การออกแบบการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์ 6 แกน

PROCESS DESIGN IN MANIPULATOR'S JOINT PRODUCTION

นายณัฐชนน แก้วหาวงค์
MR. NUTCHANON KEAWHAWONG
นายธีรภัทร จันทร์หอม
MR. THEERAPUT CHANHOM

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์ 6 แกน

PROCESS DESIGN IN MANIPULATOR'S JOINT PRODUCTION

นายณัฐชนน แก้วหาวงค์

MR. NUTCHANON KEAWHAWONG

นายธีรภัทร จันทร์หอม

MR. THEERAPUT CHANHOM

สิชหมู่
เลขทะเบียน 144436
วัน.เดือน.ปี 24 ม.ค. 2559

b.12818152
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

PROCESS DESIGN IN MANIPULATOR'S JOINT PRODUCTION

MR. NUTCHANON KEAWHAWONG
MR. THEERAPUT CHANHOM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์ 6 แกน
PROCESS DESIGN IN MANIPULATOR'S JOINT PRODUCTION

นักศึกษา นายณัฐชนน แก้วหาวงค์ รหัสประจำตัว 55010355
นายธีรภัทร จันทร์หอม รหัสประจำตัว 55010582

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร. พลชัย โชติปรายนกุล)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์ 6 แกน
นักศึกษา	นาย ณัฐชนน แก้วหาวงค์
	นาย ธีรภัทร จันทร์หอม
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร. พลชัย โชติปรายนกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นำเสนอการออกแบบกระบวนการการสร้างข้อต่อ (Joint) หุ่นยนต์แบบแขนกล (Articulated Arm) โดยแต่ละข้อต่อประกอบด้วยชุดขับเคลื่อนชนิดเฟืองวงแหวน (Planetary Gear Set) และเซอร์โวมอเตอร์ รุ่น Omron R88M-G40030H และ เชื่อมโยงแกนหมุนด้วยโครงแขน (Links) แบบอนุกรมตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ กระบวนการทำงานแบงออกเป็นสามส่วนคือ การเพิ่มแกนที่สี่ให้เครื่องกัด CNC สามแกนสำหรับการตัดเฟืองนอก โดยเฟืองนอกที่ต้องตัดสำหรับหุ่นเป็นจำนวน 36 ชิ้น แกนหมุนที่เพิ่มประกอบด้วยชุดแกนหมุนหัวจับ และชุดควบคุมการทำงานเซอร์โวมอเตอร์ที่ได้ผนวกเข้ากับระบบควบคุมเครื่องกัด CNC สองคือการสร้างชุดตัดเฟืองในขนาด 220 และ 135 ฟันทั้งหมด 3 ชิ้น โดยการออกแบบเครื่องให้เป็นแบบการไสแนวตั้ง โดยติดตั้งชุดรางเลื่อนและป้อมมีดให้เคลื่อนที่ในแนวตั้งและมีโต๊ะหมุนติดตั้งหัวจับยึดชิ้นงานวางบนพื้นราบ โดยการสร้างชุดแกนที่สี่และเครื่องตัดเฟืองในทำการออกแบบบนโปรแกรม Solidworks® หลังจากตัดเฟืองทั้งหมดจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นนำเอาชิ้นส่วนทั้งหมดมาประกอบเป็นแกนข้อต่อของหุ่นยนต์และเชื่อมต่อกันเป็นหุ่นยนต์ตามแบบที่กำหนด ผลการทำงานแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่จัดทำขึ้นมีความสามารถที่จะสร้างชุดเฟืองในระดับอุตสาหกรรมได้ และข้อต่อของหุ่นยนต์ที่จัดทำขึ้นสามารถขับเคลื่อนได้แม่นยำและมีกำลังมากพอสำหรับประกอบขึ้นเป็นหุ่นยนต์

Thesis Title	Process Design in Manipulator's Joint Production
Student	Mr. Nutchanon Keawhawong
	Mr. Theeraput Chanhom
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2558
Thesis Advisor	Dr. Polchai Chotiprayanakul

ABSTRACT

This paper purposes to show a production of articulated robot arm's joints where a joint consists of planetary gear set driven by an AC servomotor model Omron R88M-G40030H. Joints are connected with links serially to be a 6 degree of freedom robot arm as design. Working method of this project separates into three procedures: first modify a 3 axis milling CNC to be a 4 axis CNC milling. Adding axis consists of rotor base and 4 inches chuck which is rotated by a servomotor. The control of servomotor is integrated into the CNC. This machine is used to cut spur gears. Second procedure is to build a vertical planning machine of internal gear cutting. A tool bite is attached on tool pose that moves up and down to cut a workpiece. An aluminum cylinder workpiece is put on a flat rotary table under the tool bite in order to cut an internal gear. All machines are designed on Solidworks® and after they were built 39 spur gears and 3 internal gears. All parts were built and assembled to be joints of the designed robot. The result of the project shows all tools and machines are able to operate in industrial scale and built joints is able to work accurately at desired load.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การออกแบบการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์ 6 แกน ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง กลุ่มผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆ ดังต่อไปนี้

ดร.พลชัย โชติปรายนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษา ความรู้ แนวคิดที่ดี คำแนะนำ การปฏิบัติ ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ดร.เชาวลิต หามนตรี กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำที่ดี ตลอดจนความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ และบรรยากาศที่ดีๆที่มอบให้เสมอมา

นายกำธร สุขพิมาย กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่มิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่เป็นสถานศึกษาที่เปรียบเสมือนบ้านหลังที่สองของพวกเรา

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอบคุณพ่อ แม่ พี่ น้อง และ เพื่อนๆทุกคนทุกคนสำหรับความช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

นาย ณัฐชนน แก้วหาวงค์
นาย ธีรภัทร จันทร์หอม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข

กิตติกรรมประกาศ..... ค

สารบัญ..... ง

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญรูปภาพ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 1

1.3 ขอบเขตของโครงการ..... 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากโครงการ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial Robot)..... 3

2.1.1 นิยามของหุ่นยนต์ [ที่มา]..... 3

2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของหุ่นยนต์..... 3

2.1.3 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์..... 4

2.1.4 การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์..... 5

2.2 เฟือง..... 10

2.2.1 ชนิดของเฟืองและการใช้งาน..... 10

2.2.2 ตัวแปรของเฟืองตรง..... 13

2.2.3 ความสัมพันธ์ของตัวแปรเฟืองตรง..... 16

2.3 มอเตอร์เซอร์โว (Servo Motor)..... 16

2.3.1 ชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์..... 17

2.3.2 ชุดขับเซอร์โว (Servo Driver)..... 17

2.3.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)..... 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 ตลับลูกปืน (Bearing) 18
2.4.1 โรลเลอร์แบริ่ง 18
2.4.2 บอลแบริ่ง 19
2.4.3 บอลทรัสต์แบริ่ง 20
2.4.4 เทปเปอร์โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง 20
2.4.5 โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง 20
2.5 กรรมวิธีการผลิต 21
2.5.1 การกลึง 21
2.5.2 มีดกลึง 21
2.5.3 การไส 22
2.5.4 การกัด 24
2.5.5 การเชื่อม 25
2.5.6 การเจาะ 28

บทที่ 3 การดำเนินงาน

3.1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม 30
3.1.1 การออกแบบชุดขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ 30
3.1.2 การออกแบบชุดเฟืองข้อต่อที่ 1 31
3.1.3 การออกแบบชุดเฟืองข้อต่อที่ 2 และ 3 32
3.1.4 การออกแบบรูปร่างของหุ่นยนต์ 34
3.2 การสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับจัดทำชุดเฟืองนอก 35
3.2.1 แบบแกนที่สี่สำหรับเครื่องกัด CNC 35
3.2.2 ขั้นตอนการทำงาน 35
3.2.3 วงจรและโปรแกรมควบคุมชุดอุปกรณ์ 38
3.3 การตัดเฟืองนอก 39
3.4 เครื่องไสแนวตั้งสำหรับตัดเฟืองใน 41
3.4.1 แบบเครื่องไส 42
3.4.2 ขั้นตอนการทำงาน 42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.3 ชุดควบคุมเครื่องไส 44
3.5 การผลิตเฟืองใน 49
3.5.1 วัตถุดิบสำหรับการทำเฟือง 49
3.5.2 กรรมวิธีการผลิตเฟืองใน 49

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการทำงานการกัดเฟืองนอก 48
4.1.1 ชุดแกนหมุนแกนที่สี่ 48
4.1.2 ผลการกัดเฟืองนอก 49
4.2 ผลการทำงานการกัดเฟืองใน 51
4.2.1 เครื่องจัดทำชุดเฟืองใน 51
4.2.2 ชุดเฟืองใน 135 ฟัน 52
4.3 การประกอบชุดเฟือง 52

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 แกนที่สี่ของเครื่อง CNC สำหรับทำเฟืองนอก 53
5.2 เครื่องไสแนวตั้งสำหรับทำเฟืองใน 53
5.3 ชุดเฟืองนอก 53
5.4 ชุดเฟืองใน 53

เอกสารอ้างอิง 54
ภาคผนวก ก ผก1
ภาคผนวก ข ผข1

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ Cartesian Robot..... 6

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ Cylindrical Robot..... 7

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ Spherical Robot..... 8

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ SCARA Robot..... 9

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ Articulated Arm (Revolute)..... 10

ตารางที่ 2.6 ค่ามาตรฐานของโมดุล..... 15

ตารางที่ 2.7 ค่ามาตรฐานของฟันเฟือง..... 16

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงจำนวนเฟืองที่ต้องกัด..... 39

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ข้อต่อต่างๆภายในหุ่นยนต์ 4
รูปที่ 2.2 รูปและการเคลื่อนที่ของ Cartesian Robot 5
รูปที่ 2.3 รูปและการเคลื่อนที่ของ Cylindrical Robot 6
รูปที่ 2.4 รูปและการเคลื่อนที่ของ Spherical Robot 7
รูปที่ 2.5 รูปและการเคลื่อนที่ของ SCARA Robot 8
รูปที่ 2.6 รูปและการเคลื่อนที่ของ Articulated Arm 9
รูปที่ 2.7 การทำงานเฟืองตรงภายนอกและเฟืองตรงภายใน 11
รูปที่ 2.8 การทำงานเฟืองสะพานโดยเฟืองตรงเป็นเฟืองขับ 11
รูปที่ 2.9 การทำงานเฟืองเฉียงและเฟืองก้างปลา 11
รูปที่ 2.10 การทำงานเฟืองดอกจอกและเฟืองดอกจอกฟันโค้ง 12
รูปที่ 2.11 เฟืองส่งกำลังเพลาข้ามกัน 13
รูปที่ 2.12 คำจำกัดความส่วนต่างๆของเฟือง 13
รูปที่ 2.13 Controller 16
รูปที่ 2.14 Servo Driver 17
รูปที่ 2.15 Servo Motor 18
รูปที่ 2.16 โรลเลอร์แบริ่ง 19
รูปที่ 2.17 บอลแบริ่ง 19
รูปที่ 2.18 บอลทรัสต์แบริ่ง 20
รูปที่ 2.19 เทปเปอร์โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง 20
รูปที่ 2.20 โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง 20
รูปที่ 2.21 การกลึงลักษณะต่างๆ 21
รูปที่ 2.22 ด้ามมีดกลึงสำหรับการกลึงปอกภายนอก 21
รูปที่ 2.23 เม็ดมีดกลึงที่ใช้ในการกลึงปอกทั่วไป 22
รูปที่ 2.24 ด้ามมีดกลึงสำหรับการกลึงคว้านรู 22
รูปที่ 2.25 มีดกลึงสำหรับการกลึงคว้านรู 22
รูปที่ 2.26 เครื่องไสนอน 23
รูปที่ 2.27 กลไกภายในของเครื่องไสนอน 23
รูปที่ 2.28 การปรับความยาวช่วงชัก 24

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.29 ระบบการป้อนของเครื่องไส 24
รูปที่ 2.30 เครื่องกัด (Milling Machine) 25
รูปที่ 2.31 ชุดเชื่อมแก๊ส 26
รูปที่ 2.32 เครื่องเชื่อม TIG 27
รูปที่ 2.33 เครื่องเชื่อม MIG 27
รูปที่ 2.34 เครื่องเจาะ 28
รูปที่ 3.1 ภาพขั้นตอนการปฏิบัติงาน 29
รูปที่ 3.2 มอเตอร์ รุ่น Omron R88M-G40030H 30
รูปที่ 3.3 ชุดเฟืองข้อต่อที่ 1 32
รูปที่ 3.4 ชุดเฟืองข้อต่อที่ 2 และ 3 33
รูปที่ 3.5 ส่วนฐานและต่อที่ 1 ของหุ่นยนต์ 34
รูปที่ 3.6 ส่วนหัวไหล่และต่อที่ 2 ของหุ่นยนต์ 34
รูปที่ 3.7 ส่วนแขนของหุ่นยนต์ 34
รูปที่ 3.8 แกนที่สี่ สำหรับนำไปติดตั้งกับเครื่องกัด CNC 3 แกน 35
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการตัดแผ่นเหล็กโดยใช้เครื่อง พลาสมา CNC ในการตัด 36
รูปที่ 3.10 เหล็กสี่เหลี่ยมสำหรับทำป้อมแกนหมุนและลูกปืนเบอร์ 620677 36
รูปที่ 3.11 หัวจับขนาด 80 มิลลิเมตร 37
รูปที่ 3.12 นำไปติดตั้งกับเครื่องกัด CNC 37
รูปที่ 3.13 มอเตอร์ Omron R88M-G40030H พร้อมทั้ง ชุด Motor Drive 37
รูปที่ 3.14 สายพานหนัง ร่อง 5mm. รุ่น MXL-158T 38
รูปที่ 3.15 พุลเลย์ไทม์มิ่งขนาด 20 ฟัน และ 48 ฟัน 38
รูปที่ 3.16 การนำวงจรชุดขับไปติดตั้งกับเครื่องกัด CNC 38
รูปที่ 3.17 โปรแกรมสำหรับสั่งงานในการกัดเฟือง 39
รูปที่ 3.18 การกลึงเพลาอลูมิเนียม และ การเจาะรูเพลาอลูมิเนียม 40
รูปที่ 3.19 การเลื่อยตัดเพลาพร้อมทั้งกลึงปาดหน้า 40
รูปที่ 3.20 มีดสำหรับกัดเฟืองโมดูล 1 41
รูปที่ 3.21 ขั้นตอนการกัดเฟืองนอก 41
รูปที่ 3.22 ออกแบบชุดอุปกรณ์ โดยมีลักษณะการทำงานคือการไสแนวตั้ง 42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.23 เหล็กแผ่นขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ 42
รูปที่ 3.24 การกัดเหล็กแผ่นให้ได้ขนาดที่ต้องการ 43
รูปที่ 3.25 โต๊ะหมุนแนวนอนขนาด 12 นิ้ว และ หัวจับขนาด 10 นิ้ว 43
รูปที่ 3.26 ชุดรางเลื่อน 43
รูปที่ 3.27 ประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน 44
รูปที่ 3.28 PLC Omron CQM 1, Relay, สวิชต์ 44
รูปที่ 3.29 Ladder Diagram ของ PLC 45
รูปที่ 3.30 ท่ออลูมิเนียม เกรด 6061 46
รูปที่ 3.31 มีดกลึง High speed สี่เหลี่ยมขนาด 3/8 นิ้ว 46
รูปที่ 3.32 การกัดเฟืองใน 47
รูปที่ 4.1 แกนหมุนที่สี่ติดตั้งบน CNC สำหรับกัดเฟืองนอก 48
รูปที่ 4.2 ชุดเฟืองนอก 27 ฟัน 49
รูปที่ 4.3 ชุดเฟืองนอก 44 ฟัน 49
รูปที่ 4.4 ชุดเฟืองนอก 54 ฟัน 50
รูปที่ 4.5 ชุดเฟืองนอก 88 ฟัน 50
รูปที่ 4.6 เครื่องไสแนวตั้งทำชุดเฟืองใน 51
รูปที่ 4.7 เฟืองในขนาด 135 ฟัน 52
รูปที่ 4.8 ประกอบข้อต่อหุ่นยนต์บางส่วน 52

บทที่ 1
บทนำ

ในโครงงานนี้ได้ทำการออกแบบวิธีการสร้างหุ่นยนต์ชนิด Articulated Arm ซึ่งหุ่นยนต์ชนิดนี้มีบทบาทในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ งานเชื่อมอุตสาหกรรม หุ่นรูปแบบนี้จะมีการเคลื่อนที่คล้ายการเคลื่อนที่ของแขนมนุษย์มากที่สุด ซึ่งประกอบหลักทั้งหัวไหล่ ข้อต่อต่าง ๆ และจะมีองค์ประกอบเดียวกันคือมีชุดเฟืองและมอเตอร์ขับ

1.1 ที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติได้เข้ามามีบทบาทในด้านอุตสาหกรรมมากขึ้น ทำให้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเข้ามาใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตแทนแรงงานมนุษย์ ซึ่งในปัจจุบันค่าแรงได้ปรับตัวสูงขึ้น หุ่นยนต์ที่ควบคุมโดยระบบอัตโนมัติจะช่วยเพิ่มความเร็วในการทำงาน มีประสิทธิภาพ ความแม่นยำในการทำงานที่สูงและมีความสม่ำเสมอในการทำงาน ทำให้สามารถควบคุมความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้ดีกว่าการทำงานโดยมนุษย์ และยังสามารถทำงานที่อันตรายเกินกว่าที่มนุษย์จะเข้าไปทำได้

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยเป็นการนำเข้าหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจากต่างประเทศ การผลิตหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นตัวต้นแบบ และยังไม่มีการสร้างหุ่นยนต์ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากยังขาดความรู้ ความสามารถ ในการจัดทำ ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะวิจัยและพัฒนาสร้างหุ่นยนต์อุตสาหกรรมขึ้นมาให้ใช้งานได้จริง เพื่อที่ประเทศไทยจะสามารถนำผลงานของคนไทยมาเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาส่วนประกอบและโครงสร้างต่างๆของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษารูปแบบการทำงานและกระบวนการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม
3. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตหุ่นยนต์อุตสาหกรรม
4. เพื่อศึกษาระบบการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่
5. เพื่อสร้างหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่เป็นประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับกระบวนการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์
2. สร้างข้อต่อของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่สามารถขับเคลื่อนได้อย่างแม่นยำและมีกำลังตามที่ต้องการ

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากโครงการ

1. กระบวนออกแบบวิธีสร้างข้อต่อแขนกลอุตสาหกรรม
2. สร้างชุดอุปกรณ์เพื่อใช้สำหรับการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม
3. นำข้อต่อไปสร้างหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

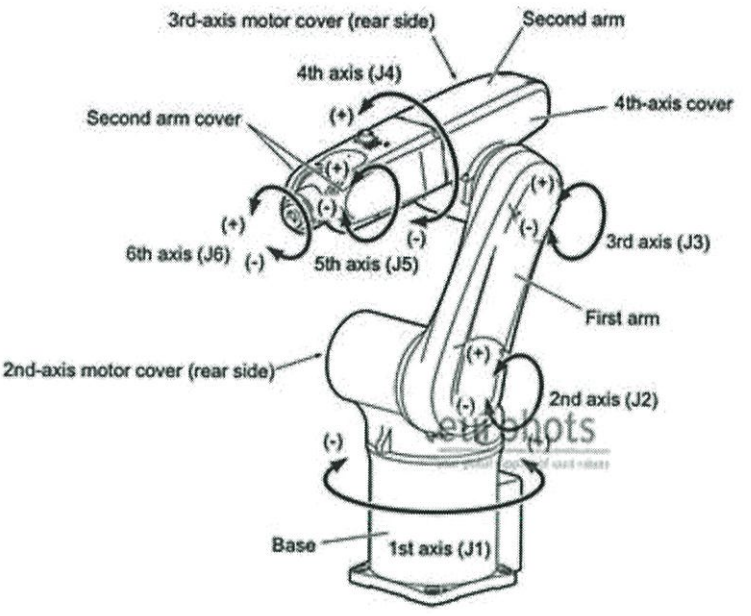
2.1 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial Robot)

2.1.1 นิยามของหุ่นยนต์ [ที่มา]

คำจำกัดความของหุ่นยนต์ตามมาตรฐาน ISO 8373 คือ หุ่นยนต์อุตสาหกรรมคือตัวกระทำ (Manipulator) ที่ถูกควบคุมแบบอัตโนมัติ และสามารถโปรแกรมให้ปฏิบัติงานประยุกต์ในอุตสาหกรรมอัตโนมัติที่หลากหลายได้ โดยการเคลื่อนที่ในปริภูมิสามแกน หรือมากกว่า แกนอ้างอิงนี้อาจจะเคลื่อนที่ได้หรือไม่เคลื่อนที่ก็ได้ อีกความหมายหนึ่งตามคำจำกัดความของ The Robotics International Division of the Society of Manufacturing Engineers คือ เครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายวัสดุ ชิ้นส่วน เครื่องมือ หรือเครื่องมือพิเศษอื่นๆ และสามารถเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนการเคลื่อนไหวสำหรับการทำงานที่ต่างชนิดกันได้

2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของหุ่นยนต์

แขนกลทำงานเหมือนกับแขนของมนุษย์เราโดยแขนของแขนกลจะทำด้วยวัตถุแข็งที่ต่อเข้ากันโดยจุดต่อที่ยืดหยุ่นได้ จุดต่อต่างๆทำงานเหมือนกับแขนของมนุษย์สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงไปในทิศทางต่างๆได้ จุดต่อต่างๆเมื่อเทียบกับส่วนแขนของมนุษย์ คือ ไหล่ (Shoulder) ข้อศอก (Elbow) และข้อมือ (Wrist) ส่วนปลายสุดนั้นมีหน้าที่สำหรับจับชิ้นส่วนที่เรียกว่า มือจับ (Gripper or Hand) มือจับจะทำหน้าที่ 2 ลักษณะคือ จับและปล่อยมีอยู่ด้วยกัน 2 นิ้วหรืออาจมากกว่านี้ ในอนาคตแขนกลในงานอุตสาหกรรมจะมีบทบาทมากจะทำหน้าที่แทนคน เช่น ในระบบควบคุมอัตโนมัติ การวิเคราะห์แยกแยะสิ่งของ ดังนั้นส่วนของแขนกลจะต้องมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีใหม่ๆ รูปทรงสวยงาม และการเคลื่อนไหวสะดวกคล่องแคล่ว



รูปที่ 2.1 แสดงข้อต่อต่างๆภายในหุ่นยนต์ [6]

2.1.3 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์

ในหุ่นยนต์นั้นจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลายส่วน ดังต่อไปนี้

- Manipulator เป็น ตัวของหุ่นยนต์ ประกอบด้วยชิ้นส่วน (Links) ข้อต่อ (Joints) และโครงสร้างอื่น

- End effector เป็นส่วนปลายสุดท้ายต่อกับข้อต่อส่วนสุดท้ายของแขนกล โดยปกติจะใช้หยิบจับวัตถุ หรือทำงานเฉพาะทาง เช่น ที่ติดตั้งเครื่องเชื่อม หรือเครื่องพ่นสี

- Actuators เปรียบเสมือนกล้ามเนื้อ หรือชุดขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ รูปแบบที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ มอเตอร์ กระบอกลม กระบอกไฮดรอลิก

- Sensors คือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เพื่อใช้วัดข้อมูลของหุ่นยนต์ในการรับรู้สภาพแวดล้อม เช่น ชุดควบคุมต้องการที่จะทราบตำแหน่งของชิ้นส่วนของแขน ว่าอยู่ที่ ณ ตำแหน่งใด

- Processor and คอนโทรลเลอร์ คล้ายสมองในมนุษย์โดยได้รับข้อมูลจากเซนเซอร์ และสั่งการไปยังชุดขับ (Actuators) เพื่อให้เคลื่อนที่ตามที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้

- Software แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นระบบปฏิบัติการพื้นฐาน (Operating Systems) กลุ่มที่ 2 เป็นการโปรแกรมของหุ่นยนต์ (Robotic Software) ซึ่งทำการคำนวณการเคลื่อนที่ของข้อต่อจากสมการจลนศาสตร์ จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังชุดควบคุม และกลุ่มที่ 3 เป็นโปรแกรมควบคุมที่ใช้งานเฉพาะทาง เช่น ระบบวิทัศน์ (Vision Systems) เป็นต้น

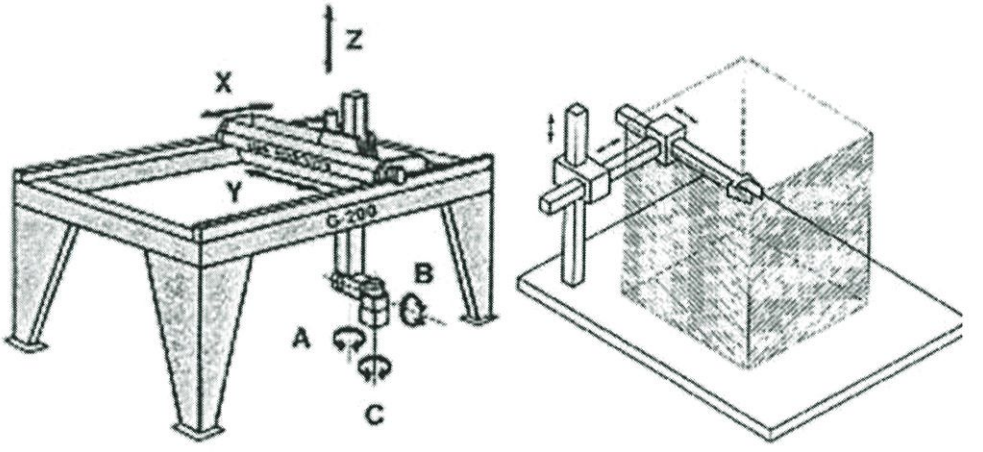
- Power Supply เป็นส่วนสำคัญที่จ่ายพลังงานไปชุดควบคุม และ Manipulator แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้า และแหล่งจ่ายพลังงานในการขับเคลื่อน เช่น ในหุ่นยนต์ที่ใช้ระบบนิวแมติกส์ จะต้องมีแหล่งจ่ายลมอัด เป็นต้น

2.1.4 การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์

การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมนั้น สามารถแบ่งได้หลายแบบขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการพิจารณา ซึ่งอาจจะแบ่งได้ตามรูปแบบการเคลื่อนที่ ลักษณะการทำงาน หรือรูปทรงของพื้นที่การทำงาน หากจะกล่าวถึงประเภทที่แบ่งตามลักษณะการทำงาน หุ่นยนต์อุตสาหกรรมมักจะนำไปใช้ในงานเชื่อม งานทาสี งานประกอบ Pick and Place (เช่น งานบรรจุหีบห่อ) งานตรวจสอบผลิตภัณฑ์ โดยปกติมนุษย์สามารถทำงานได้ทุกประเภท แต่ตามธรรมชาติการทำงานมีความเมื่อยล้า ต้องมีการพักผ่อน หุ่นยนต์จึงได้นำมาใช้งานทดแทนแรงงานมนุษย์ โดยปราศจากความเมื่อยล้า มีความรวดเร็วและแม่นยำมากกว่ามนุษย์ด้วย การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ต่อไปนี้ จะแบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่การทำงาน (Envelope Geometric)

2.1.4.1 <u>หุ่นยนต์คาร์ทีเชียน (Cartesian Robot or Gantry Robot)</u>

แกนทั้ง 3 ของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น (Prismatic) ถ้าโครงสร้างมีลักษณะคล้าย Overhead Crane จะเรียกว่าเป็นหุ่นยนต์ชนิด Gantry แต่ถ้าหุ่นยนต์ไม่มีขาตั้งหรือขาเป็นแบบอื่นเรียกว่า ชนิด Cartesian



รูปที่ 2.2 แสดงรูปและการเคลื่อนที่ของ Cartesian Robot [6]

เนื่องจากโครงสร้างของ Cartesian Robot มีความแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเหมาะกับงานเคลื่อนย้ายของหนักๆ หรือเรียกว่างาน Pick and Place เช่นใช้โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร

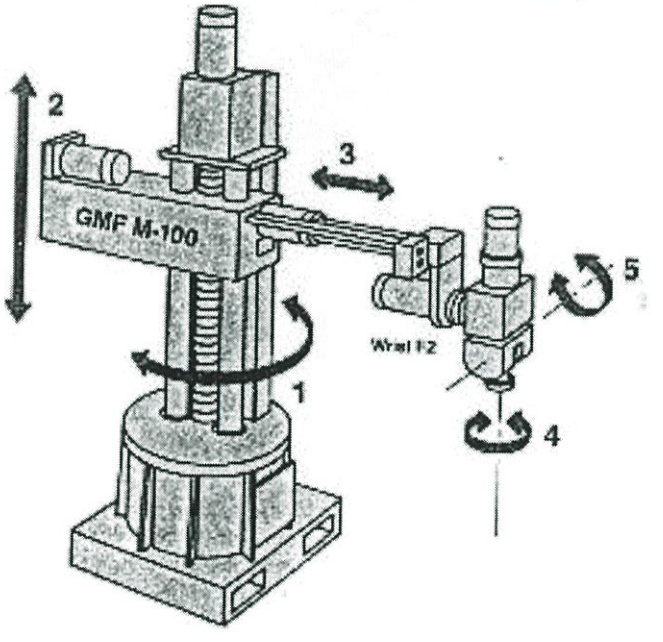
(Machine Loading) ใช้จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงานทดสอบต่างๆ

