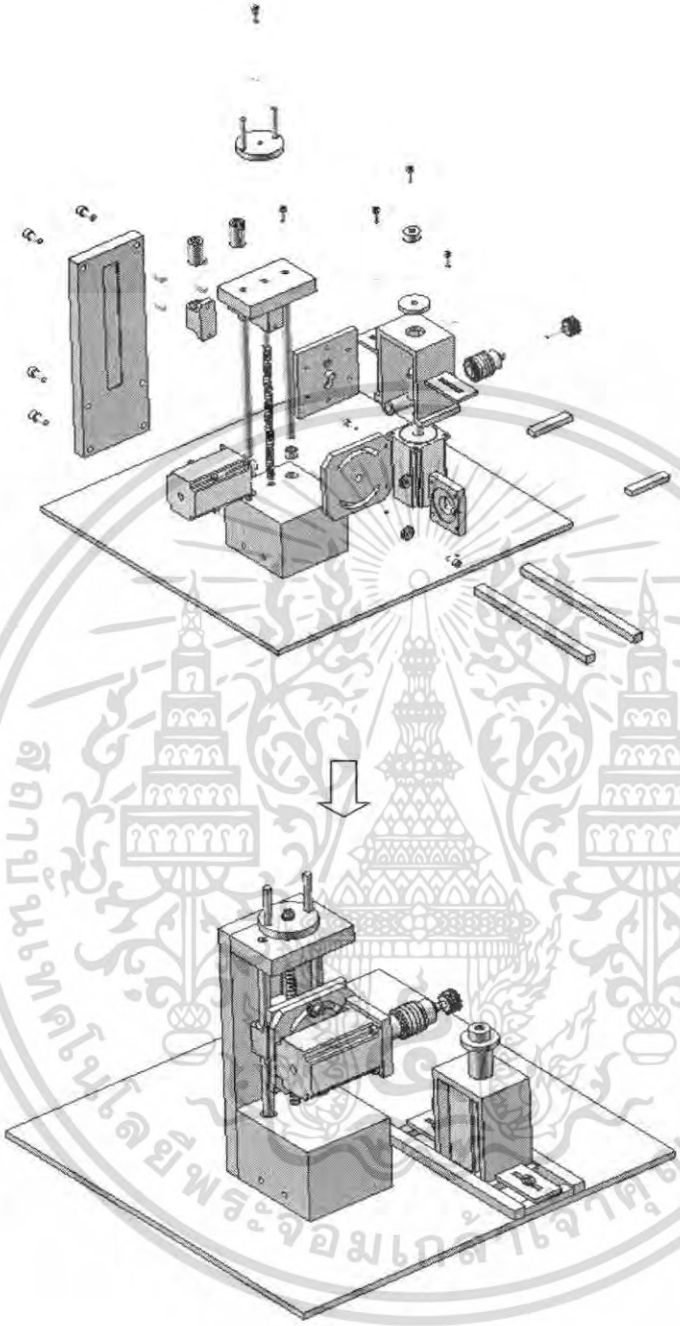
ตัวยึดชิ้นงานที่จะนำมาตัดทำมาจากเหล็ก ทำหน้าที่ เป็นตัวยึดจับวัสดุที่จะนำมาตัดเป็นชิ้นงานไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ซึ่งอาจจะทำให้งานเสียหายได้

(8) ที่จับหมุนใบมีดตัดให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลง

ที่จับหมุนใบมีดตัดให้เคลื่อนที่ทำมาจากเหล็ก ทำหน้าที่เป็นที่จับไว้สำหรับหมุนเกลียวเพื่อเคลื่อนที่ตัวจับใบมีดให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(9) รูปเครื่องกัดเฟืองด้านหน้า



หลักการทำงานของเครื่องกัดเฟือง

1. นำชิ้นงานที่จะตัดมายึดเข้ากับตัวจับชิ้นงาน

2. นำใบมีดที่ต้องการมายึดกับตัวจับใบมีด

3. ทำการวางระยะของใบมีดกับชิ้นงานและมุมที่ใช้ในการวางใบมีดให้ได้ระยะที่เหมาะสม (อธิบายในบทที่4)

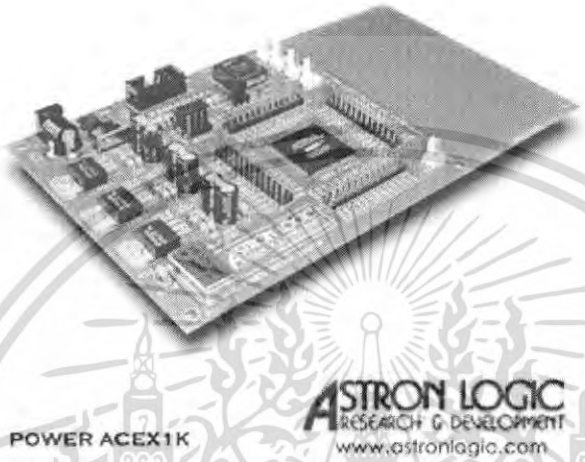
4. เมื่อเปิดการทำงานของเครื่องแล้วจึงค่อยๆทำการเลื่อนที่จับที่อยู่ด้านบนเพื่อทำการเลื่อนใบมีดตามขนาดความหนาของชิ้นงานลงจนตัดชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การควบคุมอัตราส่วนของ gear ratio

3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุมอัตราส่วนของ gear ratio

การออกแบบวงจรควบคุมอัตราส่วน (gear ratio) โดยการใช้บอร์ด FPGA รุ่น POWER ACEX1K-50



รูปที่ 3.4 บอร์ด FPGA รุ่นPOWER ACEX1K-50

ภายในบอร์ดจะใช้ชิป FPGA เบอร์ EP1K50TC144 เป็นชิป FPGA ที่มีความจุของเกตประมาณ 50,000 เกต มี Logic Elements (LEs) 2,880 LEs มีหน่วยความจำภายใน (Internal Memory) 40,960 Bits และมีขา I/O ให้สามารถใช้งานได้อย่างอิสระถึง 102 ขา สามารถใช้งานกับ I/O แบบ 5 V, 3.3V หรือ 2.5 V

3.2.2 โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบวงจรดิจิตอลลงในบอร์ด FPGA

โปรแกรม MAX+PLUS II เป็นโปรแกรมของบริษัท Altera Corporation เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบวงจรดิจิตอล เมื่อผู้ใช้ออกแบบวงจรดิจิตอลเสร็จลุล่วงตามต้องการแล้ว ลำดับต่อมาผู้ใช้สามารถจำลองการทำงานของวงจร เพื่อดูผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบ เมื่อถูกต้องทั้งหมดแล้ว ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการโปรแกรมลงในชิพ เพื่อที่จะนำชิพที่ได้ออกแบบนี้ไปใช้แทนวงจรดิจิตอลแบบเดิมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 โปรแกรม MAX+PLUS II

ในการเขียนโปรแกรมการควบคุมอัตราส่วนของ gear ratio นั้นจำเป็นต้องรู้หลักการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของ Carbide Cutter และ ความเร็วรอบของวัสดุที่นำมาตัด คือ

$$\left|\frac{\omega_1}{\omega_2}\right| = \frac{z_2}{z_1}$$

ω_1 = ความเร็วรอบของ Carbide Cutter

ω_2 = ความเร็วรอบของวัสดุที่นำมาตัด

z_1 = จำนวนฟันของ Carbide Cutter

z_2 = จำนวนฟันของ วัสดุที่นำมาตัด

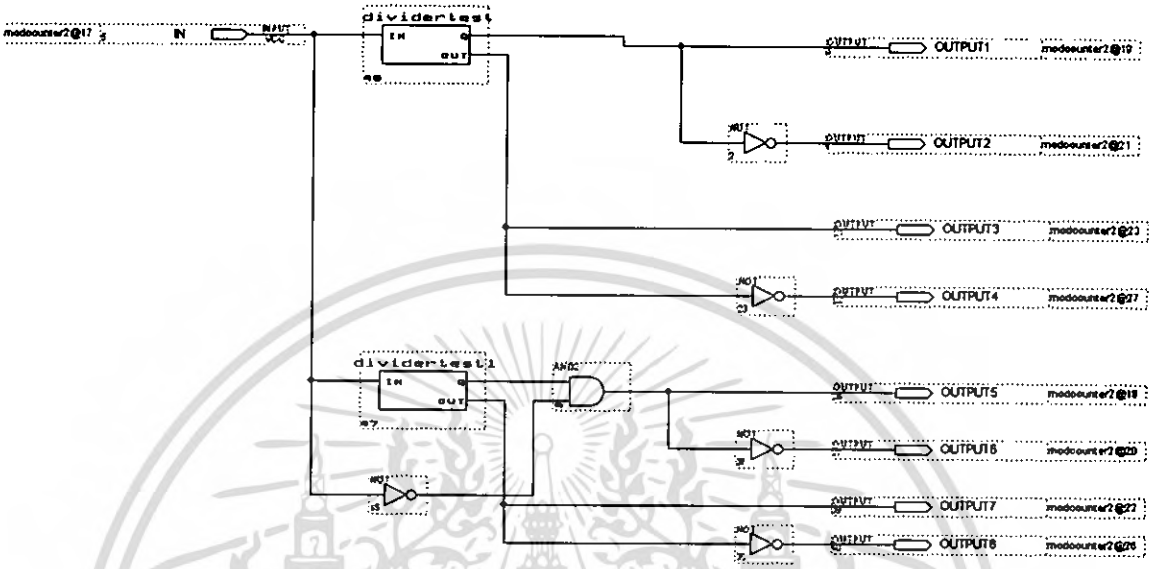
การนำเสนอการตัดเฟืองในโครงงานนี้ได้ยกตัวอย่างการกัดเฟืองที่มีขนาดจำนวนฟันเท่ากับ 56 ฟัน ดังนั้นเมื่อนำไปแทนในสูตรจะได้ว่า

$$\left|\frac{\omega_1}{\omega_2}\right| = \frac{56}{1}$$

ดังนั้นอัตราส่วนความเร็วรอบของใบมีดควรจะเป็นจะเป็น 56 เท่าของเกียร์แบงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นวงจรสำหรับควบคุมอัตราส่วนระหว่างมอเตอร์ใบมีดตัดกับมอเตอร์ของตัวจับชิ้นงานที่ใช้โปรแกรม MAX+PLUS II เขียนขึ้นมาเพื่อที่จะหารความความถี่ให้เป็นอัตราส่วน 1 ต่อ 56 หรืออัตราส่วนต่าง ๆ ตามที่เราเราต้องการ เป็นดังนี้



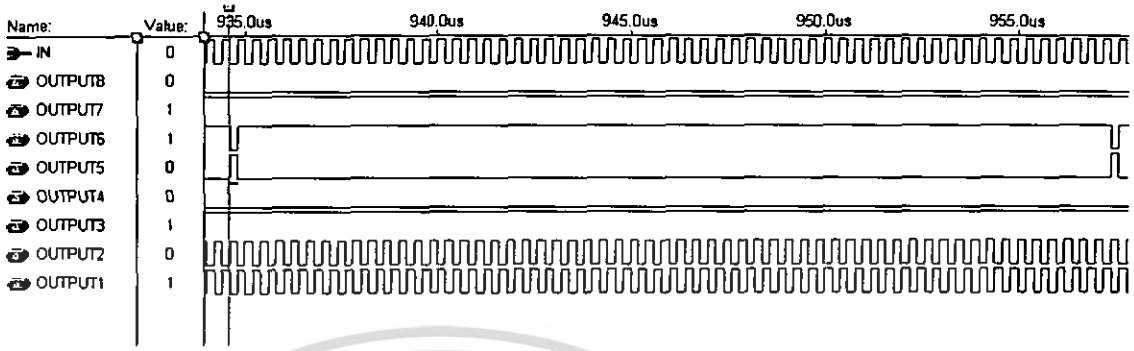
รูปที่ 3.6 วงจรหารความถี่

จากรูปวงจรหารความถี่ อธิบายได้ว่า ที่ขา IN จะทำการป้อนอินพุทที่เป็นสัญญาณพัลส์เข้าไป เมื่อสัญญาณเข้าไปที่ตัว dividertest ที่ขา Q ก็จะให้สัญญาณพัลส์ออกมาเหมือนกับขาเข้า(จากโปรแกรมที่ได้เขียนเอาไว้ ซึ่งอยู่ที่ภาคผนวก)ไปที่เอาท์พุท2 เอาท์พุท1 ส่วนที่ขา OUT ก็จะให้สัญญาณเป็น 1 ตลอด ไปที่เอาท์พุท3และ เอาท์พุท4 ซึ่งทั้ง 4 เอาท์พุทก็จะส่งไปที่มอเตอร์ที่ควบคุมใบมีดตัด ส่วนสัญญาณ IN ที่เข้าไปที่ตัว dividertest1 นั้นจะไม่มีสัญญาณพัลส์ออกมาที่ขา Q(จากโปรแกรมที่ได้เขียนเอาไว้ ซึ่งอยู่ที่ภาคผนวก) จนกว่าสัญญาณพัลส์ที่เข้าไปจะถึงลูกที่ 56 ที่ขา Q ก็จะให้สัญญาณพัลส์ออกมา 1 ลูก ออกไปเอาท์พุท5 เอาท์พุท6 แล้วก็จะกลับไปเป็นไม่มีสัญญาณพัลส์ออกมาที่ขา Q อีกจนกว่าสัญญาณพัลส์ที่เข้าไปจะถึงลูกที่ 56 อีกครั้งส่วนที่ขา OUT ก็จะให้สัญญาณเป็น 1 ตลอด ไปที่เอาท์พุท7และ เอาท์พุท8 ซึ่งทั้ง 4 เอาท์พุทก็จะส่งไปที่มอเตอร์ที่จับชิ้นงาน

