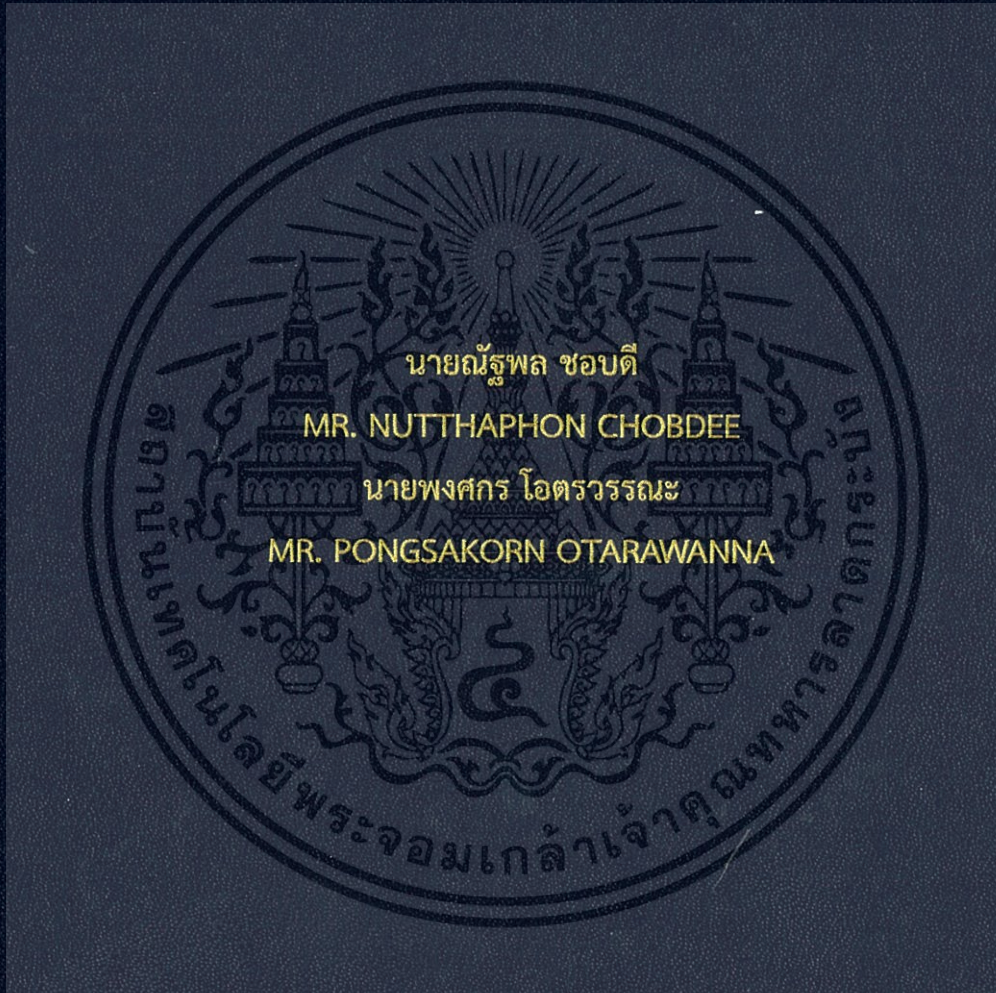


การสร้างชิ้นส่วนและประกอบขอต่อนุ่นยนต์อุตสาหกรรม  
BUILD AND ASSEMBLE OF AN INDUSTRIAL ROBOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การสร้างชิ้นส่วนและประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม  
BUILD AND ASSEMBLE OF AN INDUSTRIAL ROBOT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BUILD AND ASSEMBLE OF AN INDUSTRIAL ROBOT



MR. NUTTHAPHON CHOBDEE

MR. PONGSAKORN OTARAWANNA

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 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





Thesis Title	Build and Assemble of an Industrial Robot
Student	Mr. Nutthaphon Chobdee Mr. Pongsakorn Otarawanna
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2016
Thesis Advisor	Dr. Pholchai Chotiprayanakul

### ABSTRACT

This thesis presents build and assemble of an industrial robot. Using of industrial robots replacing human workers will increase productivity and enlarge occupational health and safety thus our group proposed to build and assemble articulated robot which can be replaced human workers. Design of robot from thesis title design and simulation of an industrial robot academic year 2014 of faculty of engineering in Industrial engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Each joint consists of planetary gear set and a servo motor. To verify the build, simulation tests are conducted to find out the pay load, torque and safety factor. Result of testing has shown that the robot.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสร้างชิ้นส่วนและประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง กลุ่มผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆ ดังต่อไปนี้

ดร.พลชัย โชติปลายนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษา ความรู้ แนวคิดที่ดี คำแนะนำ การปฏิบัติ ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ดร.เพชรพล ตัณฑวิรุฬห์ กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ

นายกำธร สุขพิมาย กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณภาควิชาอุตสาหกรรมที่เป็นสถานศึกษาสำหรับการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณพ่อ แม่ พี่ น้องและเพื่อนๆทุกคนสำหรับความช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

นาย ธีรัฐพล ขอบดี

นาย พงศกร โอตรวรรณะ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
<b>บทที่ 1</b> <b>บทนำ</b>	
1.1    ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2    วัตถุประสงค์.....	1
1.3    ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4    ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2</b> <b>ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1    หุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	3
2.1.1    นิยามของหุ่นยนต์.....	3
2.1.2    โครงสร้างพื้นฐานของหุ่นยนต์.....	3
2.1.3    ส่วนประกอบหุ่นยนต์.....	4
2.1.4    การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์.....	5
2.2    เฟือง.....	8
2.2.1    ชนิดของเฟือง.....	8
2.2.2    คำจำกัดความของส่วนต่างๆของเฟือง.....	12
2.3    ตลับลูกปืน.....	15
2.3.1    ชนิดของตลับลูกปืน.....	15
2.3.2    ขนาดของตลับลูกปืน.....	18

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 การใช้งานของตลับลูกปืน.....	19
2.4 มอเตอร์เซอร์โว.....	19
2.4.1 คอนโทรลเลอร์.....	20
2.4.2 เซอร์โว ไดรฟ์เวอร์.....	20
2.4.3 เซอร์โว มอเตอร์.....	21
2.5 กระบวนการผลิต.....	22
2.5.1 งานกลึง.....	22
2.5.2 งานเชื่อมโลหะ.....	25
2.5.3 การเจาะ.....	27
<b>บทที่ 3</b> <b>วิธีการดำเนินงาน</b>	
3.1 ศึกษาแบบจำลองของข้อต่อหุ่นยนต์ 3 แกนล่าง.....	29
3.1.1 การออกแบบชุดขับเคลื่อนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	29
3.1.2 การออกแบบชุดเฟืองข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	31
3.2 อุปกรณ์สำหรับผลิตส่วนประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	32
3.2.1 อุปกรณ์ยึดจับแผ่นรอง.....	33
3.2.2 ที่ยึดดอกสว่าน.....	33
3.3 สร้างส่วนประกอบของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	34
3.3.1 แผ่นรองเฟือง.....	34
3.3.2 แผ่นรองมอเตอร์.....	35
3.3.3 เพลา.....	36
3.3.4 เพลาเชื่อมระหว่างชุดเกียร์.....	37
3.3.5 ฐานวางแผ่นรองมอเตอร์.....	37
3.4 ประกอบส่วนประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	38

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 สร้างอุปกรณ์เพื่อทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	39
3.5.1 ต่อบางจรเพื่อควบคุมการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	39
3.5.2 แท่นเพื่อทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	39
3.6 การทดลอง.....	40
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน</b>	
4.1 การประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	42
4.2 การทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	43
4.2.1 การทดลองที่ 1.....	43
4.2.2 การทดลองที่ 2.....	45
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน</b>	
5.1 ข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	48
5.2 ผลการทดลอง.....	48
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก ก.....	ผก1
ภาคผนวก ข.....	ผข1

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานของโมดูล.....	14
ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานของฟันเฟือง.....	15
ตารางที่ 2.3 แสดงขนาดของตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลม .....	18
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	43
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงแรงบิดจากความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับ Period of Pulse.....	44
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงความเร็วเชิงเส้นจากความสัมพันธ์ระหว่างมวลและ Period of Pulse.....	44
ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	46
ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับแรงบิด.....	46
ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วเชิงเส้น.....	46



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงข้อต่อต่างๆของหุ่นยนต์.....	4
รูปที่ 2.2 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ Cartesian Robot.....	5
รูปที่ 2.3 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ Cylindrical Robot.....	6
รูปที่ 2.4 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ Spherical Robot.....	6
รูปที่ 2.5 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ SCARA Robot.....	7
รูปที่ 2.6 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ Articulated Arm.....	8
รูปที่ 2.7 แสดงรูปเฟืองตรง.....	9
รูปที่ 2.8 แสดงรูปเฟืองเฉียง.....	9
รูปที่ 2.9 แสดงรูปเฟืองก้านปลา.....	10
รูปที่ 2.10 แสดงรูปเฟืองสะพาน.....	10
รูปที่ 2.11 แสดงรูปเฟืองวงแหวน.....	11
รูปที่ 2.12 แสดงรูปเฟืองดอกจอก.....	11
รูปที่ 2.13 แสดงรูปเฟืองเกลียวสกู.....	12
รูปที่ 2.14 แสดงคำจำกัดความของส่วนต่างๆของเฟือง.....	14
รูปที่ 2.15 แสดงรูปตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมร่องลึกแถวเดียว.....	15
รูปที่ 2.16 แสดงรูปตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม.....	16
รูปที่ 2.17 แสดงรูปเฟืองสะพาน.....	16
รูปที่ 2.18 แสดงรูปตลับลูกปืนเม็ดเข็ม.....	17
รูปที่ 2.19 แสดงรูปตลับลูกปืนเม็ดเรียบ.....	17
รูปที่ 2.20 แสดงรูปตลับลูกปืนเม็ดโค้ง.....	17
รูปที่ 2.21 แสดงรูปตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมตาม DIN 625.....	18
รูปที่ 2.22 แสดงรูป Controller ของ Servo motor.....	20
รูปที่ 2.23 แสดงรูป Servo Driver.....	21
รูปที่ 2.24 แสดงรูป Servo Motor.....	21
รูปที่ 2.25 แสดงรูเครื่องกลึง.....	24
รูปที่ 2.26 แสดงรูปชุดมีดกลึงแบบต่างๆ.....	24

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.27 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบแก๊ส.....	25
รูปที่ 2.27 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบไฟฟ้า.....	25
รูปที่ 2.29 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบจุด.....	26
รูปที่ 2.30 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบ TIG.....	26
รูปที่ 2.31 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบ MIG.....	27
รูปที่ 2.32 แสดงเครื่องเจาะแบบตั้งโต๊ะ และ รูปดอกสว่าน.....	27
รูปที่ 3.1 ภาพขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	28
รูปที่ 3.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม 3 แกนกลาง.....	29
รูปที่ 3.3 มอเตอร์รุ่น Omron R88M-G40030H.....	30
รูปที่ 3.4 ชุดเพื่อข้อต่อที่ 1 ข้อต่อที่ 2 และข้อต่อที่ 3.....	32
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์จับยึดแผ่นรองเฟือง.....	33
รูปที่ 3.6 ที่ยึดดอกสว่าน.....	34
รูปที่ 3.7 แผ่นรองเฟือง.....	35
รูปที่ 3.8 แผ่นรองมอเตอร์.....	35
รูปที่ 3.9 เพลา.....	36
รูปที่ 3.10 เพลาเชื่อมระหว่างชุดเกียร์.....	37
รูปที่ 3.11 ฐานวางแผ่นรองมอเตอร์.....	38
รูปที่ 3.12 ประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	38
รูปที่ 3.13 ชุดวงจรเพื่อควบคุมการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	39
รูปที่ 3.14 แท่นสำหรับทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	40
รูปที่ 3.15 การทดสอบการดึงมวลของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแกนที่ 1.....	41
รูปที่ 4.1 ข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	42
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นและแรงบิด.....	45
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นและแรงบิด.....	47

ณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

หุ่นยนต์คือเครื่องจักรกลที่สามารถทำงานร่วมกับมนุษย์หรือทำงานได้โดยอัตโนมัติ โดยการป้อนข้อมูล สามารถจัดลำดับการทำงานได้ หุ่นยนต์มีประโยชน์ในการช่วยและทดแทนมนุษย์ให้ทำงานได้ง่ายขึ้น

หุ่นยนต์มีบทบาทอย่างมากในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีการนำเทคโนโลยีต่างๆมาช่วยในการผลิตแทนที่มนุษย์ หุ่นยนต์ทำให้การทำงานในระบบมีประสิทธิภาพ ความรวดเร็ว มีความแม่นยำ ลดความผิดพลาด สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่ามนุษย์ และสามารถทำงานอันตรายที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปทำได้ หุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่ใช้ในการผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาที่สูง เนื่องจากยังขาดความรู้และความเชี่ยวชาญในการผลิตหุ่นยนต์อุตสาหกรรม การสร้างหุ่นยนต์ในประเทศไทยยังเป็นแบบหุ่นยนต์ต้นแบบ เราจึงเล็งเห็นว่าถ้าเราสามารถผลิตหุ่นยนต์เชิงอุตสาหกรรมเองได้จะทำให้สามารถลดค่าจ่ายได้

โครงการมีจุดประสงค์ที่จะสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบจากแบบจำลองที่ได้ถูกออกแบบไว้โดยปริญญาานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2557 และ 2558 หัวข้อการออกแบบหุ่นยนต์ 6 แกน ส่วน 3 แกนล่าง โดยเราจะสร้างแกน ที่มีมอเตอร์เป็นตัวส่งกำลังให้ชุดเฟืองทดกำลังทำงาน ซึ่งส่วนประกอบที่เราจะสร้างนั้นทำมาจากอะลูมิเนียม

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อจัดทำส่วนประกอบและโครงสร้างต่างๆของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม
2. เพื่อกำหนดกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนหุ่นยนต์อุตสาหกรรม
3. เพื่อจัดสร้างหุ่นยนต์อุตสาหกรรมต้นแบบที่รองรับวิธีการผลิตเชิงอุตสาหกรรม

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. สร้างชุดอุปกรณ์สำหรับกระบวนการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมส่วนแกนกลาง
2. สร้างชิ้นส่วนข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมส่วนแกนกลาง
3. ประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมส่วนกลางจากชิ้นส่วนที่ทำขึ้น

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ชุดองค์ความรู้ใช้สำหรับการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม
2. ชุดหุ่นยนต์พื้นฐานสำหรับศึกษาต่อไปในอนาคต



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

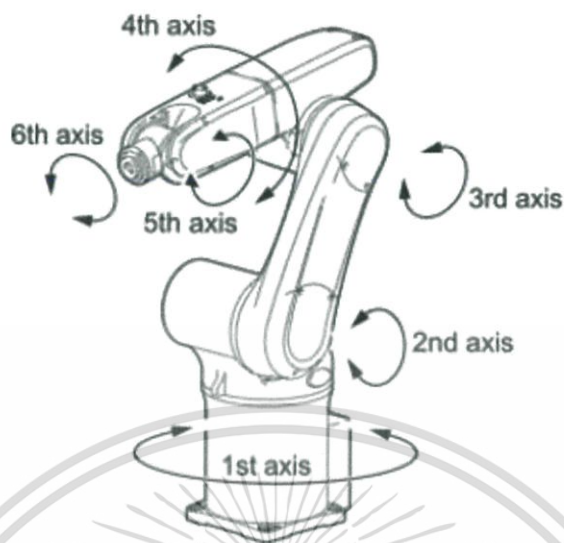
#### 2.1 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial Robot) [4]