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ Cartesian Robot [6]

ข้อดี	ข้อเสีย
- เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 มิติ - การเคลื่อนที่สามารถทำความเข้าใจง่าย - มีส่วนประกอบง่ายๆ - โครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่	- ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก - บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงานได้ จะเล็กกว่าขนาดของตัวหุ่นยนต์ - ไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทิศทางข้างใต้ได้ - แกนแบบเชิงเส้นจะ Seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลวได้ยาก

2.1.4.2 <u>หุ่นยนต์ระบบพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Robot)</u>

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีแกนที่ 2 (ไหล่) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) เป็นแบบ Prismatic ส่วนแกนที่ 1 (เอว) จะเป็นแบบหมุน (Revolute) ทำให้การเคลื่อนที่ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงรูปและการเคลื่อนที่ของ Cylindrical Robot [6]

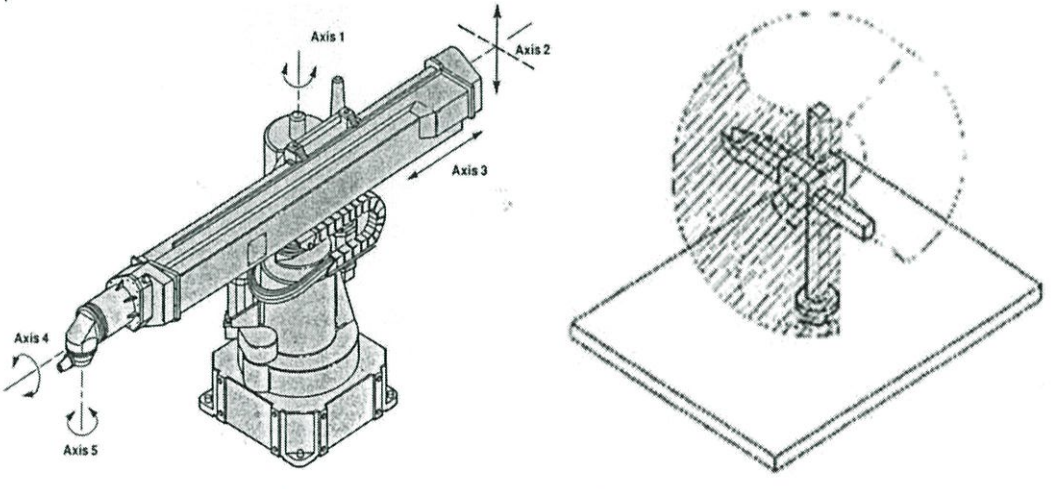
Cylindrical Robot โดยทั่วไปจะใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน (Pick and Place) หรือป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักรเพราะสามารถเคลื่อนที่เข้าออกบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็กๆ ได้สะดวก

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ Cylindrical Robot [6]

ข้อดี	ข้อเสีย
- มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน - การเคลื่อนที่สามารถเข้าใจได้ง่าย - สามารถเข้าถึงเครื่องจักรที่มีการเปิด-ปิด หรือเข้าไปในบริเวณที่เป็นช่องหรือโพรงได้ง่าย (Loading) เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่อง CNC	- มีพื้นที่ทำงานจำกัด - แกนที่เป็นเชิงเส้นมีความยุ่งยากในการ seal เพื่อป้องกันฝุ่นและของเหลว

2.1.4.3 Spherical Robot (Polar)

Spherical Robot มีสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน (Revolute Joint) คือแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 2 (ไหล่) ส่วนแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ดังรูป ซึ่งทำให้ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกลม ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงรูปและการเคลื่อนที่ของ Spherical Robot [6]

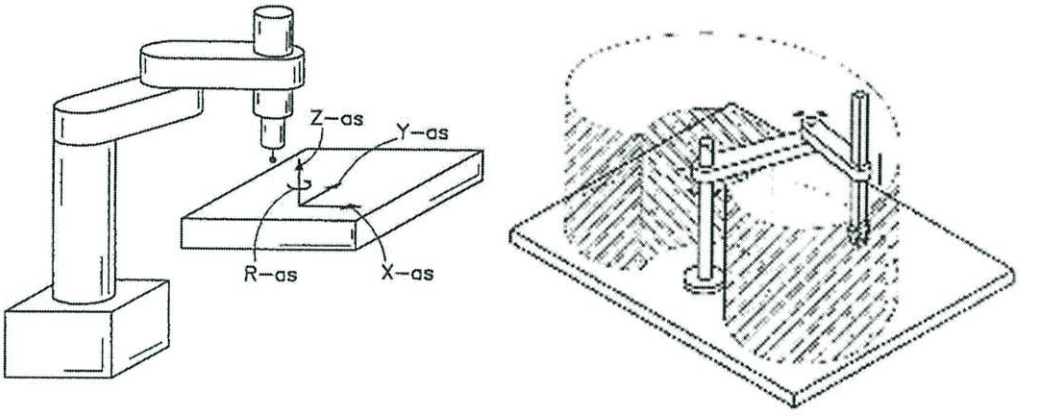
Spherical Robot ใช้ในงานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั๊ม (Press) หรืออาจจะใช้งานเชื่อมจุด (Spot Welding)

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ Spherical Robot [6]

ข้อดี	ข้อเสีย
- มีปริมาตรการทำงานมากขึ้น เนื่องจากการหมุนของแกนที่ 2 (ไหล่) - สามารถที่จะก้มลงมาจับชิ้นงานบนพื้นได้สะดวก	- มีระบบพิกัด (Coordinate) และส่วนประกอบที่ซับซ้อน - การเคลื่อนที่และระบบควบคุมมีความซับซ้อนขึ้น

2.1.4.4 SCARA Robot (Selective Compliance Assembly Robot Arm)

จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวตั้ง ส่วนแกนที่ 2 จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) ดังรูป ทำให้ได้พื้นที่การทำงาน หุ่นยนต์ SCARA จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบ และความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.5 แสดงรูปและการเคลื่อนที่ของ SCARA Robot [6]

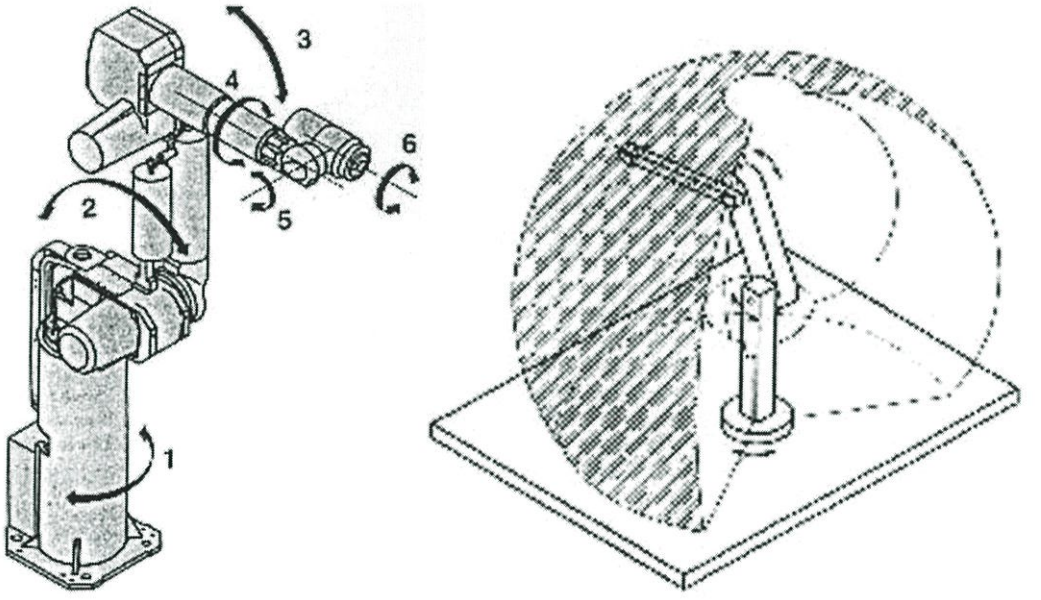
การประยุกต์การนำไปใช้งาน เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและขึ้นลงได้รวดเร็วจึงเหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการความรวดเร็ว และการเคลื่อนที่ไม่ต้องการการหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางกล (Mechanical Part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน (rotation) ในลักษณะมุมต่างๆ นอกจากนี้ SCARA Robot ยังเหมาะกับงานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ SCARA Robot [6]

ข้อดี	ข้อเสีย
- มีความแม่นยำสูง - สามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และขึ้นลงได้รวดเร็ว	- มีพื้นที่ทำงานจำกัด - ไม่สามารถหมุน (rotation) ในลักษณะมุมต่างๆได้ - สามารถยกน้ำหนัก (Payload) ได้ไม่มากนัก

2.1.4.5 Articulated Arm (Revolute)

แกนการเคลื่อนที่ของ Articulated Arm จะเป็นแบบหมุน (Revolute) ทั้งหมด รูปแบบการเคลื่อนที่จะคล้ายกับแขนคน ซึ่งจะประกอบด้วยช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง ข้อมือ การเคลื่อนที่ทำให้ได้พื้นที่การทำงาน ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงรูปและการเคลื่อนที่ของ Articulated Arm [6]

การประยุกต์การนำไปใช้งาน หุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถใช้งานได้กว้างขวาง เพราะสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่างๆได้ดี เช่น งานเชื่อม Spot Welding, Path Welding, งานยกของ, งานตัด, งานทากาว, งานที่มีการเคลื่อนที่ยากๆเช่น งานพ่นสี งาน Sealing ฯลฯ

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ Articulated Arm (Revolute) [6]

ข้อดี	ข้อเสีย
- เนื่องจากทุกแกนจะเคลื่อนที่ในลักษณะของการหมุนทำให้มีความยืดหยุ่นสูงในการเข้าไปยังจุดต่างๆ - บริเวณข้อต่อ (Joint) สามารถ Seal เพื่อป้องกันฝุ่นความชื้นหรือน้ำได้ง่าย - มีพื้นที่การทำงานมาก - สามารถเข้าถึงชิ้นงานทั้งจากด้านบน ด้านล่าง - เหมาะกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นชุดขับเคลื่อน	- มีระบบพิกัด (Coordinate) ที่ซับซ้อน - การเคลื่อนที่และระบบควบคุมทำความเข้าใจได้ยากขึ้น - ควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear) ได้ยาก - โครงสร้างไม่มั่นคงตลอดช่วงการเคลื่อนที่เพราะบริเวณพื้นที่การทำงาน (Work envelope) ปลายแขนจะมีการสั่น ทำให้ความแม่นยำลดลง

2.2 เฟือง (gear)

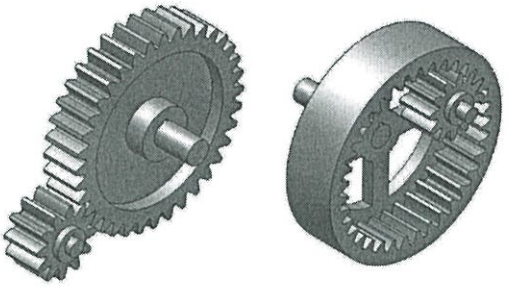
เฟืองเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ถ่ายทอดกำลังการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังเพลาอีกอันหนึ่งด้วยอัตราความเร็วที่คงที่และต่อเนื่อง

2.2.1 ชนิดของเฟืองและการใช้งาน

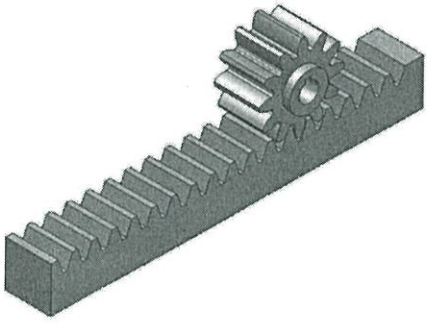
การส่งกำลังเพลาขนานกัน (Parallel Shafts) เฟืองที่ใช้วิธีการส่งกำลังแบบนี้มี 5 ชนิด

- เฟืองตรงภายนอก (External Spur Gear) คือ ฟันเฟืองทำอยู่บนผิวภายนอกของวัสดุรูปทรงกระบอก การทำงานส่วนมากเฟืองขับ(Driving gear) หรือ (Pinion) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (Driven Gear) ดังแสดงในรูปที่ 2.7
- เฟืองตรงภายใน (Internal Spur Gear) คือ ฟันเฟืองทำไว้บนผิวภายในของวัสดุรูปทรงกระบอก ส่วนเฟืองขับจะวางไว้ภายในของเฟืองตาม ดังแสดงในรูปที่ 2.7
- เฟืองสะพาน (Rack Gear) ฟันเฟืองจะทำบนแท่งเหล็กสี่เหลี่ยม หรือทำบนแท่งเหล็กกลม ใช้งานร่วมกับเฟืองตรง การทำงานเฟืองตรงจะหมุนขับให้เฟืองสะพานเลื่อนไปมาดังแสดงในรูปที่ 2.8
- เฟืองเฉียง (Helical Gear) ฟันเฟืองจะเอียงทำมุมกับเฟือง เป็นส่วนโค้งฮีลิก (Helix Cure) อยู่บนผิววัตถุทรงกระบอก ทำให้การขับกันราบเรียบมีเสียงดังน้อยสามารถถ่ายทอด กำลังหมุนได้ดีในความเร็วรอบสูง แต่เนื่องจากการทำมุมของฟันเฟืองจะทำให้เกิดแรงดัน (Thrust Load) ตามแนวแกนเพลา ถ้ามีมากสามารถทำให้เฟืองเสียหายได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ก)

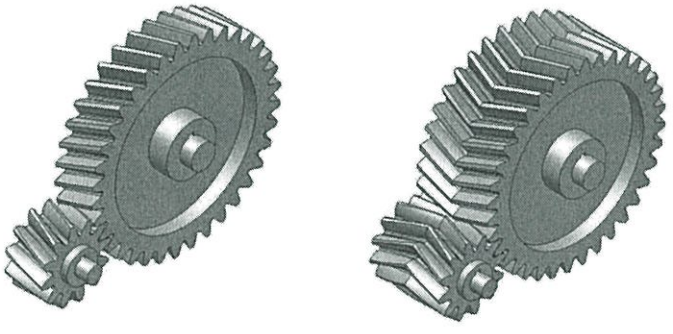
- เฟืองก้างปลา (Herring Bone Gear) ลักษณะของเฟืองเหมือนการนำเอาเฟืองเฉียง 2 อัน มาวางขบคู่ให้มีมุมตรงข้ามกัน เพื่อทำให้เกิดแรงรุนในแนวแกนเพลาในทิศทางตรงข้ามกัน ป้องกันเฟืองเสียหายและทำให้แบริ่งไม่ต้องรับแรงมาก แต่การสร้างจะมีราคาแพง ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ข)



รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานเฟืองตรงภายนอกและเฟืองตรงภายใน [7]



รูปที่ 2.8 การทำงานเฟืองสะพานโดยเฟืองตรงเป็นเฟืองขับ [7]

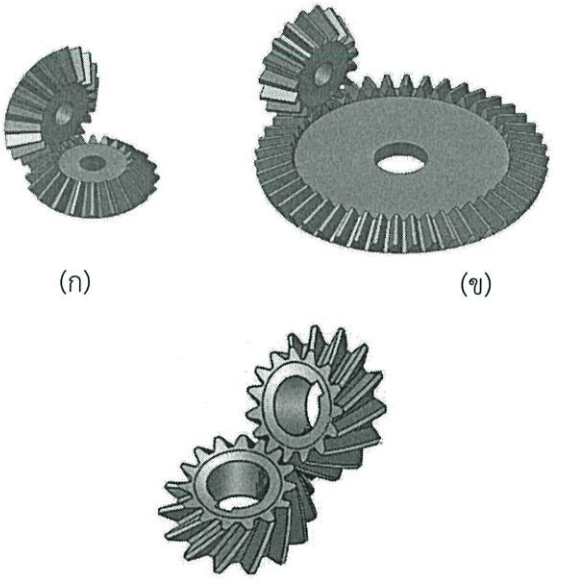


(ก) (ข)

รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานเฟืองเฉียงและเฟืองก้างปลา [7]

การส่งกำลังเพลาตัดกัน (Intersecting Shafts) ได้แก่

- เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) ฟันเฟืองจะทำบนผิวของวัสดุรูปทรงกรวย ฟันเฟืองดอกจอกจะเป็นโค้งอินโวลูต แต่ฟันเฟืองจะเรียงไปตามกรวยเฟืองดอกจอกสามารถวางแนวแกนเพลาทำมุมเท่าไรก็ได้แต่ส่วนมากนิยมวางทำมุม 90° และสามารถทดกำลัง โดยสร้างเฟืองอีกตัวหนึ่งมีขนาดใหญ่กว่า ข้อเสียจะมีเสียงดังมากในขณะทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก-ข)
- เฟืองดอกจอกฟันโค้ง (Spiral Bevel Gear) ฟันของเฟืองถูกตัดให้ทำมุมคล้าย เกลียว เพื่อให้ปลายด้านหนึ่งของแต่ละฟันขบกัน ก่อนปลายอีกด้านหนึ่งของฟันคู่หน้าจะจากกันทำให้อัตราส่วนสัมผัสมากขึ้น การถ่ายทอดกำลังราบเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ค)



(ก) (ข)

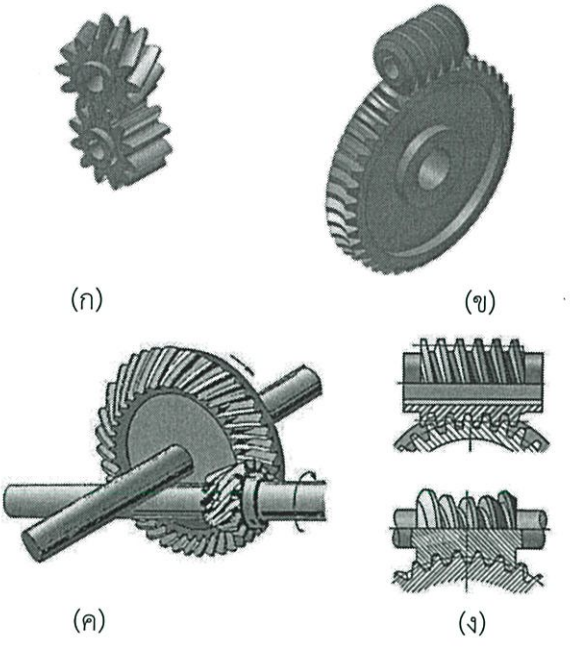
(ค)

รูปที่ 2.10 การทำงานเฟืองดอกจอกและเฟืองดอกจอกฟันโค้ง [7]

การส่งกำลังเพลาข้ามกัน (Crossed Shafts)

- เฟืองเฉียงขวาง (Crossed Helical Gear) การขบของฟันเฟืองมีลักษณะมีการสัมผัสเป็นจุดใช้ในงานส่งกำลังน้อยๆเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก)
- เฟืองหนอนชนิดฟันโอบด้านหนึ่ง (Single Enveloping Worm Gear) เฟืองหนอนมีลักษณะทั่วไปคล้ายกับเฟืองเฉียง แต่ขอบของฟันมีลักษณะโค้งเว้า การใช้งานใช้ทำงานร่วมกับเกลียวหนอน และผิวหน้าของฟันเฟืองหนอนโอบฟันเกลียวหนอน ส่วนมากใช้ในการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ตั้งฉากกัน และใช้ในการทดกำลังมากๆด้วย ดังแสดงใน (ข)
- เฟืองหนอนชนิดฟันโอบสองด้าน (Double Enveloping) คือ ฟันเฟืองหนอนและเกลียวหนอนต่างโอบซึ่งกันและกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ค)

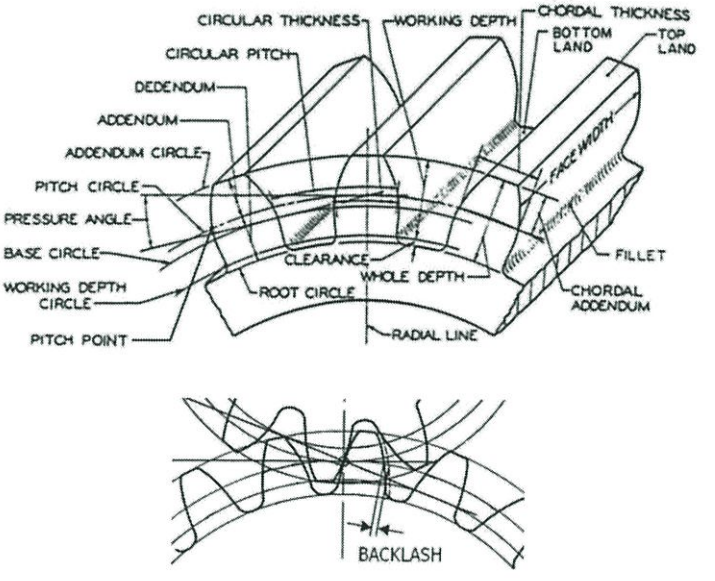
- เฟืองไฮพอยด์ (Hypoid Gear) เป็นเฟืองที่ใช้กับเฟืองท้ายของรถยนต์รูปที่ 2.11 (ง)



รูปที่ 2.11 เฟืองส่งกำลังเพลาข้ามกัน [7]

2.2.2 ตัวแปรของเฟืองตรง

คำจำกัดความต่างๆของเฟือง



รูปที่ 2.12 คำจำกัดความส่วนต่างๆของเฟือง [7]

- วงกลมพิชต์ (Pitch Circle) คือ แนววงกลมทางทฤษฎีที่เฟืองทั้งคู่สัมผัสซึ่งกันและกันใช้เป็นเส้นแบ่งฟันเฟืองเป็นส่วนของยอดฟันและโคนฟัน ดังแสดงในรูปที่ 2.12
- เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ (Pitch Diameter) d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์ใช้ในการบอกขนาดและการคำนวณเกี่ยวกับเฟือง
- ระยะพิตช์ในแนวเส้นรอบวง (Circular Pitch) p คือ ระยะที่วัดบนเส้นรอบวงกลมพิตช์จากจุดหนึ่งบนฟันไปยังจุดเดียวกันของฟันถัดไป มีค่าเท่ากับความหนาของฟันบวกกับความกว้างของฟัน
- ความสูงยอดฟัน (Addendum) คือ ระยะในแนวรัศมี วัดจากวงกลมพิตช์ถึงปลายฟัน
- ความสูงโคนฟัน (Dedendum) คือ ระยะในแนวรัศมี วัดจากวงกลมพิตช์ถึงโคนฟัน
- เส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน (Outside Diameter) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากยอดฟันข้างหนึ่งผ่านจุดศูนย์กลางไปยังยอดฟันด้านตรงข้าม
- เส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน (Root Diameter) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากโคนฟันด้านหนึ่งผ่านจุดศูนย์กลางไปยังโคนฟันด้านตรงข้าม
- ความสูงของฟันเฟือง (Whole Depth) เป็นผลรวมของความสูงยอดฟันกับความสูงโคนฟัน
- ความสูงใช้งาน (Working Depth) คือ ความลึกของฟันเฟืองที่ขบเข้าไปในช่องว่างระหว่างฟันจะเท่ากับสองเท่าของความสูงยอดฟัน หรือ ความสูงของฟันเฟืองลบช่องว่าง
- ช่องว่าง (Clearance) คือ ช่องว่างระหว่างยอดฟันกับระยะต่ำสุดของร่องฟัน ซึ่งมีค่าเท่ากับความสูงโคนฟันลบด้วยความสูงยอดฟัน
- วงกลมช่องว่าง (Clearance Circle) คือวงกลมที่สัมผัสกับวงกลมยอดฟันของเฟืองที่มาขบกัน
- ความหลวม (Backlash) เป็นระยะที่ร่องฟันมีค่ามากกว่าความหนาของฟันที่มาขบกัน วัดตามแนววงกลมพิตช์
- ความหนาของฟันเฟือง (Circular Thickness) ความหนาของฟันที่วัดตามความยาวของวงกลมพิตช์
- ความหนาคอร์ด (Choral Thickness) ความหนาของฟันเฟืองวัดตามความยาวคอร์ดของวงกลมพิตช์
- ความสูงคอร์ด (Choral Addendum) คือ ระยะความสูงยอดฟัน วัดจากคอร์ดของวงกลมพิตช์ไปยังยอดฟัน
- ความหนาของฟัน (Face Width) ความหนาของฟันเฟืองวัดในแนวแกนเพลา
- แฟลงค์ (Flank) ผิวด้านข้างของฟันเฟือง อยู่ระหว่างวงกลมพิตช์กับวงกลมโคนฟัน
- พื้นที่ปลายฟัน (Top Land) พื้นที่ส่วนปลายฟันเฟือง
- พื้นที่โคนฟัน (Bottom Land) พื้นที่ส่วนโคนฟันเฟือง
- จุดพิตช์ (Pitch Point) เป็นจุดสัมผัสของวงกลมพิตช์ของเฟืองที่ขบกัน

- มุมกดเฟือง (Pressure Angle) มุมที่เกิดขึ้นจากทิศทางการขบของเฟืองกับส่วนโค้งอินโวลูทของฟันเฟืองอินโวลูท ซึ่งจะทำมุมกดกันกับเส้นตั้งฉากกับแนวจุดศูนย์กลางที่จุดพิตช์
- แนวกดดัน (Pressure Line) เป็นแนวซึ่งแรงกดกันของเฟืองตัวหนึ่งกระทำผ่านจุดพิตช์ ไปยังเฟืองอีกตัวหนึ่ง
- วงกลมฐาน (Base Circle) เป็นวงกลมที่สัมผัสกับแนวกดดัน เป็นวงกลมที่ใช้ทำส่วนโค้งอินโวลูท ในการเขียนแบบเฟือง
- โมดุล (Module) m คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์หารจำนวนฟัน โดนมีค่าเป็นจำนวนเต็มหรือทศนิยม โมดุลเป็นหน่วยบอกขนาดของเฟืองในระบบ SI เฟืองที่มีค่าโมดุลมากจะมีขนาดฟันใหญ่ เฟืองที่มีค่าโมดุลน้อยจะมีขนาดฟันเล็ก ค่ามาตรฐานของโมดุลแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่ามาตรฐานของโมดุล(วริทธิ์ อึ๊งภาภรณ์ม และ ชาญ ถนัดงาน, 2523)หน่วยเป็นมิลลิเมตร[7]

โมดูลนิยม	โมดูลเลือกอันดับสอง	โมดลนิยม	โมดลเลือกอันดับสอง	โมดูลนิยม	โมดูลเลือกอันดับสอง
0.1	0.15	1.5	1.75	12	14
0.2	0.25	2	2.25	16	18
0.3	0.35	2.5	2.75	20	22
0.4	0.45	3	3.5	25	28
0.5	0.55	4	4.5	32	36
0.6	0.7	5	5.5	40	45
0.8	0.75	6	7	50	
1	0.9	8	9		
1.25		10	11		

ตารางที่ 2.1 ค่ามารตฐานของฟันเฟือง (วริทธิ์ อึ้งภาภรณ์ม และ ชาญ ถนัดงาน, 2523) $\frac{1}{2}^{\circ}$ [7]

รายละเอียด	$12\frac{1}{2}^{\circ}$ FD	20° FD พิตช์หยาบ *	20° FD พิตช์ละเอียด *	20° Stub	25° FD
แอดเดนดัม	M	m	m	0.8m	m
ดีเดนดัม	1.157 m	1.25 m	1.2 m+0.05	m	1.25m
เคลียรันซ์	0.157 m	0.25 m	0.2m+0.05	0.2m	0.25m
ความสูงใช้งาน	2m	2m	2m	1.6m	2m
ความสูงทั้งหมด	2.157 m	2.25 m	2.2m+0.05	1.8m	2.25m

2.2.3 ความสัมพันธ์ของตัวแปรเฟืองตรง

ขนาดของเฟืองตรงแบบลึกเต็ม สามารถหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

โมดุล	$m=p/\pi$
พิตช์	$p=\pi/m$
จำนวนฟัน	$z=d/m$
แอดเดนดัม	$a=m$
ดีเดนดัม	$b=1.25m$
ความลึกทั้งหมด	$ht=2.25m$
ความหนาของฟันตามแนววงกลมพิตช์	$t=\pi m/2$
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิตช์	$d=zm$
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมยอดฟัน	$da=(z+2)m$
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมโคนฟัน	$dd=(z-2.5)m$
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมฐาน	db=zmcos(มุมกด)
ช่องว่าง	$c=0.25m$
รัศมีฟิลเล็ต	$rf=0.3m$