เมื่อเราออกแบบวงจรจากโปรแกรม MAX+PLUS II แล้วเราได้ทำการจำลองรูปแบบของสัญญาณพัลส์ จากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าเอาท์พุท2 เอาท์พุท1 ที่เป็นมอเตอร์ที่ควบคุมใบมีดตัด จะให้สัญญาณพัลส์ เท่ากับ สัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามาจากอินพุท ส่วน เอาท์พุท5 เอาท์พุท6 ที่เป็นมอเตอร์ที่ควบคุมชิ้นงาน จะให้สัญญาณพัลส์ 1 พัลส์ เมื่อ เอาท์พุท2 และ เอาท์พุท1ให้สัญญาณพัลส์ออกมา 56 พัลส์ ส่วนเอาท์พุท3 เอาท์พุท4 สัญญาณที่ได้ออกมาจะเป็นสัญญาณแบบพัลซ์ซึ่งมีความถี่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปในสายทิศทาง 1 เส้นส่วนเส้นทิศทางที่เหลือให้ทำการใส่ระดับไฟเป็นActive ตลอดเวลาจะทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางที่ต้องการ เช่นเดียวกับ เอาท์พุท7 เอาท์พุท8



รูปที่ 3.7 Timing Diagram ของวงจรหาร 56

3.3 ชุดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ระบบเซอร์โว คือการควบคุมเครื่องจักรกลให้ทำงานตอบสนองด้านไดนามิคส์(Dynamic Response) เช่นความเร็ว อัตราเร่ง แรงบิด และตำแหน่ง ให้ได้ดีที่สุด (Optimum Solution) และใช้เวลาน้อยที่สุด (Time Optimum)

ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed loop control) ประกอบด้วย 3 โหมดการควบคุมคือ โหมดการควบคุมแรงบิด (Torque Control Mode) ซึ่งอยู่วงรอบหรือลูปในสุด โหมดการควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control Mode) และโหมดการควบคุมตำแหน่ง (Position Control Mode) ซึ่งอยู่ลูปด้านนอกสุด โดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ

1) เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)
2) ชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Drive or Servo Amplifier)
3) อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device เช่น Speed encoder และ Position Sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) และ ชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Amplifier)

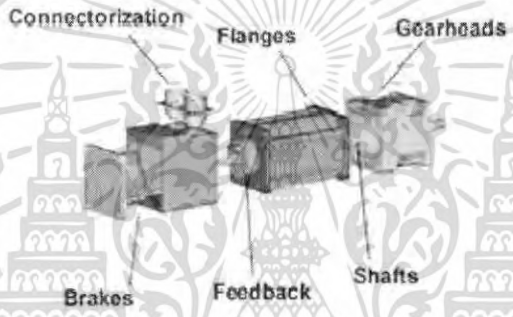
เซอร์โวมอเตอร์ที่มีใช้ในงานทั่วไปจะมีทั้งดีซีและเอซีเซอร์โว ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา DC Servo Motor จะมีการใช้งานมากกว่า โดยเฉพาะเครื่องจักรรุ่นเก่าๆ เนื่องจากช่วงที่ผ่านมาการควบคุมกระแสกระแสสูงๆนั้นจะต้องใช้ SCRs แต่ปัจจุบันทรานซิสเตอร์ได้พัฒนาขึ้นมาให้มีขีดความสามารถในการควบคุมกระแสสูงเพิ่มขึ้น และใช้งานได้ที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นจึงทำให้เอซีเซอร์โวได้ถูกนำมาใช้งานมากขึ้นโดยเฉพาะเครื่องจักรรุ่นใหม่ล้วนแล้วแต่ใช้เอซีเซอร์โวซึ่งในโปรเจคนี้เราใช้ Servo Motor รุ่น GYS201DC1-CA และ ชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว รุ่น RYB201S3-VBC

รูปที่ 3.8 Servo Motor รุ่น GYS201DC1-CA

รูปที่ 3.9 Servo Amplifier รุ่น RYB201S3-VBC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์โดยทั่วไปจะต้องใช้งานในระบบ Closed loop เท่านั้น ไม่สามารถเลือกให้เป็น Open loop หรือ Closed loop ระบบเอซีไดรฟ์ เซอร์โวมอเตอร์ไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ดีหากไม่มีสัญญาณจาก Encoder ป้อนกลับไปยังชุดขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo drive) ระบบจำเป็นต้องใช้ Encoder เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในระบบควบคุมเสมอ เสมือนกับเป็นของคู่กันระหว่างเซอร์โวมอเตอร์และ Encoder ขาดซึ่งกันและกันไม่ได้ จึงทำให้บริษัทผู้ผลิตออกแบบคิดสร้างเซอร์โวมอเตอร์และ Encoderรวมไว้เป็นตัวเดียวกัน จึงทำให้ลักษณะโครงสร้างโดยรวมของเซอร์โวมอเตอร์ที่พบเห็นในเชิงพานิชย์ทั่วไป จึงมีลักษณะเป็นแพคเกจ (package) ซึ่งประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์และ Encoder (ติดอยู่ที่ส่วนท้ายของมอเตอร์) รวมไว้เป็นชุดเดียวกัน ดังรูป

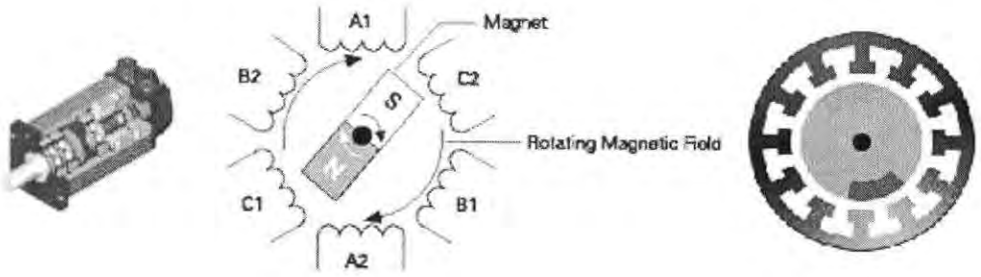


รูปที่ 3.10 ส่วนประกอบ Servo Motor

Gearheads = เกียร์สำหรับลดความเร็วรอบเพื่อเพิ่มแรงบิด
Shafts = แกนเพลาของมอเตอร์
Flanges = หน้าแปลนสำหรับติดตั้งมอเตอร์
Feed back = อุปกรณ์ป้อนกลับ เช่น Encoder
Connectorization = ขั้วต่อสายไฟเข้ามอเตอร์
Breakes = เบรก

โครงสร้างของ AC Servo Motor จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ สเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งคล้ายกับมอเตอร์ 3 เฟสทั่ว ๆ ไป โดยสเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวด 3 ชุดที่สมดุล ขดลวดภายในจะต่อเป็นแบบสตาร์ (Star หรือ WYE) และมีสายต่อมาที่ขั้ว ต่อสายด้านนอก 3 เส้น (จุดนิวทรอลจะอยู่ด้านใน) ส่วนโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ไม่มีขดลวดพัน ไม่มีคอมมิวเตเตอร์ และไม่มีแปรง (Brushless)

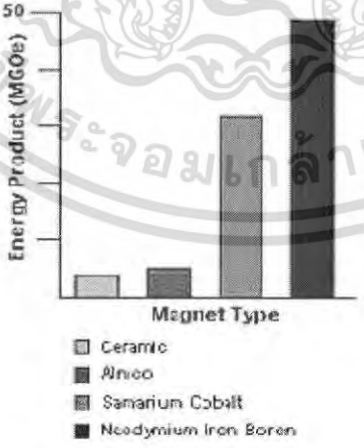
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 โครงสร้างของ AC servo Motor

จากลักษณะโครงสร้างของโรเตอร์และหลักการทำงาน (เมื่อป้อนไฟ 3 เฟสเข้าขดลวด จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน และส่งผลให้โรเตอร์ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรวิ่งตาม) ดังที่กล่าวมาจึงทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีชื่อเรียกขานแตกต่างกันไป เช่น Permanent Magnet Synchronous Motor,PMSM , AC Servo motor, AC Brushless, หรือ Brushless Motor เป็นต้น

สำหรับวัสดุที่นำมาสร้างแม่เหล็กถาวรนี้จะแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับราคาและเทคโนโลยีของบริษัทผู้ผลิตนั้นๆ ซึ่งมีตั้งแต่ชนิดที่ราคาถูกเช่น เซรามิก (เฟอไรต์) จนถึงการใช้วัสดุที่มีราคาแพงอย่างเช่น ซามาเรียม โคบอลต์ หรือ นีโอไดเมียม เป็นต้น (ปัจจุบันเอซีเซอร์โวมอเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้วัสดุสารแม่เหล็กแบบ นีโอไดเมียม เนื่องจากมีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก และความเหมาะสมเรื่องราคาดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุสารแม่เหล็กแบบอื่นๆ)

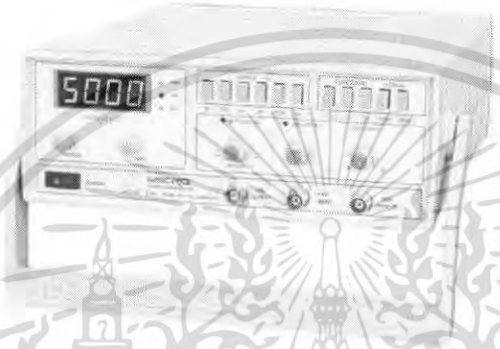


รูปที่ 3.12 วัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator)

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบวงจรหารความถี่แล้ว ก็จะทำการป้อนสัญญาณที่มีรูปแบบและความถี่เข้าในวงจร ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) ซึ่งเครื่องกำเนิดสัญญาณนี้ จะให้รูปสัญญาณออกมาได้หลายแบบ เช่น คลื่นรูปไซน์ รูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม หรือแบบฟันเลื่อย ในการกัดเฟืองนี้จากวงจรที่ออกแบบใช้สัญญาณแบบพัลส์ ซึ่งมีรูปสี่เหลี่ยม และใช้การปรับความถี่ที่ต้องการ



รูปที่ 3.13 เครื่องกำเนิดสัญญาณ(Function Generator)

3.3.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการควบคุมมอเตอร์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ จะทำการรันวงจรดิจิตอลที่เขียนในโปรแกรม MAX+PLUS II ลงในบอร์ด FPGA

2. บอร์ด FPGA รุ่น POWER ACEX1K- 50 จะทำการโปรแกรมลงในชิพ เพื่อที่จะนำชิพที่ได้ออกแบบนี้ไปใช้แทนวงจรดิจิตอลที่ได้ออกแบบไว้

3. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) จะทำการป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถปรับความถี่ได้ ให้กับ ขา IN ของบอร์ด FPGA

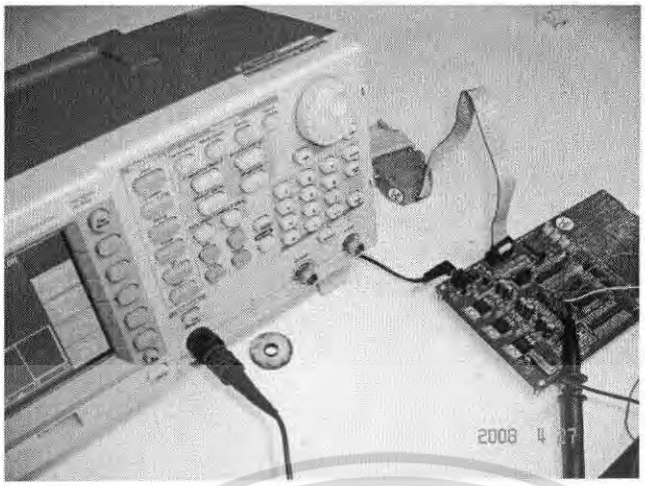
4. ชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Amplifier) ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ตามที่ได้รับสัญญาณพัลส์มากจากบอร์ด FPGA

5. เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ถูกควบคุมโดยชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Amplifier) ให้ทำการหมุนใบมีด และ ตัวจับชิ้นงาน

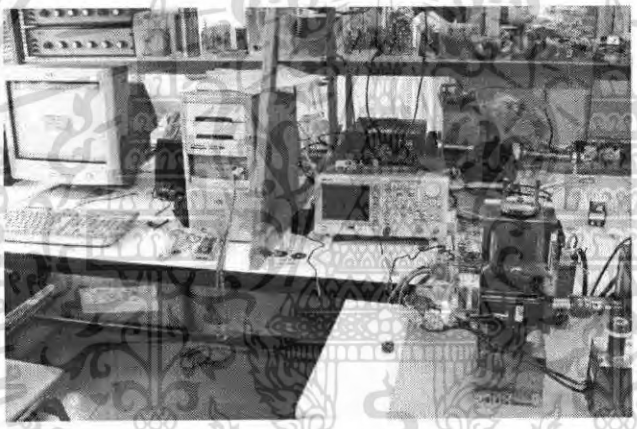
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการควบคุมมอเตอร์

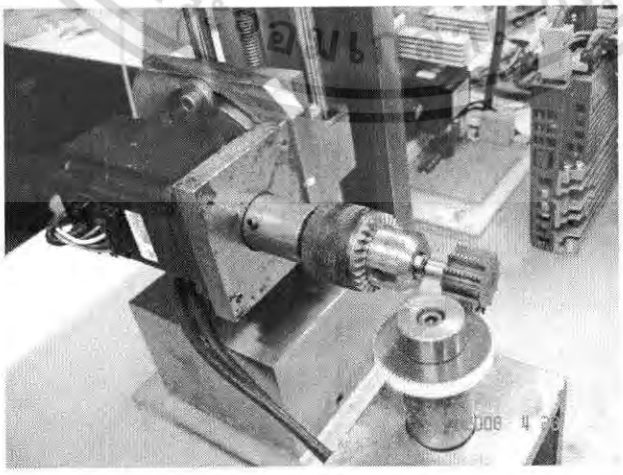
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณ เข้ากับบอร์ด FPGA



รูปที่ 3.16 การต่ออุปกรณ์ทั้งหมด พร้อมใช้งาน



รูปที่ 3.17 ใบมีดขณะตัดกับชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

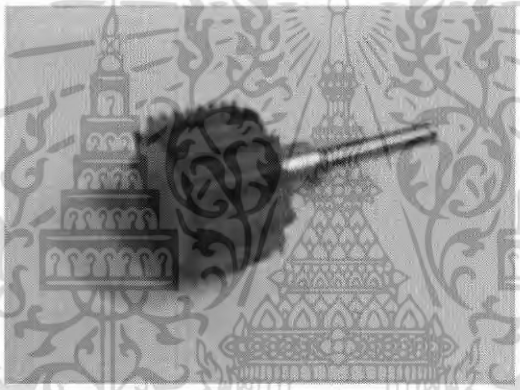
บทที่ 4

ผลการทดลอง

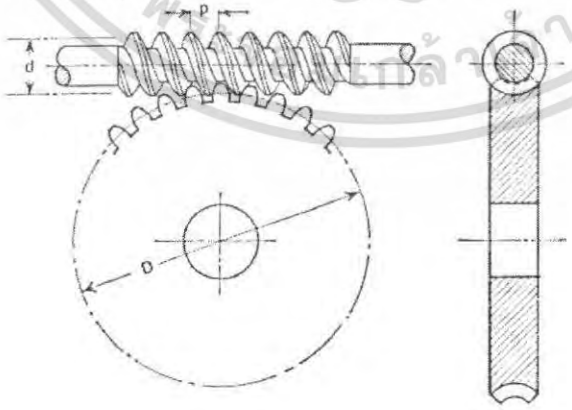
4.1 ขั้นตอนการทำเฟือง

4.1.1 การหา module ของใบมีด

ทฤษฎีของเฟืองที่ขบกันนั้น จะต้องเป็นเฟืองที่มีโมดูลที่เท่ากัน ดังนั้นในการกัดเฟือง เฟืองที่เราได้ ก็จะมีโมดูลเท่ากับใบมีดที่ใช้ในการกัด ใบมีด hob ที่เราใช้ในการกัดมีทฤษฎีที่คล้ายกับเฟืองหนอน ดังนั้นเราจึงใช้หลักการของเฟืองหนอนในการหา module ของใบมีดได้จากสูตรของเฟืองหนอน คือ



รูปที่ 4.1 ใบมีดที่ใช้ในการตัด



รูปที่ 4.2 แสดงระยะพิตช์ของเฟืองหนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p_x /π (มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร)

m = โมดุลของเกลียวหนอน

p_x = ระยะระหว่างยอดฟันถึงยอดฟันอันถัดไป

จากสูตร m = 1.575/3.14

m = 0.5

ดังนั้นใบมีดนี้จึงมีขนาด module = 0.5 เฟืองที่ทำจากใบมีดนี้จะได้ module เท่ากับ 0.5

4.1.2 การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเกียร์แบงค์

เกียร์แบงค์ คือ แผ่นวงกลมผิวเรียบที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ตามที่เราคำนวณ สัมพันธ์กับจำนวนฟันและขนาดโมดูล ตามที่เราต้องการ เรากำหนดให้เฟืองที่จะกัดฟันเฟืองมีขนาดจำนวนฟันเท่ากับ 56 ฟัน ดังนั้นเราจะหาขนาดของเกียร์แบงค์ได้จากสูตร

$d_a = m(z + 2)$

z = จำนวนฟันของเฟือง

d_a = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกียร์แบงค์

m = โมดุลของเกลียวหนอน

$d_a = (0.5)56 + 2(0.5)$

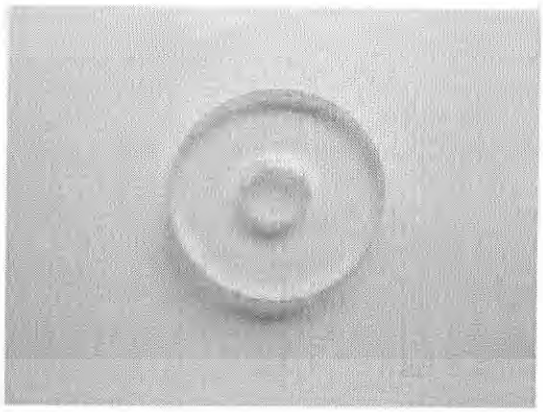
d_a = 29 mm

เราจะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเกียร์แบงค์ ที่จะนำมาตัดเป็นเฟืองจำนวน 56 ฟัน Module = 0.5 คือ 29 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.3 แสดงขนาดของวัสดุที่นำมาตัดเป็นเฟือง

จากรูปวงกลมวงนอกสุด ซึ่งคือขนาดของ วัสดุที่นำมาตัดเป็นเฟือง มีเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิตซ์เท่ากับ 29 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.4 เกียร์แบงค์ขนาด 29 มิลลิเมตร

ในกรณีที่ต้องการกัดเฟืองที่มีขนาดจำนวนฟันเท่ากับ 80 ฟัน ขนาดของเกียร์แบงค์หาได้จากสูตร

$d_a = m(z + 2)$

z = จำนวนฟันของเฟือง

d_a = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกียร์แบงค์

m = โมดุลของเกลียวหนอน

$d_a = (0.5)80 + 2(0.5)$

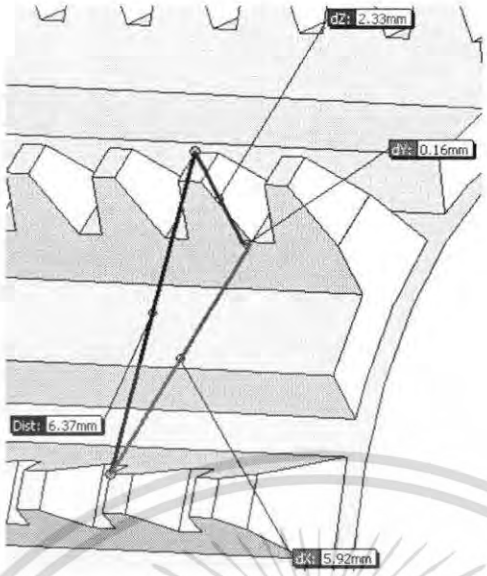
$d_a = 81$ mm

ขนาดของเกียร์แบงค์ที่จะนำมาตัดเป็นเฟืองจำนวน 80 ฟัน module = 0.5 คือ 81 มิลลิเมตร

4.1.3 การหามุมในการวางใบมีด

ใบมีดที่นำมาตัดเฟือง จะกัดเฟืองออกมาเป็นเฟืองตรงได้ จะต้องวางใบมีดให้มีการเอียงตาม ขนาดโมดุลของแต่ละโมดุล ซึ่งมีวิธีการหาดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงระยะของฟันที่เลื่อนไปของใบมีด

เส้นสีดำมีขนาดเท่ากับ 6.37

เส้นสีเขียวมีขนาดเท่ากับ 0.16

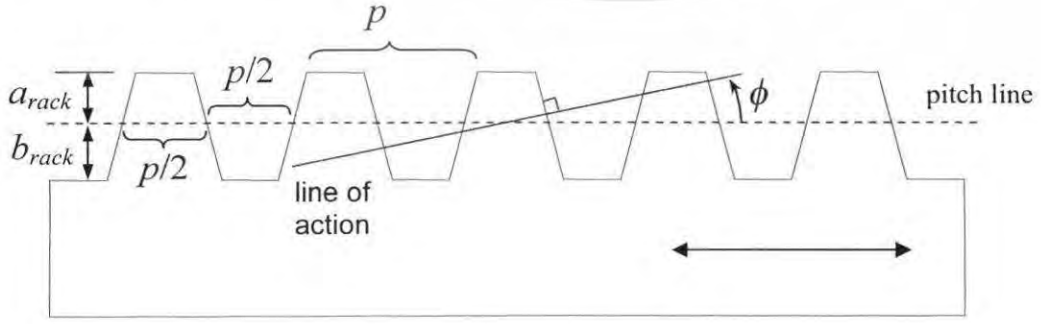
$$\text{Tan}\ \phi^{-1} = \frac{0.16}{6.37} = 0.02511$$

$$\phi = 1.29 \text{ องศา}$$

ดังนั้นใบมีดจะต้องวางเอียงทำมุม 1.29 กับแนวราบ จึงจะได้ฟันเฟืองที่ตรง

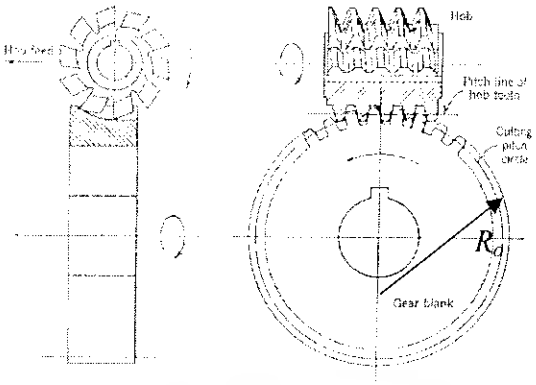
4.1.4 ระยะลึกใบมีดที่จะกัดเข้าไปในเกียร์แบงค์

ในการจะกัดเฟือง จะต้องมีการกำหนดระยะในการตัด หรือระยะที่จะลึกเข้าไปของคมตัดของใบมีดที่จะกินเข้าไปในชิ้นงาน



รูปที่ 4.6 แสดงแอดเดนดัมและดีเดนดัมของใบมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Generating a spur gear with a hob.