##### 2.1.1 นิยามของหุ่นยนต์

นิยามของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม คือ เครื่องจักรที่ถูกควบคุมอัตโนมัติซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมได้ ใช้งานเอนกประสงค์ โดยสามารถโปรแกรมให้เคลื่อนที่ได้อย่างน้อย 3 แกนหรือมากกว่า หุ่นยนต์อาจจะยึดอยู่กับที่หรือย้ายตำแหน่งก็ได้ เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม หรือ คือ เครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายวัสดุ ชิ้นส่วน เครื่องมือ หรือเครื่องมือพิเศษอื่นๆ และสามารถเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนการเคลื่อนไหวเพื่อการทำงานที่ต่างชนิดกันได้

##### 2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของหุ่นยนต์

โครงสร้างของหุ่นยนต์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆมากมาย ซึ่งอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ มีหน้าที่แตกต่างกันตามลักษณะ ภารกิจและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โดยแขนกลนั้นทำงานเหมือนกับแขนของมนุษย์ซึ่งจะทำด้วยวัสดุที่แข็งต่อเข้ากันด้วยข้อต่อที่ยืดหยุ่นได้ โดยข้อต่อต่างๆสามารถเทียบกับส่วนแขนของมนุษย์ คือ ไหล่ (Shoulder) ข้อศอก (Elbow) และข้อมือ (Wrist) โดยมีส่วนปลายสุดของแขนสำหรับจับชิ้นงาน เรียกว่า มือจับ (Gripper of Hand) มือจับจะทำหน้าที่อยู่ 2 ลักษณะ คือ จับและปล่อย ซึ่งในอนาคตหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะมีบทบาทที่จะทำหน้าที่แทนคน ดังนั้นแขนกลจะต้องมีการพัฒนาประสิทธิภาพ เทคโนโลยีใหม่ๆ และการเคลื่อนไหวที่สะดวกมากขึ้น



รูปที่ 2.1 แสดงข้อต่อต่างๆของหุ่นยนต์

### 2.1.3 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์นั้นประกอบด้วยส่วนประกอบ ดังนี้

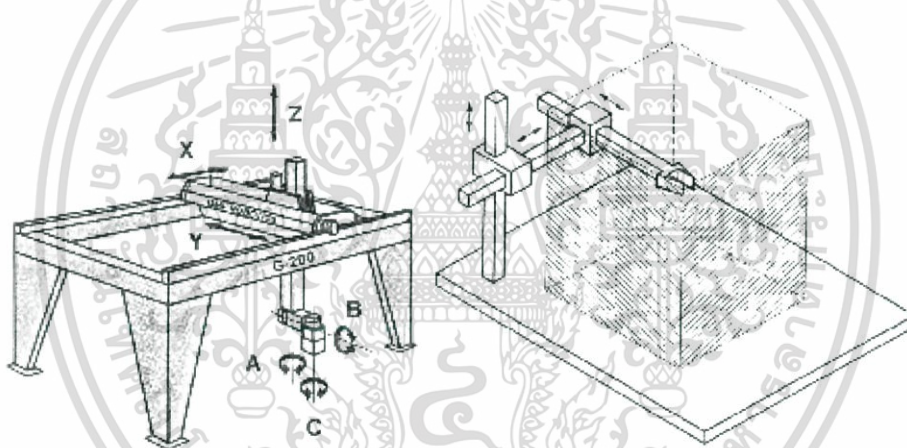
- Manipulator คือ ตัวหุ่นยนต์ ประกอบด้วยแขน (Links) ข้อต่อ (Joints) และโครงสร้างอื่นๆ
- End effector คือ ส่วนปลายที่สุดที่ติดกับข้อต่อสุดท้ายของแขนกล โดยปกติใช้หยิบจับวัตถุ หรือทำงานที่เฉพาะทาง เช่น เครื่องเชื่อม
- Actuators คือ ชุดขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ ได้แก่ มอเตอร์ กระจบอกกลม กระจบอกไฮดรอลิก
- Sensors คือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เพื่อวัดการรับรู้สภาพแวดล้อม ตำแหน่งต่างๆของชิ้นส่วน
- Processor and Controller คือ ตัวรับข้อมูลจากเซนเซอร์ (Sensors) และสั่งการไปยังชุดขับเคลื่อน (Actuators) เพื่อเคลื่อนที่ตามที่ตั้งโปรแกรมไว้
- Software คือ โปรแกรมที่ควบคุมการทำงานซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ระบบปฏิบัติการพื้นฐาน (Operating Systems) โปรแกรมของหุ่นยนต์ (Robotic Software) และ โปรแกรมควบคุมสำหรับงานเฉพาะทาง

- Power Supply คือ ส่วนที่จ่ายพลังงานไปยังชุดควบคุม และ ตัวหุ่นยนต์ เช่น แหล่งจ่ายไฟฟ้า แหล่งจ่ายลม เป็นต้น

#### 2.1.4 การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์อุตสาหกรรมนั้นสามารถแบ่งได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับรูปแบบการเคลื่อนที่ ลักษณะงาน หรือ พื้นที่ที่ทำงาน ซึ่งการแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ต่อไปนี้จะแบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่ทำงาน (Envelope Geometric)

##### 2.1.4.1 Cartesian Robot or Gantry Robot

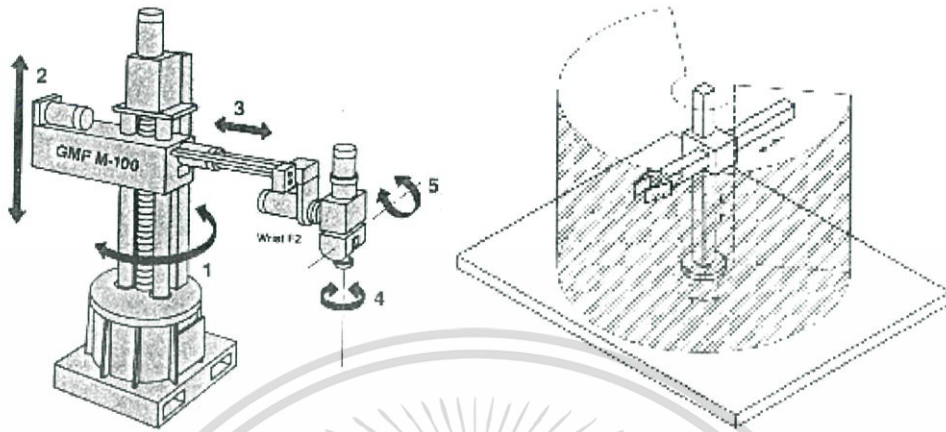


รูปที่ 2.2 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ Cartesian Robot

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

เนื่องจากโครงสร้างมีความแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเหมาะกับการเคลื่อนย้ายของหนักๆ หรือเรียกว่างาน Pick-and-Place เช่น ใช้โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine loading) ใช้จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงาน Test ต่างๆ

### 2.1.4.2 Cylindrical Robot

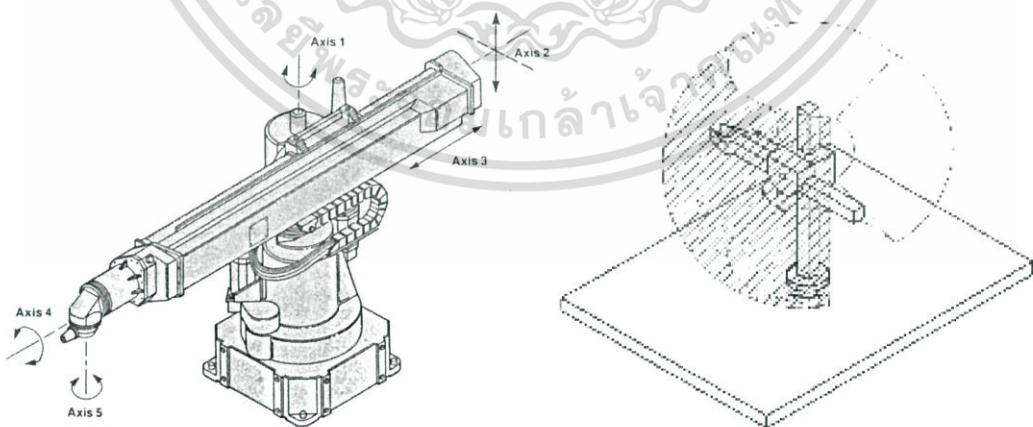


รูปที่ 2.3 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ Cylindrical Robot

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีแกนที่ 2 (ไหล) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) เป็นแบบ Prismatic ส่วนแกนที่ 1 (เอว) จะเป็นแบบหมุน (Revolute) ทำให้การเคลื่อนที่ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกระบอก

โดยทั่วไปจะใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน (Pick and Place) หรือป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักร เพราะสามารถเคลื่อนที่เข้าออกบริเวณช่องที่เป็นโพรงเล็กๆได้สะดวก

### 2.1.4.3 Spherical Robot

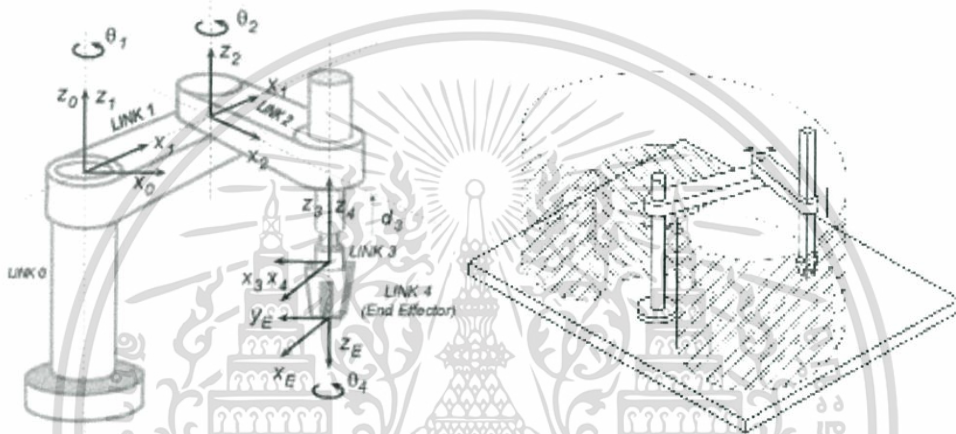


รูปที่ 2.4 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ Spherical Robot

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน (Revolute Joint) คือแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 2 (ไหล่) ส่วนแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง

โดยทั่วไปจะใช้งานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าเครื่องปั๊ม (Press) หรืออาจจะเป็นการใช้งานเชื่อมจุด (Spot Welding)

#### 2.1.4.4 Selective Compliance Assembly Robot Arm (SCARA Robot)

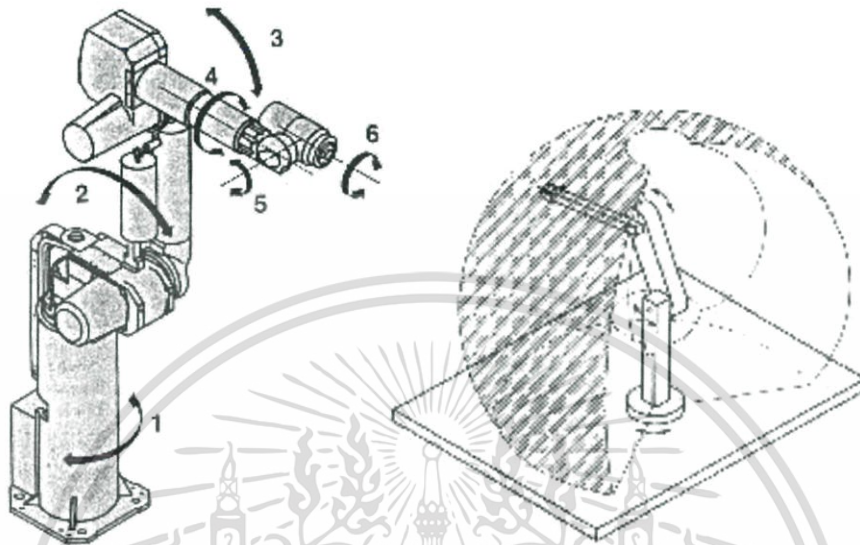


รูปที่ 2.5 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ SCARA Robot

หุ่นยนต์ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวตั้ง และแกนที่ 2 จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) หุ่นยนต์ SCARA จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบ และมีความแม่นยำสูง

เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและขึ้นลงได้รวดเร็วจึงเหมาะกับการประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งต้องการความรวดเร็วและการเคลื่อนที่ที่ไม่ต้องการการหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะกับการประกอบชิ้นส่วนทางกล (Mechanical Part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน (Rotation) ในลักษณะมุมต่างๆ นอกจากนี้ SCARA Robot ยังเหมาะกับการตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

#### 2.1.4.5 Articulated Arm



รูปที่ 2.6 แสดงรูปและแนวการเคลื่อนที่ของ Articulated Arm

การเคลื่อนที่จะเป็นแบบหมุน (Revolute) รูปแบบการเคลื่อนที่จะคล้ายกับแขนคน ซึ่งจะประกอบด้วยช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง ข้อมือ การเคลื่อนที่ทำให้ได้พื้นที่การทำงาน

หุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถใช้งานได้กว้างขวางเพราะสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่างๆ ได้ดี เช่น งานเชื่อม Spot Welding, Path Welding, งานยกของ, งานตัด, งานทากาว, งานที่มีการเคลื่อนที่ยากๆ เช่น งานพันสี งาน Sealing เป็นต้น

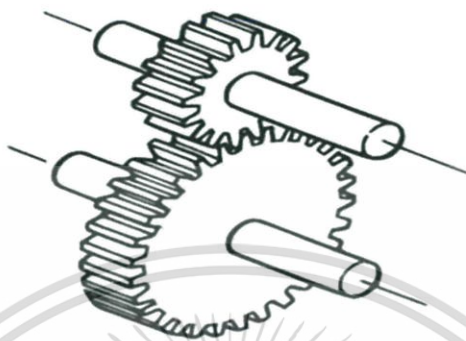
## 2.2 เฟือง (Gears) [5]

เฟืองวัตถุประสงค์ในการ ใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะ ของแรงบิด (Torque) โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี โดยการส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อมีฟันเฟืองตั้งแต่สองตัวขึ้นไป

### 2.2.1 ชนิดของเฟือง

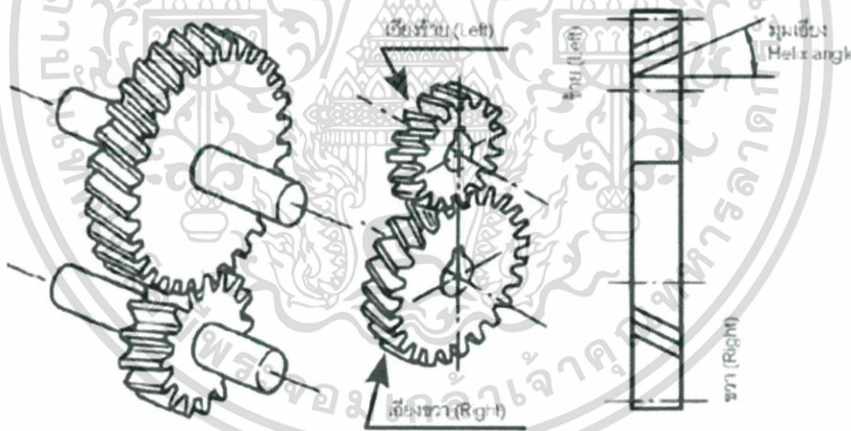
-เฟืองตรงเป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกันเฟืองตรงเหมาะสำหรับการส่ง กำลังที่มีความเร็วรอบต่ำ หรือความเร็วรอบปานกลางไม่เกิน 20 เมตร ต่ออนาที ข้อดีของเฟืองตรงคือขณะใช้ งานจะไม่เกินแรง