2.3 มอเตอร์เซอร์โว (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์ เป็น อุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเครื่องจักรกล หรือระบบการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามความต้องการ เช่น ควบคุมความเร็ว (Speed), ควบคุมแรงบิด (Torque), ควบคุมแรงตำแหน่ง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(Position) โดยให้ผลลัพธ์ตามความต้องการที่มีความแม่นยำสูง ขนาดของเซอร์โวมอเตอร์จะมีหน่วยในการบอกขนาดเป็นวัตต์ (Watt) เซอร์โวมอเตอร์มีขนาดตั้งแต่ 50W-15kW ทำให้ผู้ใช้งานมีความหลากหลายในการใช้งาน ชุดของเซอร์โวมอเตอร์จะประกอบด้วย ชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์ ชุดขับ และ ตัวมอเตอร์

2.3.1 ชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์

ชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานว่าต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์นั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไหร่และระยะทาง ใกล้หรือไกลแค่ไหน

รูปที่ 2.13 Controller [8]

2.3.2 ชุดขับเซอร์โว (Servo Driver)

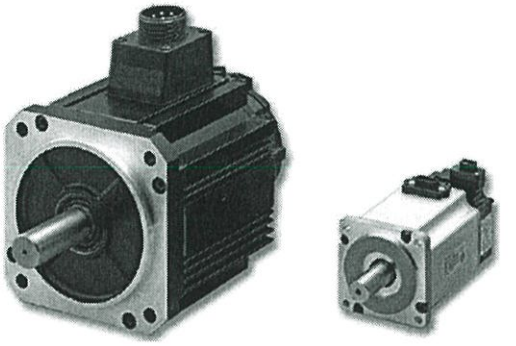
ชุดขับเซอร์โวจะรับสัญญาณมาจากชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์และสั่งการให้กับตัวเซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ตามที่ คอนโทรลเลอร์ สั่งการมา แต่ทำไม คอนโทรลเลอร์ ไม่สั่งการควบคุมไปที่เซอร์โวมอเตอร์โดยตรง เนื่องจากชุดขับเซอร์โวจะเป็นตัวที่ปรับตั้งค่าของตัวเซอร์โวมอเตอร์ ให้ทำงานตามรูปแบบของการควบคุมไม่ว่า จะเป็นการควบคุม ความเร็ว(Speed Control) , แรงบิด(Toucque) และ ตำแหน่ง (Position Control) ตัว ชุดขับเซอร์โวจะเป็น ตัวกำหนดค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับตัวเซอร์โวมอเตอร์ ให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพราะฉะนั้นเมื่อใช้เซอร์โวมอเตอร์ก็จะต้องมีชุดขับเซอร์โวเสมอ

รูปที่ 2.14 Servo Driver [8]

144436

2.3.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์มีหน้าที่ขับเคลื่อนอุปกรณ์ของเครื่องจักรกลหรือระบบของการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ ได้รับคำสั่งจากตัวชุดขับเซอร์โว พร้อมกับส่งสัญญาณป้อนกลับให้กับตัวขับว่าตอนนี้มอเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไหร่และระยะทางในการเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าไหร่แล้ว ด้วยสัญญาณของตัวเอ็นโดเดอร์ที่อยู่ภายในตัวเซอร์โวมอเตอร์ทำให้การเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์นั้นมีความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.15 Servo Motor [8]

ด้วยองค์ประกอบข้างต้นทั้งหมดทั้งมวลนั้น พอจะทำให้ผู้ที่จะใช้งานหรือผู้ที่กำลังศึกษา พอที่จะมองภาพของการ ทำงานของระบบเซอร์โวมอเตอร์ ว่าองค์ประกอบของระบบหรือการที่จะใช้งานเซอร์โวมอเตอร์นั้นต้องมีองค์ประกอบอะไรบ้างจึงจะใช้งานเซอร์โวมอเตอร์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

2.4 ตลับลูกปืน (Bearing)

ตลับลูกปืนที่ใช้ในเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรกลนั้น มีหน้าที่หลักๆ คือ ใช้เป็นตัวรองรับการเคลื่อนที่ของเพลาให้ทำงานให้เที่ยงตรงทั้งแนวรัศมี และแนวแกน อีกทั้งยังทำหน้าที่ลดความเสียดทานโดยจะทำให้เพลาสามารถหมุนได้อย่างราบลื่นไม่ติดฝืด เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเพลาได้ดียิ่งขึ้น และสามารถถอดเปลี่ยนได้ง่ายเมื่อตลับลูกปืนชำรุดหรือหมดสภาพ ถือเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ แต่มีความสำคัญในเครื่องจักรกลที่มีบทบาทสูงเลยทีเดียว ตลับลูกปืนมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับการออกแบบ และใช้งาน เช่น โรลเลอร์แบริ่ง บอลแบริ่ง บอลทรัสต์แบริ่ง โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง เทปเปอร์โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง และโรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง

2.4.1 โรลเลอร์แบริ่ง

นิยมใช้สำหรับออกแบบสายพานลำเลียง ที่ต้องรับแรงในแนวรัศมีมากเป็นพิเศษ ดังนั้นแบริ่งแบบนี้ ส่วนที่กลิ้งจึงเป็นรูปทรงกระบอก จุดสัมผัสระหว่างวงนอก และวงใน เป็นเส้นไม่ใช่จุด ทำให้สามารถรับ

น้ำหนักในแนวรัศมีได้มากกว่า บอลแบริ่ง อย่างไรก็ตาม โรลเลอร์แบริ่งไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรับน้ำหนักในแนวแกน

รูปที่ 2.16 โรลเลอร์แบริ่ง [9]

2.4.2 บอลแบริ่ง

เป็นแบริ่งที่นิยมใช้กันมากสุด ตั้งแต่รองเท้าสเก็ต จนไปถึง ฮาร์ดดิสก์ บอลแบริ่งสามารถรับแรงได้ทั้งสองแนว แต่เป็นแรงที่มีขนาดไม่มากนัก แรงถูกส่งผ่านจากวงนอก ไปวงใน โดยมีลูกบอลเป็นตัวกลางกลิ้งอยู่ จุดสัมผัสของลูกบอล ระหว่าง วงนอกและในเป็นจุดเล็กๆ จึงช่วยให้การหมุน เรียบ และลื่น อย่างไรก็ตามถ้ารับแรงมากๆ ทำให้ลูกบอลบิดตัวได้

รูปที่ 2.17 บอลแบริ่ง [9]

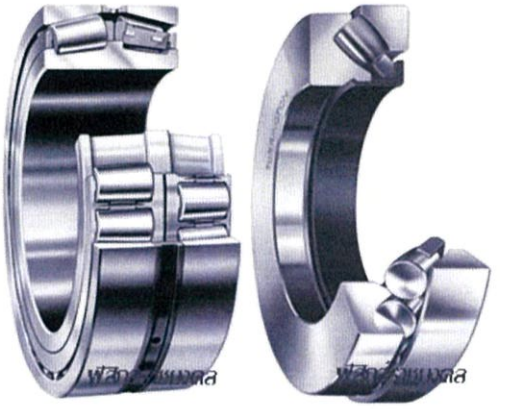
2.4.3 บอลทรัสต์แบริ่ง

นิยมใช้กับเก้าอี้หมุน หรือโต๊ะหมุน เป็นต้น ไม่สามารถรับแรงในแนวรัศมีได้

รูปที่ 2.18 บอลทรัสต์แบริ่ง [9]

2.4.4 เทปเปอร์โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง

ใช้สำหรับรับแรงในแนวแกนและรัศมีที่มีขนาดมากๆ เช่น กระดุมล้อของรถยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 2.19 เทปเปอร์โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง [9]

2.4.5 โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง

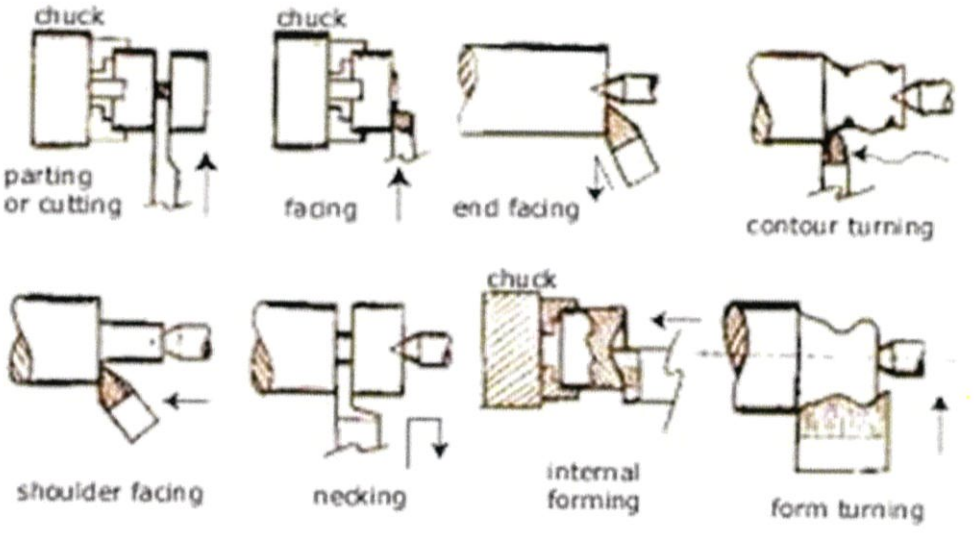
ใช้สำหรับรับแรงในแนวแกนที่มีขนาดมากๆ

รูปที่ 2.20 โรลเลอร์ทรัสต์แบริ่ง [9]

2.5 กรรมวิธีการผลิต

2.5.1 การกลึง

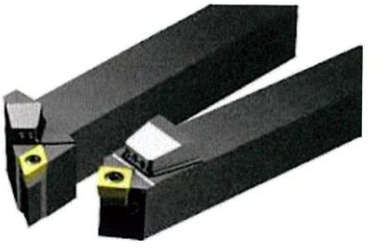
งานกลึงเป็นกระบวนการขึ้นรูปงานในลักษณะของงานทรงกระบอกเป็นหลักประกอบด้วย งานกลึงปาดหน้า, งานกลึงปอก,งานกลึงเกลียว, งานกลึงคว้านรูใน, งานกลึงเซาะร่อง, งานกลึงตัด, รูปด้านล่างแสดงตัวอย่างของงานกลึงประเภทต่างๆ เครื่องจักรที่ใช้ขึ้นรูปนงานกลึงคือ เครื่องกลึง (Lathe) มีทั้งเครื่องกลึงที่เป็นการควบคุมแบบธรรมดาหรือ Manual และเครื่องกลึงที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ (CNC Lathe). นอกจากงานที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว เครื่องกลึงยังสามารถทำงานได้อีกหลายอย่าง เช่น เจาะรู (Drill), ต๊าปเกลียว (Tapping) ลักษณะการขึ้นรูปของงานกลึงนั้น ชิ้นงานจะยึดติดอยู่กับที่และหมุนอยู่บนหัวจับ (Spindle) ของเครื่องกลึง หลังจากนั้นเครื่องมือตัด (Cutting Tool) จะเคลื่อนที่เข้าตัดชิ้นงานเป็นรูปร่างต่างๆ



รูปที่ 2.21 แสดงการกลึงลักษณะต่างๆ [10]

2.5.2 มีดกลึง

สำหรับงานกลึงทั่วไป เช่น กลึงลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตลอดแนวความยาว ไม่มีร่อง ไม่มีตกบ่า มีดกลึงที่ใช้จะมีอยู่สองแบบใหญ่คือ มีด High Speed Steel และ มีด Insert



รูปที่ 2.22 ด้ามมีดกลึงสำหรับการกลึงปอกภายนอก [10]

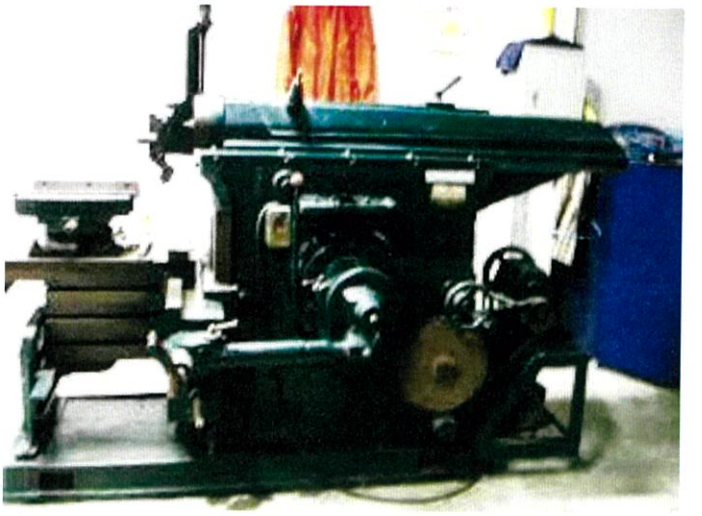
รูปที่ 2.23 เม็ดมีดกลึงที่ใช้ในการกลึงปอกทั่วไป [10]

รูปที่ 2.24 ด้ามมีดกลึงสำหรับการกลึงคว้านรู [10]

รูปที่ 2.25 เม็ดมีดกลึงสำหรับการกลึงคว้านรู [10]

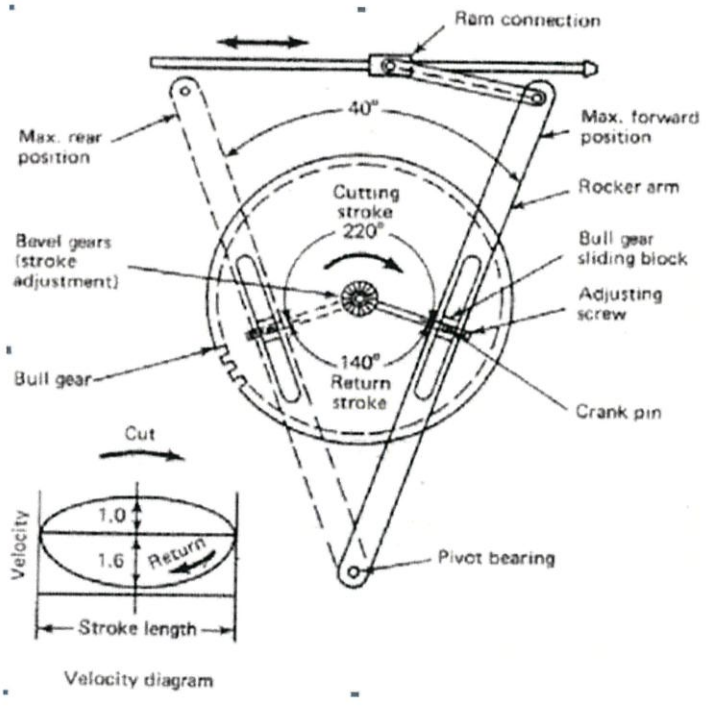
2.5.3 การไส

งานไสเป็นการตัดเฉือนชิ้นงานเพื่อลดขนาดและทำผิวชิ้นงานเรียบตามต้องการ ด้วยมีดไสเฉือนเนื้อชิ้นงานให้ขาดออกไปตามแนวไส เครื่องไสนอนป้อมมีดของเครื่องไสนอนเลื่อนกลับไปมาในแนวราบและชิ้นงานยึดจับด้วยปากกาหรือสกรูยึด



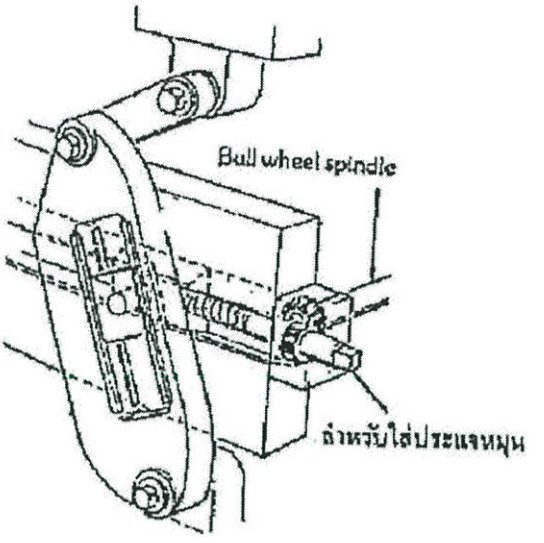
รูปที่ 2.26 เครื่องไสนอน [11]

หลักการทำงานของเครื่องไสราบ กลไกภายในของเครื่องไสทั่วไปมีการขับเคลื่อนด้วยก้านชัก (Link) ร่วมกับชุดเฟืองที่รับกำลังขับจากมอเตอร์ ส่งผ่านมาที่เฟืองขับ (Pinion Drive From Gear Box) แล้วส่งผ่านไปล้อเฟืองตัวใหญ่ (Bull Wheel) ซึ่งจะประกอบร่วมกับแขนชัก (Rocker Arm) ส่งกำลังขับผ่านไปยังก้านปรับแนว (Compensating Link) จะดันก้านกระทุ้ง (Ram) ทำให้เคลื่อนที่ไปกลับและทำให้มีดไสซึ่งอยู่ในป้อมมีดตัดเฉือนชิ้นงานออก รูปที่ 2.27 แสดงการทำงานของกลไกเครื่องไส



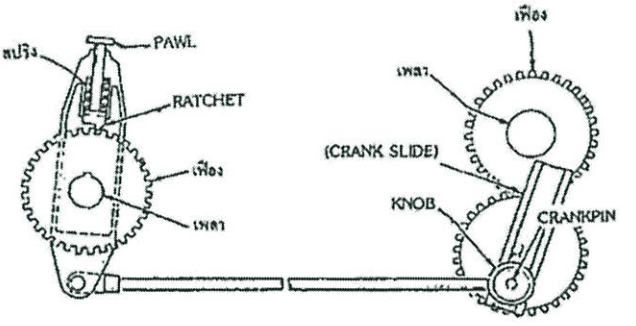
รูปที่ 2.27 กลไกภายในของเครื่องไสนอน [11]

เครื่องไสสามารถปรับความยาวช่วงชักได้โดยเปลี่ยนความยาวของระยะชักให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ โดยเลื่อนตำแหน่งของหมุด (Crank Pin) บนจานเฟือง (Crank Gear) ถ้าเลื่อนออกจากจุดศูนย์กลางระยะชักมีค่ามากขึ้น แต่ถ้าขยับเข้าจุดศูนย์กลางเฟืองระยะชักก็จะสั้นลง



รูปที่ 2.28 การปรับความยาวช่วงชัก [11]

ส่วนของระบบการป้อนของเครื่องไส การป้อนไสจะเคลื่อนที่ด้วยระบบเกลียวป้อน (Feed Screw) อย่างอัตโนมัติกระทำได้โดยการหมุนเกลียวป้อนจากในจังหวะชักกลับหรือถอยกลับของมีดไส การป้อนจะเกิดขึ้นโดยการใช้ Pawl และ Ratchet Wheel ประกอบเข้ากับปลายข้างหนึ่งของเกลียวป้อนดังรูปที่ 2.29

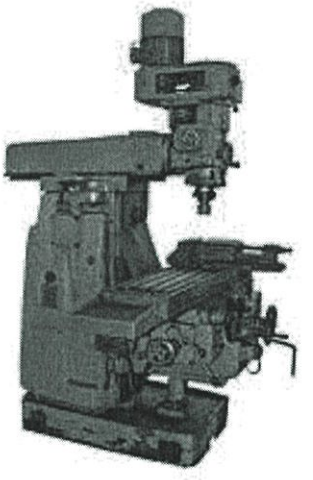


รูปที่ 2.29 ระบบการป้อนของเครื่องไส [11]

2.5.4 การกัด

ขั้นตอนหลักในกระบวนการกัดเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปโดยการเฉือน (Shear Deformation) ทำให้เกิดเศษตัด (Chip) เมื่อเศษตัดถูกกัดออกจากชิ้นงานจะเกิดผิวชิ้นงานใหม่ กระบวนการกัดนี้ใช้ในการผลิตชิ้นงานโลหะให้มีรูปร่างต่างๆ และถือเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง สามารถประยุกต์ใช้

ได้อย่างกว้างขวางกับวัสดุหลายประเภท โดยส่วนใหญ่ใช้ได้กับโลหะแข็ง รวมถึง พลาสติก และ พลาสติดผสม (Plastic Composite) สำหรับเซรามิกส์ การกัดทำได้ยากเนื่องจากเซรามิกส์มีความแข็ง(Hardness) สูง และมีความเปราะ อย่างไรก็ดีเซรามิกส์สามารถกัดได้โดยใช้กระบวนการกัดด้วยผงขัด (Abrasive Machining Process) สามารถใช้ในการทำชิ้นงานที่มีรูปร่างหลากหลาย รวมถึงชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน โดยการใช้วิธีการกัดหลายๆแบบ และหลายๆขั้นตอนตามรายละเอียดชิ้นงาน สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาดความคลาดเคลื่อนหรือพิกัดความเผื่อ (Tolerance) น้อยกว่า 0.001 นิ้ว (0.025 มิลลิเมตร) ซึ่งความถูกต้องมากกว่ากระบวนการผลิตส่วนใหญ่ มีความสามารถผลิตผิวสำเร็จ (Surface Finish) ของชิ้นงานให้มีความเรียบ 16 μin (0.4 μm) หรือดีกว่า ด้วยคุณสมบัติข้างต้น กระบวนการกัดมักนิยมใช้กับชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบอื่นๆมาแล้ว เช่น งานหล่อ (Casting) หรือการขึ้นรูปขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น การตีขึ้นรูป(Forging) โดยรูปร่างทั่วไปของชิ้นงานจะถูกผลิตโดยกระบวนการอื่นและใช้กระบวนการกัดในผลิตจนงานสำเร็จ ให้มีรูปร่างที่ถูกต้องและมีผิวงานตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.30 เครื่องกัด (Milling Machine) [11]

2.5.5 การเชื่อม

เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับต่อวัสดุ ส่วนใหญ่เป็นโลหะและพลาสติก โดยให้รวมตัวเข้าด้วยกัน ปกติใช้วิธีทำให้ชิ้นงานหลอมละลายและการเพิ่มเนื้อโลหะเติมลงในแอ่งหลอมละลายของวัสดุที่หลอมเหลว เมื่อเย็นตัวรอยต่อจะมีความแข็งแรง บางครั้งใช้แรงดันร่วมกับความร้อน หรืออย่างเดียว เพื่อให้เกิดรอยเชื่อม ซึ่งตรงข้ามกับการบัดกรีอ่อนและการบัดกรีแข็งซึ่งไม่มีการหลอมละลายของชิ้นงาน มีแหล่งพลังงานหลายอย่างสำหรับนำมาใช้ในการเชื่อม เช่น การใช้ความร้อนจากเปลวแก๊ส, การอาร์คโดยใช้กระแสไฟฟ้า, ลำแสงเลเซอร์, การใช้อิเล็คตอรอนบีม, การเสียดสี, การใช้คลื่นเสียง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมมีการนำมาใช้

ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่นการเชื่อมในพื้นที่โล่ง, พื้นที่อับอากาศ, การเชื่อมใต้น้ำ การเชื่อมมีอันตรายเกิดขึ้นได้ง่าย จึงควรมีความระมัดระวังเพื่อป้องกันอันตราย เช่น ที่เกิดจาก กระแสไฟฟ้า, ความร้อน, สะเก็ดไฟ, ควันเชื่อม, แก๊สพิษ, รังสีอาร์ค, ชิ้นงานร้อน, ฝุ่นละออง

วิธีการเชื่อมโลหะแบ่งออกได้ดังนี้

- การเชื่อมแก๊ส (Gas Welding) คือ การหลอมเหลวโลหะ แหล่งความร้อนที่ใช้เกิดมาจากการเผาไหม้ระหว่าง แก๊สอะเซทีลีน ซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิง และแก๊สออกซิเจน อุณหภูมิของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ให้ความร้อนสูง 3200°C และจะไม่มีเขม่าหรือควัน

รูปที่ 2.31 ชุดเชื่อมแก๊ส

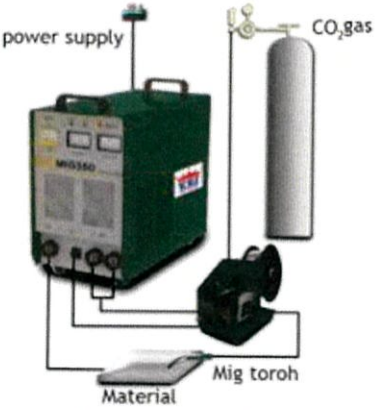
- การเชื่อมไฟฟ้า (Arc Welding) หรือ "อาร์ค" ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมเกิดจากประกายอาร์ค ระหว่างชิ้นงาน และลวดเชื่อม ซึ่งหลอมละลายลวดเชื่อม เพื่อทำหน้าที่ประสานเนื้อโลหะเข้าด้วยกัน

- การเชื่อมอัด (Press Welding) คือ การประสานโลหะ 2 ชิ้น โดยใช้ความร้อน กับชิ้นงานในบริเวณที่จะทำการเชื่อม จากนั้นใช้แรงอัดส่วนที่หลอมละลายชิ้นงานให้ติดกันเป็นจุด หรือเกิดแนวความร้อนที่ใช้ได้จากความต้านทานไฟฟ้า เช่น การเชื่อมจุด (Spot Welding)

- การเชื่อม TIG (Tungsten Inert Gas Welding) เป็นวิธีเชื่อมโลหะด้วยความร้อน ที่เกิดจากการอาร์คระหว่างลวดทังสเตน กับชิ้นงาน โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อม และบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยา

รูปที่ 2.32 เครื่องเชื่อม TIG

- การเชื่อม MIG (Metal Inert Gas Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมที่สร้างความร้อนระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ลวดเชื่อมที่ใช้จะเป็นลวดเชื่อมเปลือยที่ส่งป้อนอย่างต่อเนื่อง ไปยังบริเวณอาร์ค และทำหน้าที่เป็นโลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลาย บริเวณบ่อหลอมละลายจะถูกปกคลุมไปด้วยแก๊สเฉื่อย เพื่อไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ



รูปที่ 2.33 เครื่องเชื่อม MIG

- การเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าที่ได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมเปลือยกับชิ้นงานเชื่อม โดยมีฟลักซ์ชนิดเม็ด (Granular Flux) ปกคลุมบริเวณอาร์คและฟลักซ์ส่วนที่อยู่ใกล้กับเนื้อเชื่อมจะหลอมละลายปกคลุมเนื้อเชื่อมเพื่อป้องกันปฏิกริยากับแนวเชื่อม ส่วนฟลักซีที่อยู่ห่างจากเนื้อเชื่อมจะไม่หลอมละลายและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

2.5.6 การเจาะ

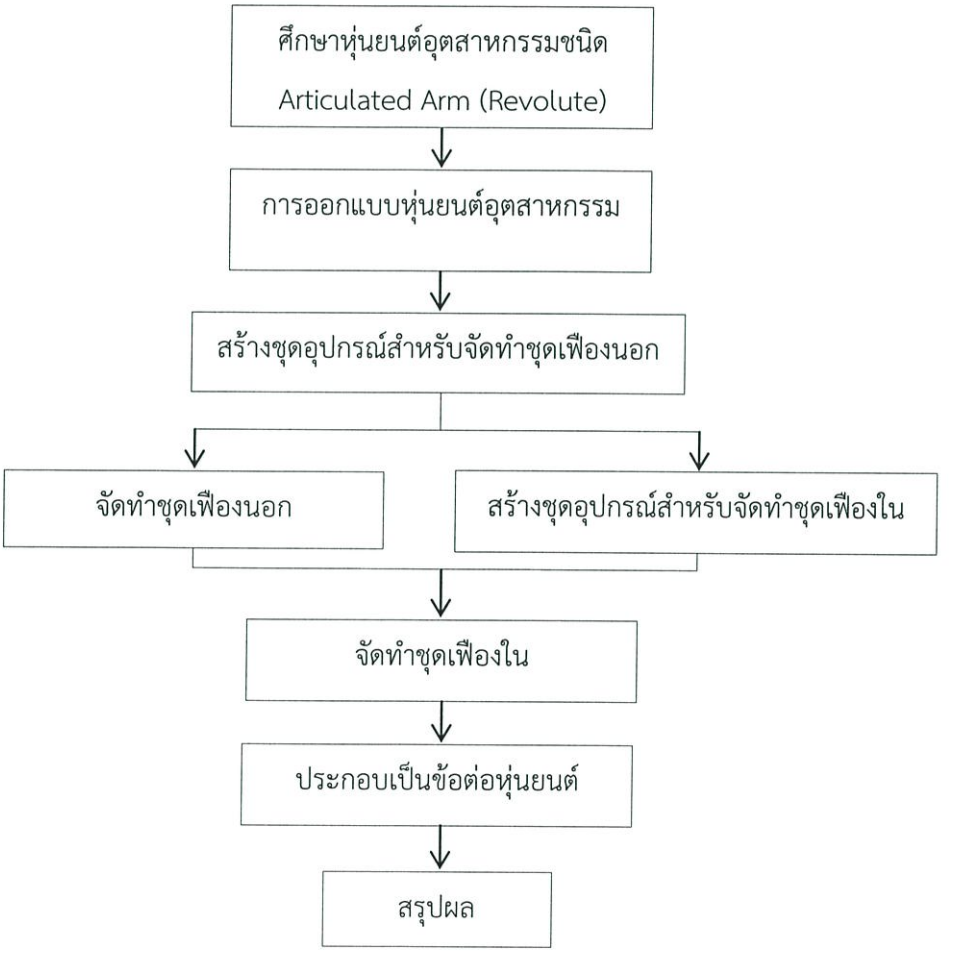
เครื่องเจาะมี 2 แบบคือ แบบตั้งโต๊ะและแบบตั้งพื้น การจับยึดดอกสว่านนอกจากจะใช้หัวจับแล้วยังใช้พวกปลอกเรียว (Taper Sleeve) มีขั้นตอนในการทำงานได้กว้างขึ้น ความเร็วรอบเปลี่ยนได้หลายขั้นและสามารถจับงานขนาดใหญ่ๆ ได้น้ำหนักเครื่องเจาะแบบตั้งพื้นจะมากกว่าแบบตั้งโต๊ะ ระบบการส่งกำลังขับมีทั้งแบบตรงต่อจากมอเตอร์ผ่านสายพาน (Pulley) เข้าเพลาเจาะหรือใช้ระบบเฟืองขับต่อจากมอเตอร์เลยก็ได้ เครื่องเจาะแบบตั้งโต๊ะเหมาะกับงานเจาะเบา ๆ หรืองานที่ต้องการความเร็วรอบสูง โดยทั่วไปใช้กับดอกสว่านขนาดความโตไม่เกิน 1 ½ นิ้ว (ประมาณ 38 มิลลิเมตร)