รูปที่ 4.7 แสดงเส้นรัศมีของวงกลมพิตช์ของเกียร์แบงค์

สิ่งที่ควรรู้ก่อนที่จะต้องวางระยะของใบมีดคือ

- วงกลมพิตช์ของเฟืองที่ถูกตัดจะเท่ากับวงกลมพิตช์ของใบมีด
- ดีเดนดัมของเกียร์ที่ถูกตัดจะเท่ากับแอดเดนดัมของใบมีด $b = a_{rack}$
- แอดเดนดัมของเกียร์ที่ถูกตัดจะขึ้นอยู่กับรัศมีของเกียร์แบงค์ลบด้วยรัศมีของวงกลมพิตช์

จะได้ระยะแอดเดนดัม $a = R_0 - R$ โดยที่ $R = pN/2\pi$

ดังนั้นวิธีการคำนวณหาระยะของใบมีดที่จะกัดกับเกียร์แบงค์คือ a+b (รูปที่ 4.7)

หา a จาก

$$a = R_0 - R$$

R_0 = รัศมีของวงกลมพิตช์ของเกียร์แบงค์ (14.5 มิลลิเมตร)

R = รัศมีของวงกลมพิตช์ของเฟืองที่นำมาตัด

จาก $R = pN/2\pi$

p = ระยะพิตช์ของใบมีดที่นำมาตัด (1.571 มิลลิเมตร)

N = จำนวนฟัน

แทนค่า $R = 1.571*56/2\pi$

$R = 14$ มิลลิเมตร

ฉะนั้นจาก $a = R_0 - R$

$a = 14.5 - 14$

$a = 0.5$ มิลลิเมตร

หา b จาก $b = a_{rack}$

$b = 0.5$ มิลลิเมตร

ระยะลึกใบมีดที่จะกัดกับเกียร์แบงค์ คือ $a + b = 0.5+0.5 = 1$ มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การหา gear ratio

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของ Carbide Cutter และ ความเร็วรอบของวัสดุที่นำมาตัด คือ

$$\left|\frac{\omega_1}{\omega_2}\right| = \frac{z_2}{z_1}$$

ω_1 = ความเร็วรอบของ Carbide Cutter

ω_2 = ความเร็วรอบของวัสดุที่นำมาตัด

z_1 = จำนวนฟันของ Carbide Cutter

z_2 = จำนวนฟันของ วัสดุที่นำมาตัด

$$\left|\frac{\omega_1}{\omega_2}\right| = \frac{56}{1}$$

อัตราส่วนความเร็วของใบมีดจะเป็น 56 เท่าของเกียร์แบงค์

4.1.6 การ set up ชิ้นงานและเครื่องกัดก่อนลงมือกัดชิ้นงาน

1. หา module ของใบมีดและหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเกียร์แบงค์

2. นำชิ้นงานที่จะตัดมายึดเข้ากับตัวจับชิ้นงาน

3.ตั้งระยะลึกของใบมีดที่จะกัดเข้าไปในเกียร์แบงค์

4. เชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์, บอร์ด FPGA, เครื่องกำเนิดสัญญาณ, ชุดควบคุมการขับเคลื่อนและเซอร์โวเซอร์โวมอเตอร์เข้าด้วยกัน

5. นำใบมีดที่ต้องการมายึดกับตัวจับใบมีด

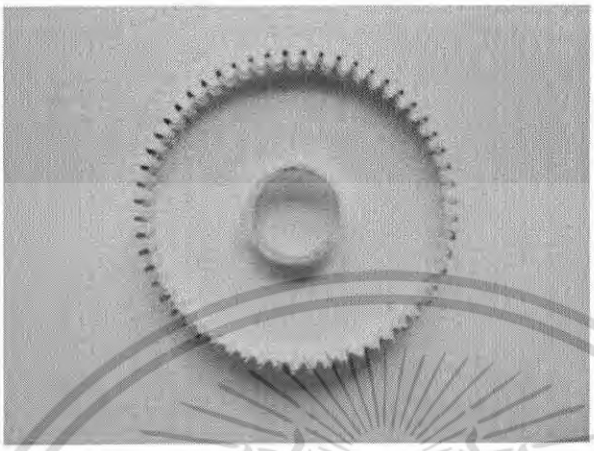
6. ทำการวางระยะของใบมีดกับชิ้นงานและมุมที่ใช้ในการวางใบมีดให้ได้ระยะที่เหมาะสม

7. เมื่อเปิดการทำงานของเครื่องแล้วจึงค่อยๆทำการเลื่อนที่จับที่อยู่ด้านบนเพื่อทำการเลื่อนใบมีดตามขนาดความหนาของชิ้นงานลงจนตัดชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 ชิ้นงานที่ตัดแล้ว

หลังจากทำตามขั้นตอนแล้ว เราก็จะได้เฟืองตรงออกมาตามรูป ดังนี้



รูปที่ 4.8 เฟืองตรงโมดุลเท่ากับ 0.5 และมีจำนวนฟันเท่ากับ 56 ฟัน

รูปที่ 4.9 เฟืองตรงโมดุลเท่ากับ 0.5 และมีจำนวนฟันเท่ากับ 80 ฟัน

การกัดเฟืองในโครงงานนี้เลือกใช้วัสดุที่นำมาตัดเป็นอะคริลิค และ อลูมิเนียม ซึ่งในการเลือกใช้วัสดุในการกัดนั้นขึ้นอยู่กับใบมีดเป็นหลักว่าใบมีดนั้นมีความคงทนต่อวัสดุที่ใช้ในการกัดมากน้อยเพียงใด โดยในโครงงานนี้ได้ใช้ใบมีดที่เป็นมีดคาร์ไบด์ ซึ่งเป็นวัสดุจากการสังเคราะห์ที่แข็งที่สุดเท่าที่ผลิตขึ้นได้และยังมีความแข็งแรงทางด้านแรงอัดสูงเป็นอย่างยิ่ง เหมาะสมกับการตัดปาดเหล็กหล่อและวัสดุอื่นๆจำนวนมากยกเว้นเหล็กกล้า เนื่องจากเศษตัดจะยึดติดหรือเชื่อมตัวเข้ากับผิวหน้าคาร์ไบด์และฝังตัวลงในเครื่องมือตัดอย่างเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในการทำโครงงานนี้ ต้องใช้ความรู้ในหลายๆด้านเข้ามารวมกัน เช่น การเขียนโปรแกรม FPG การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ การออกแบบโครงสร้างของเครื่องกัดเฟือง ศึกษาทฤษฎีของเกียร์ ซึ่งในการหาข้อมูล และทำการทดลองก่อนที่จะนำมาทำเป็นผลงานจริงๆนั้น ใช้เวลานาน ทำให้ผลงานที่ออกมาอาจไม่ตรงกับที่คิดไว้ เนื่องจากไม่เหลือเวลาในการปรับปรุง ควรปรับปรุงโดยการวางแผนเวลาล่วงหน้า

เครื่องกัดเฟืองที่ทำอาจจะตัดเฟืองไม่ได้หลายขนาด เพราะสามารถตัดได้แต่เฟืองตรงที่มีแค่โมดุลเดียวเพราะว่ามีใบมีดเพียงแค่โมดูลเดียว แต่อาจแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนใหม่มีดให้เป็นโมดุลอื่น และก็ต้องศึกษาเพิ่มอีกว่าโมดุลเท่าไร ระยะพิดช์เท่าไร จึงจะสามารถหาขนาดของชิ้นงานที่นำมาตัดเป็นเฟืองโมดุลอื่นได้ ส่วนวิธีการออกแบบเครื่องควรจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรง ทนต่อการรับน้ำหนักและการสั่นสะเทือน เพราะเฟืองที่กัดมีความละเอียดมาก และการกัดควรเริ่มกัดทีละน้อยก่อน แล้วค่อยกินเนื้องานเพิ่มขึ้น เพราะถ้ากัดงานมากไปอาจทำให้มีดหักหรือมอเตอร์อาจรับแรงโหลดมาก ทำให้เกิดความเสียหายได้

เฟืองที่ได้จากการกัดบางชิ้นก็สามารถใช้งานได้ แต่ตอนทดลองตัดเฟืองตอนแรกๆบางชิ้นก็ไม่ได้ฟันและขนาดตามต้องการ เพราะอาจเกิดจากการตั้งระยะห่างที่คลาดเคลื่อน การสั่นสะเทือนของชิ้นงานที่ทำการตัดและอาจเกิดจากยังควบคุมความเร็วของมอเตอร์ยังไม่คงที่ตามอัตราส่วนที่ควรจะเป็น ซึ่งสามารถทำการแก้ไขได้โดยการออกแบบเครื่องให้ทนต่อการสั่นสะเทือนและทำสเกลในการวางระยะห่างของชิ้นงานกับใบมีดให้มีมาตรฐานให้ดียิ่งขึ้นและต้องควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ตลอดในระยะเวลาที่เครื่องทำงานในทางเดียวกันงบประมาณก็ต้องเพิ่มขึ้นตามคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. The Theory & Practice of Worm Gear Drives (Illes Dudas)
2. Fundamentals of Gear Design (Raymond J.drago)
3. Technology of machune tools Fourth Edition (Krar Oswald)
4. Engineering Drawing for Technicians Volume1 (O.Ostrowsky)
5. http://woodgears.ca/gear_cutting/index.html
6. http://www.capital-tool.com/companypro.html
7. http://en.wikipedia.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

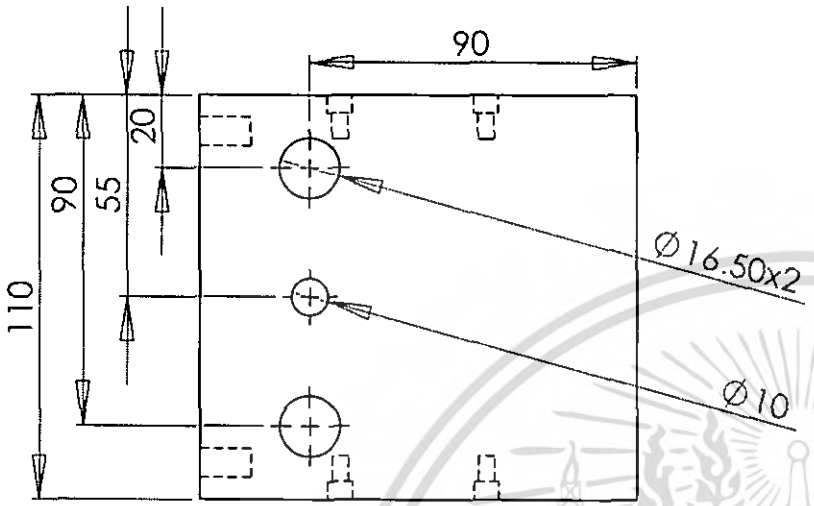
ชุดคำสั่งของวงจรหาร 56 ที่ dividertest

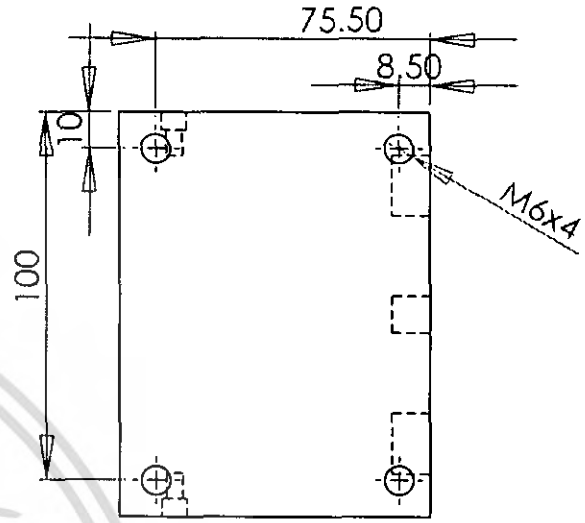
```
module dividertest (in,q,out);
input in;
output q,out;
reg q,out;
always
begin
out=1;
q=in;
end
endmodule
```