ในแนວแกน ประสิทธิภาพในการทำงานสูงหน้ากว้างของเฟืองตรงสามารถเพิ่มได้เพื่อให้เกิดผิวสัมผัสที่มากขึ้น เพื่อลดการสึกหรอให้น้อยลง



รูป 2.7 แสดงรูปเฟืองตรง

-เฟืองเฉียงเฟืองเฉียงมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกับเฟืองตรงทุกอย่างแต่มีข้อดีกว่า เฟืองตรงที่เมื่อส่งกำลังด้วยความเร็วรอบสูงๆ แล้วจะไม่เกิดเสียง



รูปที่ 2.8 แสดงรูปเฟืองเฉียง

-เฟืองก้างปลาถูกพัฒนารูปแบบจากเฟืองเฉียงมาเป็นเฟืองก้างปลาซึ่งมีลักษณะของฟันเฟืองที่เฉียงเข้าหากันในมุมที่เท่ากันทำให้แรงลัพท์ของแรงรูน (Trust) เท่ากับ ศูนย์จากลักษณะของเฟืองก้างปลาดังรูปที่ 2.9 จะเห็นว่ามิลักษณะเหมือนกับการเอาเฟืองเฉียงมาประกบกัน ในลักษณะที่สมมาตร ทำให้เฟืองก้างปลาสามารถรักษาข้อดีของเฟืองเฉียงไว้ได้ คือเสียงที่เงียบขณะทำงาน รับภาระ (Load) ได้มากกว่าเฟืองตรง ใน

ขณะเดียวกันแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะทำงานก็ยังคงน้อย เมื่อเทียบกับเฟืองตรง แต่ลดข้อเสียที่มีอยู่เพียงอย่างเดียวของเฟืองเฉียงคือแรงรูน จากลักษณะของเฟืองก้ำปลาที่มุมเอียงของเฟืองเอียงเข้าหากันในลักษณะที่องศาเท่ากันทำให้ผลลัพธ์ของแรงรูนไม่มี



รูปที่ 2.9 แสดงรูปเฟืองก้ำปลา

-เฟืองสะพาน ในหนึ่งชุดของเฟืองสะพานนั้นประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่เป็นเฟือง (Gear) ตัวจับซึ่งส่วนมาก แล้วจะเป็นเฟืองตรง ( Spur Gear) แต่ในบางอุปกรณ์อาจเป็นเฟืองเฉียงก็มี และส่วนที่เป็นเฟืองสะพาน (Rack) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งยาวตรงและมีฟันเฟืองอยู่ด้านบนขนบอยู่กับส่วนที่เป็นฟันเฟือง (Gear) หน้าที่ของเฟืองสะพานคือใช้ในการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในลักษณะการ หมุนหรือการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา



รูปที่ 2.10 แสดงรูปเฟืองสะพาน

-เฟืองวงแหวนเป็นเฟืองตรงอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะอยู่ด้านในของวงกลมต้องใช้คู่กับเฟืองขนาดเล็กกว่าที่ขบอยู่ด้านในดังรูปที่ 2.11 เฟืองวงแหวนจะใช้งานในลักษณะที่ต้องการให้เฟืองขับและเฟืองตามทำงานหรือหมุนในทิศทางเดียวกันสำหรับอัตราทดนั้นสามารถออกแบบให้มากหรือน้อยได้โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองตัวนอก (Ring) และเฟืองตัวใน (Pinion) ดังรูปที่ 2.11 โดยที่ถ้าหากเฟืองตัวในเล็กกว่าเฟืองตัวนอกมากอัตราทดก็จะมากและถ้าหากเฟืองตัวในมีขนาดใกล้เคียงกับเฟืองตัวนอกอัตราทดก็จะน้อย โดยปกติของเฟืองวงแหวนแล้วเฟืองตัวเล็ก (Pinion Gear) ที่อยู่ด้านในจะทำหน้าที่เป็นตัวขับ



รูปที่ 2.11 แสดงรูปเฟืองวงแหวน

-เฟืองดอกจอก ลักษณะของเฟืองคล้ายกับกรวยฟันของเฟือง ดอกจอกมีทั้งแบบตรงและแบบเฉียง เฟืองดอกจอกเป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังเพื่อเปลี่ยนทิศทางของเพลา สามารถทำมุมได้ 90 องศา และเป็นเฟืองที่ให้กำลังในการส่งมาก



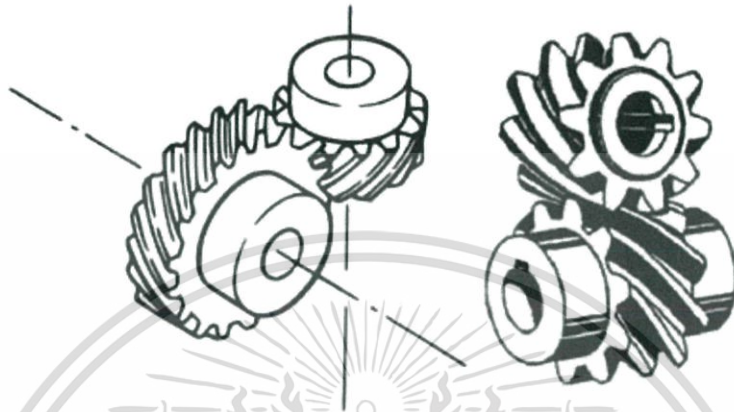
Bevel Gear

Spiral Bevel Gear

Hypoid Gear

รูปที่ 2.12 แสดงรูปเฟืองดอกจอก

-เฟืองเกลียวสกรู (Spiral Gears) เป็นเฟืองเกลียวที่ใช้ส่งกำลังระหว่างเพลลาที่ทำมุม 90 องศาทำหน้าที่ใช้เพื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางของเพลลาให้ทำมุมกัน 90 องศาคล้ายกับชุดเฟืองหนอนแต่สามารถส่งกำลังได้น้อยเนื่องจากด้านข้างของฟันมีพื้นที่สัมผัสกันน้อยมากสามารถให้อัตราทดได้ระหว่าง 1 ถึง 5



รูปที่ 2.13 แสดงรูปเฟืองเกลียวสกรู

### 2.2.2 คำจำกัดความของส่วนต่างๆของเฟือง

-วงกลมพิชต์ (Pitch Circle) คือ แนววงกลมทางทฤษฎีที่เฟืองทั้งคู่สัมผัสซึ่งกันและกันใช้เป็นเส้นแบ่งฟันเฟืองเป็นส่วนของยอดฟันและโคนฟัน

-เส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิชต์ (Pitch Diameter)  $d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพิชต์ใช้ในการบอกขนาดและการคำนวณเกี่ยวกับเฟือง

-ระยะพิชต์ในแนวเส้นรอบวง (Circular Pitch)  $p$  คือ ระยะที่วัดบนเส้นรอบวงกลมพิชต์จากจุดหนึ่งบนฟันไปยังจุดเดียวกันของฟันถัดไป มีค่าเท่ากับความหนาของฟันบวกกับความกว้างของฟัน

-ความสูงยอดฟัน (Addendum) คือ ระยะในแนวรัศมี วัดจากวงกลมพิชต์ถึงปลายฟัน

-ความสูงโคนฟัน (Dedendum) คือ ระยะในแนวรัศมี วัดจากวงกลมพิชต์ถึงโคนฟัน

-เส้นผ่านศูนย์กลางยอดฟัน (Outside Diameter) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากยอดฟันข้างหนึ่งผ่านจุดศูนย์กลางไปยังยอดฟันด้านตรงข้าม

-เส้นผ่านศูนย์กลางโคนฟัน (Root Diameter) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากโคนฟันด้านหนึ่งผ่านจุดศูนย์กลางไปยังโคนฟันด้านตรงข้าม

-ความสูงของฟันเฟือง (Whole Depth) เป็นผลรวมของความสูงยอดฟันรวมกับความสูงโคนฟัน

-ความสูงใช้งาน (Working Depth) คือ ความลึกของฟันเฟืองที่ขบเข้าไปในช่องระหว่างฟันจะเท่ากับสอง เท่าของความสูงยอดฟัน หรือ ความสูงของฟันเฟืองลบช่องว่าง

-ช่องว่าง (Clearance) คือ ช่องว่างระหว่างยอดฟันกับระยะต่ำสุดของร่องฟัน ซึ่งมีค่าเท่ากับความสูงโคนฟันลบด้วยความสูงยอดฟัน

-วงกลมช่องว่าง (Clearance Circle) คือ วงกลมที่สัมผัสกับวงกลมยอดฟันของเฟืองที่มาขบกัน

-ความหลวม (Backlash) เป็นระยะที่ร่องฟันมีค่ามากกว่าความหนาของฟันที่มาขบกัน วัดตามแนววงกลมพิตช์

-ความหนาของฟันเฟือง (Circular Thickness) ความหนาของฟันที่วัดตามความยาวของวงกลมพิตช์

-ความหนาคอर्ड (Choral Thickness) ความหนาของฟันเฟืองวัดตามความยาวคอर्डของวงกลมพิตช์ไปยังยอดฟัน

-ความสูงคอर्ड (Choral Addendum) คือ ระยะความสูงยอดฟัน วัดจากคอर्डของวงกลมพิตช์ไปยังยอดฟัน

-ความหนาของฟัน (Face Width) ความหนาของฟันเฟืองในแนวแกนเพลลา

-แฟลงค์ (Flank) ผิวด้านข้างของฟันเฟือง อยู่ระหว่างวงกลมพิตช์กับวงกลมโคนฟัน

-พื้นที่ปลายฟัน (Top Land) พื้นที่ส่วนปลายฟันเฟือง

-พื้นที่โคนฟัน (Bottom Land) พื้นที่ส่วนโคนฟันเฟือง

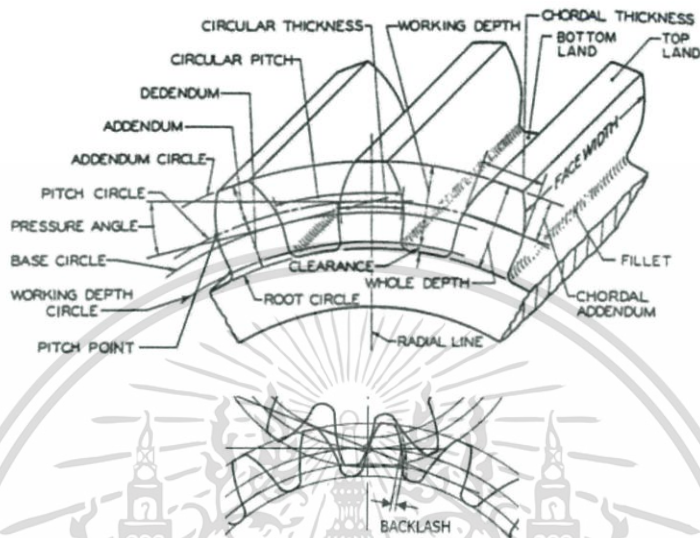
-จุดพิตช์ (Pitch Point) เป็นจุดสัมผัสของวงกลมพิตช์ของเฟืองที่ขบกัน

-มุมกดเฟือง (Pressure Angle) มุมที่เกิดขึ้นจากทิศทางการขบของเฟืองกับส่วนโค้งอินโวลูทของฟันเฟืองอินโวลูท ซึ่งจะทำมุมกดกันกับเส้นตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางที่จุดพิตช์

-แนวกดดัน (Pressure Line) เป็นแนวซึ่งแรงกดกันของเฟืองตัวหนึ่งกระทำผ่านจุดพิตช์ ไปยังเฟืองอีกตัวหนึ่ง

-วงกลมฐาน (Base Circle) เป็นวงกลมที่สัมผัสกับแนวกดดัน เป็นวงกลมที่ใช้ทำส่วนโค้งอินโวลูท ในการเขียนแบบเฟือง

-โมดูล (Module)  $m$  คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์หารจำนวนฟัน โดยมีค่าเป็นจำนวนเต็มหรือทศนิยม โมดูลเป็นหน่วยบอกขนาดของเฟืองในระบบ SI เฟืองที่มีค่าโมดูลมากจะมีขนาดใหญ่ เฟืองที่มีค่าโมดูลน้อยจะมีขนาดเล็ก ค่ามาตรฐานของโมดูลจะแสดงในตารางที่ 2.1



รูป 2.14 แสดงค่าจำกัดความของส่วนต่างๆของเฟือง

ตาราง 2.1 ค่ามาตรฐานของโมดูล (วิธีที่ อิงภาภรณ์ม และ ชาญ ณีตงาน, 2523) หน่วยมิลลิเมตร

โมดูลนิยม	โมดูลเล็ก อันดับสอง	โมดูลนิยม	โมดูลเล็ก อันดับสอง	โมดูลนิยม	โมดูลเล็ก อันดับสอง
0.1	0.15	1.5	1.75	12	14
0.2	0.25	2	2.75	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		
1.2		10	11		

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานของฟันเฟือง (วิธีที่ อิงภาภรณ์ม และ ชาญ ถนัดงาน, 2523)

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

### 2.3 ตลับลูกปืน (Bearing) [6]

ตลับลูกปืนทำหน้าที่ลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ทำให้สามารถลดปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องจักรและเนื่องจากความเสียดทานที่ลดลง จึงจะช่วยเพิ่มสมรรถนะในการทำงานของเครื่องจักร ลดการสึกหรอ ช่วยเป็นตัวรองรับการเคลื่อนที่ของเพลลา ทำให้เพลลาหมุนอย่างราบรื่นไม่ติดขัด

#### 2.3.1 ชนิดของตลับลูกปืน

-ตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมร่องลึกแฉกเดี่ยว (GROOVED BALL BEARING) เป็นตลับที่มีลูกกลิ้งซึ่งภายในแบบแฉกเดี่ยวหรือสองแฉกก็ได้แล้วแต่การใช้งาน ตลับลูกปืนชนิดนี้เหมาะสำหรับภาระปานกลางตามแนวรัศมี และรับภาระต่ำตามแนวแกน และสำหรับความเร็วรอบสูง



รูปที่ 2.15 แสดงรูปตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมร่องลึกแฉกเดี่ยว

-ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม (Angular contact ball bearings) ตลับลูกปืนแบบนี้สามารถรับแรงในแนวรัศมี และแนวแกนได้ทิศทางเดียว มุมสัมผัสมีทั้ง 15 25 30 40 องศา มุมสัมผัสยิ่งมากก็ยิ่งสามารถรับแรงในแนวแกนได้มาก ค่ามุมสัมผัสน้อยเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความเร็วสูง โดยทั่วไปมักใช้ตลับลูกปืนชนิดนี้เป็นคู่ โดยจะมีการปรับช่องว่างภายในอย่างเหมาะสม สำหรับตลับลูกปืนที่มีความเที่ยงตรงสูงจะมีมุมสัมผัสน้อยกว่า 30 และใช้รังโพลีเอไมด์ (Polyamide resin cage)



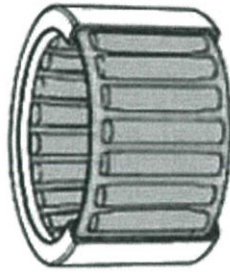
รูปที่ 2.16 แสดงรูปตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม

-ตลับลูกปืนเม็ดกลมทรงกระบอก (Cylindrical roller thrust bearings) ตลับลูกปืนนี้เม็ดลูกกลิ้ง ซึ่งมีลักษณะทรงกระบอกยาวจะสัมผัสเป็นเส้นตรงกับรางวิ่ง มีความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีได้สูง และเหมาะกับงานความเร็วสูงมีความแข็งแรงทั้งแนวรัศมีแนวรัศมีสูงและใช้กับเครื่องมือกลที่มีความเที่ยงตรงสูงปกติทั่วไปแล้วจะใช้ริงเหล็ก หรือทองเหลืองขึ้นรูปแต่ในบางครั้งก็ใช้รังโพลีเอไมด์หล่อขึ้นรูป