ส่วนประกอบของเครื่องเจาะประกอบด้วย มือหมุนเจาะชิ้นงาน ชุดสายพานส่งกำลัง มอเตอร์ส่งกำลัง เพลาจับสว่าน เสา แท่นรองรับชิ้นงาน เฟืองสะพาน หมุนปรับแท่นรองรับงานให้ขึ้นลงตามเสา ล็อคแท่นรองรับงานให้อยู่กับที่

รูปที่ 2.34 เครื่องเจาะ

บทที่ 3
การดำเนินงาน

การออกแบบวิธีสร้างข้อต่อแขนกลมีขั้นตอนที่สำคัญคือ การศึกษาหาข้อมูลหุ่นยนต์อุตสาหกรรมชนิดแกนหมุน (Articulate Arm) กระบวนการสร้างข้อต่อพร้อมทั้งออกแบบชิ้นส่วนให้มีความเหมาะสมสำหรับการผลิต การออกแบบสร้างอุปกรณ์สำหรับการผลิตทั้งเฟืองนอกและเฟืองใน กระบวนการทั้งหมดตามรายละเอียดดังผังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพขั้นตอนการปฏิบัติงาน

3.1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

รูปแบบของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม 6 แกน รวมเป็นโครงสร้างเชิงกลของหุ่นยนต์ที่ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลักคือข้อต่อและท่อนแขน ท่อนแขนเป็นโครงสร้างที่ให้รูปร่างของหุ่นยนต์ แต่ข้อต่อจะเป็นส่วนที่มีโครงสร้างภายในเป็นชุดขับเคลื่อนแขนทั้งหมด ข้อต่อจะประกอบไปด้วย เฟือง มอเตอร์ ลูกปืน การออกแบบข้อต่อจะคำนึงถึงกรรมวิธีการผลิตและการหาวัตถุดิบที่สามารถหาได้ตามท้องตลาด

3.1.1 การออกแบบชุดขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

ข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับการออกแบบให้ขนาดน้ำหนักหุ่นยนต์รวมภาระงานของหุ่นต้องไม่มากกว่า 30 กิโลกรัมและหุ่นมีระยะเอื้อมที่ 1.2 เมตร และ หมุนไปด้วยความเร็ว 90 องศาต่อวินาที (15 รอบต่อนาที) ทำให้เกิด Requirement Torque = 30kg x 1.2m x 9.8m/s^2 = 352.8 นิวตันเมตร ซึ่งหมายถึงแรงในการยกวัตถุที่แขนกลต้องการ และ จะนำค่าแรงบิดที่ต้องการนี้ ไปหาขนาดของมอเตอร์และชุดเฟืองทดที่ให้อัตราทดที่รองรับความต้องการนี้

รูปที่ 3.2 มอเตอร์ รุ่น Omron R88M-G40030H

จากการเลือก มอเตอร์ รุ่น Omron R88M-G40030H ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที และแรงบิดเท่ากับ 3.65 นิวตันเมตร ทำให้สามารถคำนวณหาค่าอัตราทดของชุดเฟืองได้ดังนี้

$$\text{อัตราทดเฟือง} = \frac{\text{จำนวนฟันเฟืองขับ}}{\text{จำนวนฟันเฟืองตาม}} \qquad (3.1)$$

$$\text{โมดูล} = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง}}{\text{จำนวนฟัน}} \qquad (3.2)$$

$$\text{แอดเดนดัม} = \text{โมดูล} \qquad (3.3)$$

$$\text{ดีเดนดัม} = 1.25 \times \text{โมดูล} \qquad (3.4)$$

การคำนวณหาอัตราทดเฟืองของแต่ละข้อต่อ มีเงื่อนไข 2 ข้อ ได้แก่แรงบิด และความเร็วรอบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การคำนวณจากแรงบิด

แรงบิดที่ต้องการ = 352.8 นิวตันเมตร

แรงบิดมอเตอร์ = 3.65 นิวตันเมตร

จะได้ อัตราทดเฟือง $\leq$ 1: (352.8/3.65)

$\leq$ 1: 96.66 (ค่าที่รับได้สูงสุด)

การคำนวณจากความเร็วรอบ

ความเร็วรอบที่ต้องการ = 15 รอบต่อนาที

ความเร็วรอบมอเตอร์ = 3,000 รอบต่อนาที

จะได้ อัตราทดเฟือง $\geq$ 1: (3,000/15)

$\geq$ 1: 200 (ค่าที่รับได้ต่ำที่สุด)

ดังนั้น อัตราทดเฟืองของแต่ละข้อต่อควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1: 200 ถึง 1 : 96.66 โดยได้เลือกชุดเฟืองเป็นแบบชุดเฟือง Planetary Gear ทั้ง 3 ข้อต่อ แต่ละข้อต่อจะทำการคำนวณหาอัตราทดเฟืองและจำนวนฟันโดยพิจารณาแยกกัน

3.1.2 การออกแบบชุดเฟืองข้อต่อที่ 1

ชุดเฟืองสำหรับข้อต่อที่ 1 เลือกใช้ Planetary Gear 3 ชั้น โดยจะแบ่งอัตราทดเฟืองในแต่ละชั้นเป็น 1:5 ดังนั้นอัตราทดของชุดเฟืองคือ 1/5×1/5×1/5=1/125 ซึ่งอัตราทดของชุดเฟือง 1:125 มีค่าอยู่ระหว่าง 1:200 ถึง 1:96.66 และได้ความเร็วข้อต่อที่ 1 = 0.4 รอบต่อวินาที หรือ 144 องศาต่อวินาที ตามข้อกำหนด

จากนั้น คำนวณหาจำนวนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง แอดเดนดัม ดีเดนดัม ของเฟือง

กำหนด โมดูล = 1

อัตราทดของชุดเฟือง = 1:125

อัตราทดของเฟืองในแต่ละชั้น = 1:5

เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองตัวขับ = 44 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองตัวตาม = 220 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองสะพาน = 88 มิลลิเมตร

ดังนั้นจะได้ว่า

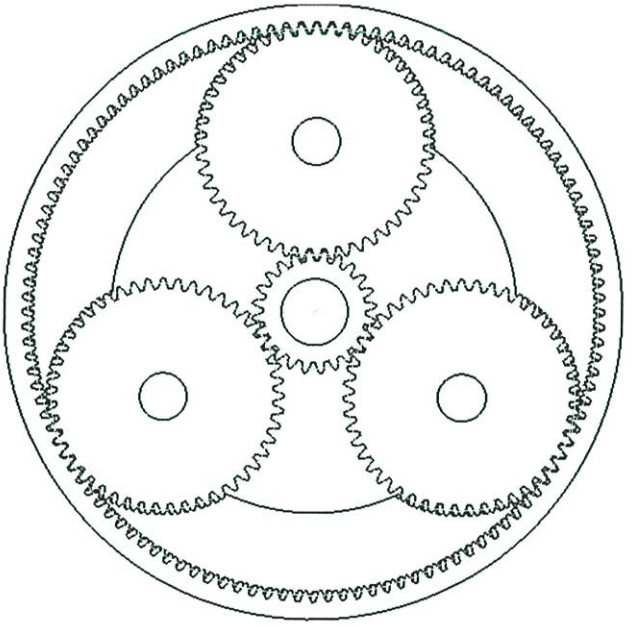
จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ = 44 ฟัน

แอดเดนดัมของเฟืองตัวขับ = 1 มิลลิเมตร

ดีเดีดัมของเฟืองตัวขับ = 1.25 มิลลิเมตร

จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม = 220 ฟัน
แอดเดนดัมของเฟืองตัวตาม = 1 มิลลิเมตร
ดีเดนดัมของเฟืองตัวตาม = 1.25 มิลลิเมตร

จำนวนฟันของเฟืองสะพาน = 88 ฟัน
แอดเดนดัมของเฟืองสะพาน = 1 มิลลิเมตร
ดีเดนดัมของเฟืองสะพาน = 1.25 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.3 ชุดเฟืองข้อต่อที่ 1

3.1.3 การออกแบบชุดเฟืองข้อต่อที่ 2 และ 3

ชุดเฟืองสำหรับข้อต่อที่ 1 เลือกใช้ planetary gear 3 ชั้น โดยจะแบ่งอัตราทดเฟืองในแต่ละชั้นเป็น 1:5 ดังนั้นอัตราทดของชุดเฟืองคือ 1/5×1/5×1/5=1/125 ซึ่งอัตราทดของชุดเฟือง 1:125 มีค่าอยู่ระหว่าง 1:200 ถึง 1:96.66 และได้ความเร็วข้อต่อที่ 1 = 0.4 รอบต่อวินาที หรือ 144 องศาต่อวินาที ตามข้อกำหนด

จากนั้น คำนวณหาจำนวนฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง แอดเดนดัม ดีเดนดัม ของเฟือง โดยกำหนด

โมดูล = 1

อัตราทดของเฟืองในแต่ละชั้น = 1:5

จำนวนฟันเฟืองตัวขับ = 27 ฟัน

จำนวนฟันเฟืองตัวตาม = 135 ฟัน (เฟืองฟันใน)

จำนวนฟันเฟืองสะพาน = 54 ฟัน

ดังนั้นจะได้ว่า

เส้นผ่านศูนย์กลางอ้างอิงเฟืองตัวขับ = 27 มิลลิเมตร

แอดเดนดัมของเฟืองตัวขับ = 1 มิลลิเมตร

ดีเดียดัมของเฟืองตัวขับ = 1.25 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางอ้างอิงเฟืองตัวตาม = 135 มิลลิเมตร

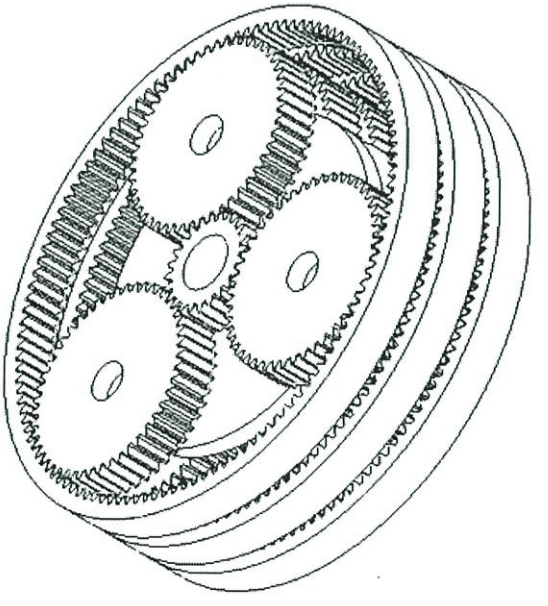
แอดเดนดัมของเฟืองตัวตาม = 1 มิลลิเมตร

ดีเดนดัมของเฟืองตัวตาม = 1.25 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางอ้างอิงเฟืองสะพาน = 54 มิลลิเมตร

แอดเดนดัมของเฟืองสะพาน = 1 มิลลิเมตร

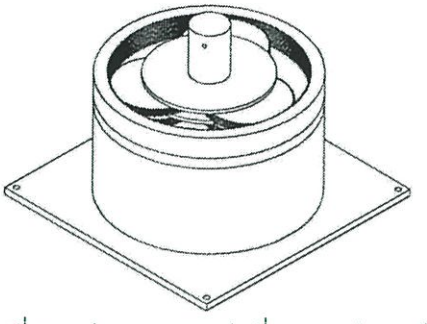
ดีเดนดัมของเฟืองสะพาน = 1.25 มิลลิเมตร



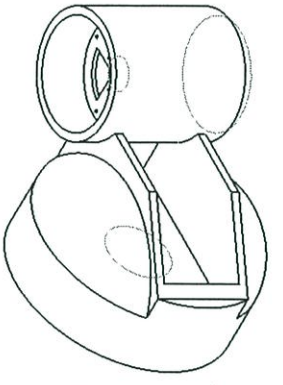
รูปที่ 3.4 ชุดเฟืองข้อต่อที่ 2 และ 3

3.1.4 การออกแบบรูปร่างของหุ่นยนต์

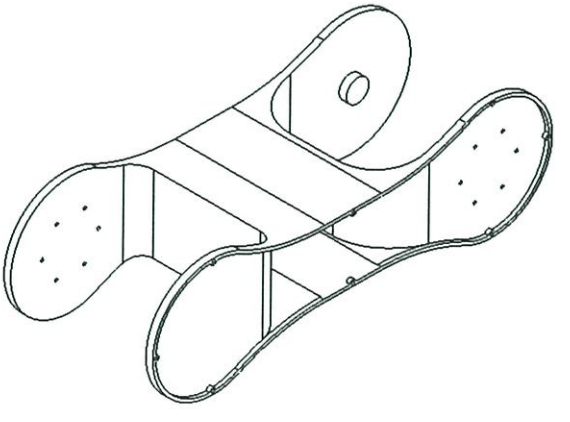
เมื่อได้ขนาดของ Planetary Gears แล้ว จึงได้ออกแบบรูปร่างของหุ่นยนต์ทั้ง 3 ข้อต่อดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 ส่วนฐานและต่อที่ 1 ของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.6 ส่วนหัวไหล่และต่อที่ 2 ของหุ่นยนต์

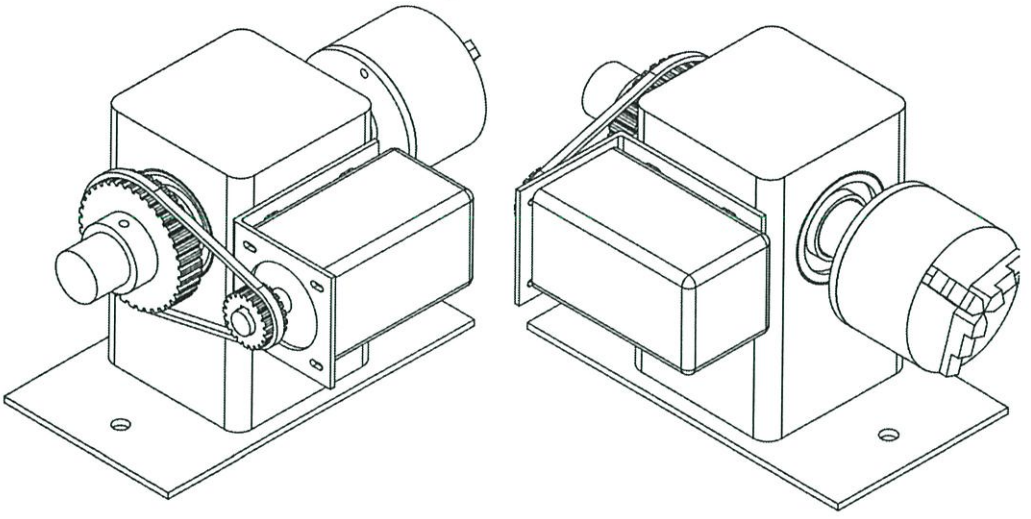


รูปที่ 3.7 ส่วนแขนของหุ่นยนต์

3.2 การสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับจัดทำชุดเฟืองนอก

เนื่องจากเฟืองเป็นส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์ ดังนั้นจึงได้ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับกัดเฟือง โดยวิธีการเพิ่มแกนที่สี่ให้กับเครื่องกัด CNC สามแกน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 แบบแกนที่สี่สำหรับเครื่องกัด CNC

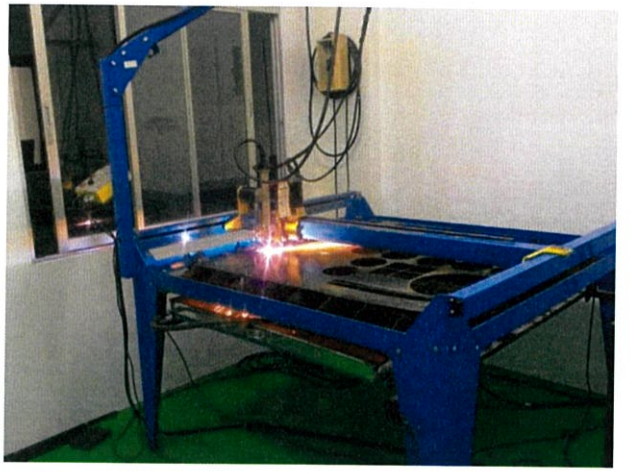


รูปที่ 3.8 แกนที่สี่ สำหรับนำไปติดตั้งกับเครื่องกัด CNC 3 แกน

แกนที่สี่ของเครื่องกัดจะทำให้สามารถหมุนชิ้นงานเพื่อมีดกัดจะตัดร่องฟันบนเพลาที่จับอยู่บนหัวจับของแกนที่สี่นี้ และ ทำการปรับเปลี่ยนไปกันฟันต่อ ๆ ไปโดยรอบอย่างอัตณนมัติตามโปรแกรมที่ตั้งไว้

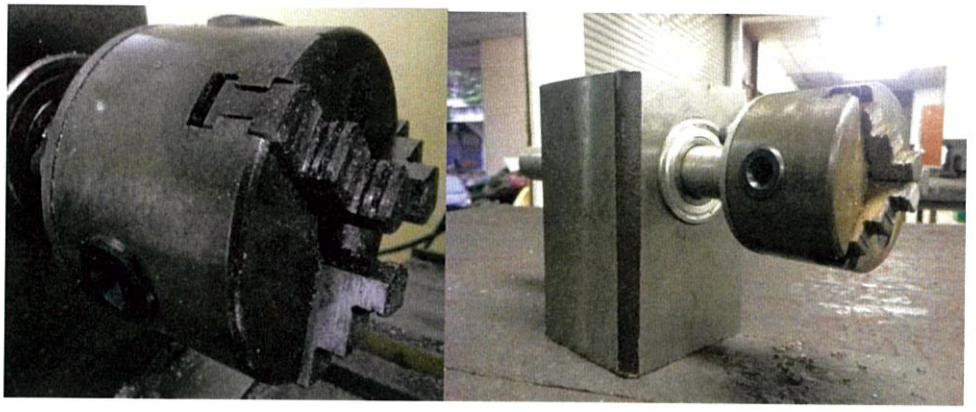
3.2.2 ขั้นตอนการทำงาน

เริ่มการทำงานจากฐานที่ทำจากเหล็กแผ่นหนา 4 มิลลิเมตร ตัดกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร เพื่อทำฐานสำหรับรองป้อมแกนหมุนและทำที่ยึดมอเตอร์โดยใช้เครื่องพลาสมา CNC ในการตัดตามรูปที่ 3.9 พร้อมกับเจียรระนาบให้เรียบทั้งสองด้าน ต่อด้วบกัดเหล็กก้อนสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร สูง 160 มิลลิเมตรพร้อมเจาะรูสำหรับใส่ตลับลูกปืนเบอร์ 620677 จำนวน 2 ชิ้น และแกนสำหรับแกนหัวจับตามรูปที่ 3.10 ทำการติดตั้งแกนและหัวจับขนาด 80 มิลลิเมตร พร้อมทำที่ล็อกกันเลื่อนตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการตัดแผ่นเหล็กโดยใช้เครื่อง พลาสมา CNC ในการตัด

รูปที่ 3.10 เหล็กสี่เหลี่ยมสำหรับทำป้อมแกนหมุนและลูกปืนเบอร์ 620677

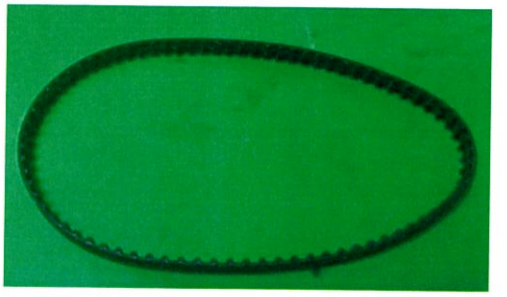


รูปที่ 3.11 หัวจับขนาด 80 มิลลิเมตร

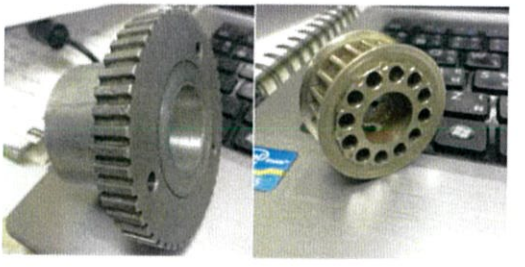
รูปที่ 3.12 นำไปติดตั้งกับเครื่องกัด CNC

การติดตั้งกลไกขับแกนที่สี่ จะมี มอเตอร์ Omron R88M-G40030H ชุดขับมอเตอร์ สายพานและพุลเลย์ไทม์มิ่ง ตามรูปที่ 3.13 3.14 และ 3.15

รูปที่ 3.13 มอเตอร์ Omron R88M-G40030H พร้อมทั้ง ชุด Motor Drive



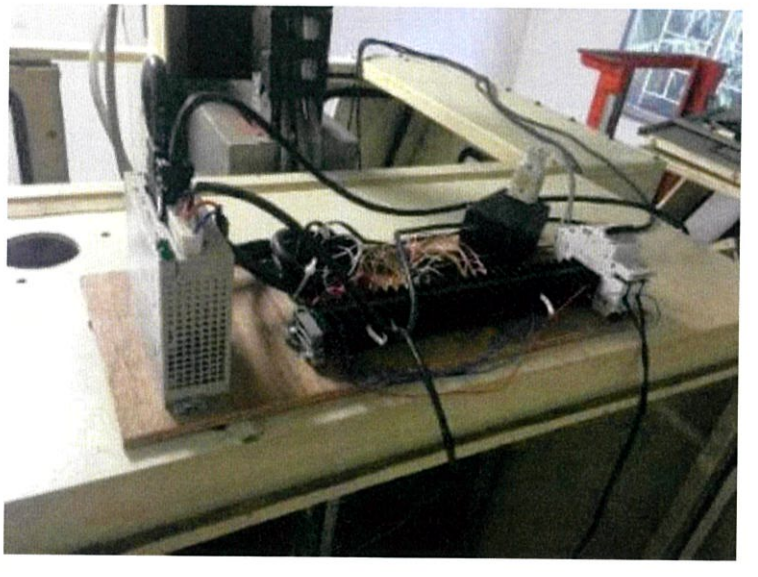
รูปที่ 3.14 สายพานหนัง ร่อง 5mm. รุ่น MXL-158T



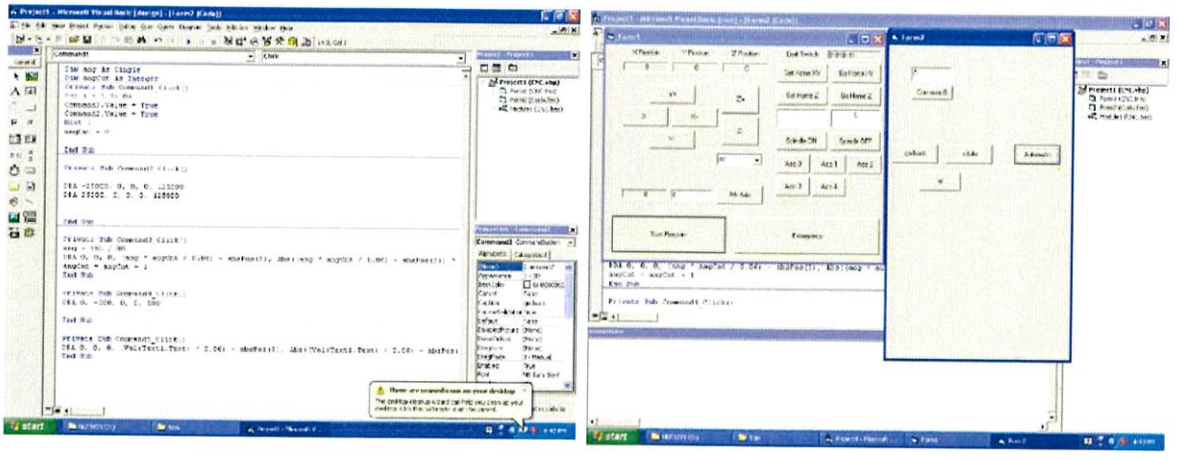
รูปที่ 3.15 พุลเลย์ไทม์มิ่งขนาด 20 ฟัน และ 48 ฟัน

3.2.3 วงจรและโปรแกรมควบคุมชุดอุปกรณ์

ติดตั้งวงจรชุดขับแกนที่สี่กับเครื่องกัด พร้อมกับพัฒนาโปรแกรมสำหรับสั่งงานในการกัดเฟือง โดยใช้โปรแกรม Visual Basic ซึ่งใช้หลักการของ DDA (Digital Differential Analyzer) ในการสั่งงาน



รูปที่ 3.16 การนำวงจรชุดขับไปติดตั้งกับเครื่องกัด CNC



รูปที่ 3.17 โปรแกรมสำหรับสั่งงานในการกัดเฟือง

3.3 การตัดเฟืองนอก

ชิ้นงานที่ต้องทำการตัดมีทั้งหมด 36 ชิ้นโดยแบ่งออกเป็น 4 จำนวนฟันตามโดยชิ้นงานทั้งหมดใช้เพลาอลูมิเนียม 6061

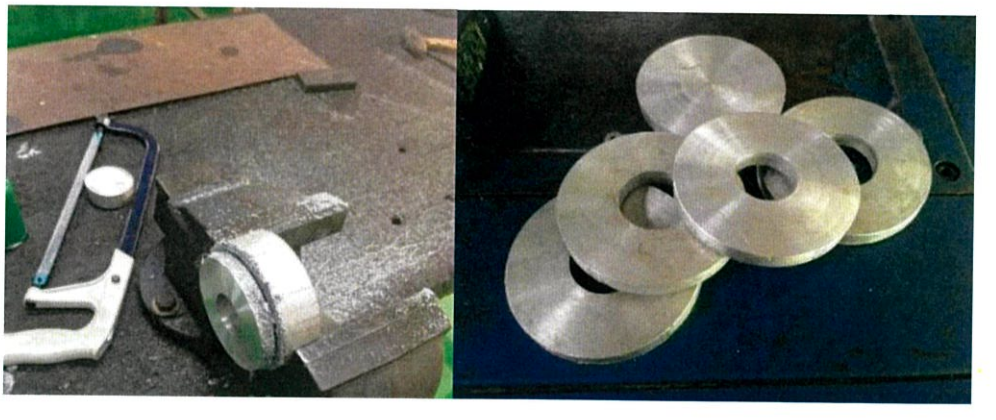
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงจำนวนเฟืองที่ต้องกัด

จำนวนฟัน (ฟัน)	จำนวน (ชิ้น)	เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางนอก (มิลลิเมตร)	หนา (มิลลิเมตร)	รูเจาะ (มิลลิเมตร)	ลูกปืน
27	6	27	29	10	14	-
44	3	44	46	10	14	-
54	18	54	56	10	32	6201-2z
88	9	88	90	10	35	6003-2z

การเตรียมชิ้นงานโดยกลึงเพลาอลูมิเนียมให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ได้แก่ 27 มิลลิเมตร 44 มิลลิเมตร 54 มิลลิเมตร และ 88 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3.18 และทำการเจาะรูเพลาอลูมิเนียม เพื่อฝังลูกปืนหรือเจาะรูยึดเพลา

รูปที่ 3.18 การกลึงเพลาอลูมิเนียม และ การเจาะรูเพลาอลูมิเนียม

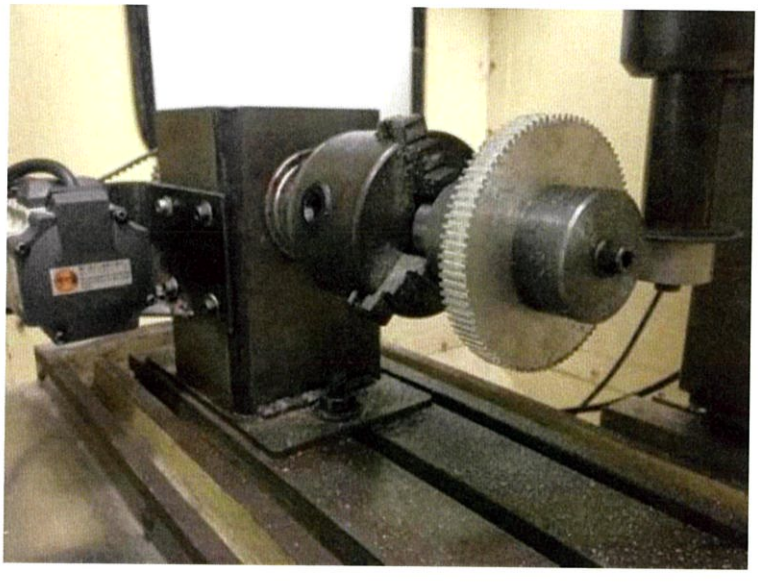
หลังจากกลึงเพลาให้ได้ขนาดและทำการเลื่อยตัดเพลาอลูมิเนียมออกเป็นชิ้นๆ พร้อมทั้งกลึงปาดหน้าให้ได้ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.19 การเลื่อยตัดเพลาพร้อมทั้งกลึงปาดหน้า