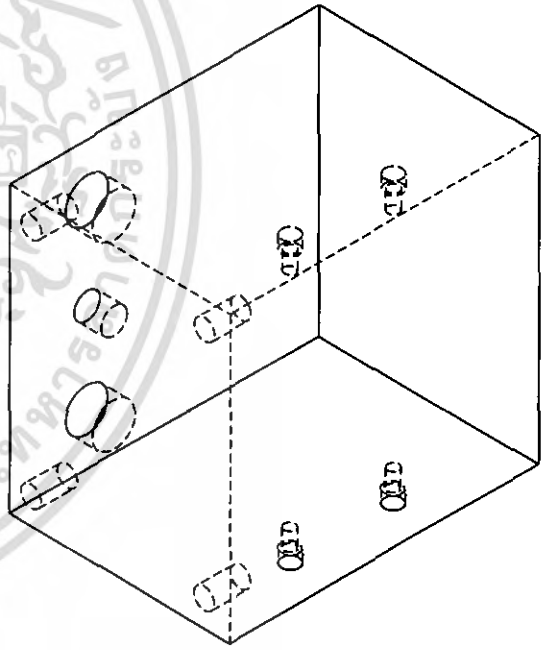
ชุดคำสั่งของวงจรหาร 56 ที่ dividertest1

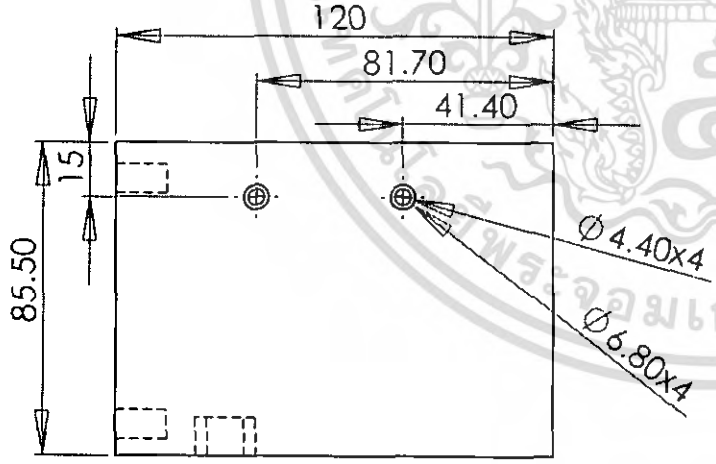
```
module dividertest1 (in,q,out);
input in;
output q,out;
reg q,out;
integer count;
always @ (posedge in)
begin
out=1;
q<=0;
if(count<55)
count=count+1;
else
if(q<=0)
q<=1;
else
count=0;
end
endmodule
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

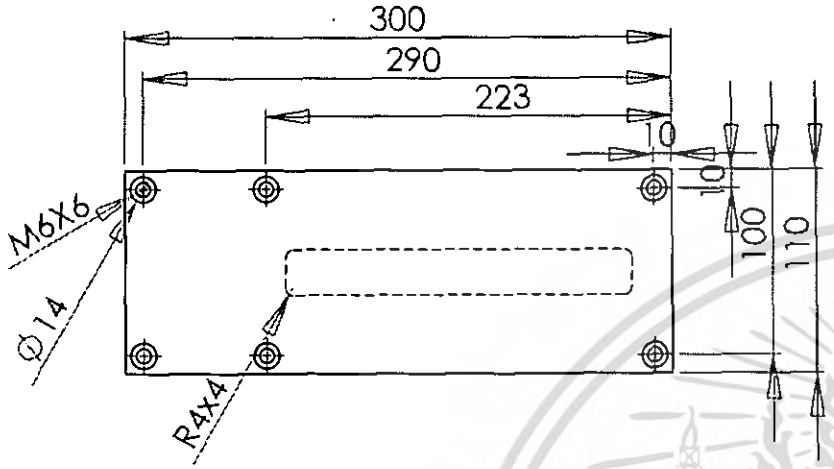


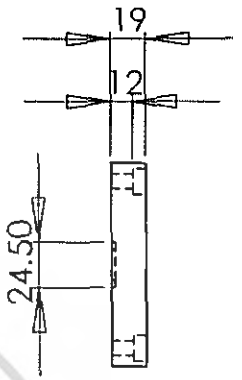


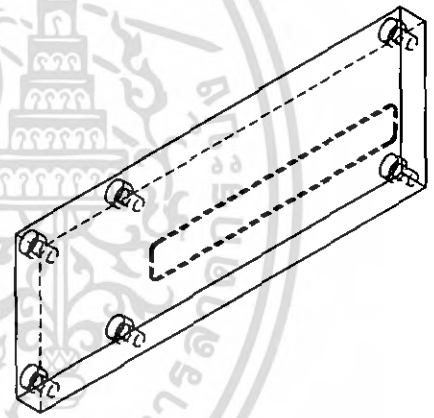




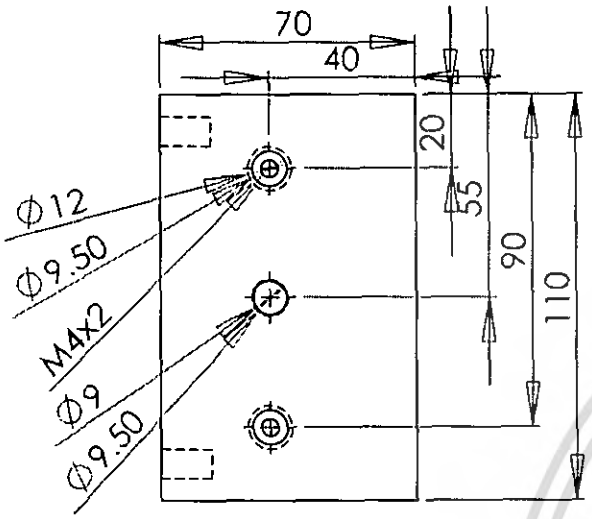
	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KAPN	base01
CHECKED	P.KANE	
CHECKED	T.SOMAPR	
SCALE 1:2		DWG. NO. HM 0001

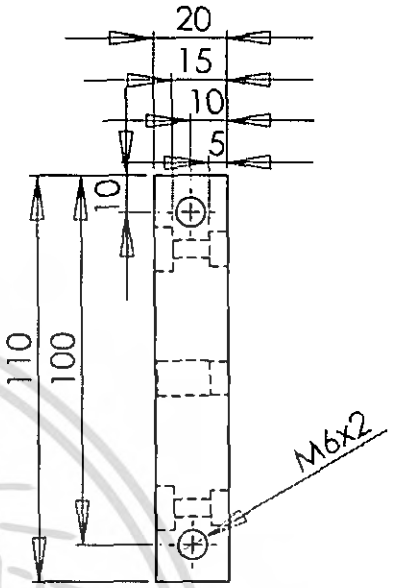


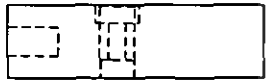


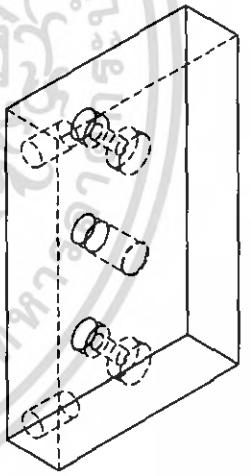


	NAME	TITLE:
DRAWN	C.KAPN	base 02
CHECKED	P.KANIT	
CHECKED	T.KOMLIFF	
SCALE 1:4		DWG. NO. HM 0002

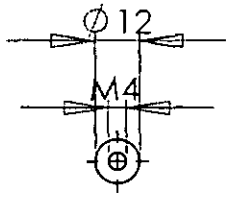


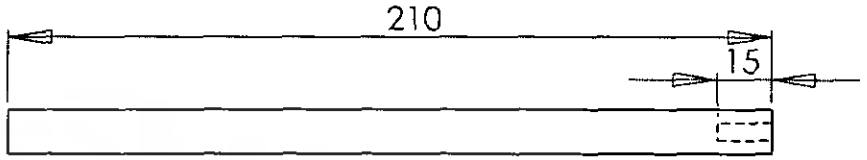


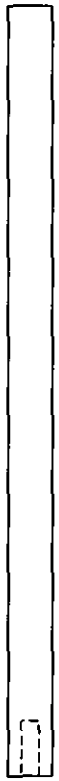


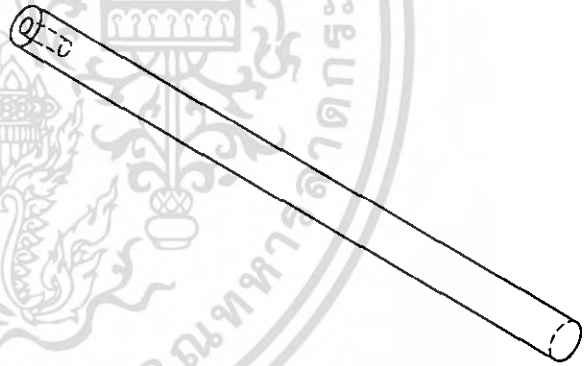


	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KARN	base 03
CHECKED	P.KANIT	
CHECKED	T.SOMKIT	
SCALE 1:2		DWG. NO. HM 0003



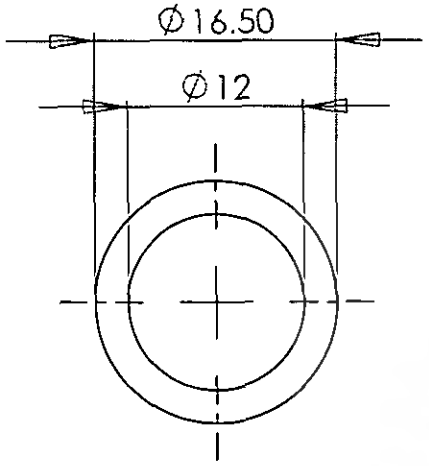


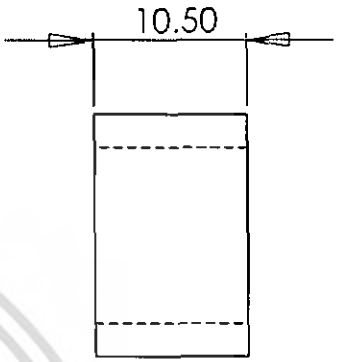


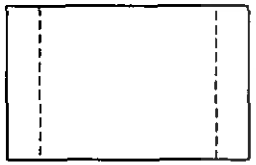


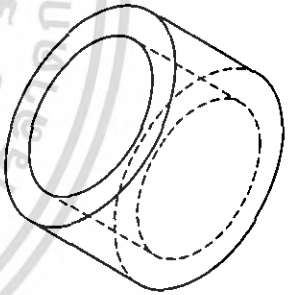
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