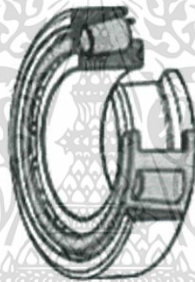
รูปที่ 2.17 แสดงรูปตลับลูกปืนเม็ดกลมทรงกระบอก

-ตลับลูกปืนเม็ดเข็ม (Needle roller bearings) ตลับลูกปืนประกอบด้วยลูกกลิ้งเม็ดเรียวยาวมีขนาดความยาวประมาณ 3 ถึง 10 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง



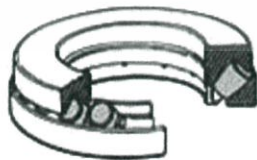
รูปที่ 2.18 แสดงรูปตลับลูกปืนเม็ดเข็ม

-ตลับลูกปืนเม็ดเข็ม (Taper roller bearings) ตลับลูกปืนชนิดนี้ใช้เม็ดลูกกลิ้งเป็นรูปกรวย มีตัวนำร่องคือโครงของวงแหวนด้านในตลับลูกปืนเม็ดเข็มสามารถรับแรงแนวรัศมีได้สูง และรับแรงในแนวแกนได้ทิศทางเดียว การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้เป็นคู่



รูปที่ 2.19 แสดงรูปตลับลูกปืนเม็ดโค้ง

-ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดโค้ง (Spherical roller thrust bearings) ตลับลูกปืนชนิดนี้มีรางโค้งหนึ่งราง อยู่ที่แหวนตัวเรือน และมีเม็ดลูกกลิ้งรูปโค้งวางเรียงอยู่โดยรอบ รางโค้งที่มีลักษณะโค้งของแหวนรองตัวเรือนนี้นั้นทำให้ตลับลูกปืนปรับแนวตัวเอง และสามารถรับแรงในแนวแกนที่สูงมากๆ ได้ ทั้งยังสามารถรับแรงในแนวรัศมีได้ปานกลาง ในขณะที่รับแรงในแนวแกนอยู่ด้วย

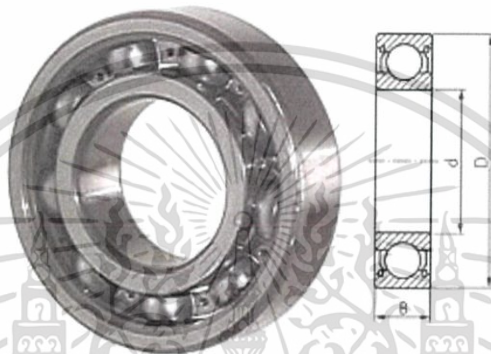


รูปที่ 2.20 แสดงรูปตลับลูกปืนเม็ดโค้ง

### 2.3.2 ขนาดของตลับลูกปืน

ขนาดของลูกปืนได้มีการกำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ดังนั้นทางปฏิบัติ ขนาดของตลับลูกปืนจะต้องเลือกมาจากคู่มือของตลับลูกปืนนั้นๆ

สิ่งที่สำคัญของตลับลูกปืนคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ความกว้าง และมุมต่างๆ โดยทั่วไปมักจะใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเป็นหลัก และพิจารณาร่วมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงภายนอก และความหนาที่ต่างกันออกไป



รูปที่ 2.21 แสดงรูปตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลมตาม DIN 625

ตารางที่ 2.3 แสดงขนาดของตลับลูกปืนชนิดลูกกลิ้งกลม ตาม DIN 625

นัมเบอร์	ขนาดโตนอก (D)	ขนาดรูใน (d)	ความหนา (B)	รัศมีขอบมุม (R)
6206	65	30	16	1.5
6207	72	35	17	2
6208	80	40	18	2
6209	85	45	19	2
6210	90	50	20	2
650	52	25	15	1.5

### 2.3.3 การใช้งานของตลับลูกปืน

ตลับลูกปืนแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้การใช้งานแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการรับโหลดในแนวรัศมี ความสามารถในการต้านความเร็ว ความสามารถในการต้านความถี่ ความสามารถในการสั่นสะเทือนและสงเสียง

-การรับโหลดในแนวรัศมี ตลับลูกปืนที่ใช้กับเครื่องจักรกลรัศมีที่มีมุมสัมผัสระหว่างลูกกลิ้งและรางสามารถรับโหลดในแนวแกนได้บ้างเช่นกัน สำหรับแบบรางลึกและแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกเรียวยาวที่มีมุมสัมผัสมากสามารถรับโหลดในแนวแกนได้บ้าง ส่วนแบบที่สามารถปรับตัวเองได้นั้น ลูกกลิ้งกลมหรือทรงกระบอกกลมสามารถจะจัดตำแหน่งของตัวเองตามการโก่งตัวของเพลลาแต่ชนิดนี้สามารถรับโหลดในแนวแกนได้น้อยกว่าแบบที่กล่าวมาแล้ว

-ด้านความเร็ว ตลับลูกปืนมีขีดจำกัดทางด้านความเร็ว คือ ตัวเลขที่ได้จากผลคูณระหว่างความโตของเพลลาด้วยความเร็ว และชนิดของตลับลูกปืน แต่ส่วนมากตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งกลมที่รางลึกหรือสัมผัสได้นั้น ลูกกลิ้งกลมหรือทรงกระบอกกลม สามารถจัดตำแหน่งของตัวเองตามการโก่งตัวของเพลลาแต่ชนิดนี้สามารถรับโหลดในแนวแกนได้น้อยกว่าแบบที่กล่าวมาแล้ว

-ด้านความถี่ตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้งหรือลูกกลิ้งทรงกระบอกกลมจะมีค่าความถี่จะเป็นแพคเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาในขณะออกแบบ

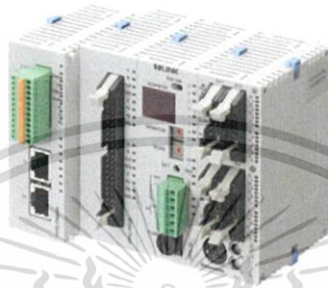
-การสั่นสะเทือนและการสงเสียงดัง องค์ประกอบที่สำคัญของตลับลูกปืน คือ ความกลมของลูกกลิ้ง ความบริสุทธิ์ของน้ำมันหล่อลื่น และตัวประกอบอื่นๆที่รองลงมา เช่น ความถูกต้องในการประกอบ ความละเอียดในการผลิต ต้นเหตุของการสั่นสะเทือนและการสงเสียงดังมีหลายอย่าง ปัจจุบันยังไม่สามารถเฉพาะตัวของตลับลูกปืนอย่างกว้างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณา

### 2.4 มอเตอร์เซอร์โว (Servo motor) [7]

Servo Motor เป็นอุปกรณ์ที่ผู้ใช้งานสามารถ ควบคุมความเร็ว (Speed Control), แรงบิดของมอเตอร์ Torque Control), ระยะทางในการเคลื่อนที่(หมุน) (Position Control) ของตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งมอเตอร์ทั่วไปไม่สามารถ ควบคุมในลักษณะงานเบื้องต้นได้

#### 2.4.1 คอนโทรลเลอร์ (Controller)

มีหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานว่าต้องการให้เซอร์โว มอเตอร์นั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไรและระยะทาง ไกลหรือใกล้แค่ไหน หน้าที่ตรงจุดนี้จะเป็น Controller จะเป็นตัวกำหนดให้กับตัวมอเตอร์



รูปที่ 2.22 แสดงรูป Controller ของ Servo motor

#### 2.4.2 เซอร์โว ไดรฟ์เวอร์ (Servo Driver)

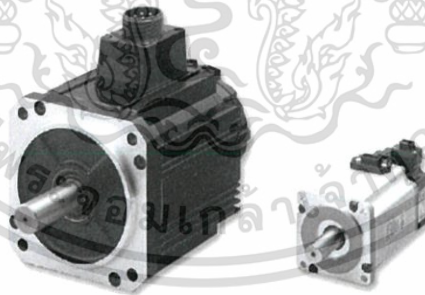
Servo Driver จะรับสัญญาณมาจาก Controller และสั่งการให้กับตัว Servo Motor เคลื่อนที่ตามที่ Controller สั่งการมา เนื่องจาก Servo Driver จะเป็นตัวที่ปรับตั้งค่าของตัว Servo Motor ให้ทำงานตามรูปแบบของการควบคุมไม่ว่า จะเป็นการควบคุม ความเร็ว(Speed Control), แรงบิด(Torque) และตำแหน่ง(Position Control) ตัว Servo Driver จะเป็น ตัวกำหนดค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับตัว Servo Motor ให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพราะฉะนั้นเมื่อใช้ Servo Motor ก็จะต้องมี Servo Driver เสมอ



รูปที่ 2.23 แสดงรูป Servo Driver

### 2.4.3 เซอร์โว มอเตอร์ (Servo Motor)

-Servo Motor มีหน้าที่ขับเคลื่อนอุปกรณ์ของเครื่องจักรกลหรือระบบของการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ได้รับคำสั่งจากตัว Servo Driver พร้อมกับส่งสัญญาณป้อนกลับให้กับตัว Servo Driver ว่าตอนนี้ Servo Motor เคลื่อนที่ด้วย ความเร็วเท่าไรและระยะทางในการเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าไรแล้ว ด้วยสัญญาณของตัว Encoder ที่อยู่ภายในตัว Servo Motor ทำให้การเคลื่อนที่ของ Servo Motor นั้นมีความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.24 แสดงรูป Servo Motor

## 2.5 กระบวนการผลิต

### 2.5.1 งานกลึง [8]

งานกลึง คือ การตัดโลหะโดยให้ชิ้นงาน (work piece) หมุนรอบตัวเองโดยมีดกลึงเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน การกลึงมีสองลักษณะใหญ่คือ การกลึงปาดหน้า คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดชิ้นงานไปตามแนวขวาง และการกลึงปอก คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานไปตามแนวขนานกับแนวแกน ของชิ้นงาน

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอกคืออัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระยะเวลาป้อนลึก(Depth of Cut) มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work piece) และเมื่อมีกระบวนการในการกลึงปอกเกิดขึ้น ผลที่จะเกิดขึ้นตามมาก็คือ ขนาดของชิ้นงาน (Work piece Dimension) ความละเอียดของผิวชิ้นงาน (Surface Roughness) เศษกลึง (Chip) การสึกหรอของมีดกลึง (Tool Wear)

**ความเร็วตัด (Cutting Speed)** คือความเร็วที่คมมีดกลึงตัด หรือปาดผิวโลหะออกเมื่อโลหะหมุนครบ 1 รอบ คมมีดกลึงก็จะตัดโลหะเป็นแนวตัดยาวเท่าเส้นรอบวงพอดี ความเร็วตัดมีหน่วยเป็น เมตร/นาที หลักเกณฑ์การเลือกใช้ความเร็วตัดมีดังนี้ คือ

- วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting tools) ที่ทำมาจากเหล็กโรบสูง (High Speed Steel) สามารถใช้ความเร็วตัดเป็น 2 เท่า ของความเร็วตัดของมีดที่ทำมาจากวัสดุเหล็กคาร์บอน ส่วนวัสดุคมตัดที่มีส่วนผสมพิเศษออกไปสามารถใช้ความเร็วตัดได้กว่าเหล็กโรบสูง

- ชนิดของวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการตัดเฉือน โดยทั่วไปวัสดุงานที่แข็งมากจะใช้ความเร็วตัดช้ากว่าวัสดุที่อ่อนกว่า

- รูปร่างของคมตัด (Form Cutting Tool) มีผลต่อการทำงานมาก เช่น มีดตัดงานขนาดจะใช้ความเร็วรอบต่ำกว่ามีดกลึงปอกผิว

- การระบายความร้อน (Cutting lubricant) ความเร็วตัดของวัสดุบางชนิด อาจเพิ่มให้สูงขึ้นได้เมื่อมีการระบายความร้อนที่ถูกต้อง ซึ่งสารระบายความร้อนนี้จะช่วยรักษาอุณหภูมิของคมตัดไม่ให้ร้อนสูงเกินไปขณะทำงาน

- การจับงานให้มั่นคงแข็งแรง (Rigidity of the Work) ในกรณีงานที่ถูกจับด้วยหัวจับไหล่ออกมาสั้นๆ จะใช้ความเร็วได้สูงกว่างานที่ถูกจับไหล่ออกมายาวๆ

- ความสามารถของสภาพเครื่อง เครื่องที่แข็งแรงมีกำลังสูงสามารถใช้ความเร็วตัดได้สูงอย่างไรก็ตามอย่าใช้สูงจนคมตัดไหม้

ในการตัดเฉือนชิ้นงานถ้าใช้ความเร็วตัดที่ไม่เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขของงานซึ่งได้แก่ วัสดุงาน วัสดุมีด ขนาดของชิ้นงาน ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานเพิ่มขึ้นได้ เช่นถ้าใช้ความเร็วตัดสูงเกินไปก็ทำให้มีดสึกหรอได้เร็วกว่าปกติ นั่นก็คืออายุการใช้งานของมีดสึกสั้นลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะต้องลับมีดบ่อยๆ ทำให้เสียเวลาในการทำงาน คือเสียเวลาในการลับมีด และเสียเวลาในการติดตั้งมีดใหม่อีกด้วย ซึ่งเป็นการลดความสามารถ และจำนวนผลิตชิ้นงาน เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย ในการทำงานโดยใช้เหตุ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและอายุการใช้งานของมีดสึกสั้นลง สามารถอธิบายได้ดังนี้ ขณะที่ใช้ความเร็วตัดต่างๆ การสึกหรอของมีดจะเป็นไปอย่างช้าๆ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจากการเสียดสี ระหว่างมีดกับชิ้นงานจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงขึ้นความร้อนระหว่างผิวมีดกับชิ้นงาน และเศษตัดจะเกิดมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอที่บริเวณผิวของมีดกับชิ้นงานที่เสียดสีกัน

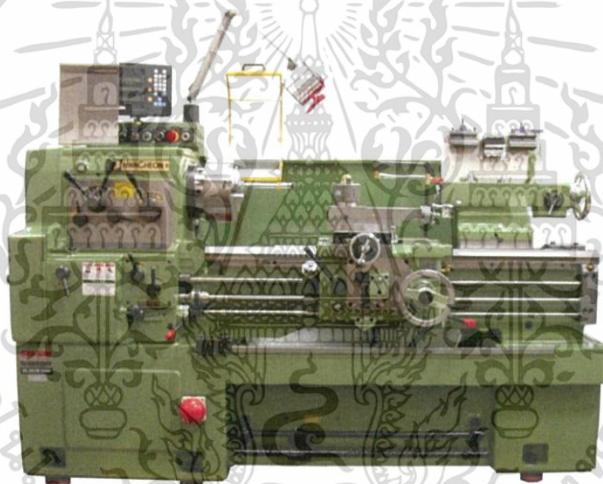
**อัตราป้อน (Feed Rate)** หมายถึง ระยะทางการเดินป้อนของมีดไปตามความยาวของชิ้นงานในแต่ละรอบของการหมุนของเพลลาของเครื่องหรือการป้อนตัด อาจพิจารณาจากความหนาของเศษตัด (Chips) การป้อนตัด 0.5 มม. หมายถึง มีดตัดเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 0.5 มม. ตามความยาวของชิ้นงาน ขณะที่ชิ้นงานหมุน 1 รอบ การกลึงหยาบ ใช้อัตราป้อนที่สูง มีดตัดชิ้นงานได้ปริมาณเศษมากผิวงานออกมาไม่เรียบ การกลึงละเอียด อัตราป้อนที่น้อย ทำให้ผิวงานเรียบ ส่วนมากจะใช้กลึงในขั้นสุดท้ายจะได้ผิวเรียบและขนาดถูกต้องในทางปฏิบัติที่ดีที่สุด