การตัดเฟืองทั้งหมดที่ใช้มีดสำหรับกัดเฟืองโมดูล 1 ทำการกัดเฟืองโดยนำเพลาอลูมิเนียมที่ได้ มายึดกับหัวจับ แล้วใช้มีดกัดเนื้ออลูมิเนียมจากด้านข้างซึ่งกำหนดความลึกของฟันเฟืองคือ 1 + 1.25 = 2.25 มิลลิเมตร (Addendum + Dedendum) จากเส้นผ่านศูนย์กลางนอกกินลึกลงมาในเนื้อชิ้นงานที่เตรียมไว้

รูปที่ 3.20 มีดสำหรับกัดเฟืองโมดูล 1

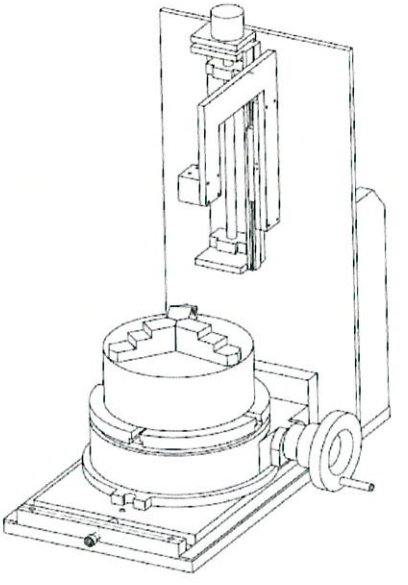


รูปที่ 3.21 ขั้นตอนการกัดเฟืองนอก

3.4 เครื่องไสแนวตั้งสำหรับตัดเฟืองใน

ในการตัดเฟืองในกระบวนการที่เลือกเป็นการไสตัดโดยการดันป้อมมีดในแนวตั้งและให้ชิ้นงานวางอยู่บนพื้นราบ แต่เนื่องจากต้องตัดเฟืองที่ฟันเรียงตัวรอบวงชิ้นงานจึงต้องมีแท่นหมุนชิ้นงานที่กำหนดองศาได้อยู่บนพื้นระนาบของแท่นเครื่อง

3.4.1 แบบเครื่องไส

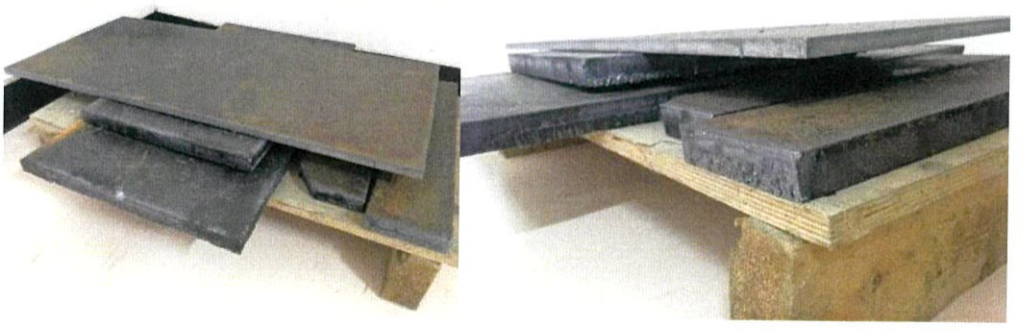


รูปที่ 3.22 ออกแบบชุดอุปกรณ์ โดยมีลักษณะการทำงานคือการไสแนวตั้ง

3.4.2 ขั้นตอนการทำงาน

ฐานของเครื่องทำจากการตัดเหล็กแผ่นขนาดกว้าง 360 มิลลิเมตร ยาว 690 มิลลิเมตร หนา 25.4 มิลลิเมตร กัดผิวเรียบทั้งสองด้าน ฐานรองรับโต๊ะหมุนทำจากเหล็กแผ่นขนาดกว้าง 310 มิลลิเมตร ยาว 428 มิลลิเมตร หนา 25.4 มิลลิเมตร

แผนรองชุดรางเลื่อนในแนวแกน Z ทำจากเหล็กแผ่นขนาดกว้าง 360 มิลลิเมตร ยาว 763 มิลลิเมตร หนา 12 มิลลิเมตร สำหรับเป็นหน้าแปลนเพื่อรับชุดรางเลื่อนและใช้เหล็กแผ่นขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 450 มิลลิเมตร หนา 25.4 มิลลิเมตร ทำการกัดเข้ารูปเป็นเสาค้ำสำหรับยึดเหล็กหน้าแปลนกับฐาน



รูปที่ 3.23 เหล็กแผ่นขนาดต่าง ๆ ที่ใช้

รูปที่ 3.24 การกัดเหล็กแผ่นให้ได้ขนาดที่ต้องการ

นำโต๊ะหมุนแนวนอนขนาด 12 นิ้ว หัวจับขนาด 10 นิ้ว และ ชุดรางเลื่อนประกอบกับแท่นที่เตรียมไว้

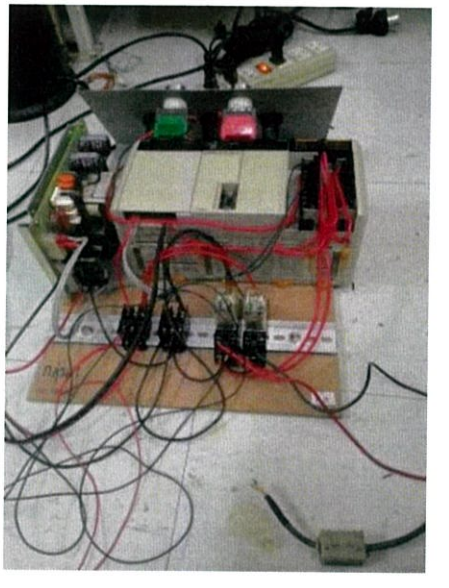
รูปที่ 3.25 โต๊ะหมุนแนวนอนขนาด 12 นิ้ว และ หัวจับขนาด 10 นิ้ว

รูปที่ 3.26 ชุดรางเลื่อน

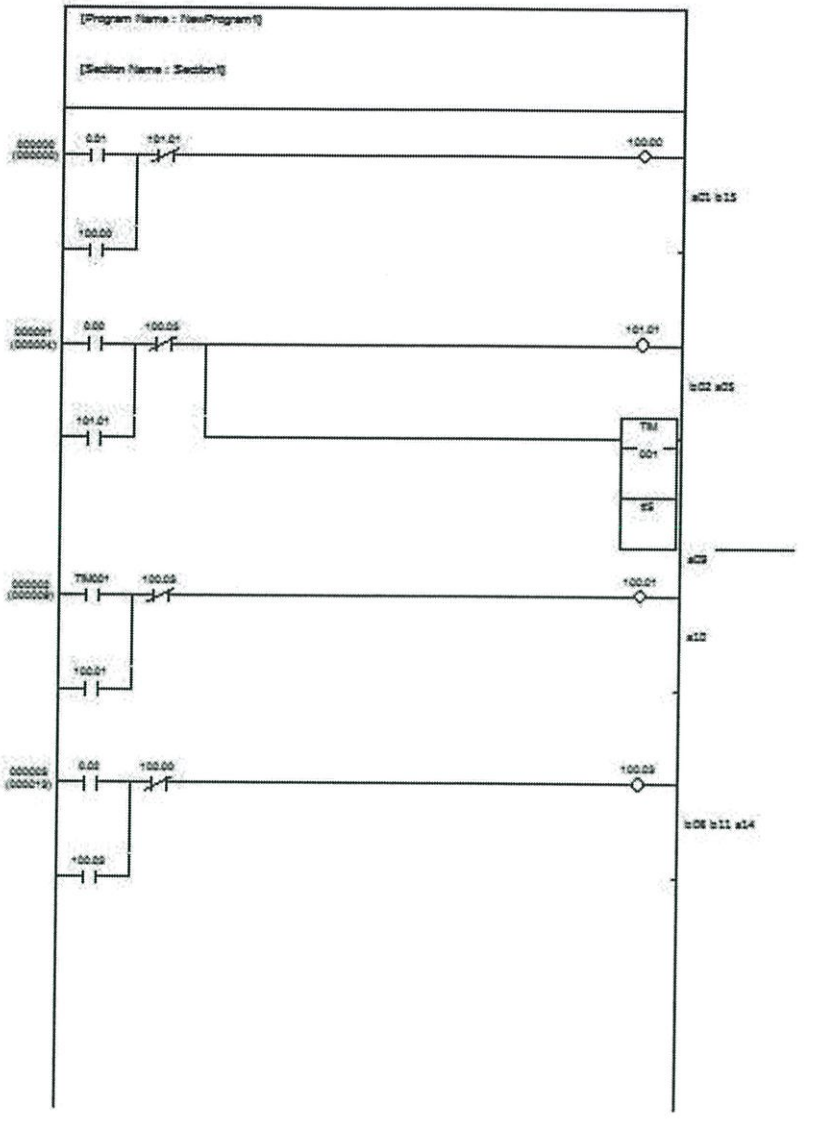
รูปที่ 3.27 ประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน

3.4.3 ชุดควบคุมเครื่องไส

ชุดควบคุมจะประกอบด้วย PLC Omron CQM 1 Relay และชุด สวิชต์ นำมาประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน และเขียนวงจร Ladder Diagram ของ PLC ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.28 PLC Omron CQM 1, Relay, สวิชต์



รูปที่ 3.29 Ladder Diagram ของ PLC

3.5 การผลิตเฟืองใน

3.5.1 วัตถุดิบสำหรับการทำเฟือง

การเตรียมวัตถุดิบสำหรับชิ้นงานเฟืองที่โมดูล 1 ขนาด 220 ฟัน และ 135 ฟัน ใช้การเลือกซื้อท่ออลูมิเนียม เกรด 6061 ที่มีขนาดดังนี้

เฟือง 220 ฟัน 1 ชิ้น จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ เท่ากับ 220 มิลลิเมตร จะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน เท่ากับ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์หักออก 2 เท่าของขนาด Dedendum ซึ่งจะมีขนาดเท่ากับ 218 มิลลิเมตร ดังนั้นชิ้นงานก่อนเตรียมผิวต้องมีขนาดเล็กกว่า 218 มิลลิเมตร ส่วนเส้นผ่าน

ศูนย์กลางนอกจะมีขนาดเท่ากับที่ออกแบบไว้ที่ทำให้เปลือกหนาไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร ดังนั้น เส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกที่มีขายเป็น 254 มิลลิเมตร ให้ตัดพร้อมปาดหน้าเรียบได้ความยาว 240 มิลลิเมตร

สำหรับเฟือง 135 ฟัน จะทำขึ้น 2 ชิ้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ เท่ากับ 135 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในที่เท่ากับ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์หักออก 2 เท่าของขนาด Dedendum ซึ่งจะมีขนาดเท่ากับ 133 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกที่มี 158 มิลลิเมตร ให้ตัดพร้อมปาดหน้าเรียบได้ความยาว 185 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.30 ท่ออลูมิเนียม เกรด 6061

3.5.2 กรรมวิธีการผลิตเฟืองใน

กรรมวิธีการผลิตเริ่มจากการเตรียมมีดตัดที่ทำขากการลับมีด High Speed Steel ให้ได้มุมและรูปร่างของฟันเฟือง

รูปที่ 3.31 มีดกลึง High speed สี่เหลี่ยมขนาด 3/8 นิ้ว

ทำการยึดชิ้นงานที่เตรียมไว้บนเครื่องไสหัวจับและทำการไสด้วยมีดให้เกิดร่องฟันลึกลงไปในเนื้ออลูมิเนียมลึกเท่ากับ 2.25 มิลลิเมตร (Addendum+Dedendum) ดังรูปที่ 3.32

รูปที่ 3.32 การกัดเฟืองใน

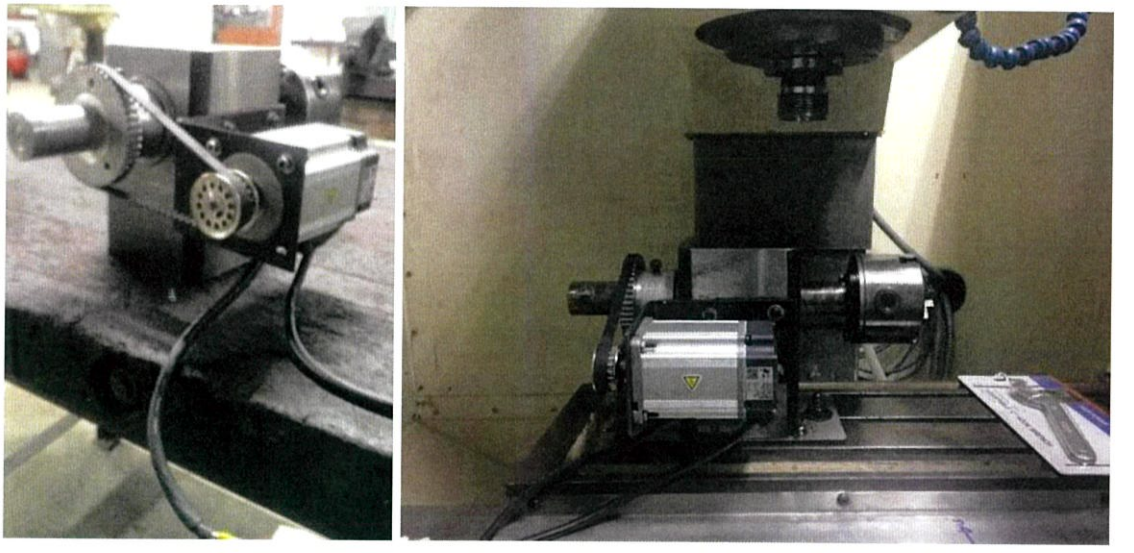
บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการทำงานการกัดเฟืองนอก

ผลของการทำงานในการกัดเฟืองนอกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือการสร้างแกนที่สี่ของเครื่องกัด CNC และ การใช้งานเครื่องสำหรับกัดเฟืองที่ต้องการ

4.1.1 ชุดแกนหมุนแกนที่สี่

แกนที่สี่ที่จัดสร้างขึ้นได้ถูกนำไปติดตั้งบนเครื่อง CNC พร้อมกับการตั้งศูนย์ด้วยไดเอลเกจ ทำให้แนวแกนหมุนตรงกับแนวแกน X ของเครื่องและทำการปรับปรุงโปรแกรมให้รองรับแกนหมุนที่สร้าง ผลของการทำงานเป็นไปได้อย่างแม่นยำโดยมีความละเอียดในการสั่งงานที่ 6000 สเต็ปต่อรอบ



รูปที่ 4.1 แกนหมุนที่สี่ติดตั้งบน CNC สำหรับกัดเฟืองนอก

4.1.2 ผลการกัดเฟืองนอก

ได้ทำการกัดเฟืองตามตารางที่ 3.1 ตารางแสดงจำนวนเฟืองที่ต้องกัด ออกมาทั้งหมดโดยสมบูรณ์ อาจมีความเสียหายจากการกัดที่ผิดพลาดไปบางชิ้น แต่ได้ทำทดแทนคืนมาทั้งหมด

1. ชุดเฟืองนอก 27 ฟัน จำนวน 6 ชิ้น

รูปที่ 4.2 ชุดเฟืองนอก 27 ฟัน

2. ชุดเฟืองนอก 44 ฟัน จำนวน 4 ชิ้น

รูปที่ 4.3 ชุดเฟืองนอก 44 ฟัน

3. ชุดเฟืองนอก 54 ฟัน จำนวน 18 ชิ้น มายึดกับลูกปืนเบอร์ 6201-2z

รูปที่ 4.4 ชุดเฟืองนอก 54 ฟัน

4. ชุดเฟืองนอก 88 ฟัน จำนวน 9 ชิ้น มายึดกับลูกปืนเบอร์ 6003-2z

รูปที่ 4.5 ชุดเฟืองนอก 88 ฟัน

4.2 ผลการทำงานการกัดเฟืองใน

ได้ทำการไสตัดเฟืองตามตารางที่ 3.1 ตารางแสดงจำนวนเฟืองที่ต้องกัด ด้วยเครื่องที่จัดสร้างตาม และได้ทำการไสชิ้นงาน 135 ฟันขึ้นมา 1 ชิ้นสำหรับการประกอบข้อต่อของหุ่นยนต์

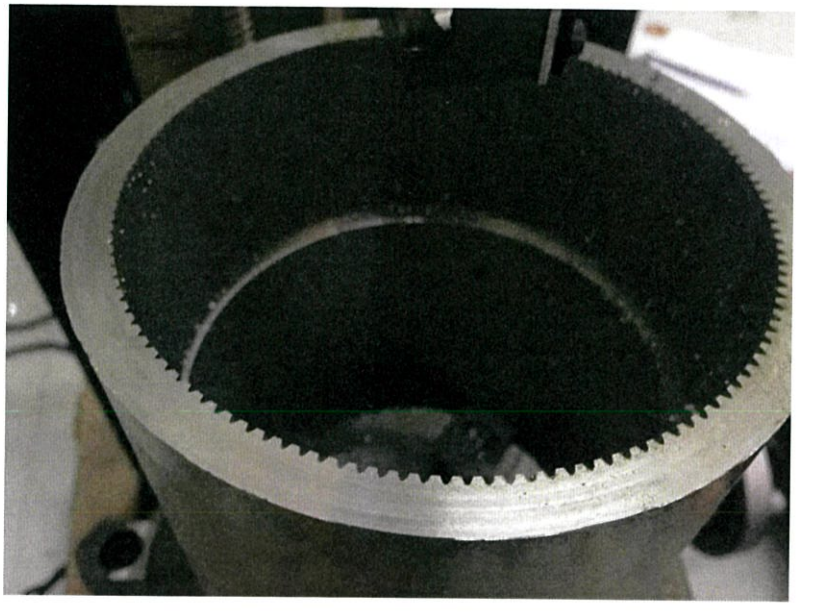
4.2.1 เครื่องจัดทำชุดเฟืองใน

เครื่องไสแนวตั้งที่ได้จัดสร้างขึ้น นำมาทำการไสชิ้นงานขนาด 135 ฟัน

รูปที่ 4.6 เครื่องไสแนวตั้งทำชุดเฟืองใน

4.2.2 ชุดเฟืองใน 135 ฟัน

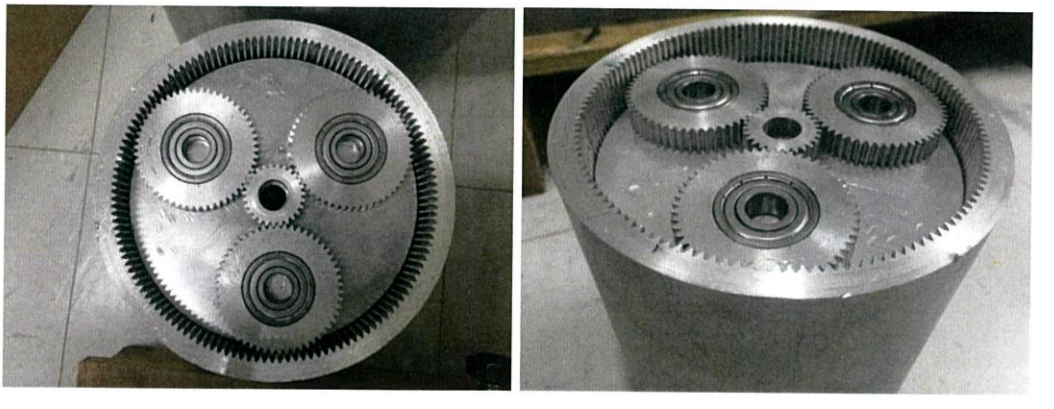
ภาพแสดงเฟืองในที่ไสแทงขึ้นรูปจนเสร็จสิ้นทุกฟันในความลึกที่ต้องการ



รูปที่ 4.7 เฟืองในขนาด 135 ฟัน

4.3 การประกอบชุดเฟือง

หลังจากที่ได้ชิ้นงานออกมาแล้วได้นำเฟืองมาทดลองประกอบเข้ากัน ผลปรากฏว่าชุดเฟืองสามารถขบกันได้อย่างพอดีเหมาะสม อาจจะมีบางส่วนที่แน่นหลวมไม่เท่ากันทั้งวงเนื่องจากการผิดรูปของตัวปลอกเฟืองในแต่ไม่ใช่ผลกระทบหลัก



รูปที่ 4.8 ประกอบข้อต่อหุ่นยนต์บางส่วน

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 แกนที่สี่ของเครื่อง CNC สำหรับทำเฟืองนอก

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ได้จัดทำขึ้นมีความสามารถที่จะสร้างชุดเฟืองนอกได้ตามขนาดและจำนวนที่ต้องการ และยังสามารถจัดทำชุดเฟืองในระดับอุตสาหกรรมได้

ข้อเสนอแนะ

- ในอนาคตควรเขียนโปรแกรมสำหรับสั่งการเครื่องจัดทำชุดเฟืองนอกให้ใช้งานง่ายขึ้น
- ควรปรับปรุงกระบวนการผลิตจากการกัดทีละชิ้นให้เป็นการกัดทีละหลายชิ้น เพื่อลดเวลาในการทำงาน

5.2 เครื่องไสแนวตั้งสำหรับทำเฟืองใน

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ได้จัดทำขึ้นมีความสามารถที่จะสร้างชุดเฟืองในได้ตามขนาดและจำนวนที่ต้องการ และยังสามารถจัดทำชุดเฟืองในระดับอุตสาหกรรมได้

ข้อเสนอแนะ ในอนาคตเครื่องจัดทำชุดเฟืองในควรจัดทำให้เป็นระบบอัตโนมัติมากขึ้น ณ ปัจจุบันยังต้องใช้ความแม่นยำและการทำงานจากมนุษย์พอสมควร

5.3 ชุดเฟืองนอก

ได้ขนาดและจำนวนของชุดเฟืองนอกตามที่ต้องการออกมา แต่ยังไม่ได้ทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของชุดเฟืองนอก

ข้อเสนอแนะ สิ่งที่ต้องทำในขั้นต่อไปคือการทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของชุดเฟือง

5.4 ชุดเฟืองใน

ได้ขนาดและจำนวนของชุดเฟืองนอกตามที่ต้องการออกมา แต่ยังไม่ได้ทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของชุดเฟืองใน

ข้อเสนอแนะ สิ่งที่ต้องทำในขั้นต่อไปคือการทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของชุดเฟือง

เอกสารอ้างอิง

[1] พงศ์แสน พิทักษ์วัชระ. (2557). พื้นฐานของหุ่นยนต์ กลสาสตร์ของหุ่นยนต์ แบบอนุกรม กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] พฤทธิกร สมิตไมตรี. (2551). วิทยาการหุ่นยนต์และเทคโนโลยี Robotics and Technology. สงขลา: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[3] ชลิตต์ มธุรสมนตรี และคณะ. (2544). กระบวนการผลิต Manufacturing Processes. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ.

[4] วริทธิ์ อึ้งภาภรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน. (2536). การออกแบบเครื่องจักรกล Machine Design เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[5] ศุภชัย รมยานนท์ และ ฉวีวรรณ รมยานนท์. (2529). ทฤษฎีงานเครื่องมือกลเบื้องต้น การกัด Basic Machine Tools. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพาณิชย์

[6] AppliCAD Co., Ltd. (2559). หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial Robot Type). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.applicadthai.com/articles/หุ่นยนต์อุตสาหกรรม-industrial-robot-type/

[7] สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร หาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา. (2558). เฟือง (Gear). เข้าถึงได้จาก: http://ame.ea-rmuti.net/wp-content/uploads/2015/09การเขียนแบบเฟือง.pdf

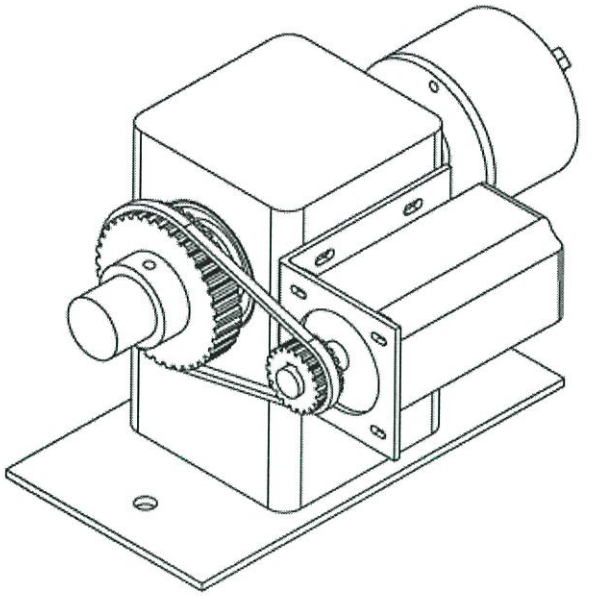
[8] บริษัท แสงชัยมิเตอร์ จำกัด. (2558). Servo Motor คืออะไร. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.sangchaimeter.com/support_detail/servo-motor

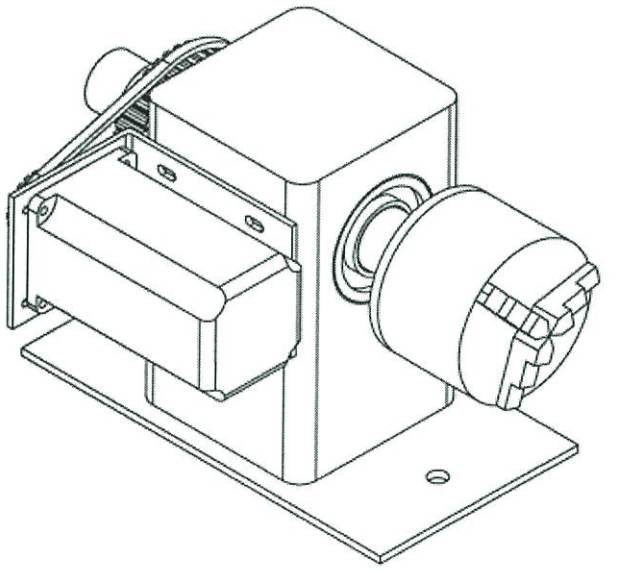
[9] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมลคล. (2554). ชนิดของลูกปืน . [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.atom.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/howstuff1/bearing/bearingthai.htm

[10] Pos Posts (Atom). (2555). งานกลึง (TURNING). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://cncprog.blogspot.com/p/blog-page_11.html

[11] สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2555). เครื่องไส. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://sites.google.com/site/prakasittid3qqq/si-xen-si/kheruxng-si

ภาคผนวก ก

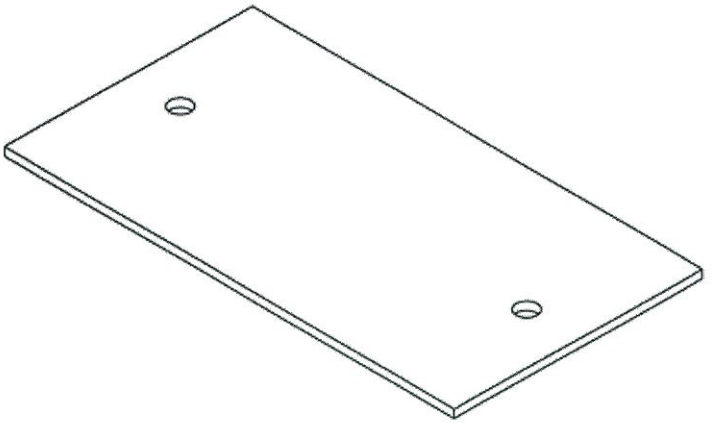


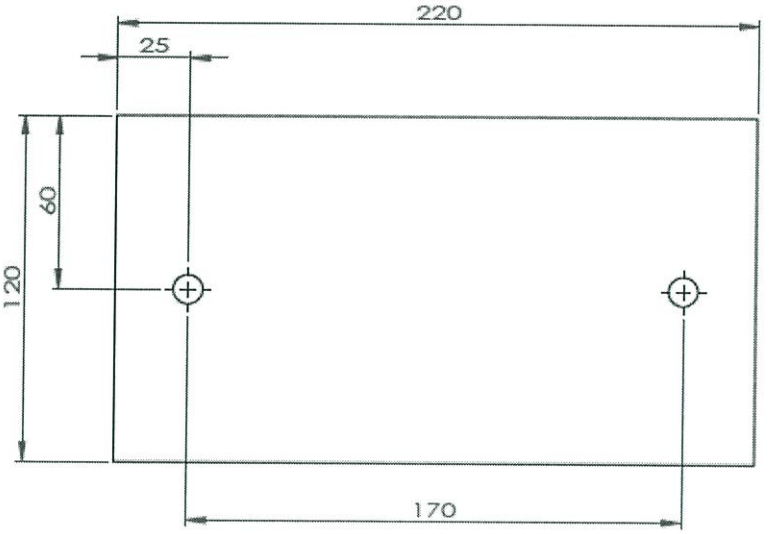


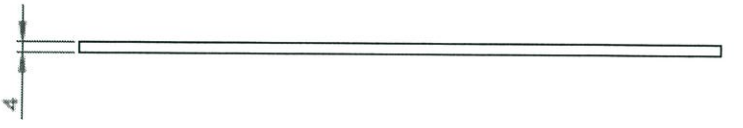
Part name	Tool for external gear making	Scale 1:2.5
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