	NAME	TITLE:
DRAWN	C.KAPN	shaft
CHECKED	P.KANE	
CHECKED	T.KOMKHE	
SCALE 1:2		DWG. NO. HM 0004

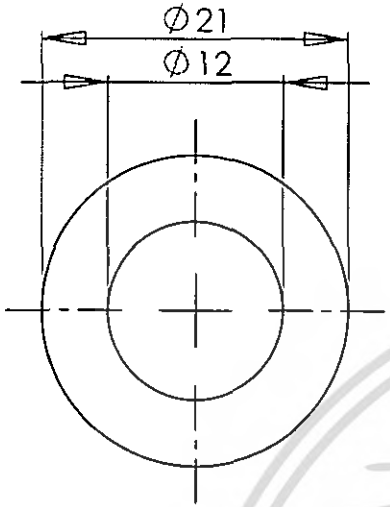


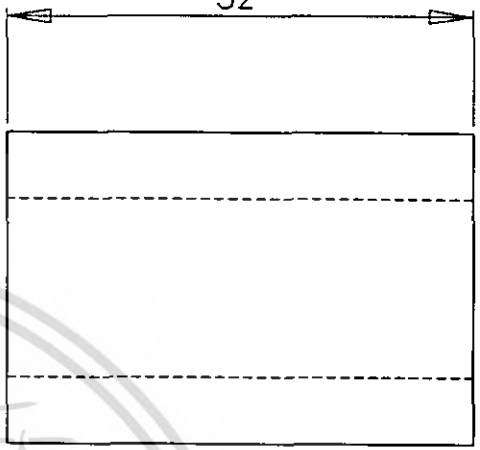


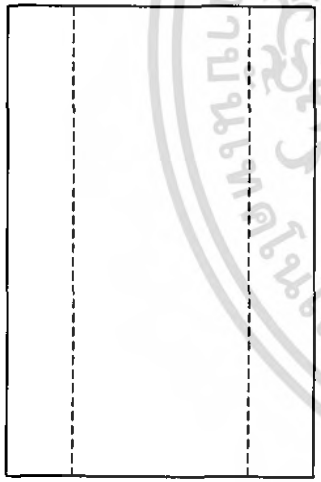


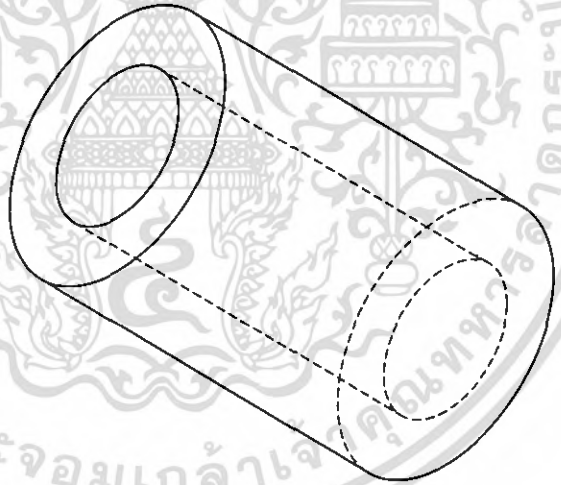


	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KAPN	bearing base
CHECKED	P.KAMB	
CHECKED	T.SOMKPR	
SCALE 2:1		DWG. NO. HM 0005

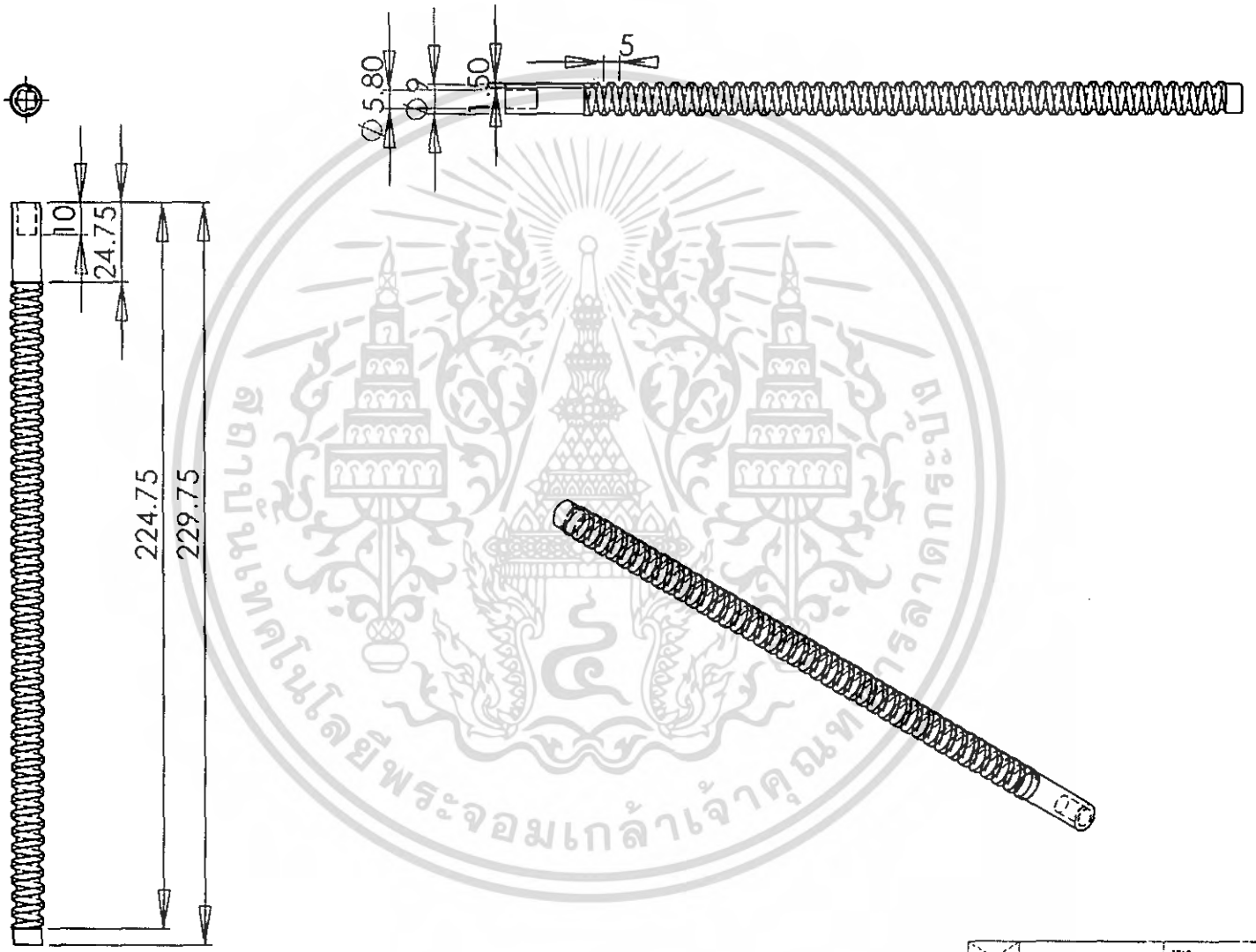




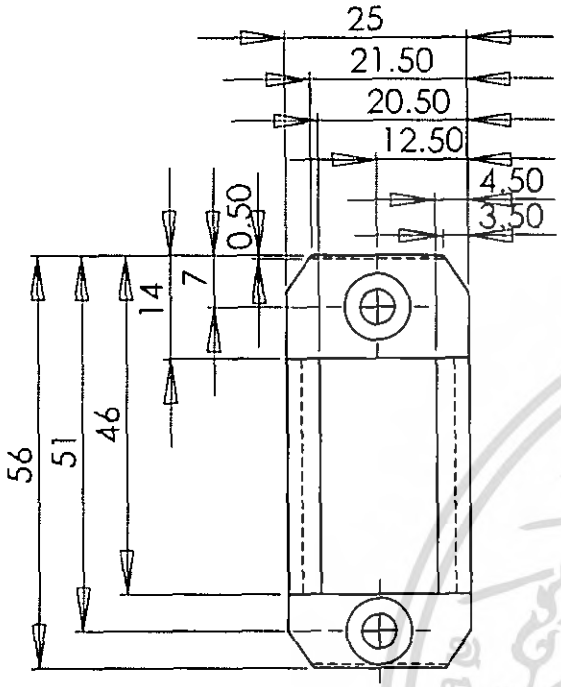


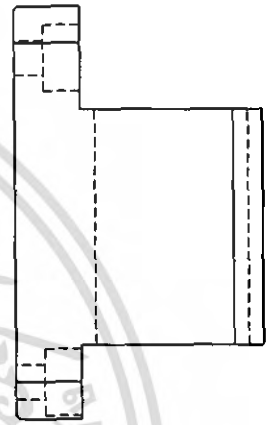


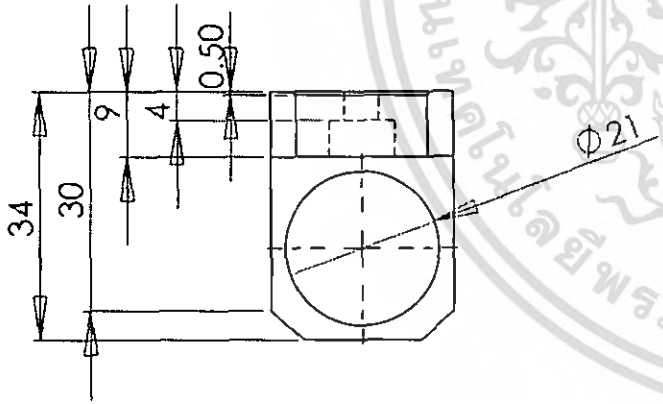
	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KAPN	bearing shaft
CHECKED	P.KANB	
CHECKED	T.SOMKPR	
SCALE 2:1		DWG. NO. HM 0006

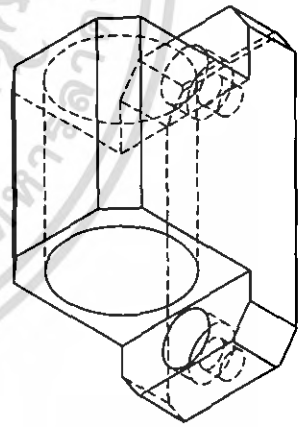


	NAME	TELE:
DRAWN	C.KAPN	ball screw
CHECKED	P.KANB	
CHECKED	T.KOMKPB	
SCALE 1:2		DWG. NO. HM 0007

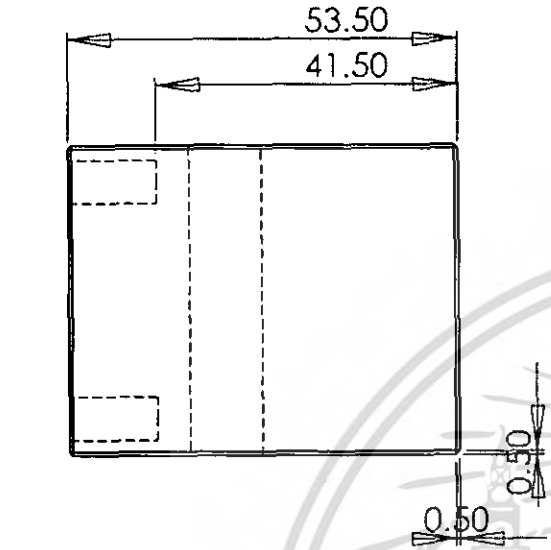


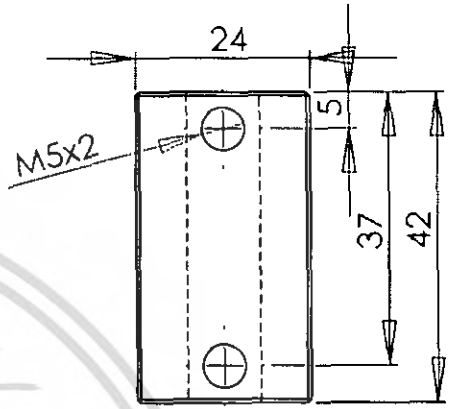


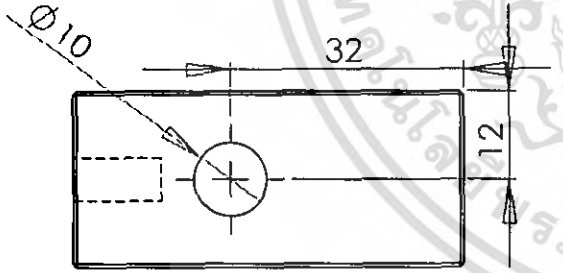


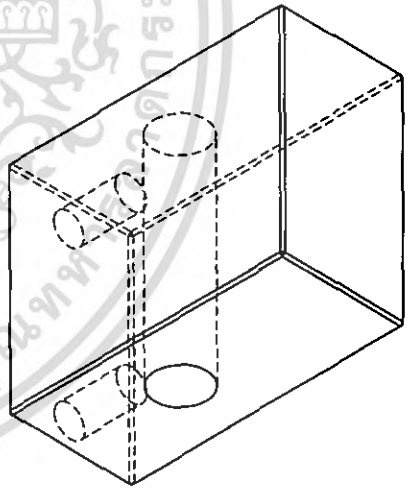


	NAME	TITLE:
DRAWN	C.KARN	bearing cloth
CHECKED	P.KANE	
CHECKED	T.KOMEPE	
SCALE 1:1		DWG. NO. HM 0008

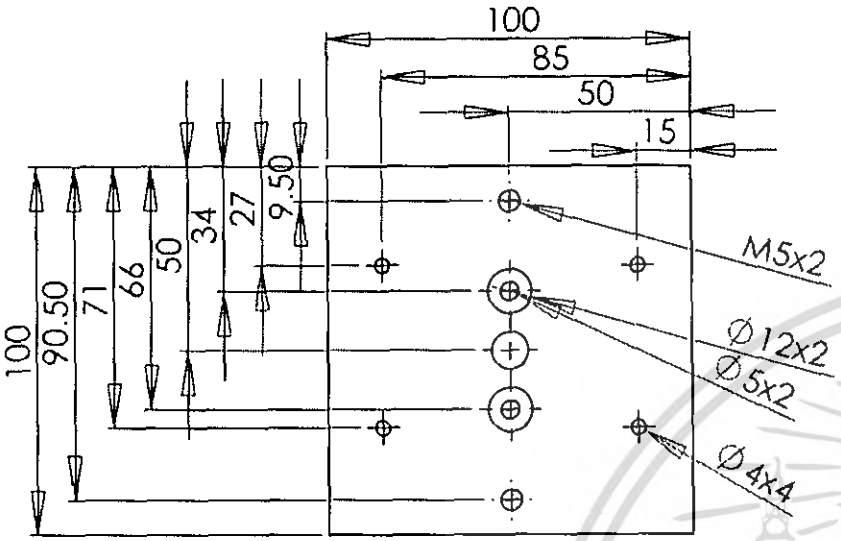


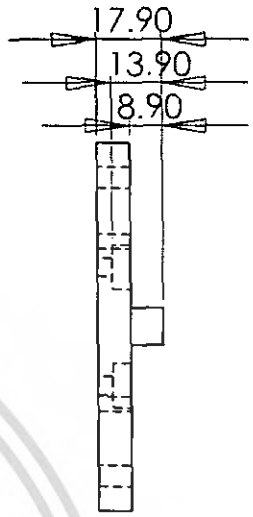


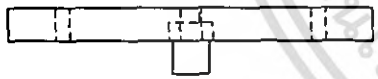


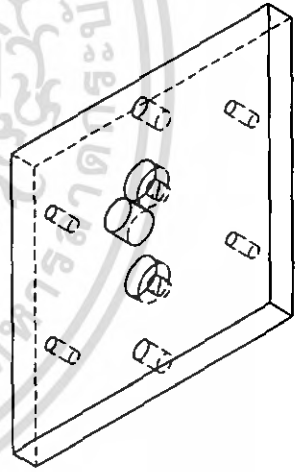


	NAME	TITLE:
DRAWN	C.JAPN	base screw
CHECKED	P.GANR	
CHECKED	T.KOMKRI	
SCALE 1:1		DWG. NO. HM 0009