การเลือกใช้ความลึกในการตัดปานกลางขณะทำการป้อนตัดหนักๆและใช้ความเร็วตัดให้ถูกต้อง เมื่อกลึงงานหยาบ ถ้าต้องการให้กลึงงานผิวเรียบในขั้นสุดท้ายให้เพิ่มความเร็วตัดมากขึ้น การป้อนกินลึกน้อยลงพร้อมกับให้อัตราการป้อนตัดละเอียดให้สัมพันธ์กัน ในกรณีที่ใช้ความลึกในการตัดมากและอัตราการป้อนตัดน้อยๆจะดีกว่าการใช้ความลึกในการตัดเท่ากับอัตราป้อนตัด ถึงแม้ว่าอัตราการไหลของเศษโลหะจะเท่ากัน

ผลกระทบของอัตราป้อนและความลึกในการตัด อัตราป้อนตัดและความลึกในการตัดมีผลต่อแรงตัดเฉือนและอุณหภูมิในการทำงาน โดยจะเกิด แรงกระทำกับมีดสึกและเกิดอุณหภูมิในการตัดเฉือนสูงถ้าใช้

อัตราป้อนตัดและความลึกในการตัดสูงๆ นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีดกลึงเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้าต้องการให้อายุการใช้งานของมีดกลึง สูงขึ้น ก็จะต้องเลือกใช้ความเร็วตัดต่ำๆ การเพิ่มอัตราการป้อนจะส่งผลให้ต้องลดค่าความเร็วตัด มากกว่าการเพิ่มความลึกในการตัด (เพื่ออายุการใช้งานของมีดคงที่) นั่นคือการเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้มีดกลึงสึกหรอได้มากกว่า การเพิ่มความลึกในการตัด ซึ่งในการพิจารณานี้จะต้องพิจารณาถึงแรงที่ กระทำบนมีดกลึง ต่อความยาวสันคมตัด สำหรับในกรณีนี้เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัด ความยาวสันคมตัดที่ รับแรงกระทำก็ยังคงเท่าเดิม แต่ความหนาของเศษตัดจะเพิ่มขึ้น

**ความลึกในการตัด** (Depth of Cut) ความลึกในการตัดทำให้เศษโลหะไหลออกมา ทุกครั้งที่ทำการกลึงหยาบในการตั้งความลึกใน การตัด และอัตราการป้อนตัด จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับได้ของมีดตัด และเครื่องที่จะทนได้



รูปที่ 2.25 แสดงรูปเครื่องกลึง



รูปที่ 2.26 แสดงรูปชุดมีดกลึงแบบต่างๆ

## 2.5.2 การเชื่อมโลหะ [9]

การเชื่อมโลหะ (welding) หมายถึงการต่อโลหะ 2 ชิ้นให้ติดกันโดยการให้ความร้อนแก่โลหะจนหลอมละลายติดเป็นเนื้อเดียวกันหรือโดยการเติมลวดเชื่อมเป็นตัวให้ประสานกันก็ได้ ซึ่งมีหลายชนิดดังนี้

-การเชื่อมแก๊ส (Gas Welding) เป็นการเชื่อมซึ่งจัดอยู่ในประเภทการเชื่อมหลอมเหลววิธีหนึ่งแหล่งความร้อนที่ใช้เกิดมาจากการเผาไหม้ระหว่างแก๊สอะเซทิลีนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนอุณหภูมิของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ให้ความร้อนสูง 3200 องศาเซลเซียสและจะไม่มีเขม่าหรือควัน



รูปที่ 2.27 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบแก๊ส

-การเชื่อมไฟฟ้า (Arc Welding) การเชื่อมไฟฟ้าหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเชื่อมโลหะโดยวิธีการเชื่อม "อาร์ค" ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมเกิดจากประกายอาร์คระหว่างขั้วงานและลวดเชื่อมซึ่งหลอมละลายลวดเชื่อมจะทำหน้าที่ป้อนเนื้อโลหะให้แก่แนวเชื่อม



รูปที่ 2.28 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบไฟฟ้า

-การเชื่อมจุด เชื่อมอัด ( Spot Welding / Press Welding) การเชื่อมอัดหมายถึงการประสานโลหะ 2 ชั้นให้ติดกันโดยใช้ความร้อนกับชิ้นงานในบริเวณที่จะทำการเชื่อมจากนั้นใช้แรงอัดส่วนที่หลอมละลายจนกระทั่งชิ้นงานติดกันเป็นจุดหรือเกิดแนวความร้อนที่ใช้ได้จากความต้านทานไฟฟ้าเช่นการเชื่อมจุด (Spot Welding)



รูปที่ 2.29 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบจุด

-การเชื่อม TIG (Tungsten Inert Gas Welding) เป็นวิธีการเชื่อมโลหะโดยใช้ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คระหว่างลวดทั้งสแตนกับชิ้นงานโดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยาตรงบริเวณที่เชื่อม



รูปที่ 2.30 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบ TIG

-การเชื่อม MIG (Metal Inert Gas Welding) การเชื่อม MIG เป็นกระบวนการเชื่อมที่ได้รับความนิยม  
 ร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงานลวดเชื่อมที่ใช้จะเป็นลวดเชื่อมเปลือยที่ส่งป้อนอย่างต่อเนื่องไป  
 ยังบริเวณอาร์คและทำหน้าที่เป็นโลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลายบริเวณบ่อหลอมละลายจะถูกปกคลุมไปด้วย  
 แก๊สเฉื่อยเพื่อไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ



รูปที่ 2.31 แสดงรูปเครื่องเชื่อมโลหะแบบ MIG

2.5.3 การเจาะ [10]

การเจาะ หมายถึง การทำให้ชิ้นงานหรือวัสดุงานต่างๆ ให้เกิดเป็นรูที่มีความเที่ยงตรง โดยใช้ดอก  
 สว่านที่ได้รับแรงหมุน จากเครื่องเจาะกุดตัดเฉือนชิ้นงานหรือวัสดุงานที่เราต้องการ

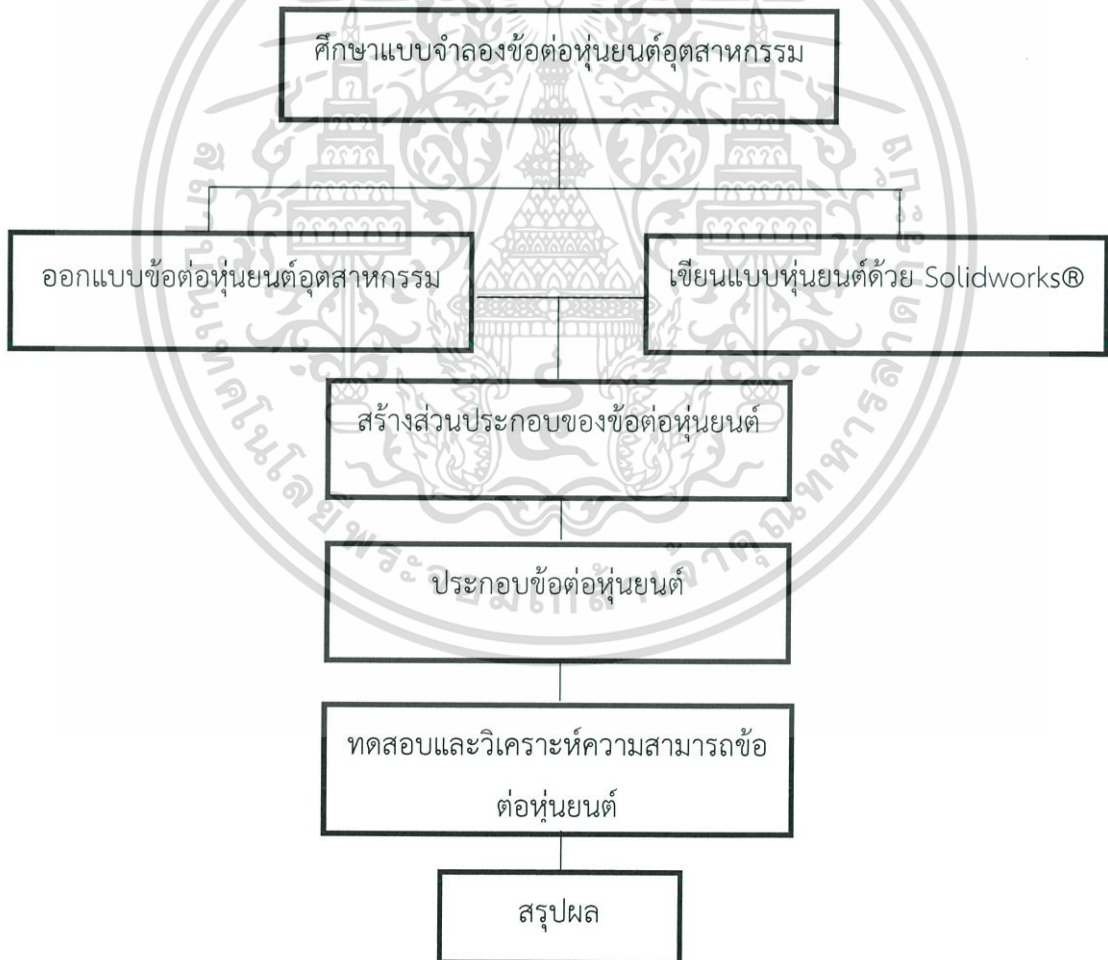


รูปที่ 2.32 แสดงเครื่องเจาะแบบตั้งโต๊ะ และ รูปดอกสว่าน

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

การสร้างและการประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีขั้นตอนที่สำคัญคือ การศึกษาแบบจำลองของข้อต่อหุ่นยนต์ กระบวนการสร้างข้อต่อพร้อมทั้งออกแบบชิ้นส่วนให้มีความเหมาะสมสำหรับการผลิต กระบวนการทั้งหมดตามรายละเอียดดังผังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพขั้นตอนการปฏิบัติงาน

### 3.1 ศึกษาแบบจำลองของข้อต่อหุ่นยนต์

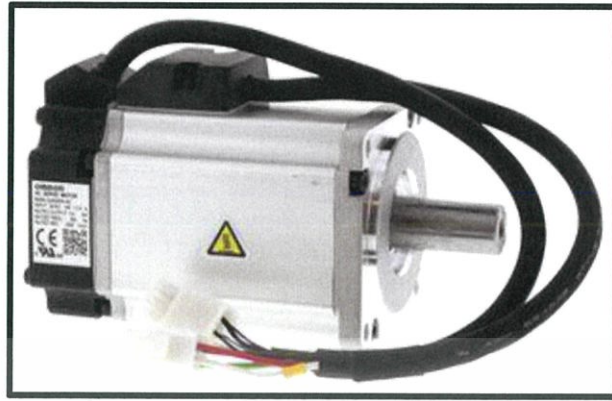
ศึกษาแบบจำลองของข้อต่อหุ่นยนต์ที่ถูกออกแบบไว้แล้ว ศึกษาการโครงสร้างเชิงกลของข้อต่อหุ่นยนต์ ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆที่ทำให้ข้อต่อหุ่นยนต์ทำงานได้ ส่วนประกอบดังกล่าวแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ โครงสร้างในการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ ข้อต่อ และโครงสร้างรูปร่างของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม 3 แกนล่าง

#### 3.1.1 การออกแบบชุดขับเคลื่อนของข้อต่อหุ่นยนต์

ข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับการออกแบบให้ขนาดน้ำหนักหุ่นยนต์รวมภาระงานของหุ่นยนต์ต้องไม่มากกว่า 30 กิโลกรัมและหุ่นมีระยะเอื้อมที่ 1.2 เมตร และหมุนไปด้วยความเร็ว 90 องศาต่อวินาที (15 รอบต่ออนาที) ทำให้เกิด Requirement Torque =  $30\text{kg} \times 1.2\text{m} \times 9.8\text{m/s}^2 = 352.8$  นิวตันเมตร ซึ่งหมายถึงแรงในการยกวัตถุที่แขนกต้องการ และจะนำค่าแรงบิดที่ต้องการนี้ไปหาขนาดของมอเตอร์และชุดเฟืองทดที่ให้อัตราทดที่รองรับความต้องการนี้



รูปที่ 3.3 มอเตอร์รุ่น Omron R88M-G40030H

จากการเลือกมอเตอร์รุ่น Omron R88M-G40030H ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที และแรงบิดเท่ากับ 3.65 นิวตันเมตร ทำให้สามารถคำนวณหาอัตราทดของชุดเฟืองได้ดังนี้

$$\text{อัตราทดเฟือง} = \frac{\text{จำนวนฟันเฟืองขับ}}{\text{จำนวนฟันเฟืองตาม}}$$

$$\text{โมดูล} = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง}}{\text{จำนวนฟัน}}$$

$$\text{แอดเดนดัม} = \text{โมดูล}$$

$$\text{ดีเดนดัม} = 1.25 \times \text{โมดูล}$$

การคำนวณหาอัตราทดเฟืองของแต่ละข้อต่อ มีเงื่อนไข 2 ข้อ ได้แก่ แรงบิด และความเร็วรอบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การคำนวณจากแรงบิด

$$\text{แรงบิดที่ต้องการ} = 352.8 \text{ นิวตันเมตร}$$

$$\text{แรงบิดมอเตอร์} = 3.65 \text{ นิวตันเมตร}$$

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

$$\geq 1: 200 \text{ (ค่าที่รับได้ต่ำที่สุด)}$$

ดังนั้นอัตราทดเฟืองของแต่ละข้อต่อควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1: 200 ถึง 1: 96.66 โดยได้เลือกชุดเฟืองเป็นแบบชุดเฟือง Planetary Gear ทั้ง 3 ข้อต่อ แต่ละข้อต่อจะทำการคำนวณหาอัตราทดเฟืองและจำนวนฟัน

### 3.1.2 การออกแบบชุดเฟืองข้อต่อหุ่นยนต์

ชุดเฟืองสำหรับข้อต่อที่ 1 เลือกใช้ Planetary Gear 3 ชั้น โดยจะแบ่งอัตราทดเฟืองในแต่ละชั้นเป็น 1:5 ดังนั้นอัตราทดของชุดเฟืองคือ  $1/5 \times 1/5 \times 1/5 = 1/125$  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 = 27 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองตัวตาม = 135 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองสะพาน = 54 มิลลิเมตร