ผก 1



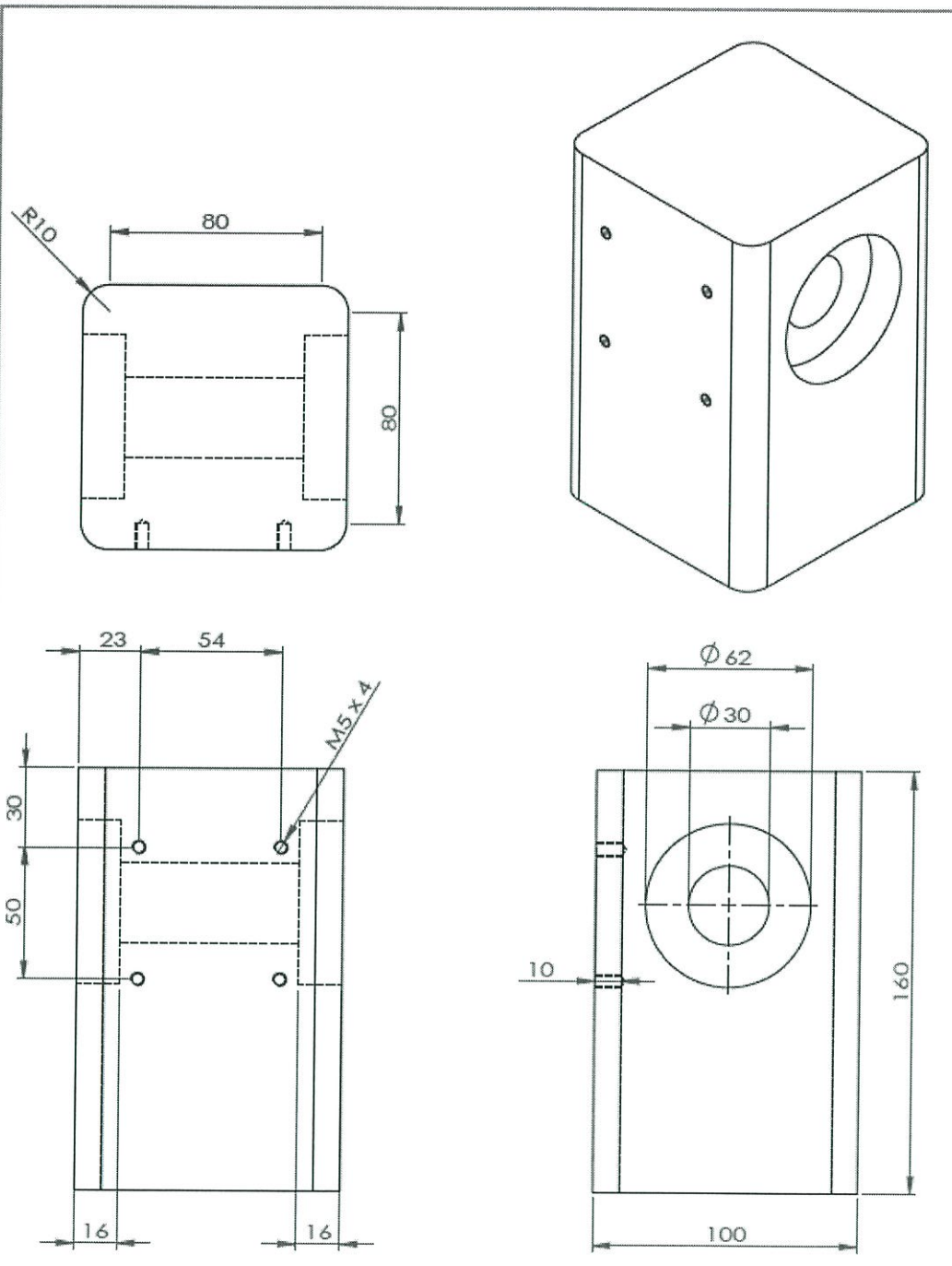




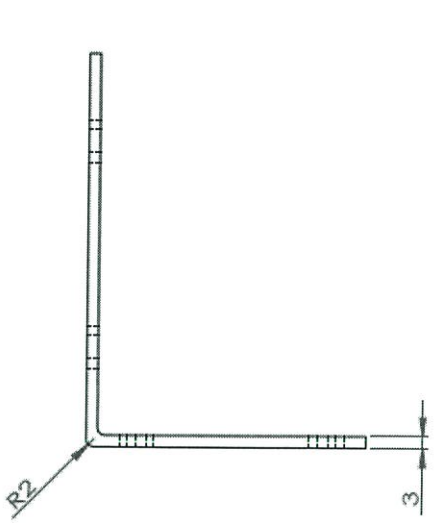
Part name	Base	Scale 1:2
Material	Iron	

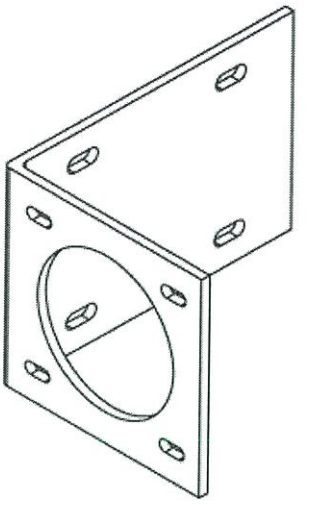
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

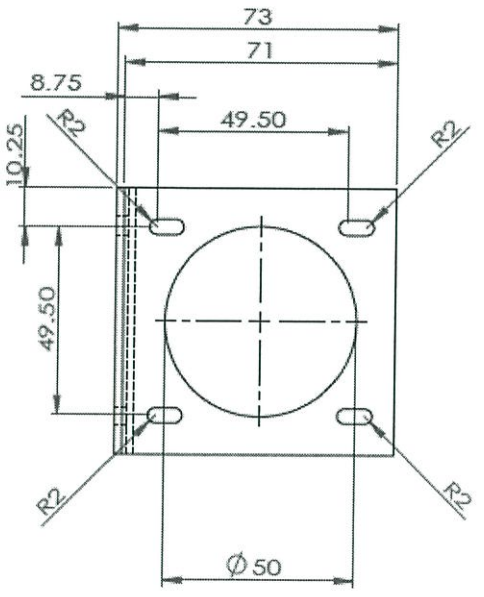
ผก 2

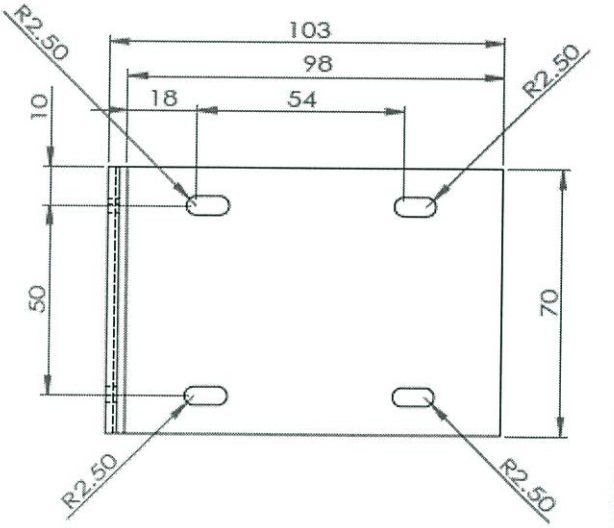


Part name	Main part	Scale 1:2
Material	Iron	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul



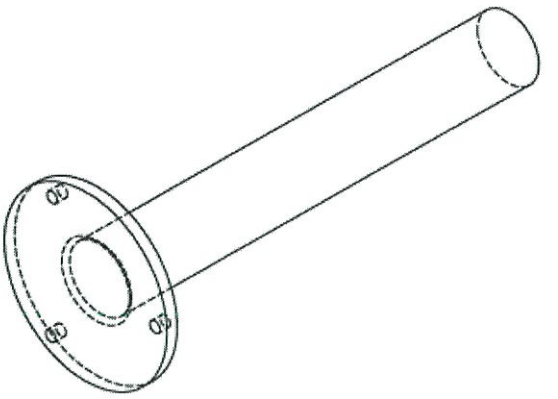


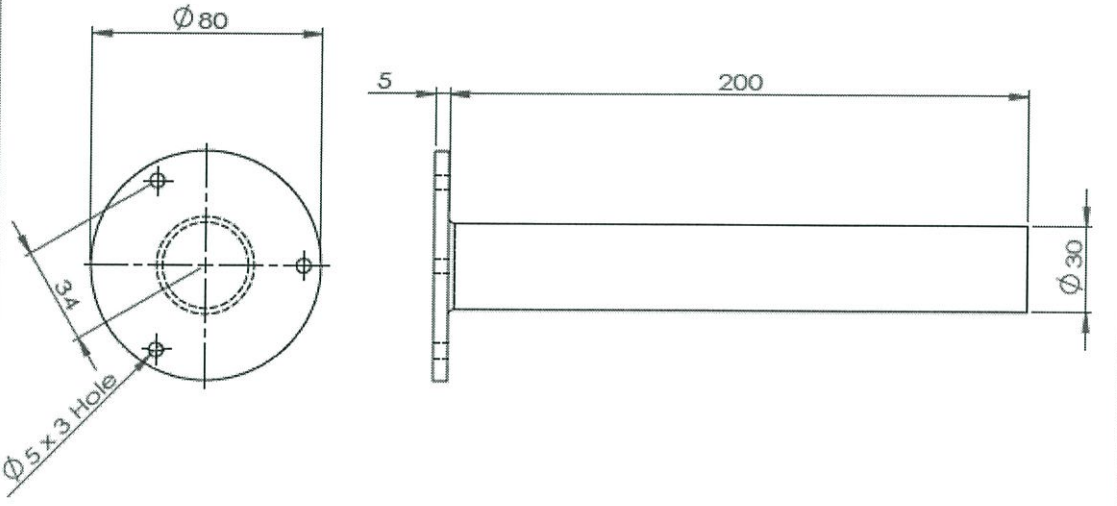




Part name	Fix motor	Scale 1:1.5
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

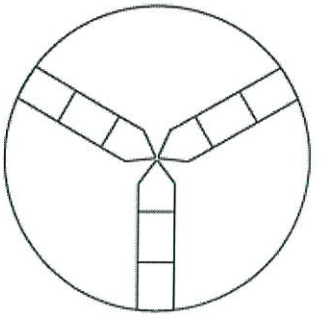


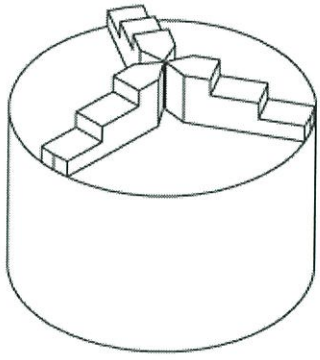


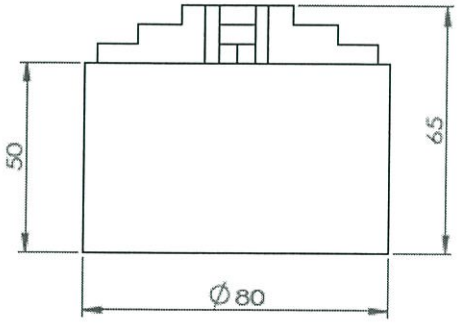
Part name	Round Shaft	Scale 1:2
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

ผก 5

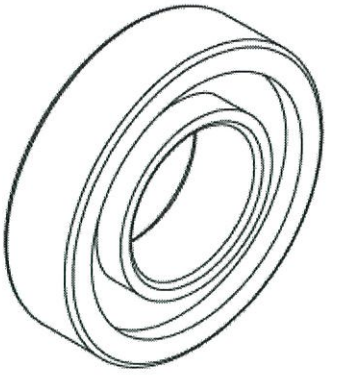


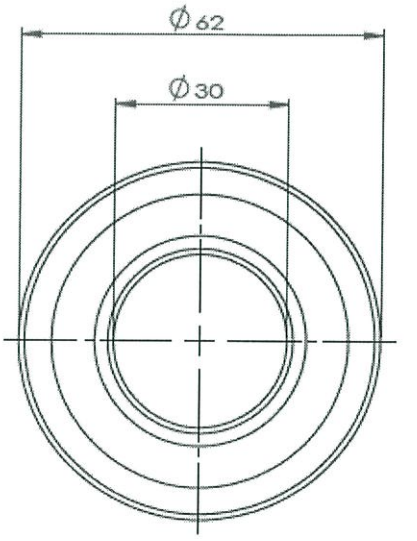




Part name	Chuck	Scale 1:1.5
Material	Iron	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

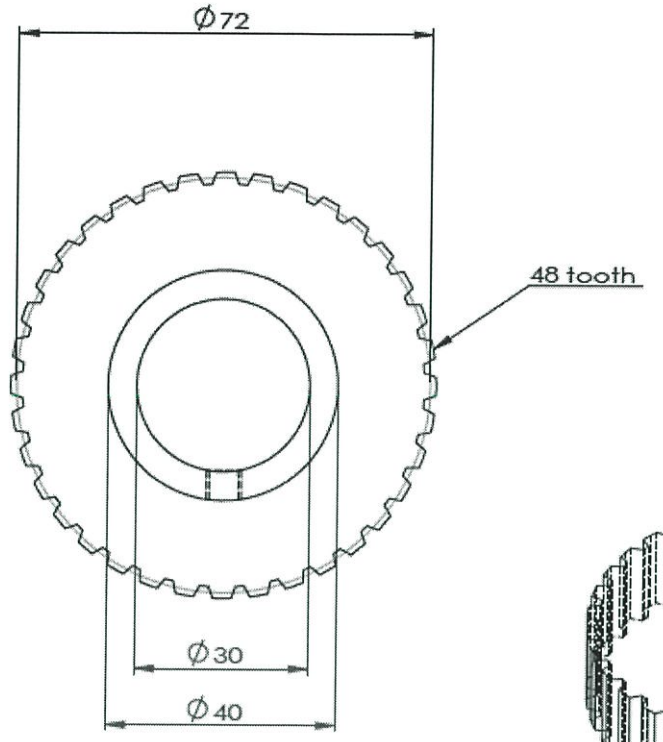
ผก 6

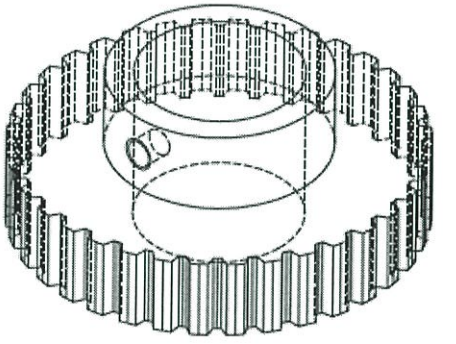


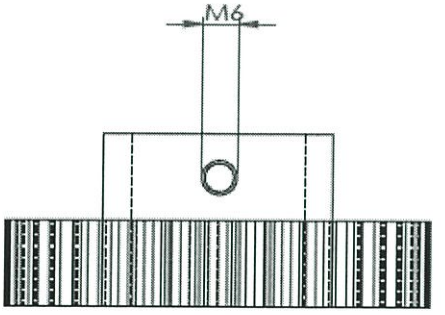


Part name	Bearing 7206 BE	Scale 1:1
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

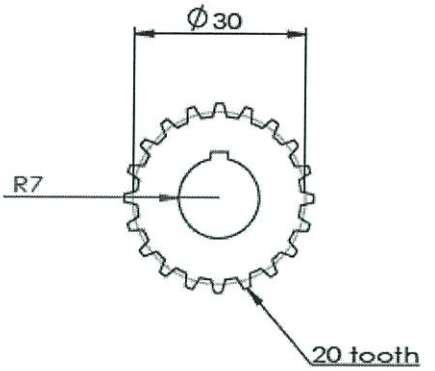


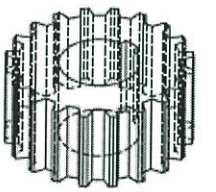


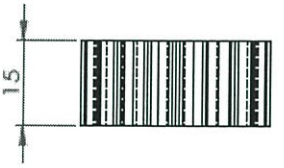


Part name	Belt gear 48 tooth	Scale 1:1
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

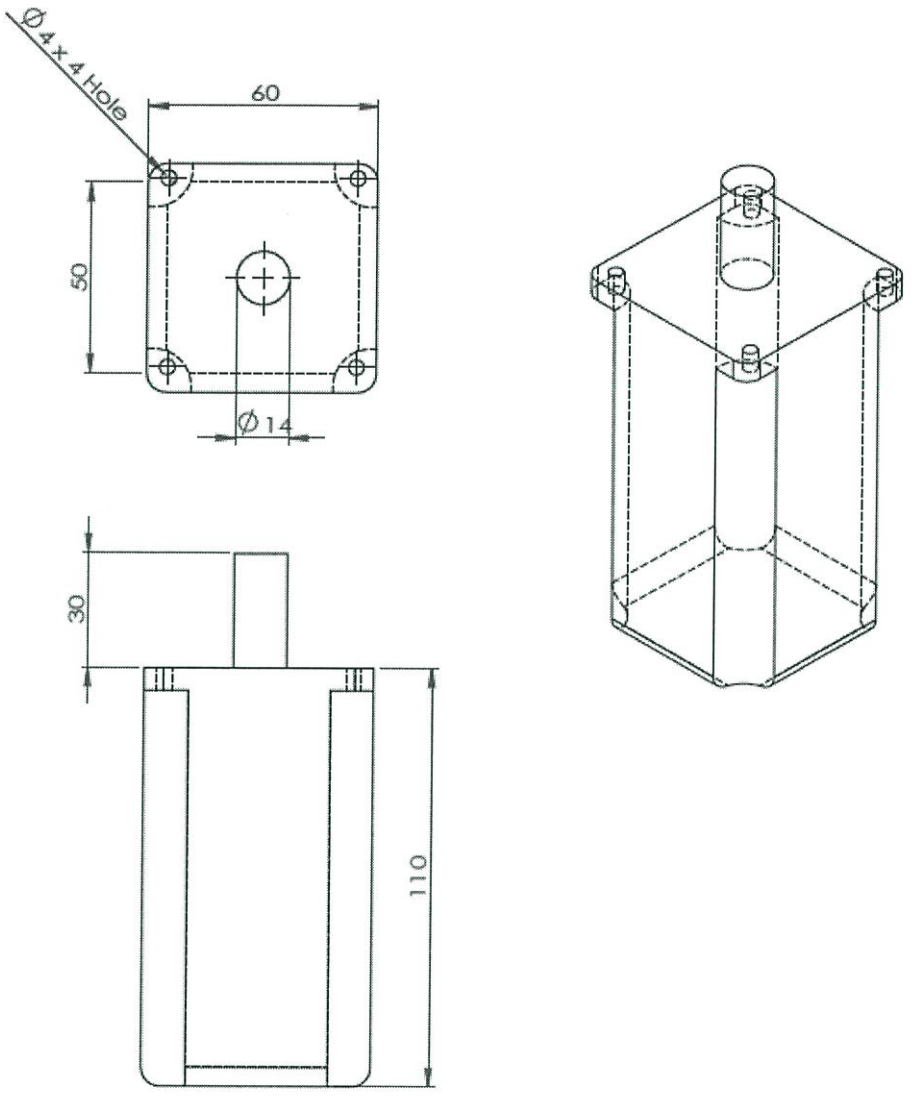






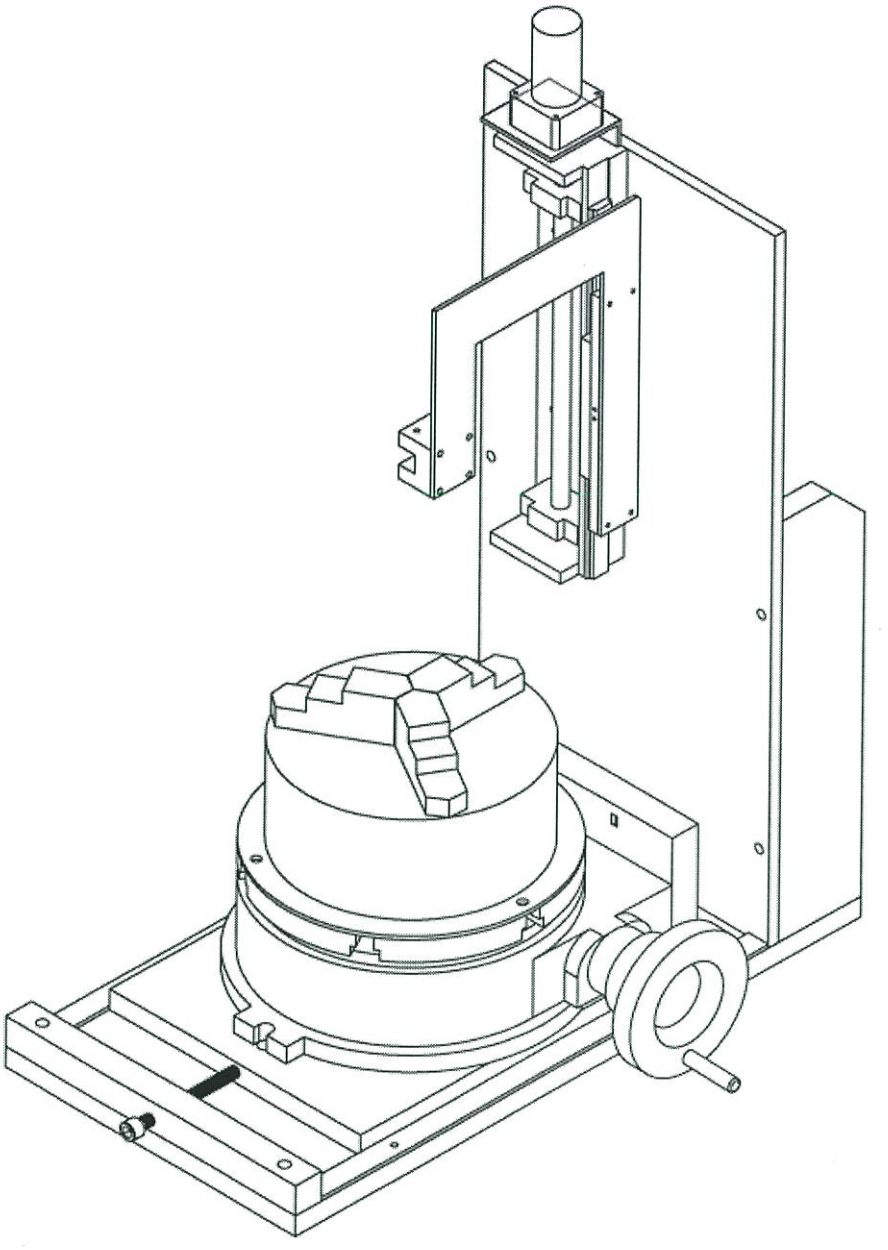
Part name	Belt gear 20 tooth	Scale 1:1
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul



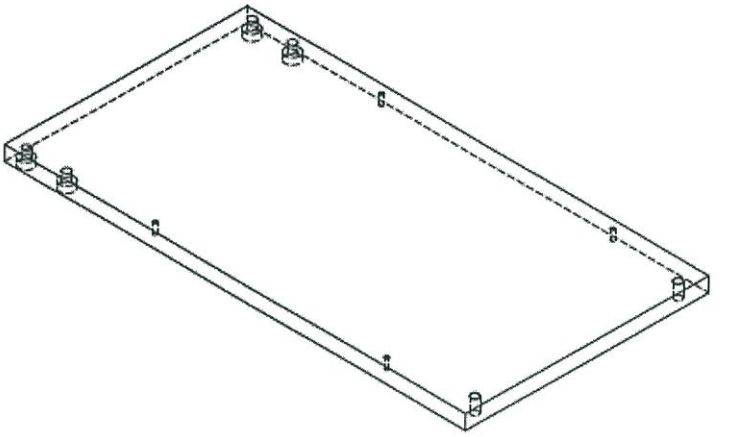
Part name	Servo motor	Scale 1:1.5
Material		

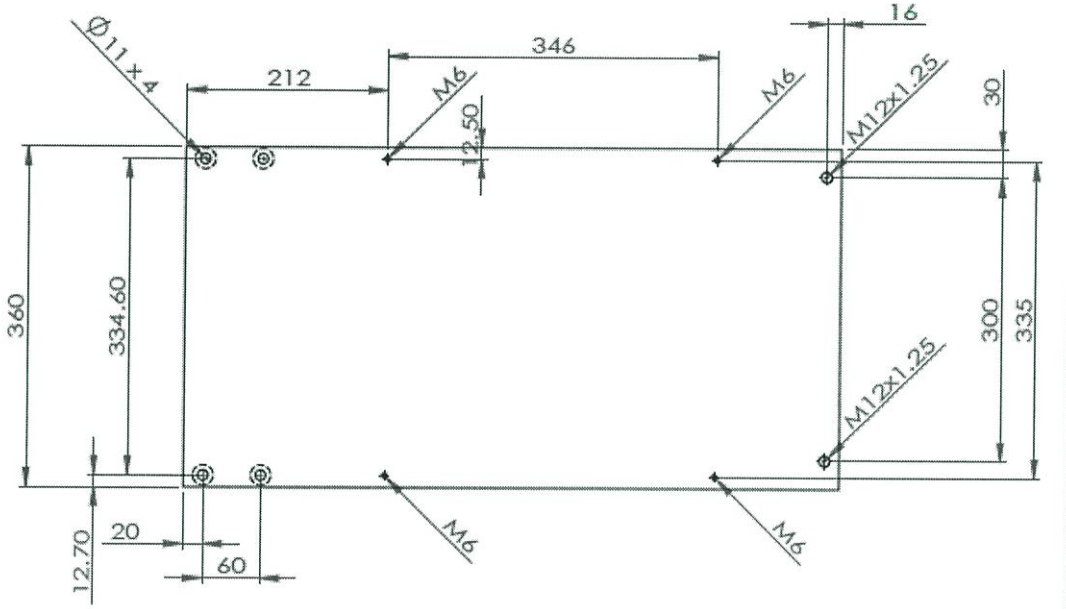
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