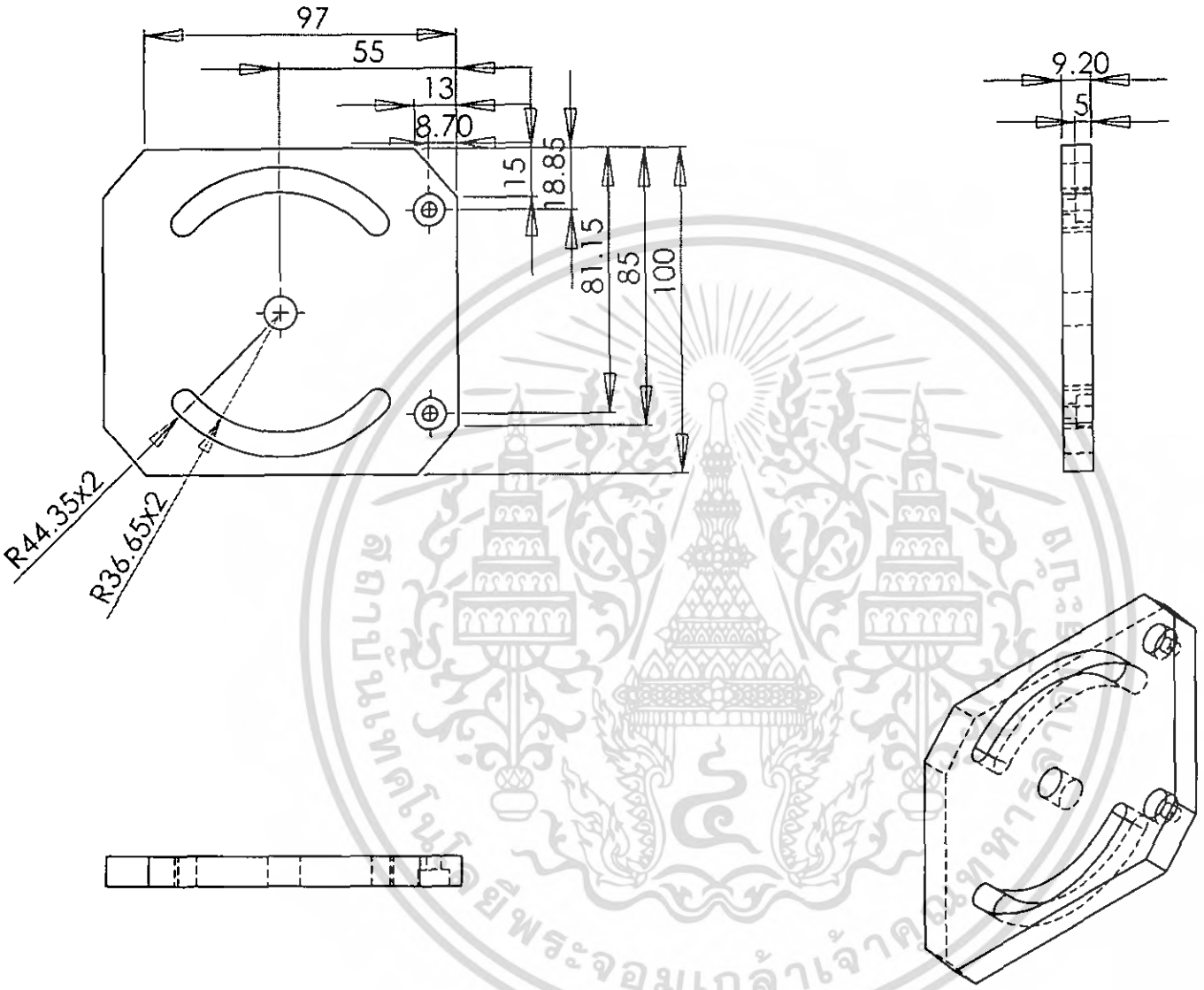




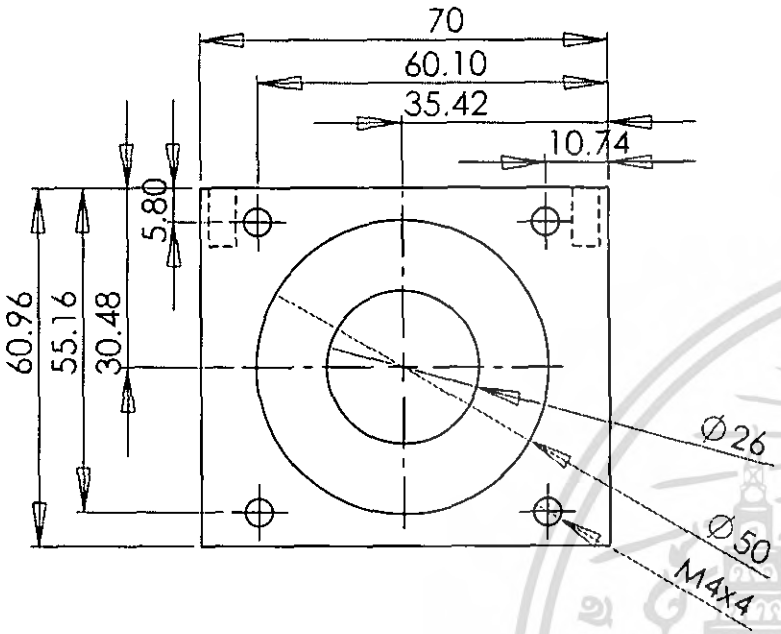


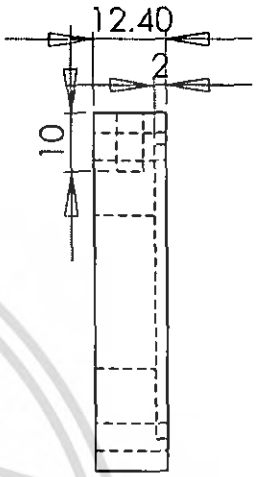


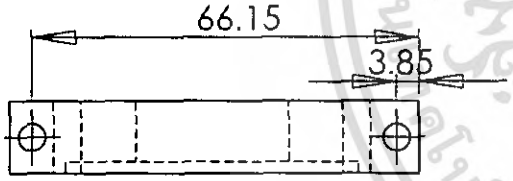
	NAME	TITLE:
DRAWN	C.KARN	dish L motor1
CHECKED	P.KANE	
CHECKED	T.KOMEPE	
SCALE 1:2		DWG. NO. HM 0010

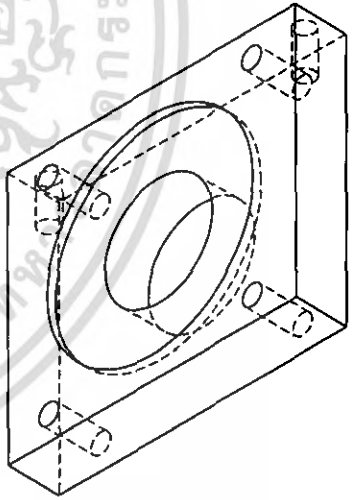


	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KAPN	dish t 02 motor1
CHECKED	P.GANE	
CHECKED	T.KOMLPE	
SCALE 1:2		DWG. NO. HM 0011

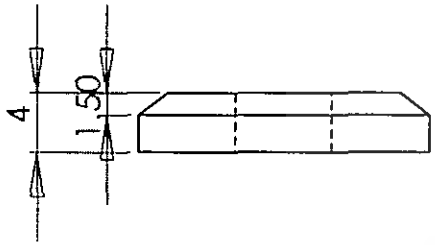


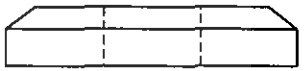


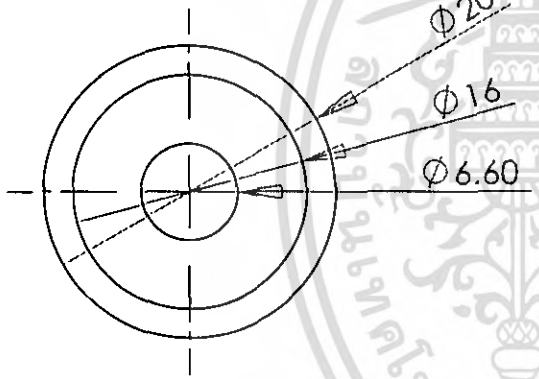


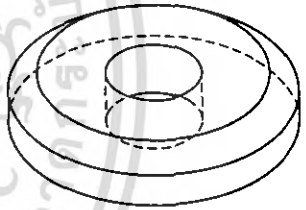


	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KARN	dSh L 03 motor1
CHECKED	P.KANIT	
CHECKED	T.KOMKHE	
SCALE 1:1.25		DWG. NO. HM 0012

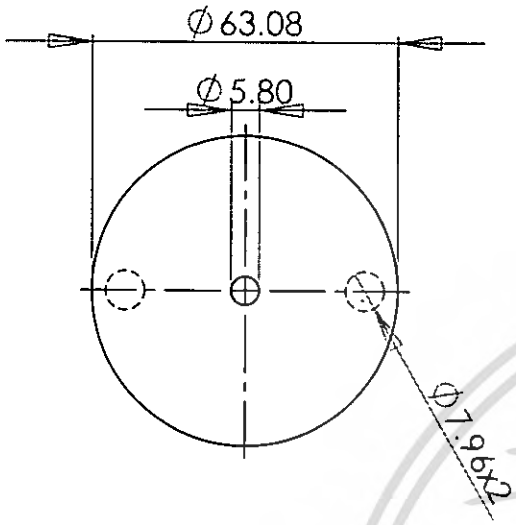


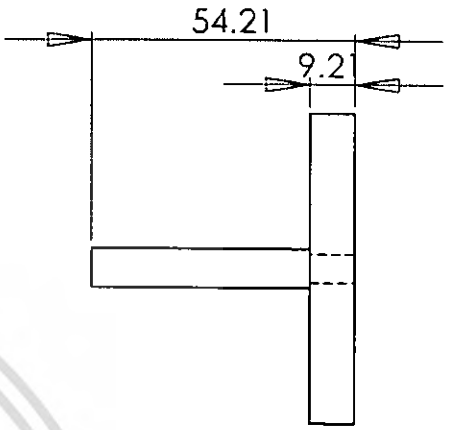


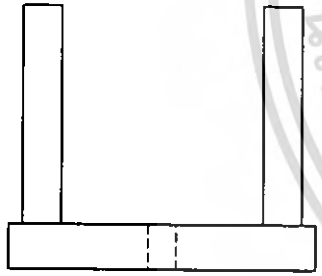


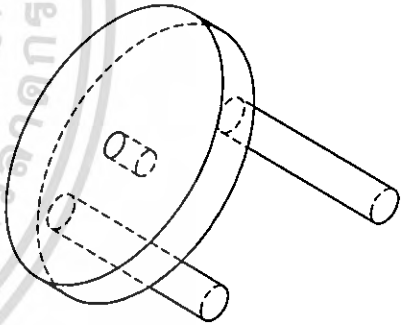


	NAME	TITLE :
DRAWN	C.EARN	ring lock MS
CHECKED	P.GANE	
CHECKED	T.LOMEPR	
SCALE 2:1		DWG. NO. HM 0013

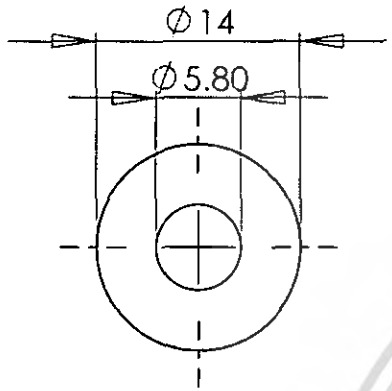


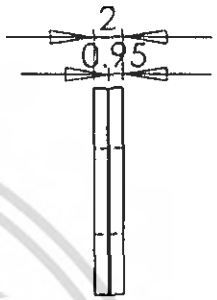


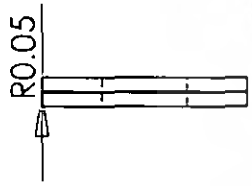


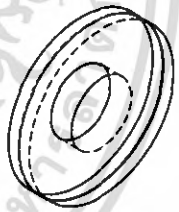


	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KAPN	handle
CHECKED	P.KANB	
CHECKED	T.NOMKHB	
SCALE 1:1.5		DWG. NO. HM 0014

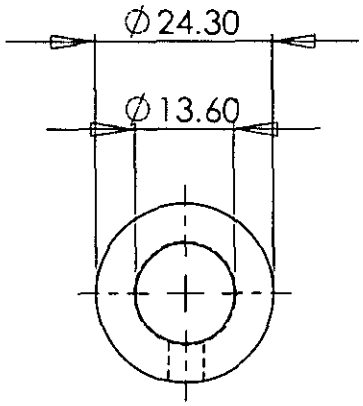


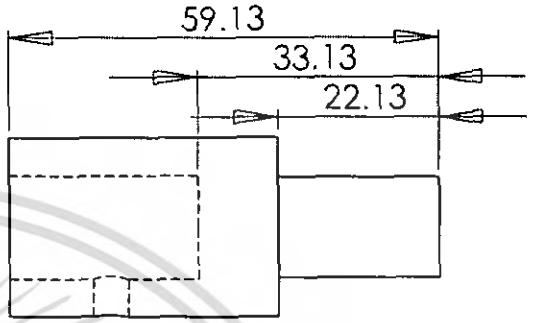