ดังนั้นจะได้ว่า

จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ = 27 ฟัน

แอดเดนดัมของเฟืองตัวขับ = 1 มิลลิเมตร

ดีเดนดัมของเฟืองตัวขับ = 1.25 มิลลิเมตร

จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม = 135 ฟัน

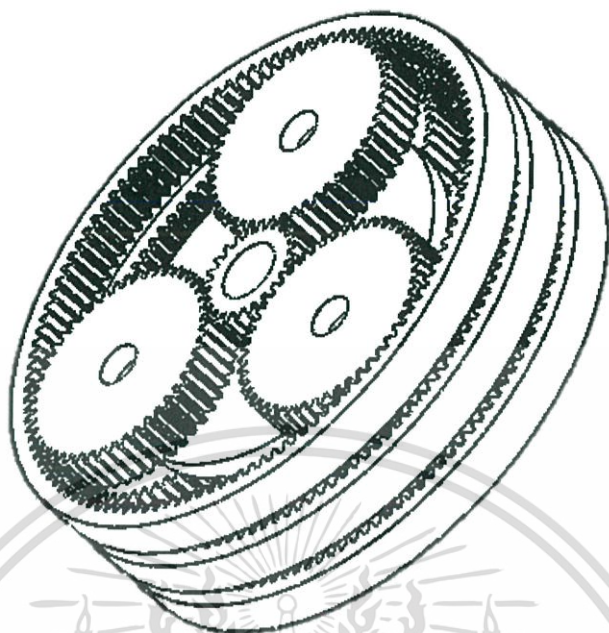
แอดเดนดัมของเฟืองตัวตาม = 1 มิลลิเมตร

ดีเดนดัมของเฟืองตัวตาม = 1.25 มิลลิเมตร

จำนวนฟันของเฟืองสะพาน = 54 ฟัน

แอดเดนดัมของเฟืองตัวตาม = 1 มิลลิเมตร

ดีเดนดัมของเฟืองสะพาน = 1.25 มิลลิเมตร



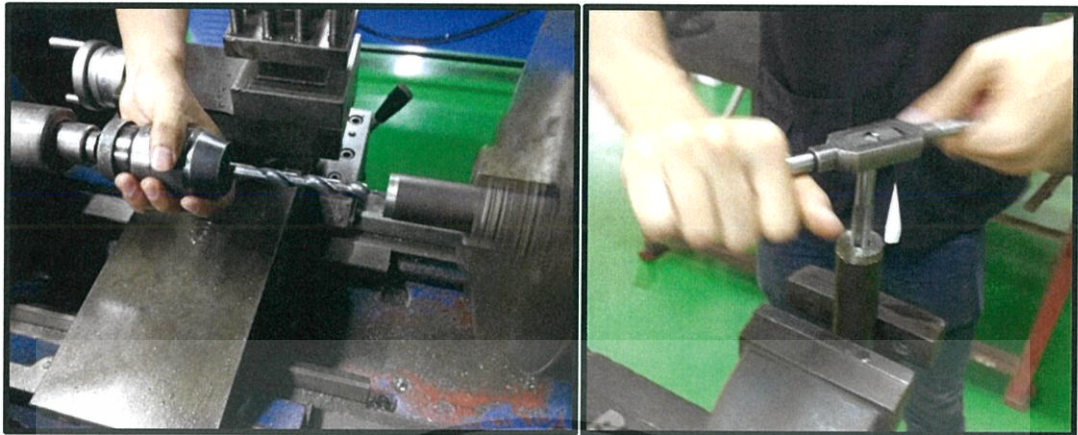
รูปที่ 3.4 ชุดเฟืองข้อต่อที่ 1 ข้อต่อที่ 2 และข้อต่อที่ 3

### 3.2 อุปกรณ์สำหรับผลิตส่วนประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

อุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการสร้างส่วนประกอบของข้อต่อหุ่นยนต์โดยเฉพาะ เพื่อง่ายต่อการสร้างเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือบางอย่างไม่สามารถใช้ในการทำงานได้ ซึ่งมีอุปกรณ์ดังนี้

#### 3.2.1 อุปกรณ์จับยึดแผ่นรองเฟือง

การสร้างอุปกรณ์จับยึดแผ่นรองเฟืองเริ่มจากใช้เหล็กตันทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร กลึงปาดหน้าให้เรียบ แล้วเจาะรูตรงกลางขนาด 12 มิลลิเมตร ลึก 25 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องกลึง จากนั้นนำเหล็กมายึดกับปากกา แล้วทำการตีปเกลียวขนาด 14 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์จับยึดแผ่นรองเฟือง

### 3.2.2 ที่ยึดดอกสว่าน

ในการเจาะส่วนประกอบของข้อต่อหุ่นยนต์ จะมีบางจุดที่เครื่องเจาะไม่สามารถเข้าไปถึงได้ เนื่องจากอยู่ลึก จึงจำเป็นต้องทำอุปกรณ์ขึ้นนี้ขึ้นมาเพื่อเพิ่มระยะของการเจาะรู

การสร้างเริ่มจากใช้เหล็กทรงกระบอกตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร กิ่งปาดผิวหน้าให้เรียบ แล้วเจาะรูตรงกลางด้วยเครื่องกลึงขนาด 6 มิลลิเมตร ลึก 30 มิลลิเมตร จากนั้นเจาะรูผิวด้านข้างของเหล็กขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วตัดปลายขนาด 3 มิลลิเมตร เมื่อใส่ดอกสว่านขนาด 5 มิลลิเมตรเข้าไปแล้ว จะใช้น็อตเพื่อยึดดอกสว่านให้อยู่กับแท่งเหล็ก ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 ที่ยึดดอกสว่าน

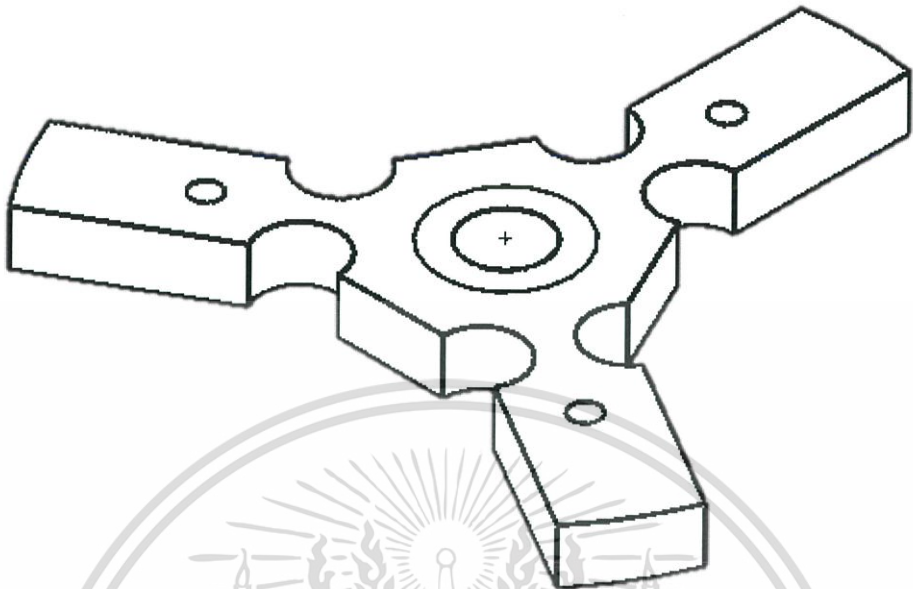
### 3.3 สร้างส่วนประกอบของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

หลังจากศึกษาแบบจำลองของข้อต่อหุ่นยนต์ทั้งหมดแล้ว ทำการสร้างส่วนประกอบต่างๆของทั้ง 3 แกน ดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 แผ่นรองเฟือง

แผ่นรองเฟืองถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวยึดเฟืองขับและเฟืองสะพานอีก 3 ตัวเข้าไว้ด้วยกันไม่ให้หลุดออกจากตำแหน่งในระหว่างที่เฟืองทำงาน จึงได้ออกแบบรูปร่างของแผ่นรองเฟืองให้มีความยืดหยุ่นเล็กน้อยเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของเฟืองตลอดเวลา ไม่ให้ติดขัด

การผลิตเฟืองในเริ่มจากการ ตัดแผ่นอลูมิเนียมเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 14x14 มิลลิเมตร แล้วเจาะรูวงกลมตรงกลางแผ่นอลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร แล้วนำไปยึดติดกับอุปกรณ์จับยึดแผ่นรองเฟือง แล้วกลึงให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 130 มิลลิเมตร แล้วเจาะรู 3 รูเพื่อใส่น็อตยึดติดกับเฟือง โดยแต่ละรูห่างกัน 120 องศา แล้วตัดแต่งให้ได้รูปร่างตามที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผ่นรองเฟือง

### 3.3.2 แผ่นรองมอเตอร์

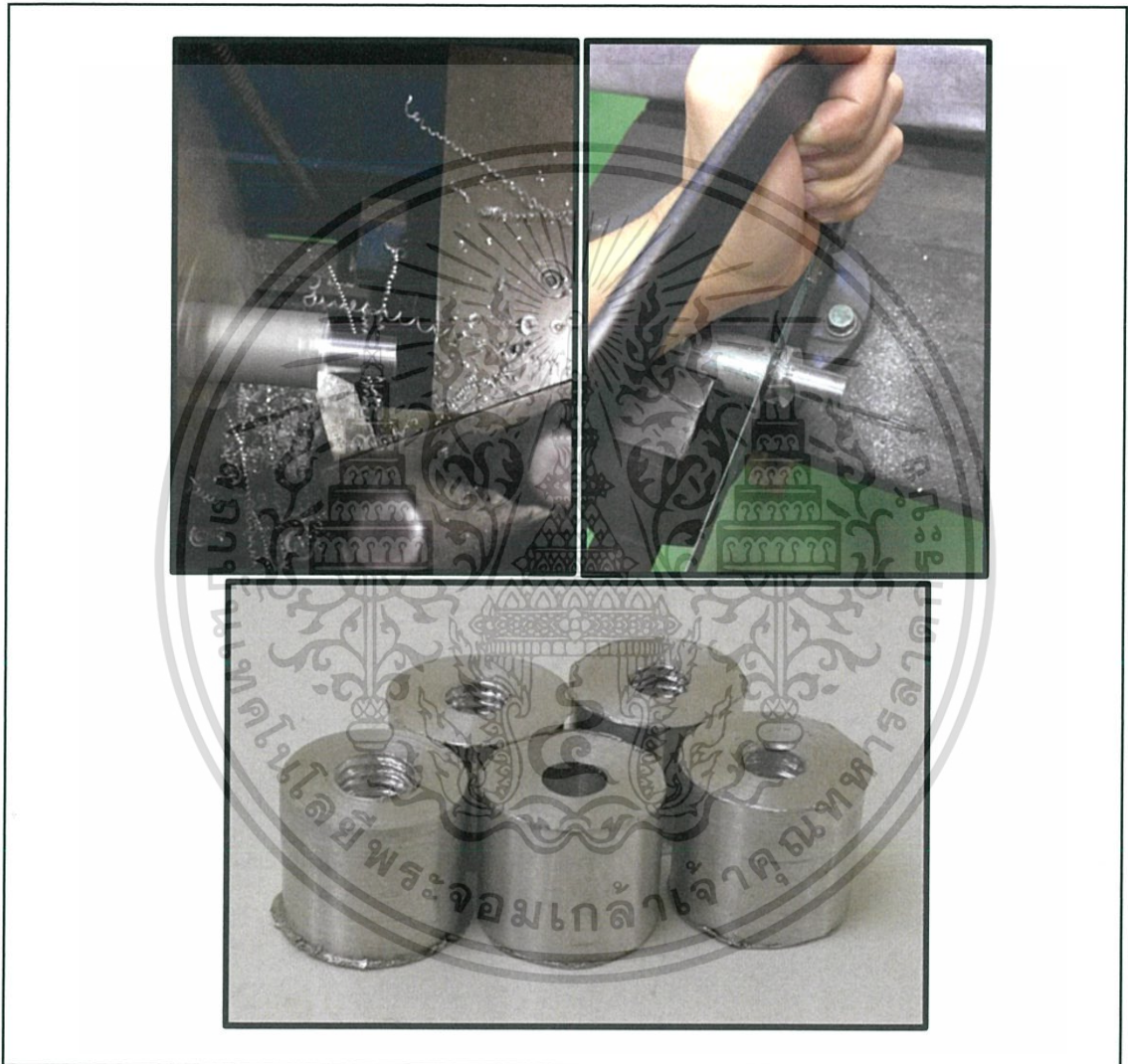
วัสดุที่ใช้จะเป็นอลูมิเนียมเช่นเดียวกับแผ่นรองเฟือง การสร้างนั้นตัดแผ่นอลูมิเนียม เจาะรูตรงกลางขนาด 14 มิลลิเมตร แล้วกลึงให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร จากนั้นคว้านตรงกลางโดยใช้เครื่องกลึงไสไบมีดสำหรับคว้านเพื่อใส่มอเตอร์ให้พอดี แล้วเจาะรูเพื่อยึดมอเตอร์ให้เข้ากับแผ่นรองมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผ่นรองมอเตอร์

### 3.3.3 เพล่า

เป็นเพล่าสำหรับใส่ที่แบริ่งของเฟือง แล้วยึดติดกับแผ่นรองเฟือง การสร้างเริ่มจากใช้อลูมิเนียมตันทรงกระบอก เจาะรูขนาดและตัดปลายเกลียวขนาด 5 มิลลิเมตร แล้วกลึงเอาผิวด้านข้างออกให้เหลือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร แล้วตัดให้มีความยาว 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.9 เพล่า

### 3.3.4 เพล่าเชื่อมระหว่างชุดเกียร์

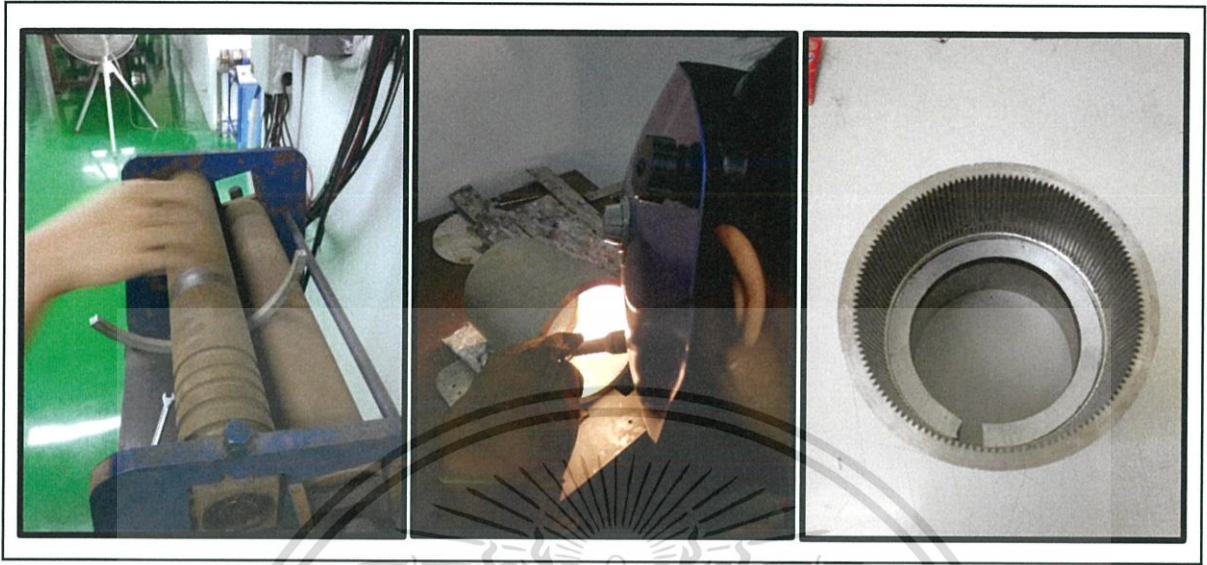
เป็นเพล่าที่ติดอยู่กับชุดเฟืองเพื่อส่งกำลังของชุดเฟืองนั้นไปยังชุดเฟืองถัดไป การสร้างเริ่มจากใช้อลูมิเนียมตันทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร แล้วกลึงผิวด้านข้างให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร เพื่อใส่กับเฟืองขับของชุดเฟืองชั้นถัดไป แต่การกลึงผิวด้านข้างนั้นจะไม่กลึงลดขนาดทั้งอัน จะเหลือพื้นที่ไว้สำหรับเป็นฐานยึดกับแผ่นรองเกียร์ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.10 เพล่าเชื่อมระหว่างชุดเกียร์

### 3.3.5 ฐานวางแผ่นรองมอเตอร์

วัสดุที่ใช้คืออลูมิเนียมหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 15x15 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 150 มิลลิเมตร แล้วนำไปตัดให้เป็นวงกลมด้วยเครื่องรีดโลหะ แล้วไปเชื่อมติดกับเฟืองใน แล้วกลึงปาดหน้าเพื่อปรับระนาบ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.11 ฐานวางแผ่นรองมอเตอร์