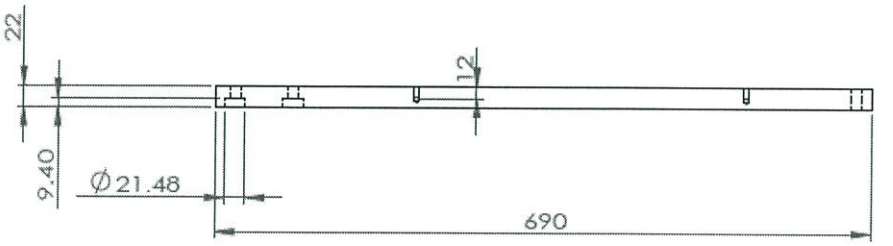


Part name	Vertical planer machine	Scale 1:5
Material		

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

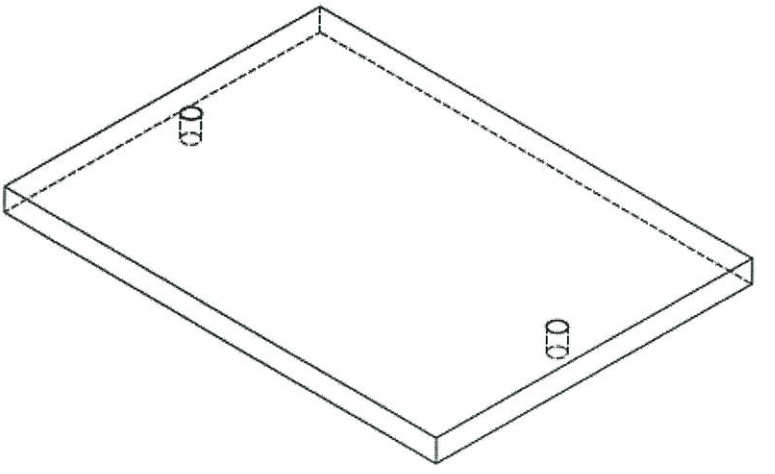


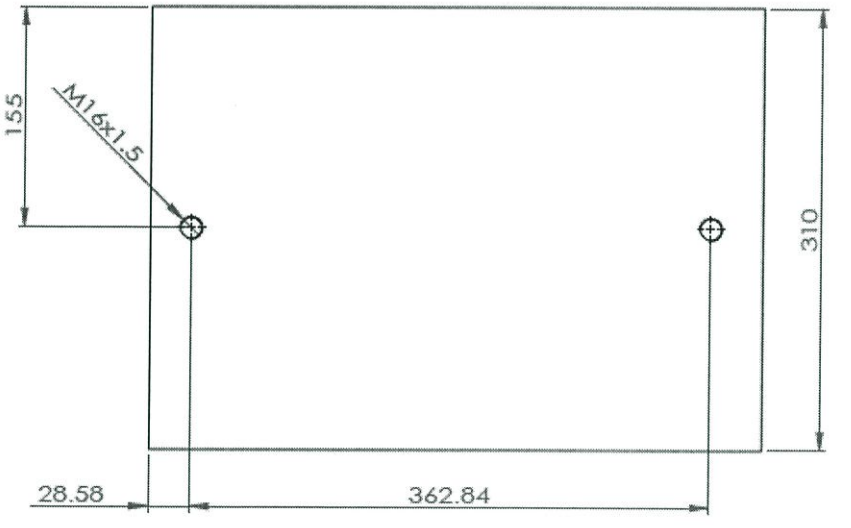


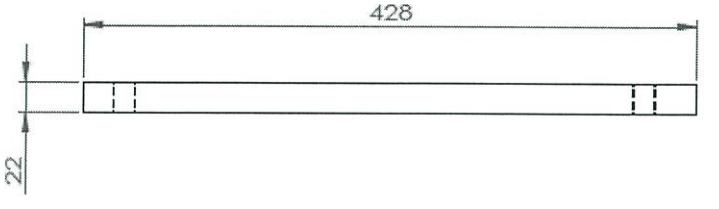


Part name	Base	Scale 1:6
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

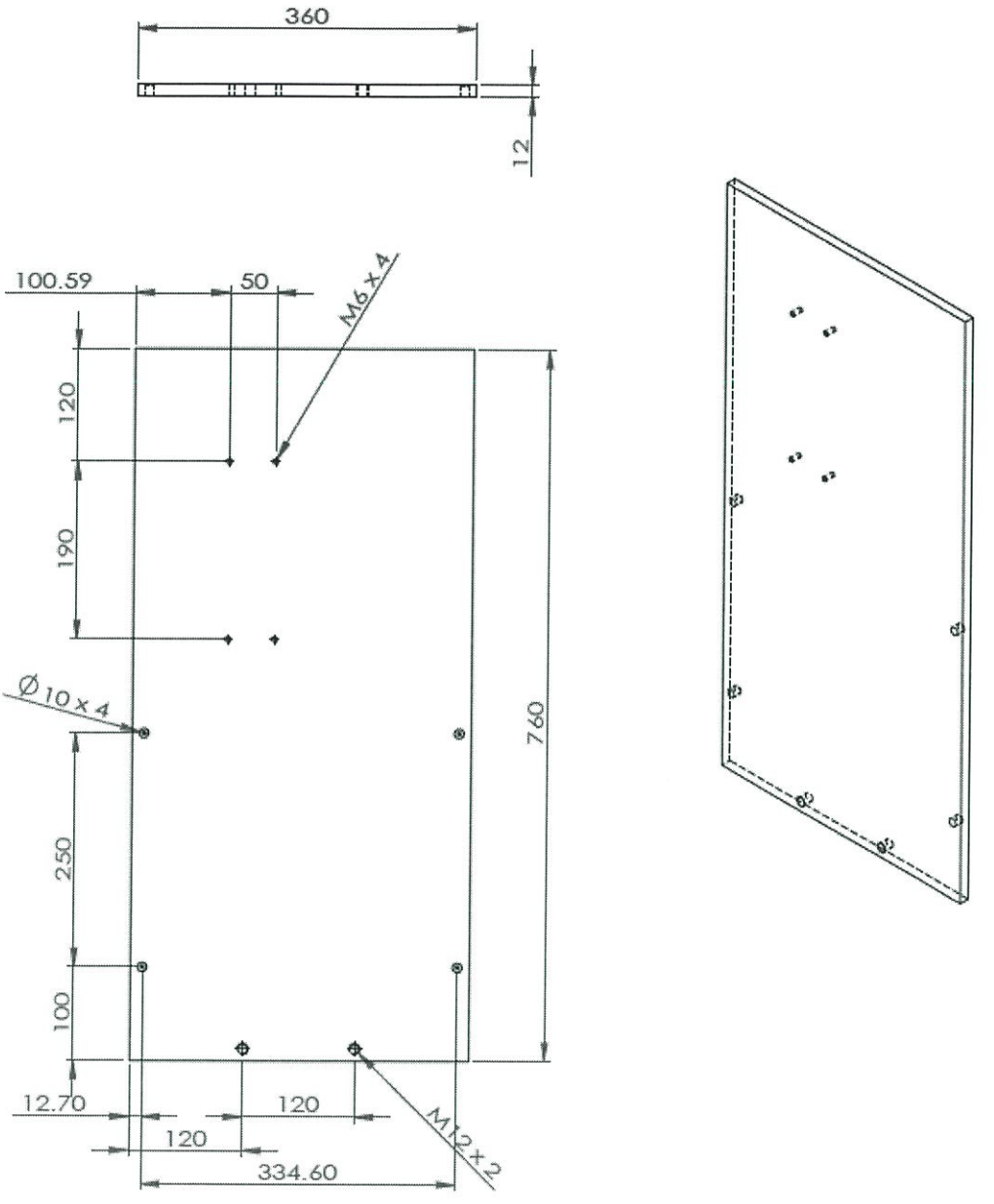






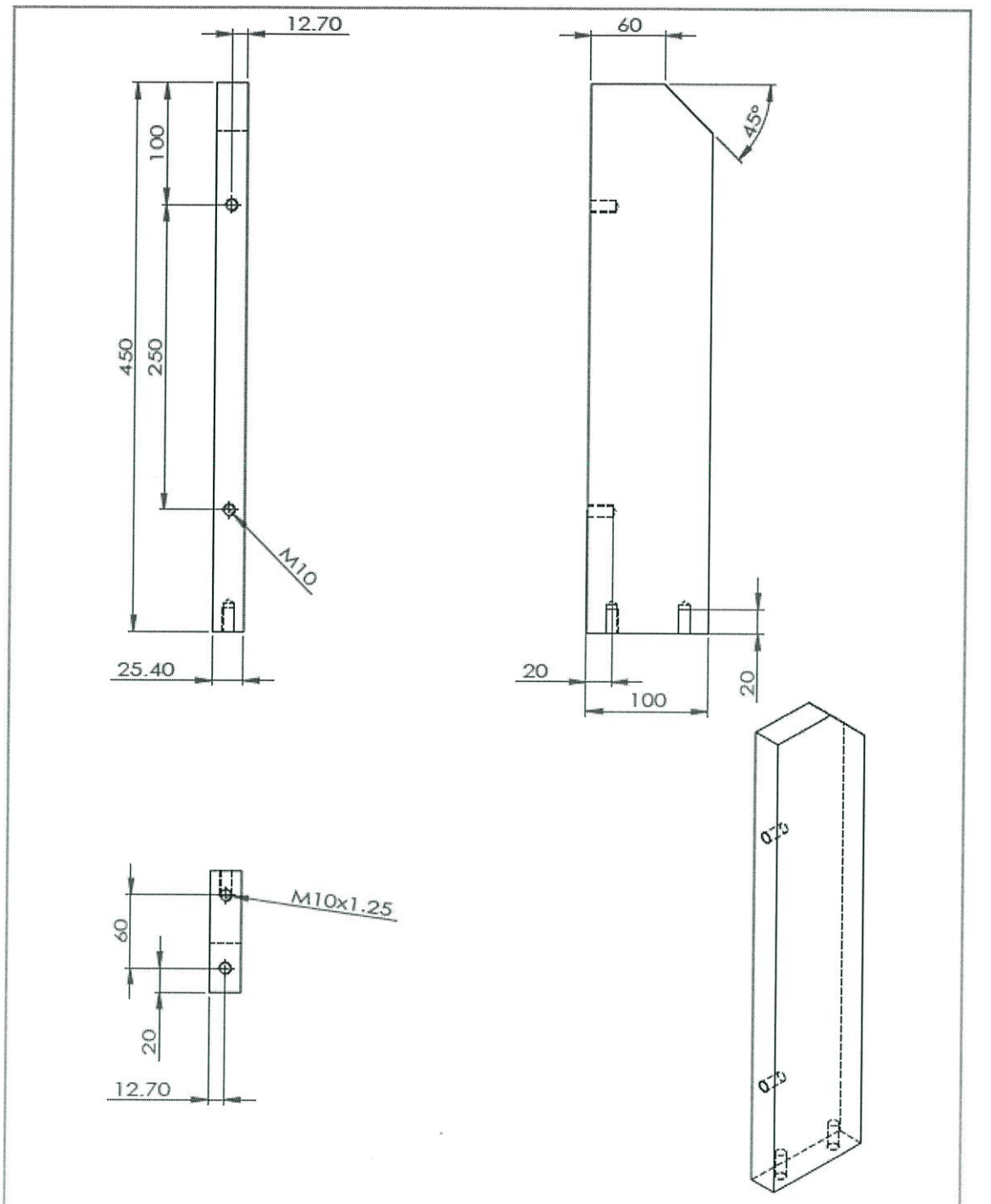
Part name	Linear guide way (x axis)	Scale 1:4
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

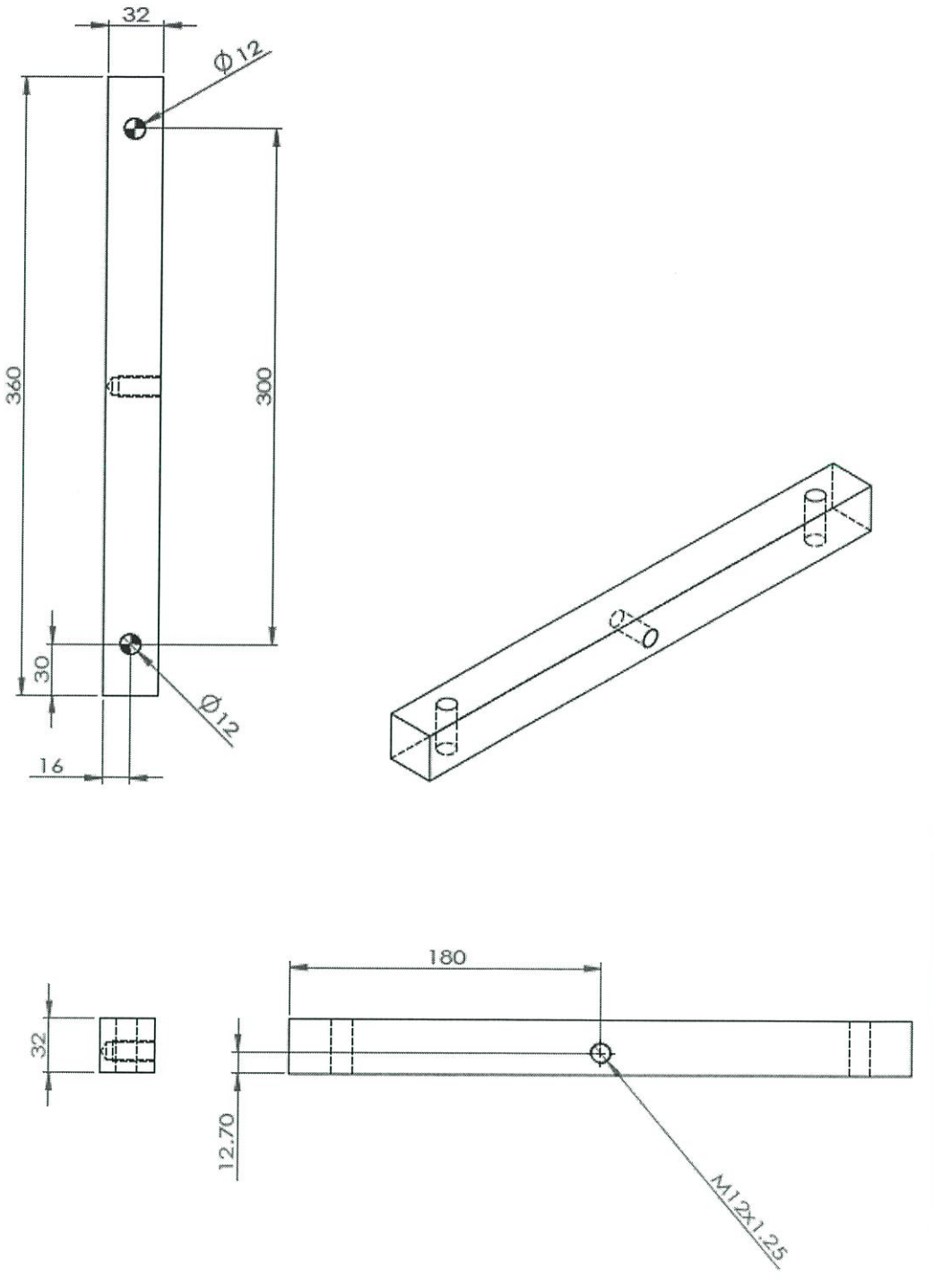


Part name	Back	Scale 1:6
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

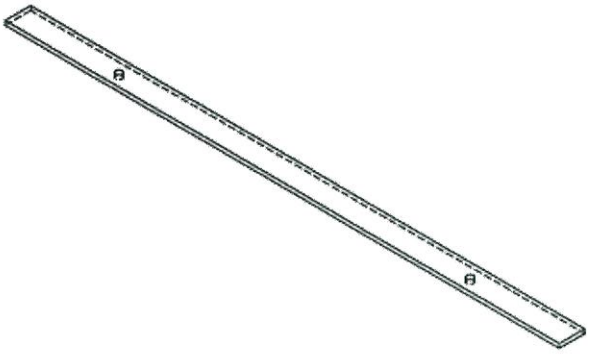


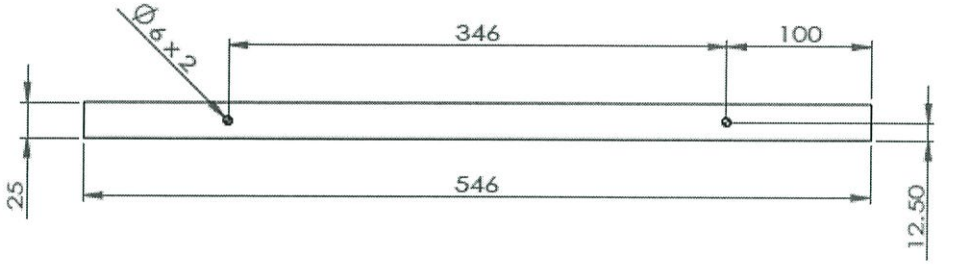
Part name	Raker	Scale 1:4
Material	Iron	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul



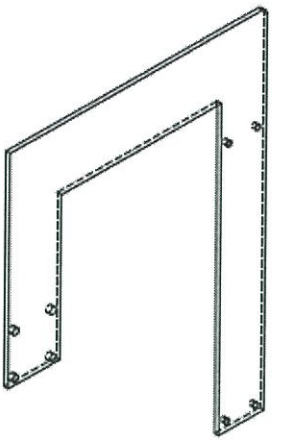
Part name	Front raker	Scale 1:3
Material	Iron	

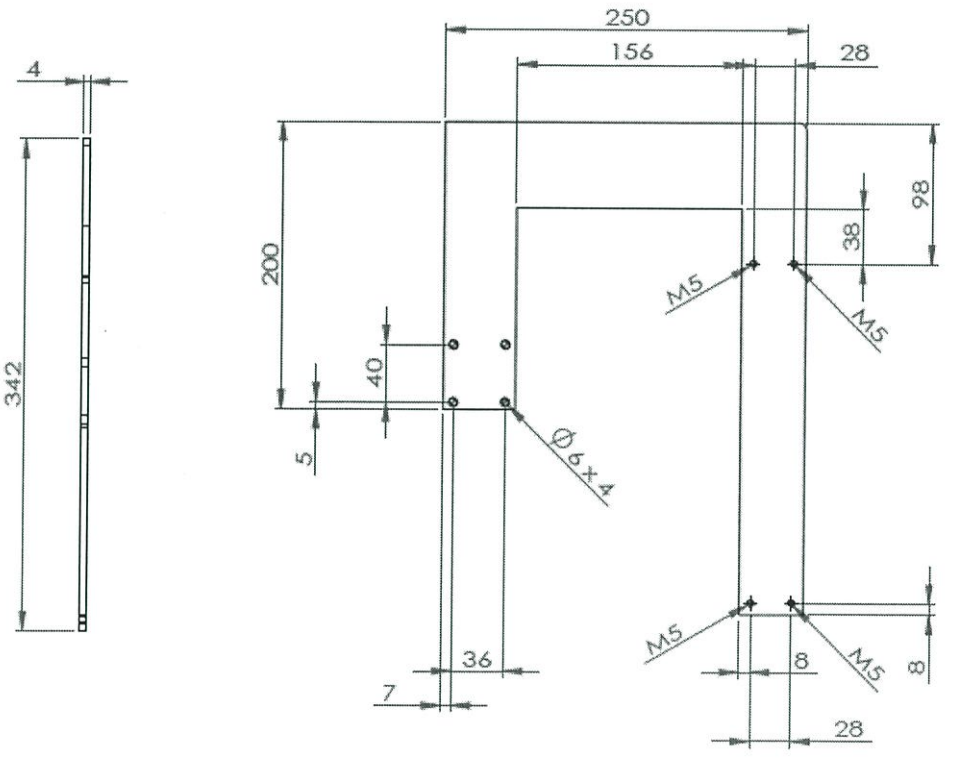
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul





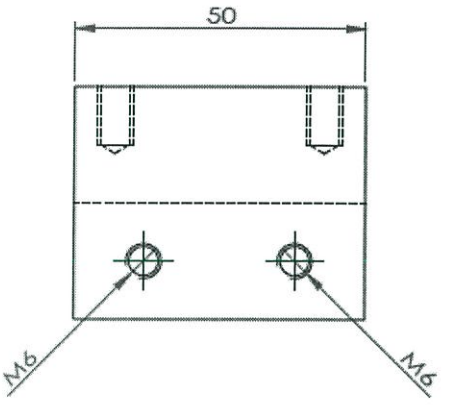
Part name	Linear guide way (x axis) part 2	Scale 1:4
Material	Iron	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

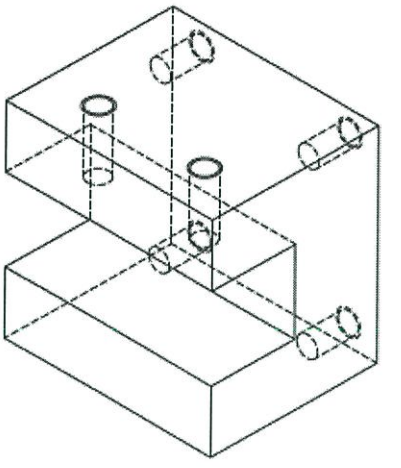


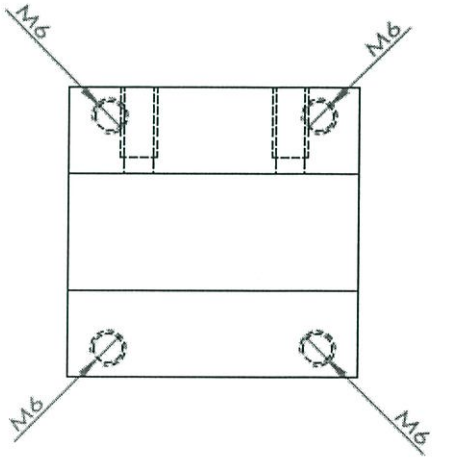


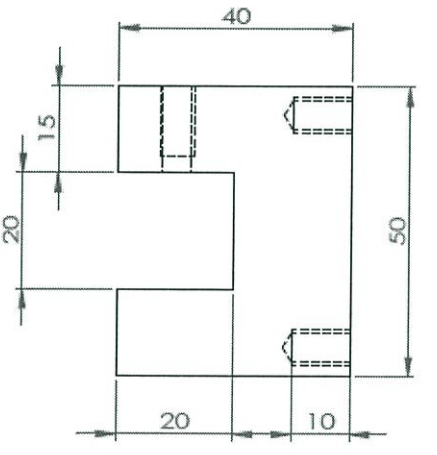
Part name	Linear guide way (z axis) part 2	Scale 1:4
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

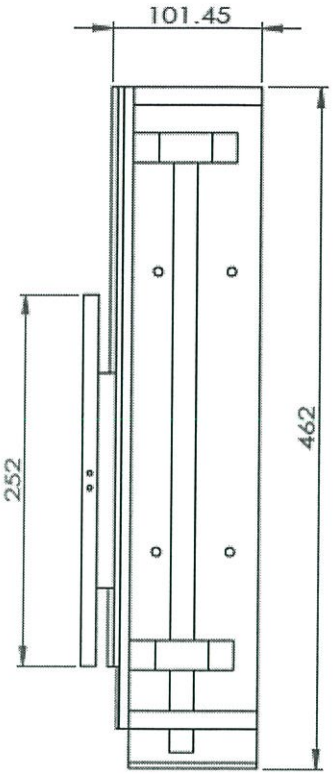


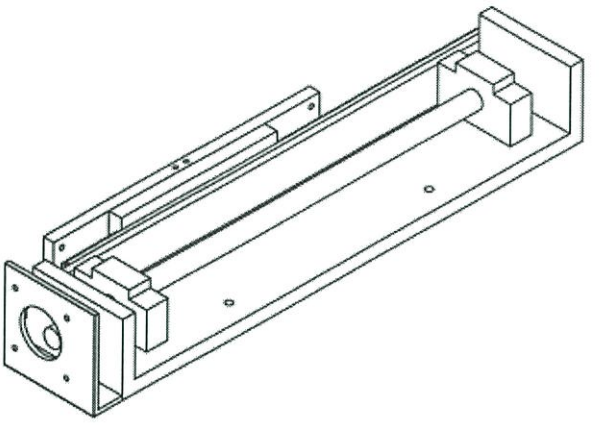


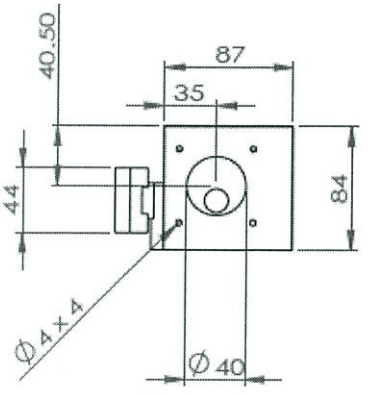




Part name	Fixing cutting tool	Scale 1:1
Material	Iron	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

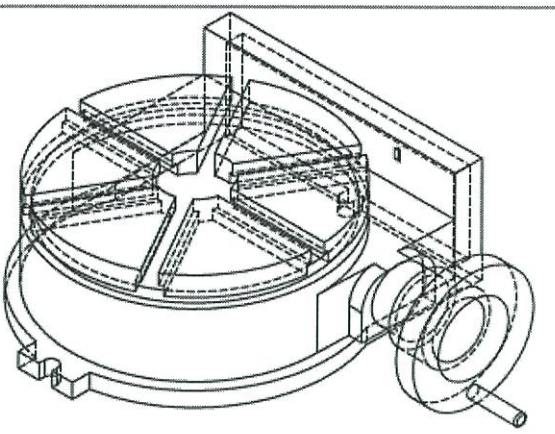


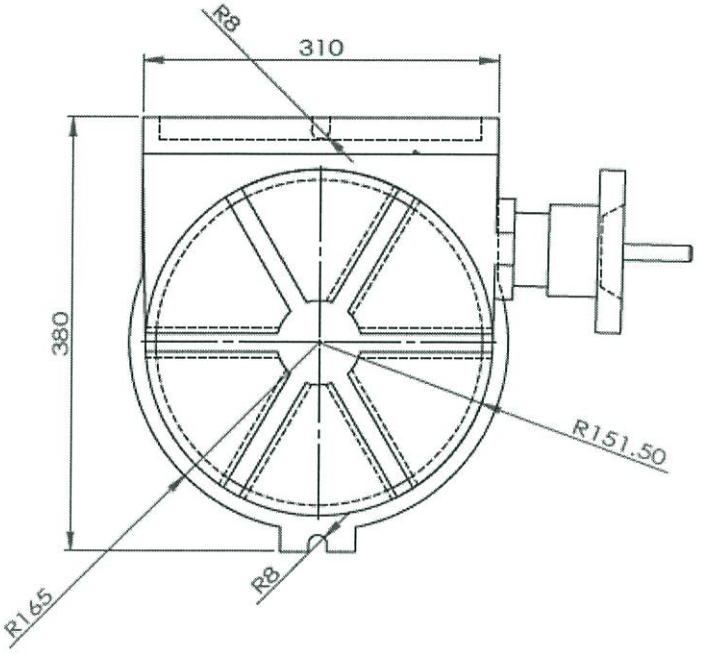


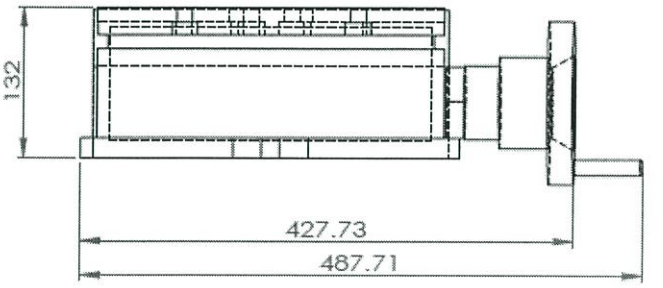


Part name	Linear guide way (z axis) part 1	Scale 1:4
Material		

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

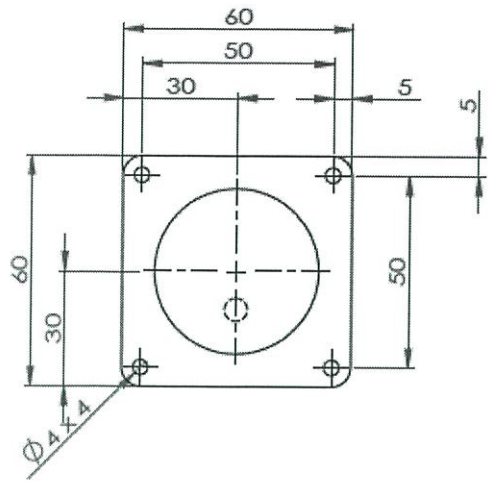


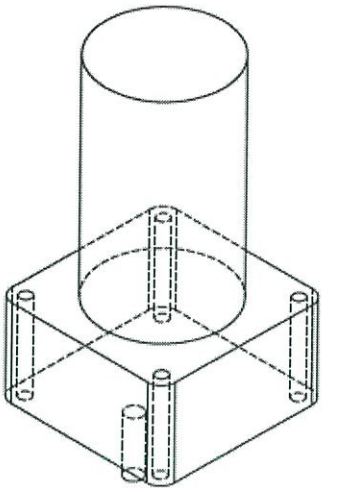


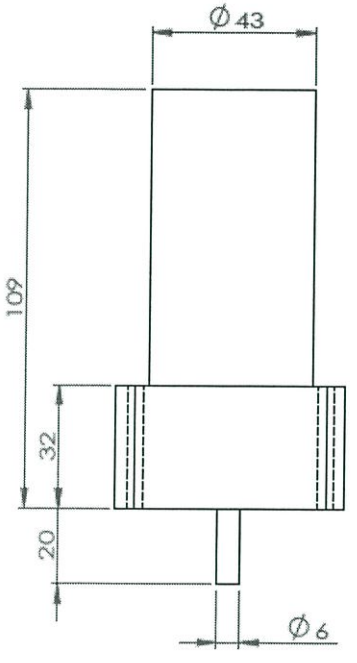


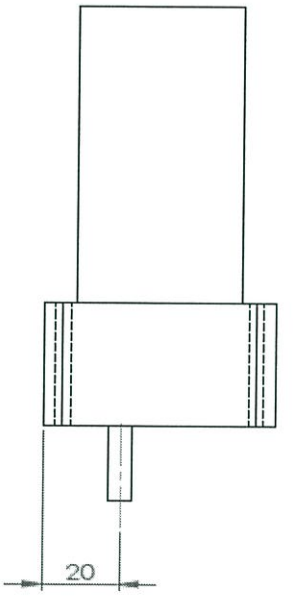
Part name	Rotary table	Scale 1:5
Material	Iron	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul