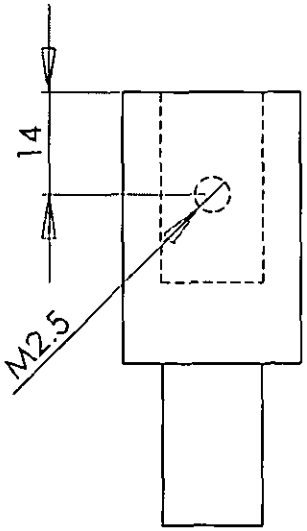


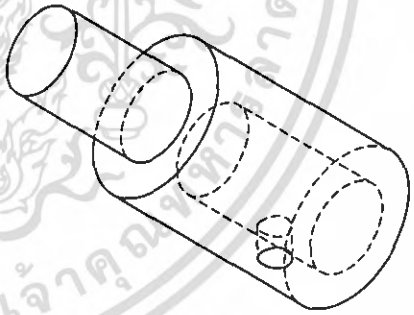


	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KAPH	ring handle
CHECKED	P.KANE	
CHECKED	T.SOMKPE	
SCALE 2:1		DWG. NO. HM 0015

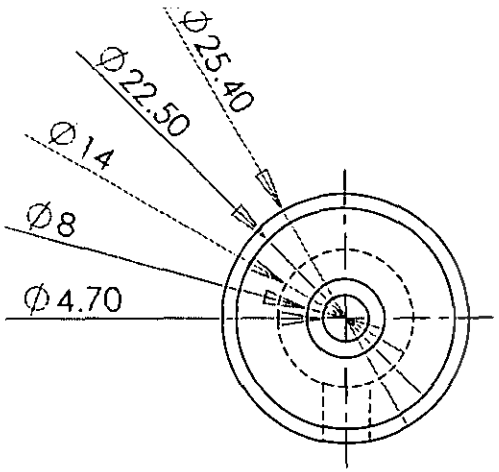


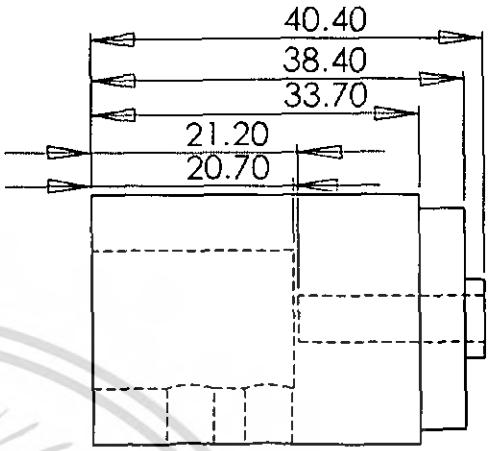


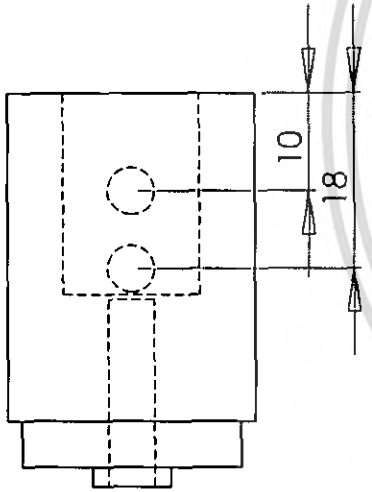


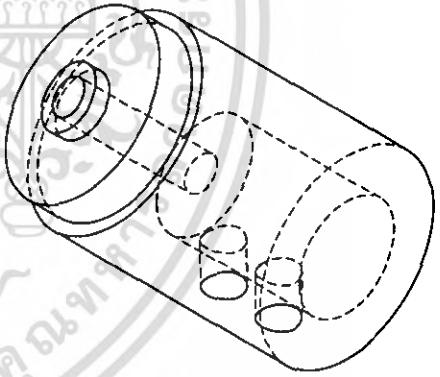


	NAME	TITLE : coupling motor1
DRAWN	C.KAPN	
CHECKED	P.KANIT	
CHECKED	T.SOMLEE	
SCALE 1:1		DWG. NO. HM 0016

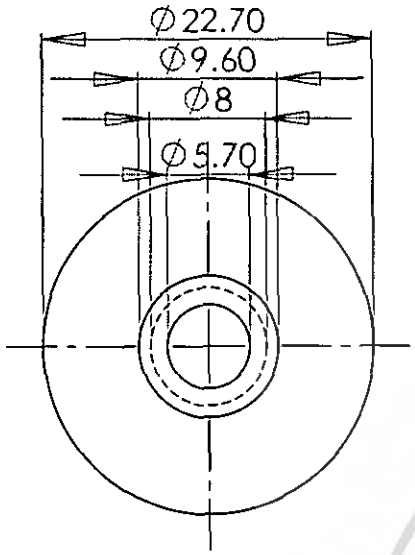


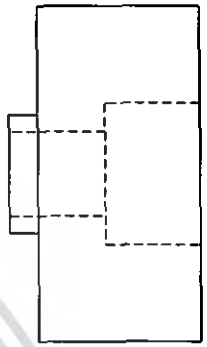


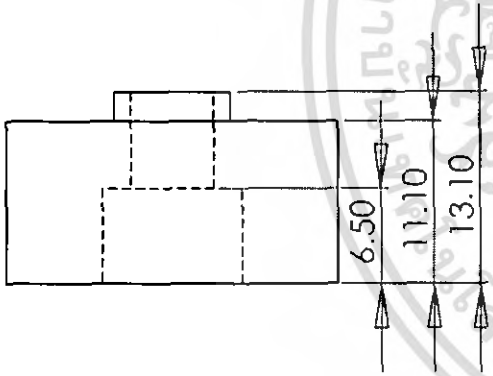


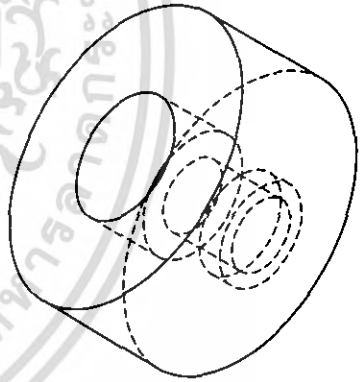


	NAME	TITLE:
DRAWN	C.KAPN	coupling01 motor2
CHECKED	P.CANE	
CHECKED	T.KOMLIS	
SCALE 1:0.75		DWG. NO. HM 0017

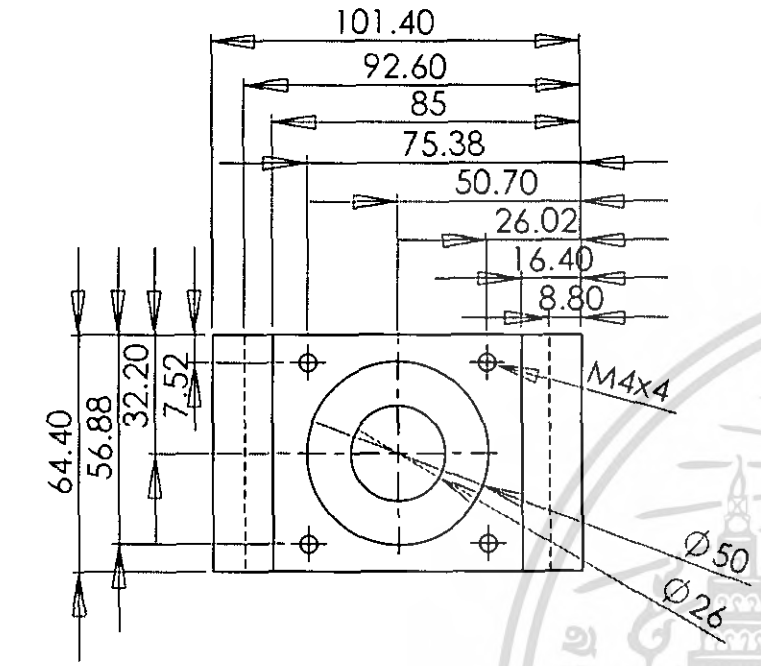


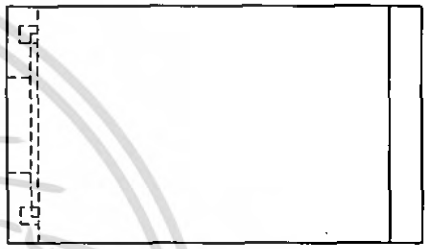


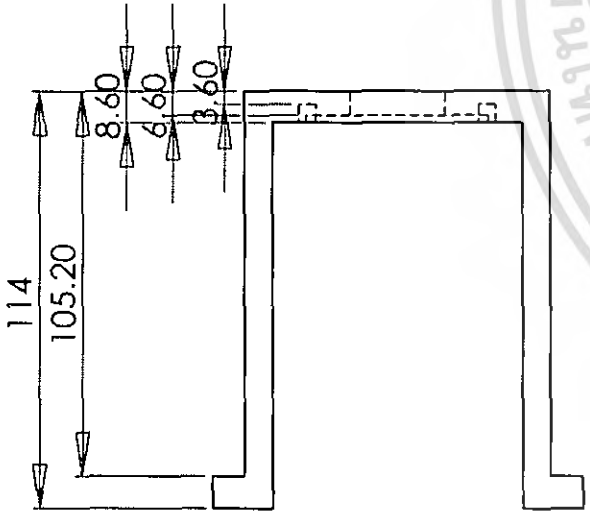


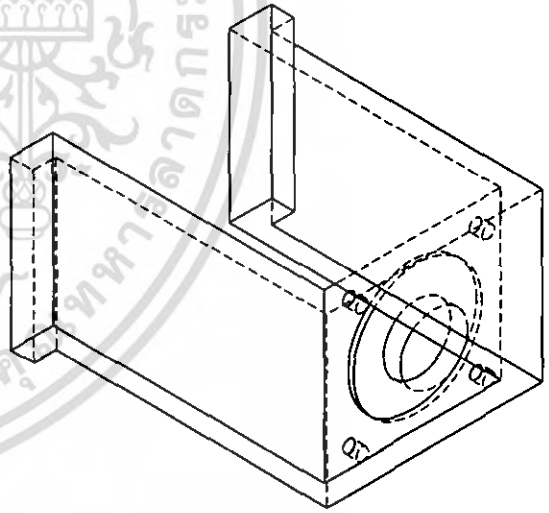


	NAME	TITLE:
DRAWN	C.KAPN	coupling02 motor2
CHECKED	P.KANIT	
CHECKED	T.LOMLYE	
SCALE 2:1		DWG. NO. HM 0018

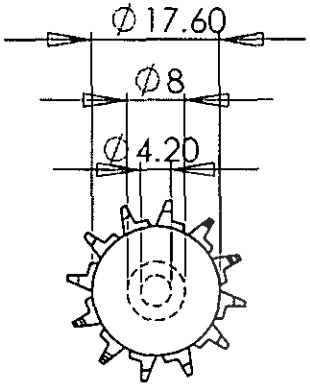


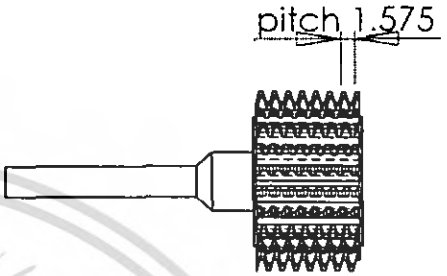


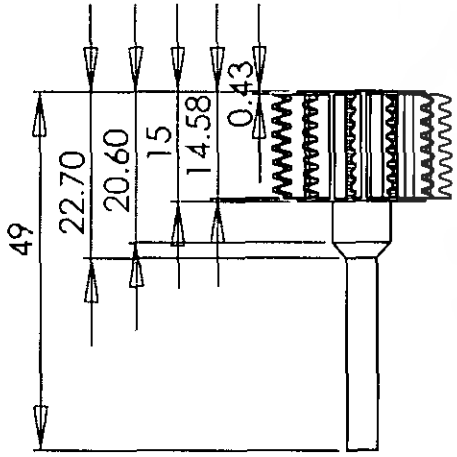


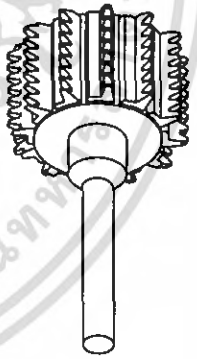


	NAME	TITLE:
DRAWN	C.KAMN	block motor
CHECKED	P.KANR	
CHECKED	T.KOMKIT	
SCALE 1:2		DWG. NO. HM 0019









	NAME	TITLE :
DRAWN	C.KARN	cutter
CHECKED	P.KANE	
CHECKED	T.SOMLEE	
SCALE 1:1		DWG. NO. HM 0020