### 3.4 ประกอบส่วนประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

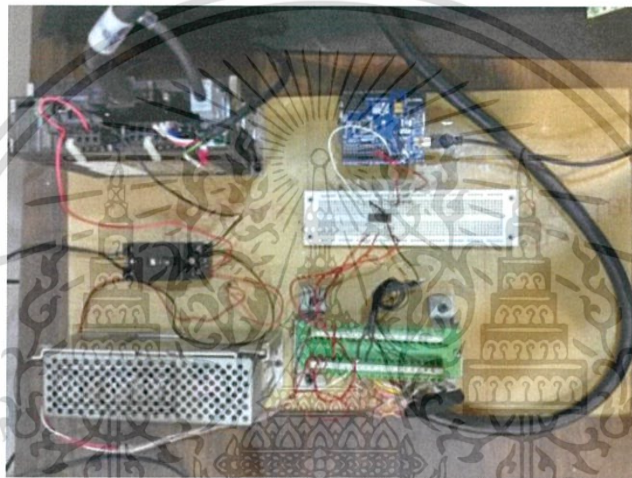


รูปที่ 3.12 ประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

### 3.5 สร้างอุปกรณ์เพื่อทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นอุตสาหกรรม

#### 3.5.1 ต่อวงจรเพื่อควบคุมการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

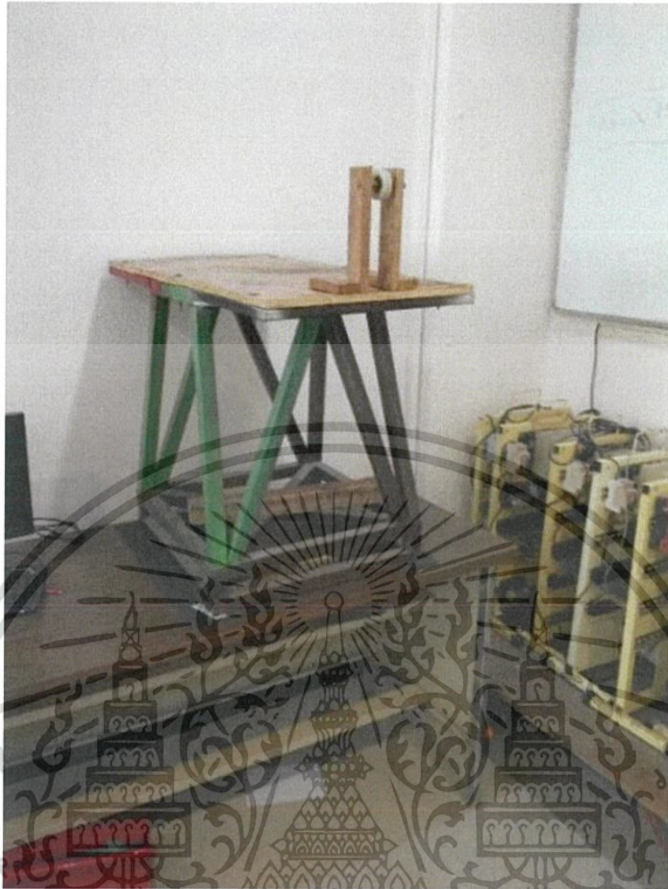
ติดตั้งวงจรประกอบด้วย เซอร์โว ไตฟ์เวอร์ พาวเวอร์ซัพพลาย สวิตช์ คอนเนคเตอร์ บอร์ด Arduino พร้อมกับเขียนโปรแกรมสำหรับสั่งงานในการหมุนของมอเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Arduino ในการสั่งงานให้มอเตอร์ภายในแกนที่ 1 นั้นหมุนในทิศทางเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาสลับกันไปเรื่อย ดังรูปที่ 15



รูปที่ 3.13 ชุดวงจรเพื่อควบคุมการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

#### 3.5.2 แทนเพื่อทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

ในการทดสอบการตั้งของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในแกนที่ 1 นั้น ต้องมีอุปกรณ์ช่วยในการทดสอบ นั่นก็คือแทนทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์นี้ โดยการใช้โต๊ะ 2 ตัววางซ้อนกันดังรูปที่ 16 เพื่อให้ข้อต่อหุ่นยนต์ได้มีระยะในการตั้งมวลในแนวตั้งมากขึ้น และทำการติดตั้ง Pulley บนโต๊ะตัวที่สอง



รูปที่ 3.14 แท่นสำหรับทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

### 3.6 การทดลอง

ทำการทดลองจากแท่นทดสอบโดยการใช้โปรแกรม Arduino สั่งมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาถึงมวลขนาดต่างๆแล้วบันทึกระยะเชิงกึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลง 1 รอบ เวลา ซึ่งจะนำมาคำนวณความเร็วรอบ และ ทอร์ก



รูปที่ 3.15 การทดสอบการดึงมวลของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแกนที่ 1

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

#### 4.1 การประกอบข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

จากการสร้างข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยทำตามแบบที่ได้ถูกออกแบบไว้และมีบางชิ้นส่วนที่มีการออกแบบใหม่ และทำการประกอบได้ข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่หมุนรอบแกน z ดังรูป



รูปที่ 4.1 ข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

## 4.2 การทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

### 4.2.1 การทดลองที่ 1

เพื่อทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่สร้างขึ้น มีทอร์กในการหมุนตามที่ออกแบบไว้ และสามารถรับแรงตามที่คำนวณไว้ ทำการทดสอบโดยการเขียนโปรแกรม Arduino สั่งการให้ข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมหมุน เพื่อดึงวัตถุที่ผูกกับเชือกผ่านรอก ดึงวัตถุขึ้นแล้ววัดระยะความสูงของภาชนะใส่ วัตถุ และปรับความเร็วในการหมุน โดยการปรับ Delay แตกต่างกันในแต่ละการทดลอง โดยการทดลองใช้ระยะรัศมีของตัวดึงเท่ากับ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดค่าน้ำหนักถ่วงไว้ที่ 0.5 ถึง 3.5 กิโลกรัม ขยับทุก ๆ 0.5 กิโลกรัม และ ระยะเวลาหน่วงเป็น 60 70 และ 80 ไมโครวินาทีตามลำดับ ผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1

น้ำหนัก(kg)	Period of Pulse 60 $\mu$ s		Period of Pulse 70 $\mu$ s		Period of Pulse 80 $\mu$ s	
	ความยาว เชือก(cm.)	เวลา (second)	ความยาว เชือก(cm.)	เวลา (second)	ความยาว เชือก(cm.)	เวลา (second)
	0.5	16.1	6.06	16.0	6.78	16.0
1.0	15.7	5.83	16.0	6.85	15.5	7.83
1.5	15.5	5.86	14.5	7.20	15.4	7.78
2.0	14.5	5.88	14.7	6.88	14.8	7.78
2.5	14.0	6.01	13.7	6.82	13.8	7.70
3.0	11.8	5.82	11.0	6.70	12.9	7.87
3.5	14.0	5.87	10.0	6.91	12.0	7.84

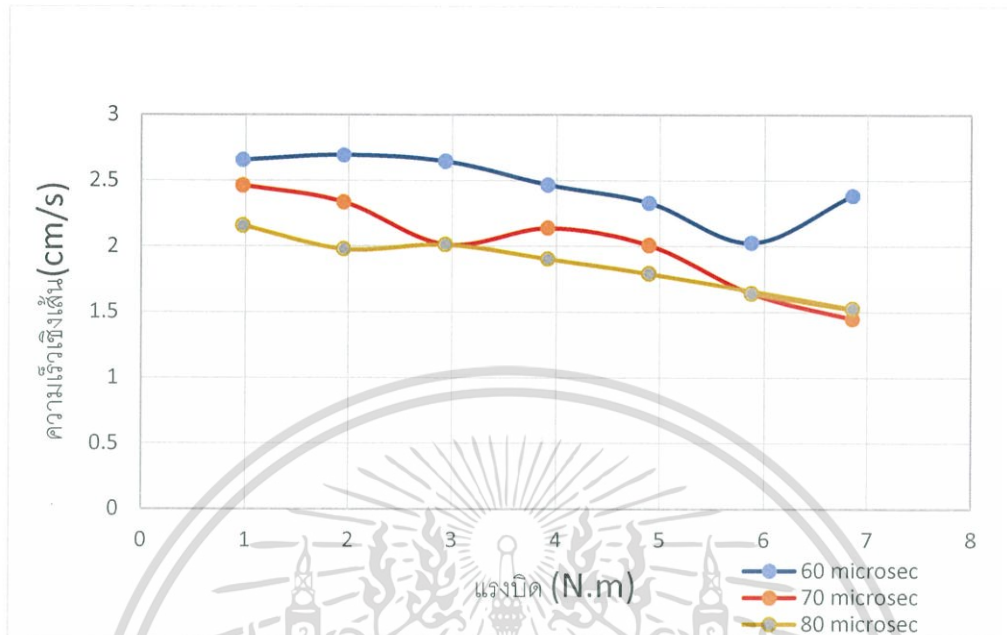
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองซึ่งบันทึกระยะเวลาการเคลื่อนที่เชิงเส้นของน้ำหนักที่ถ่วงให้ข้อต่อหุ่นยนต์ดึง และ ระยะเวลาใช้ในการดึงแต่ละรอบ ซึ่งจะนำค่าทั้งสองนี้มาคำนวณแรงบิดและความเร็วรอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงแรงบิด (N.m) จากความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับ Period of Pulse

มวล(kg)	Period of Pulse		
	60 $\mu s$	70 $\mu s$	80 $\mu s$
0.5	0.98	0.98	0.98
1.0	1.96	1.96	1.96
1.5	2.94	2.94	2.94
2.0	3.92	3.92	3.92
2.5	4.90	4.90	4.90
3.0	5.88	5.88	5.88
3.5	6.86	6.86	6.86

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงความเร็วเชิงเส้น (cm/s) จากความสัมพันธ์ระหว่างมวลและ Period of Pulse

มวล(kg)	Period of Pulse		
	60 $\mu s$	70 $\mu s$	80 $\mu s$
0.5	2.6568	2.4631	2.1563
1.0	2.6930	2.3358	1.9796
1.5	2.6451	2.0139	2.0128
2.0	2.4660	2.1366	1.9023
2.5	2.3294	2.0088	1.7922
3.0	2.0275	1.6418	1.5248
3.5	2.3850	1.4472	1.6408



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นและแรงบิด

กราฟในรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นการดึงน้ำหนักและแรงบิดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการทดสอบ ซึ่งพบว่าความเร็วของการดึงจะลดลงเมื่อภาระงานเพิ่มมากขึ้น

#### 4.2.2 การทดลองที่ 2

การทดลองในครั้งนี้จะทำการลดภาระงานลงโดยการลดระยะรัศมีวงล้อของการดึงที่เพลามอเตอร์ลงจากเดิมที่เป็น 20 เซนติเมตร มาเป็น 4 เซนติเมตร และใช้น้ำหนักถ่วงไว้ที่ 2 ถึง 8 กิโลกรัม ขยับทุก ๆ 2 กิโลกรัม และระยะเวลาหน่วงน้อยลงเป็น 20 30 และ 40 ไมโครวินาที ทำให้รอบการหมุนเร็วแต่ระยะทางใกล้เคียงกับการทดลองแรก ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ถึง 4.6

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2

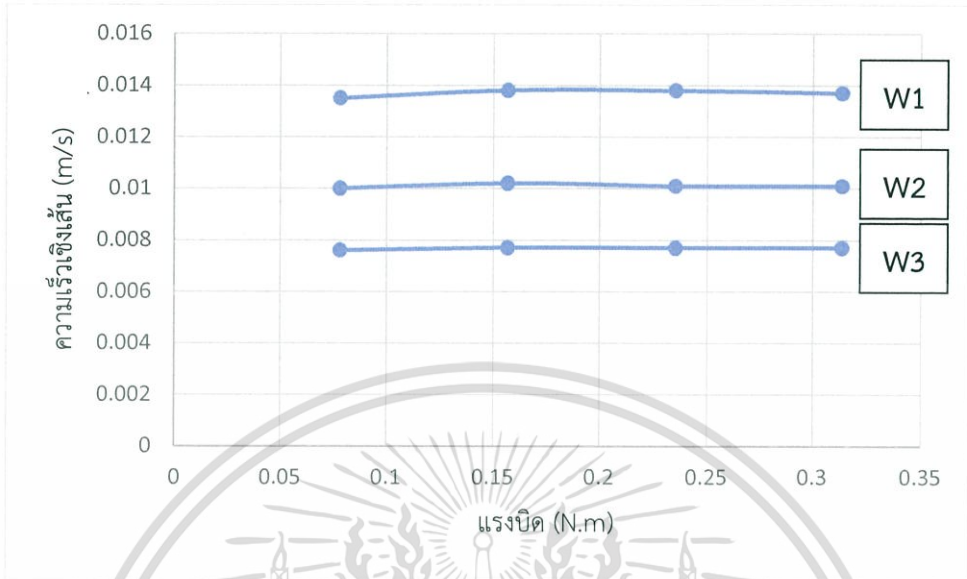
น้ำหนักถ่วง (Kg)	Period of pulse 20 $\mu\text{S}$		Period of pulse 30 $\mu\text{S}$		Period of pulse 40 $\mu\text{S}$	
	ระยะตั้ง (m)	เวลา (second)	ความยาวเชือก (m)	เวลา (second)	ความยาวเชือก (m)	เวลา (second)
2	0.255	18.3	0.255	27.1	0.255	33.1
4	0.260	18.9	0.260	25.2	0.260	34.4
6	0.260	18.9	0.259	25.5	0.259	33.4
8	0.258	19.2	0.258	24.1	0.258	32.5

ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับแรงบิด

มวล(kg)	แรงบิด(N.m)
2	0.0784
4	0.1568
6	0.2352
8	0.3136

ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วเชิงเส้น

แรงบิด(N.m)	ความเร็วเชิงเส้นของ W1(m/s)	ความเร็วเชิงเส้นของ W2(m/s)	ความเร็วเชิงเส้นของ W3(m/s)
0.0784	0.0135	0.0100	0.0076
0.1568	0.0138	0.0102	0.0077
0.2352	0.0138	0.0101	0.0077
0.3136	0.0137	0.0101	0.0077



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นและแรงบิด

จากกราฟในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อแรงบิดอยู่ในระดับต่ำจะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อความเร็ว ความเร็วที่ข้อต่อทำได้จะเป็นผลจากการกำหนดค่าเวลาหน่วงเพียงอย่างเดียว

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการสร้างข้อต่อของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้ทำการสร้างชิ้นส่วนและประกอบข้อต่อแล้วเสร็จตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยในระหว่างการทำงานพบปัญหาต่าง ๆ จากแบบที่เกิดจากการออกแบบอย่างขนาดของวัสดุที่ไม่สามารถหาได้ตามแบบจึงต้องมีการปรับขนาดแก้ไข และยังต้องมีการสร้างอุปกรณ์ เครื่องมือเพื่อช่วยในการทำชิ้นส่วน บางชิ้นส่วนได้ออกแบบใหม่ ได้แก่ แผ่นรองเฟืองเนื่องจากแบบเดิมไม่มีความยืดหยุ่นและบดบังเวลาประกอบ เพลาเชื่อมระหว่างชุดเฟืองที่ต้องปรับจุดยึดสกรู ฐานรองแผ่นรองมอเตอร์ที่ต้องเชื่อมภายในเป็นต้น หลังจากประกอบเสร็จได้ทำการทดสอบทางด้านแรงบิดของข้อต่อที่สร้างขึ้น