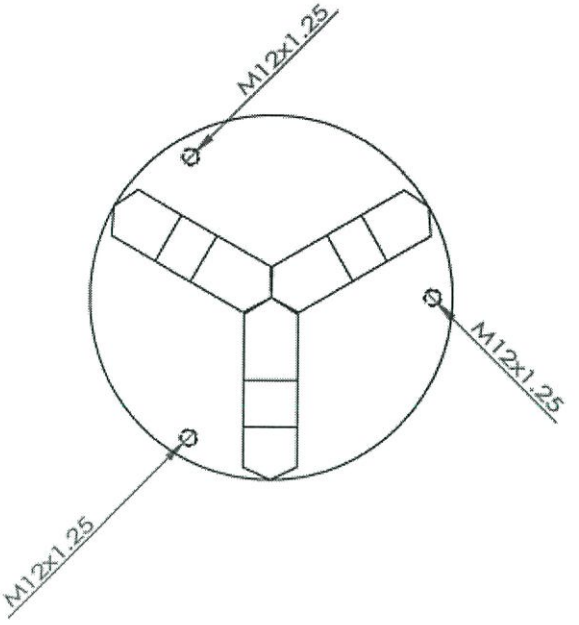


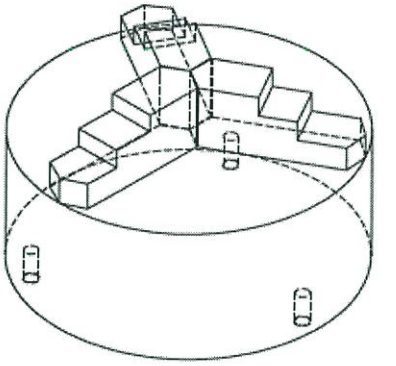


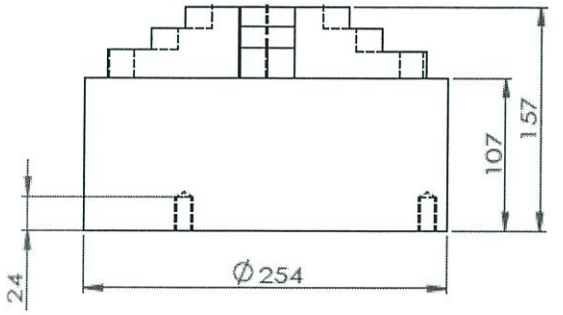


Part name	Motor	Scale 1:1.5
Material		

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

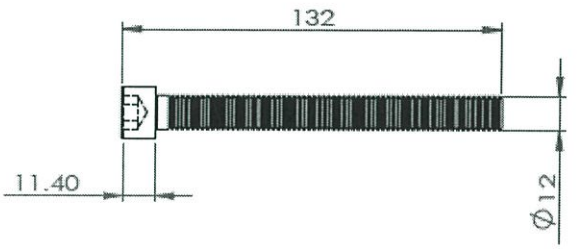


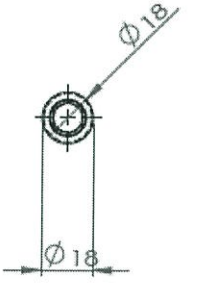




Part name	10 Inch Chuck	Scale 1:4
Material	Iron	

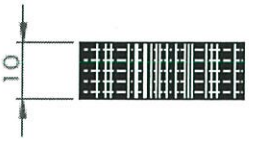
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

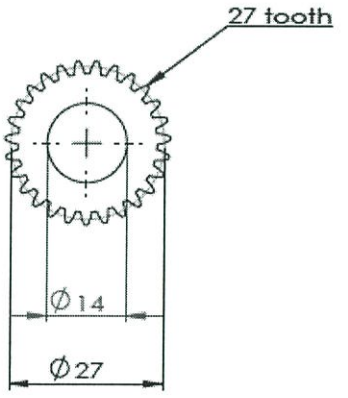




Part name	Screw M12	Scale 1:2
Material	Iron	

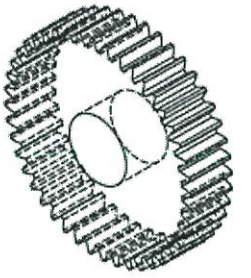
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

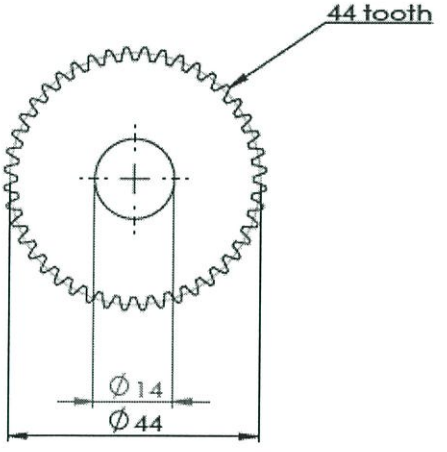




Part name	27 tooth gear	Scale 1:1
Material	Aluminium	

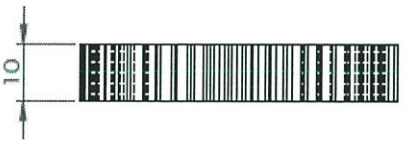
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

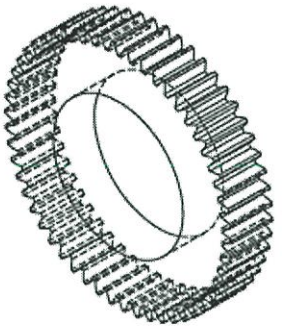


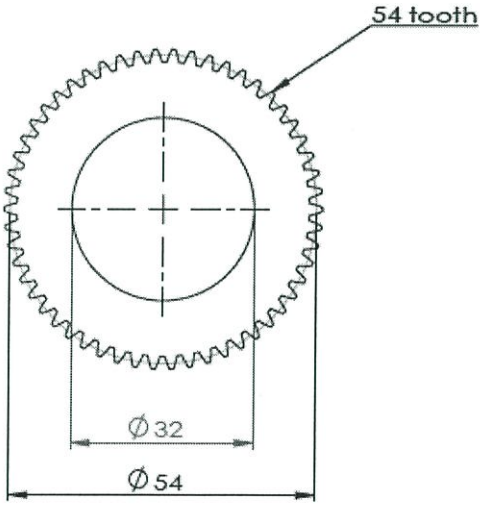


Part name	44 tooth gear	Scale 1:1
Material	Aluminium	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

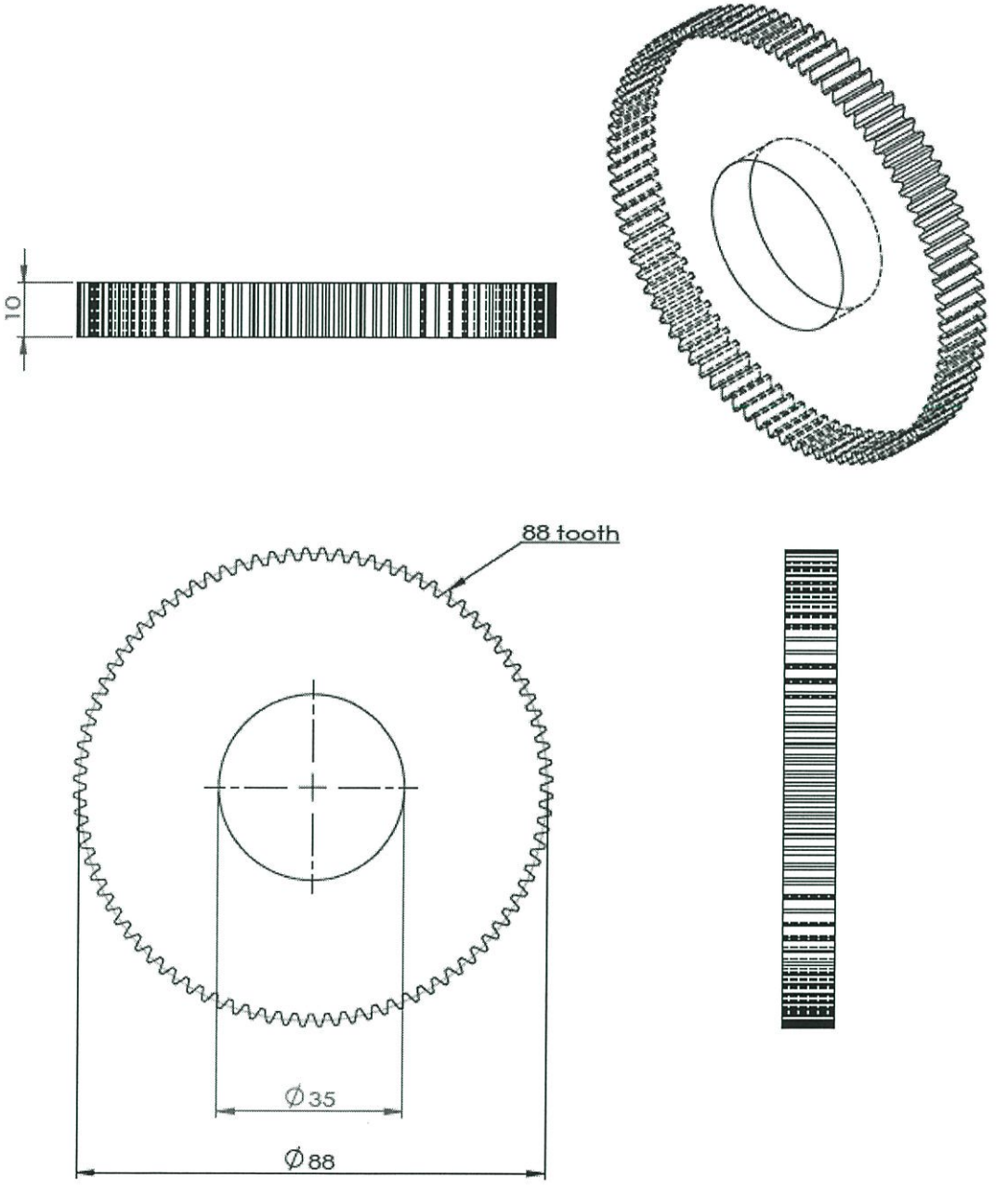






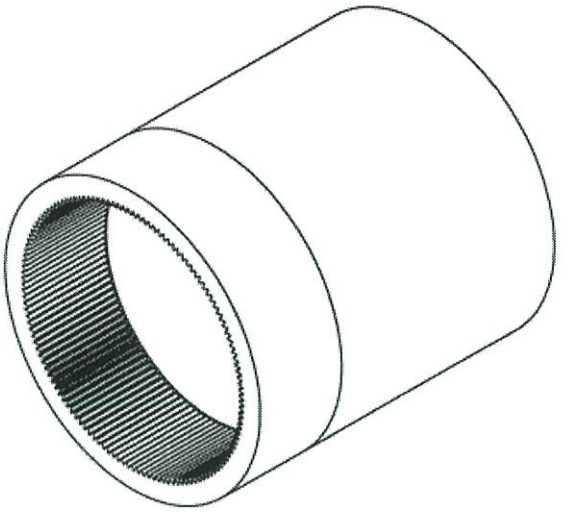
Part name	54 tooth gear	Scale 1:1
Material	Aluminium	

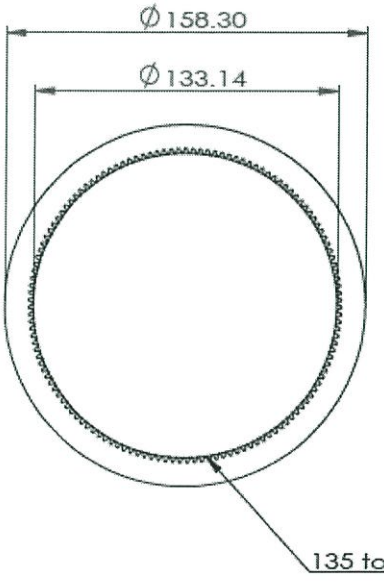
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

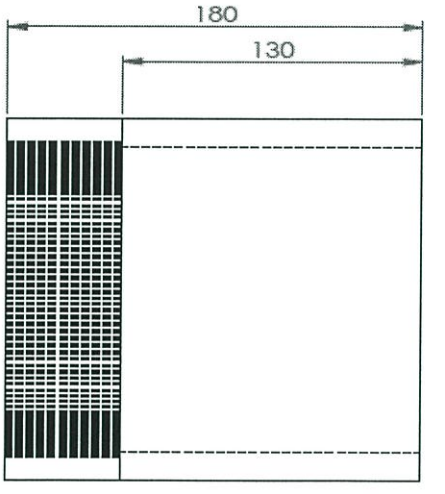


Part name	88 tooth gear	Scale 1:1
Material	Aluminium	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

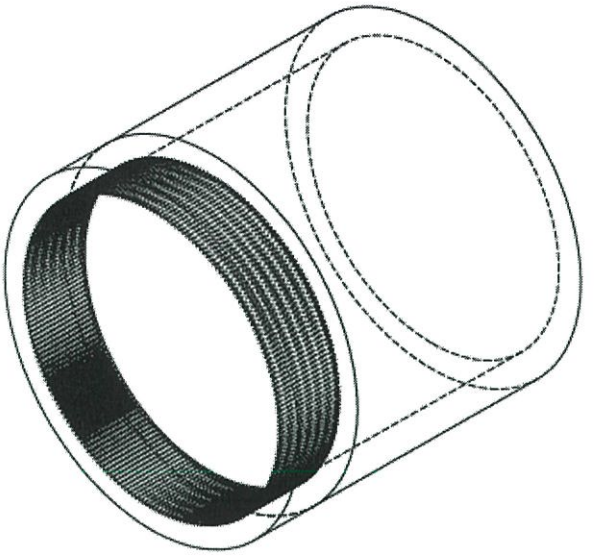


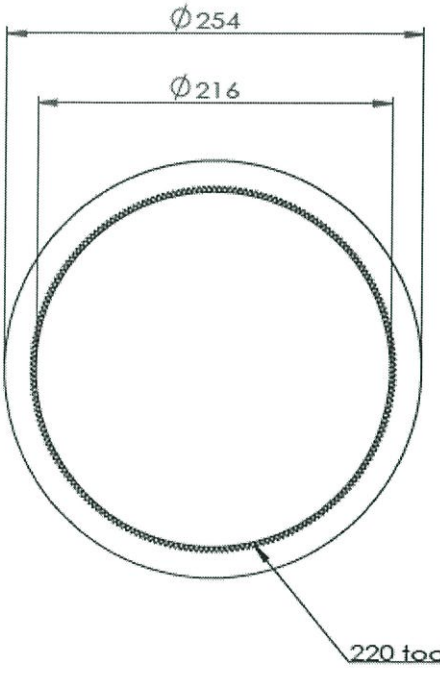


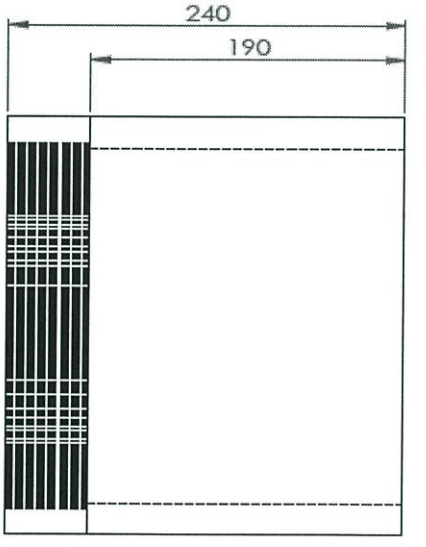


Part name	135 tooth internal gear	Scale 1:2.5
Material	Aluminium	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul





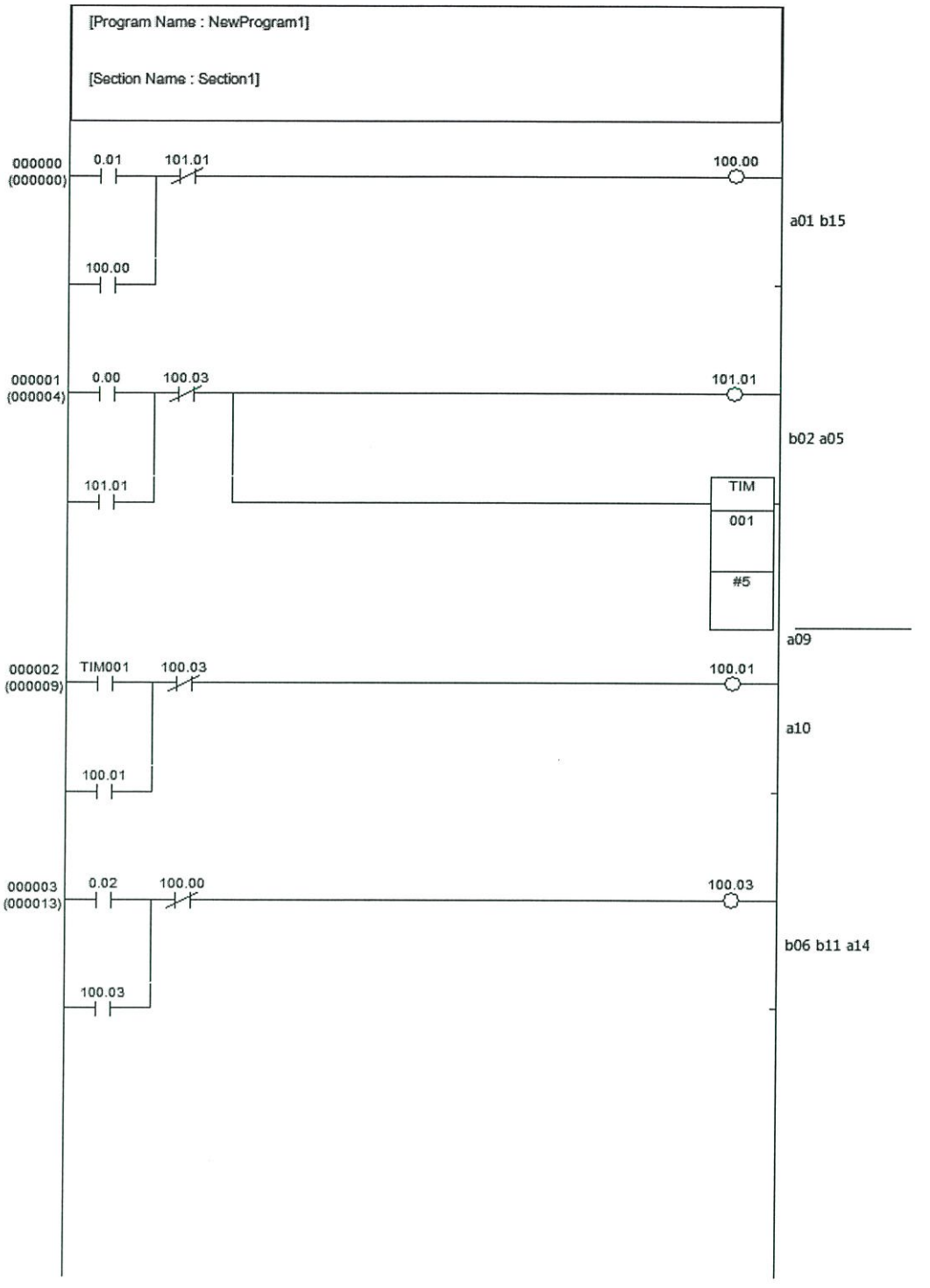


Part name	220 tooth internal gear	Scale 1:3.5
Material	Aluminium	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	Nutchanon Keawhawong
	Design	Theeraput Chanhom
	Approve	Polchai Chotiprayanakul

ภาคผนวก ข

ชุดอุปกรณ์สำหรับจัดทำชุดเฟืองในได้ใช้ Programmable Logic คอนโทรลเลอร์ ในการสั่งงาน โดยมี Ladder Diagram ดังนี้



ชุดอุปกรณ์สำหรับจัดทำชุดเฟืองนอกได้ใช้ Visual Basic® ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ โดยมีคำสั่งดังนี้

โปรแกรมหลัก (Module)

```
Public Declare Function Inp Lib "DllPort.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "DllPort.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
Public SpindleX, Spindle As Integer
Public Acc, AccX(5) As Integer
Public absPos(4) As Long
Public Emergency As Boolean

Sub DDA(dx As Long, dy As Long, dz As Long, dw As Long, dm As Long)
cnt& = 0
If Abs(dx) > 0 Or Abs(dy) > 0 Or Abs(dz) > 0 Or Abs(dw) > 0 Then
If dm >= Abs(dx) And dm >= Abs(dy) And dm >= Abs(dz) And dm >= Abs(dw) And dm <> 0 Then
   If dx <> 0 Then ddx = Abs(dm / dx) Else ddx = 0
   If dy <> 0 Then ddy = Abs(dm / dy) Else ddy = 0
   If dz <> 0 Then ddz = Abs(dm / dz) Else ddz = 0
   If dw <> 0 Then ddw = Abs(dm / dw) Else ddw = 0
  kx = 1: ky = 1: kz = 1: kw = 1
   For i = 1 To dm + 1
   prt = 0
   If i > ddx * kx Then
```

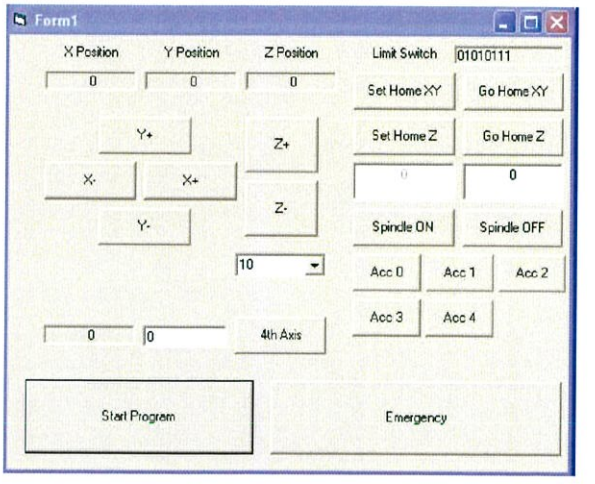
```
If dx > 0 And Mid(lim_sw, 2, 1) <> "0" Then prt = prt + 16: absPos(0) = absPos(0) + 1

If dx < 0 And Mid(lim_sw, 3, 1) <> "1" Then prt = prt + 32: absPos(0) = absPos(0) - 1


kx = kx + 1 ' next pulse

End If


If i > ddy * ky Then

If dy > 0 And Mid(lim_sw, 5, 1) <> "1" Then prt = prt + 4: absPos(1) = absPos(1) + 1

If dy < 0 And Mid(lim_sw, 4, 1) <> "0" Then prt = prt + 8: absPos(1) = absPos(1) - 1

ky = ky + 1

End If


If i > ddz * kz Then

If dz > 0 Then prt = prt + 2: absPos(2) = absPos(2) + 1

If dz < 0 And Mid(lim_sw, 1, 1) <> "1" Then prt = prt + 1: absPos(2) = absPos(2) - 1

kz = kz + 1

End If


If i > ddw * kw Then

If dw > 0 Then prt = prt + 128:  absPos(3) = absPos(3) + 1

If dw < 0 Then prt = prt + 64: absPos(3) = absPos(3) - 1

kw = kw + 1

End If


Out 888, prt

For j = 1 To 1000
```

```
    Next j
    Out 888, 0
    For j = 1 To 1000
    Next j
    'cnt& = cnt& + 1
    'If cnt& >= Int(0.5 * dm) Or cnt& > 10 Then monitorPos: cnt& = 0
    'DoEvents
Next i

End If
End If


End Sub

Sub monitorPos()
Form1.Label2(0).Caption = Str(absPos(0) * 0.001)
Form1.Label2(0).Refresh
Form1.Label2(1).Caption = Str(absPos(1) * 0.001)
Form1.Label2(1).Refresh
Form1.Label2(2).Caption = Str(absPos(2) * 0.001)
Form1.Label2(2).Refresh
Form1.Label2(3).Caption = Str(absPos(3) * 0.06)
Form1.Label2(3).Refresh
End Sub

Function lim_sw() As String
```

```
a = Inp(889)

If a >= 128 Then a = a - 128: a7$ = "0" Else a7$ = "1"

If a >= 64 Then a = a - 64: a6$ = "1" Else a6$ = "0"

If a >= 32 Then a = a - 32: a5$ = "1" Else a5$ = "0"

If a >= 16 Then a = a - 16: a4$ = "1" Else a4$ = "0"

If a >= 8 Then a = a - 8: a3$ = "1" Else a3$ = "0"

If a >= 4 Then a = a - 4: a2$ = "1" Else a2$ = "0"

If a >= 2 Then a = a - 2: a1$ = "1" Else a1$ = "0"

If a >= 1 Then a = a - 1: a0$ = "1" Else a0$ = "0"

lim_sw = a7$ + a6$ + a5$ + a4$ + a3$ + a2$ + a1$ + a0$

End Function


Sub SerialX()

If Spindle < SpindleX And Spindle < 255 Then Spindle = Spindle + 1

If Spindle > SpindleX And Spindle > 0 Then Spindle = Spindle - 1

If Spindle > 0 And Emergency = False Then AccX(5) = 1 Else AccX(5) = 0

Acc = AccX(0) + (2 * AccX(1)) + (4 * AccX(2)) + (8 * AccX(3)) + (16 * AccX(4)) + (32 * AccX(5))


Form1.MSComm1.Output = "@" & Chr(Spindle) & Chr(Acc)


End Sub


absPos(0) = 0

Do Until Mid(lim_sw, 4, 1) = "0"

lim_sw
```

```
DDA 0, -1, 0, 0, 1
DoEvents
Loop
absPos(1) = 0

End Sub
Sub go_home_XY()
DDA -absPos(0), -absPos(1), 0, 0, Abs(absPos(0)) + Abs(absPos(1))
End Sub

Sub homeZ()
absPos(2) = 0
End Sub
Sub go_home_Z()
DDA 0, 0, -absPos(2), 0, Abs(absPos(2))
End Sub
```

โปรแกรมสำหรับ สั่งงานแกน x y z และ Spindle สำหรับเครื่องกัดอัตโนมัติ (Form1)



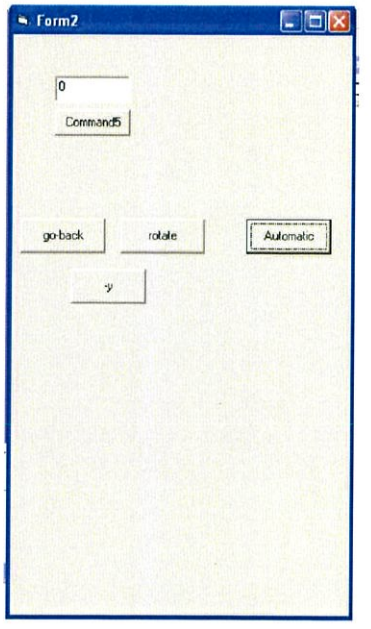
รูปที่ ผข 1 หน้าต่างสำหรับสั่งงานเครื่องกัดอัตโนมัติ

```
Private Sub Command10_Click()
DDA 0, 0, 0, (Val(Text2.Text) / 0.06) - absPos(3), Abs((Val(Text2.Text) / 0.06) - absPos(3)) * 3
End Sub

Private Sub Command8_Click(Index As Integer)
If AccX(Index) = 1 Then AccX(Index) = 0 Else AccX(Index) = 1
Acc = AccX(0) + (2 * AccX(1)) + (4 * AccX(2)) + (8 * AccX(3)) + (16 * AccX(4)) + (32 * AccX(5))
End Sub

Private Sub Command9_Click()
Emergency = True
Text1(1) = 0
SpindleX = 0
End Sub

Private Sub Form_Load()
Emergency = False
MSComm1.PortOpen = True
```

```
SpindleX = 0
Spindle = 0
Acc = 0
For i = 1 To 5
   AccX(i) = 0
Next i
End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
MSComm1.PortOpen = False
End
End Sub

Private Sub Command1_Click(Index As Integer)
a& = Int(Val(Combo1.Text) / 0.001)
If Index = 0 Then DDA -a&, 0, 0, 0, a&
If Index = 1 Then DDA a&, 0, 0, 0, a&
End Sub

Private Sub Command2_Click(Index As Integer)
a& = Int(Val(Combo1.Text) / 0.001)
If Index = 0 Then DDA 0, a&, 0, 0, a&
If Index = 1 Then DDA 0, -a&, 0, 0, a&
End Sub

Private Sub Command3_Click(Index As Integer)
a& = Int(Val(Combo1.Text) / 0.001)
If Index = 0 Then DDA 0, 0, a&, 0, a&
If Index = 1 Then DDA 0, 0, -a&, 0, a&
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click(Index As Integer)
If Index = 0 Then homeXY
If Index = 1 Then go_home_XY
End Sub

Private Sub Command5_Click(Index As Integer)
If Index = 0 Then homeZ
If Index = 1 Then go_home_Z

End Sub
Private Sub Command6_Click()
Form2.Show
End Sub

Private Sub Command7_Click(Index As Integer)
If Index = 0 Then SpindleX = Val(Text1(1))
If Index = 1 Then Text1(1) = 0: SpindleX = 0
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Label3(1).Caption = lim_sw
monitorPos
Text1(0) = Spindle
SerialX

End Sub
```

โปรแกรมสำหรับสั่งงานการกัดเฟือง (Form2)



รูปที่ ผข 2 หน้าต่างสำหรับสั่งงานการกัดเฟือง

```
Dim ang As Single
Dim angCnt As Integer
Private Sub Command1_Click()
For i = 1 To 21
Command3.Value = True
Command2.Value = True
Next i
angCnt = 0
End Sub
Private Sub Command2_Click()
DDA -40000, 0, 0, 0, 160000
DDA 40000, 0, 0, 0, 160000
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()

ang = 360 / 20

DDA 0, 0, 0, (ang * angCnt / 0.06) - absPos(3), Abs((ang * angCnt / 0.06) - absPos(3)) * 3

angCnt = angCnt + 1

End Sub


Private Sub Command4_Click()

DDA 0, -500, 0, 0, 500


End Sub


Private Sub Command5_Click()

DDA 0, 0, 0, (Val(Text1.Text) / 0.06) - absPos(3), Abs((Val(Text1.Text) / 0.06) - absPos(3)) * 3

End
```