#### 5.1 ข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

อุปกรณ์และชิ้นส่วนที่จัดทำขึ้นสามารถประกอบเป็นข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรมตามที่ได้ออกแบบไว้ในตอนต้น ซึ่งสามารถทำงานได้ตามมาตรฐานของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม และสามารถใช้โปรแกรม Arduino สั่งการให้หมุนตามทิศทางและมุมในองศาต่างๆได้

#### 5.2 ผลการทดลอง

ในการทดสอบการหมุนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม เพื่อดึงมวลขนาดที่แตกต่างกันเพื่อบันทึกค่าระยะเชิงมุม และเวลา แล้วคำนวณหาค่าความเร็วรอบ และทอร์ก พบว่าค่าของทอร์กและความเร็วรอบที่ได้นั้นเป็นไปตามค่าที่ได้คำนวณไว้ตามมาตรฐานข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

#### 5.3 ข้อเสนอแนะ

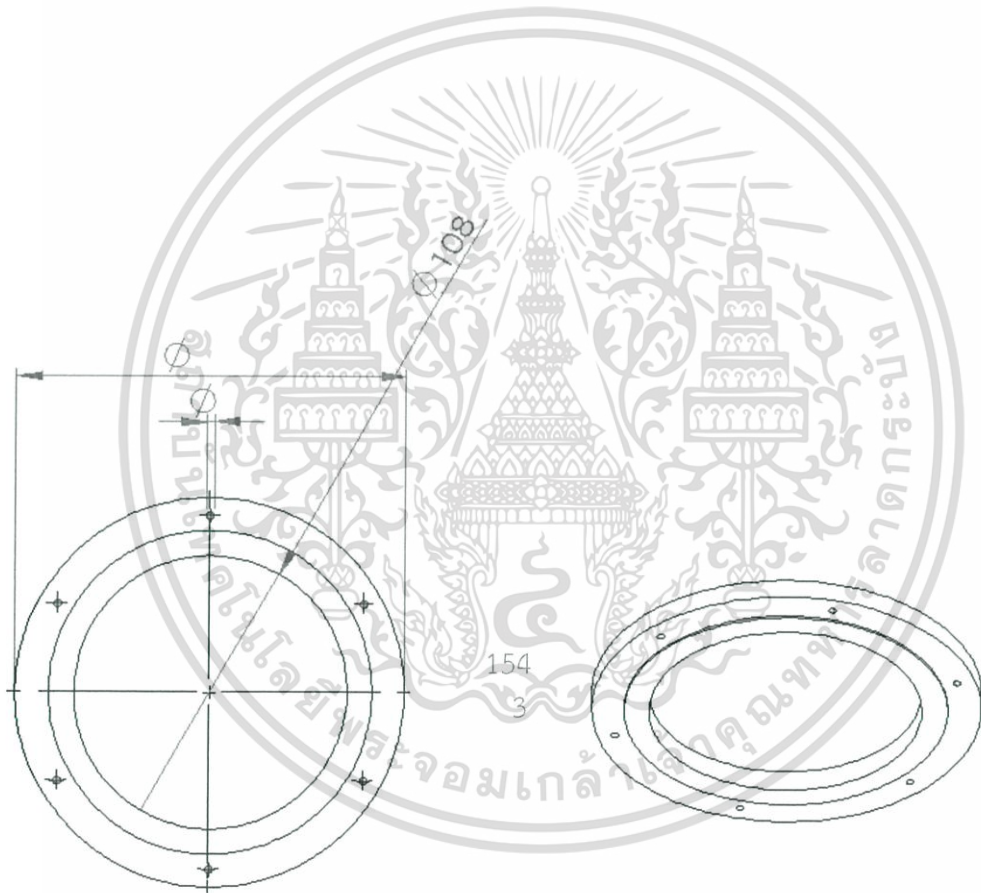
ควรสร้างเครื่องมือช่วยในเรื่องความแม่นยำของการผลิตชิ้นส่วนของข้อต่อหุ่นยนต์อุตสาหกรรม เพื่อลดของเสียและเวลาในการผลิต

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรกนก ทองสาน และชวณพิศ สุจริต. (2557). การออกแบบหุ่นยนต์ 6 แกน เฉพาะส่วน 3 แกนล่าง. ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] เพ็ญพัทธ์ สุขกวี และสุพรรณสา ไตรสม (2557). การออกแบบหุ่นยนต์ 6 แกน เฉพาะส่วน 3 แกนบน. ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] ณัฐชนน แก้วหาวงค์ และธีรภัทร จันทรหอม (2558). การออกแบบการผลิตข้อต่อหุ่นยนต์ 6 แกน. ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] AppliCAD Co., Ltd. (2559). หุ่นยนต์อุตสาหกรรม. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [www.applicadthai.com/articles/หุ่นยนต์อุตสาหกรรม-industrial-robot-](http://www.applicadthai.com/articles/หุ่นยนต์อุตสาหกรรม-industrial-robot-)
- [5] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา. (2558). การเขียนแบบเฟือง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก<http://ame.ea-rmuti.net/wp-content/uploads/2015/09/การเขียนแบบเฟือง>
- [6] แผนกเทคนิคอุตสาหกรรมวิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออก. (2555). ตลับลูกปืน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [https://e-org.e-tech.ac.th/e-org/depart/industry\\_technician/](https://e-org.e-tech.ac.th/e-org/depart/industry_technician/)
- [7] บริษัท แสงชัยมิเตอร์ จำกัด. (2558). Servo Motor คืออะไร. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [https://www.sangchaimeter.com/support\\_detail/servo-motor](https://www.sangchaimeter.com/support_detail/servo-motor)
- [8] บริษัท ช่างสยามแมชชีนเนอรี่ จำกัด. (2553). งานกลึง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.csmltd.co.th/index.php?lay=show&ac=article&id=539123413&Ntype=1>
- [9] วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีแพร่. (2557). การเชื่อม. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [http://www.pcat.ac.th/\\_files\\_school/00000831/data/00000831\\_1\\_20150521-120528.pdf](http://www.pcat.ac.th/_files_school/00000831/data/00000831_1_20150521-120528.pdf)
- [10] สาขาวิชาวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2558). การเจาะ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://ie.eng.cmu.ac.th/.../บทที่5%20เครื่องเจาะและงานเจาะรูป.pdf>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part name	Cover	Scale 1:3
Material	Aluminum	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	Design	
	Design	
	Approve	

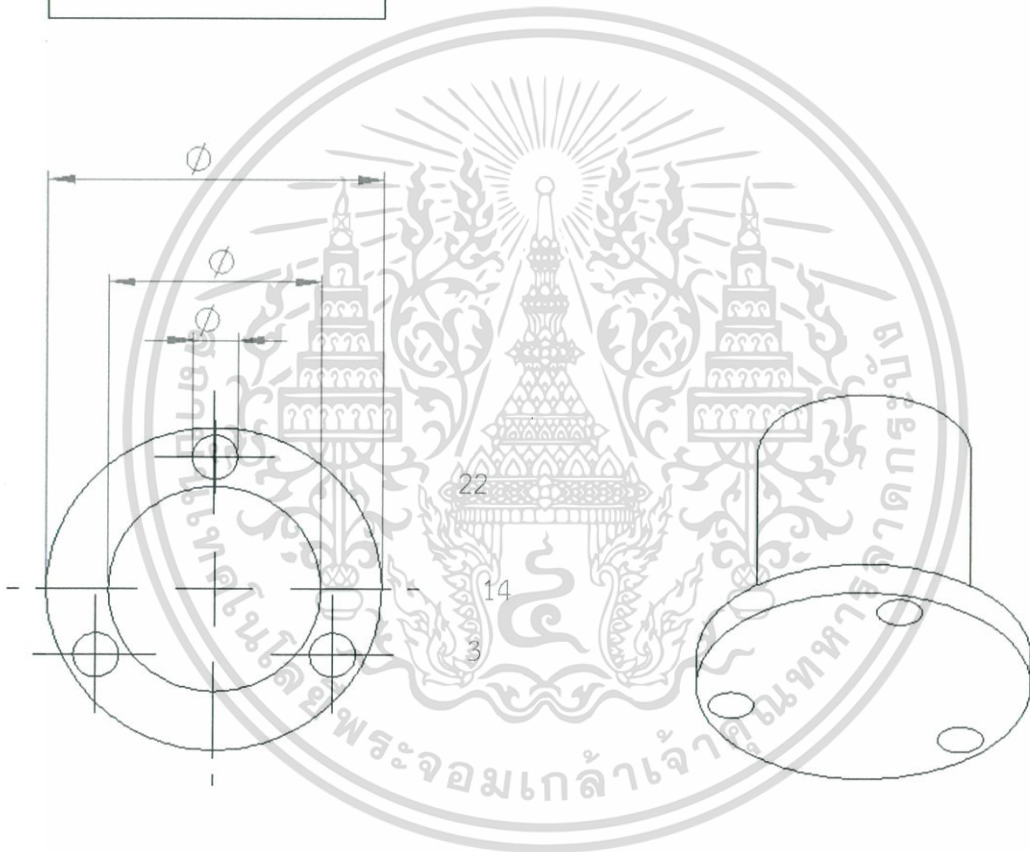
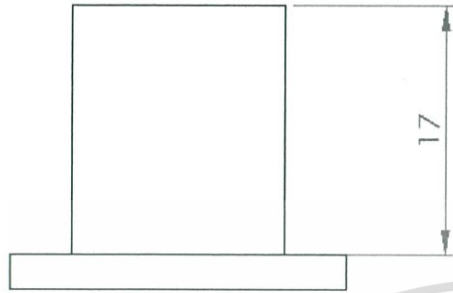
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part name	Support gear plate	Scale 1:2
Material	Aluminum	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		

ผก2

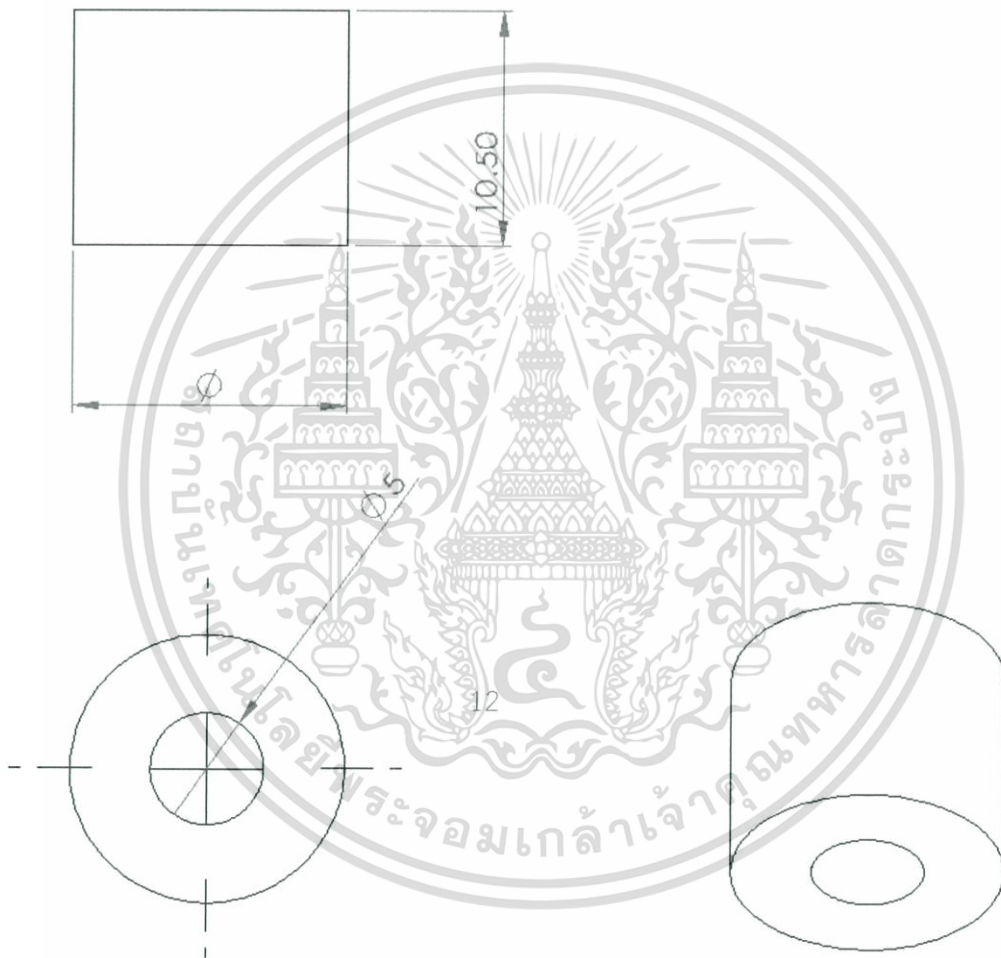
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part name	Linking Shaft	Scale 2:1
Material	Aluminum	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		

ผก3

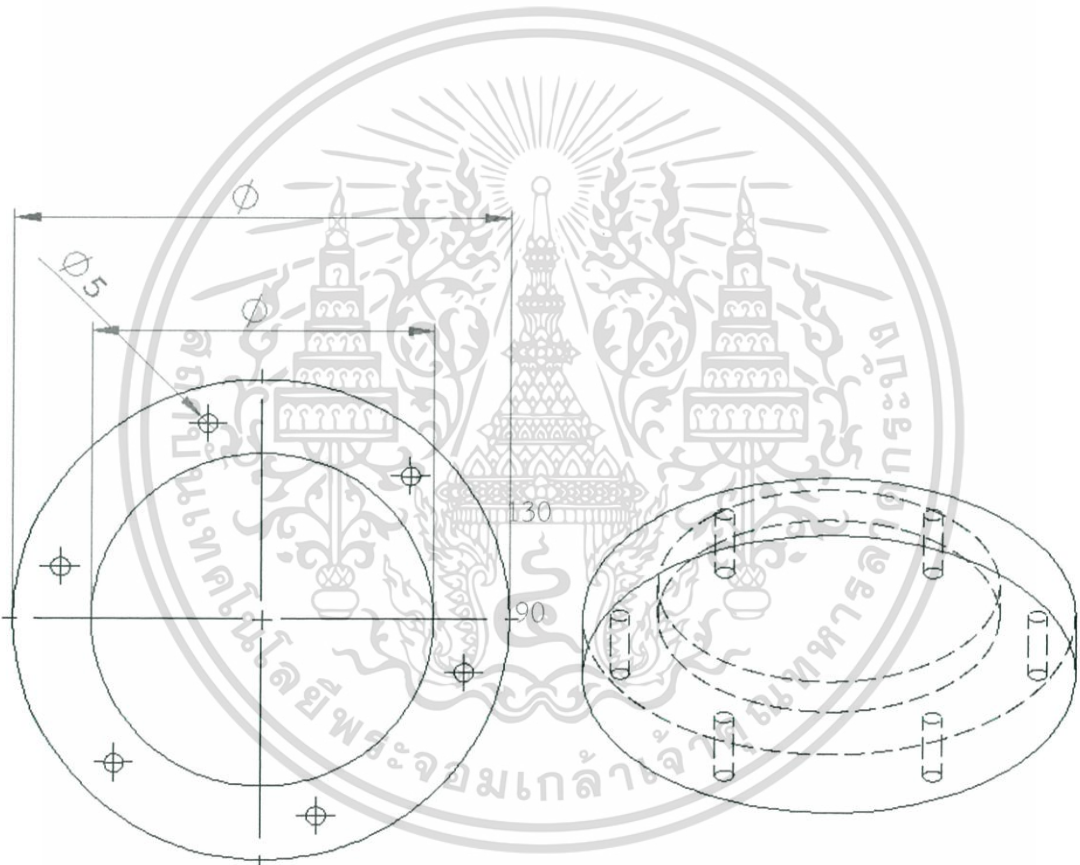
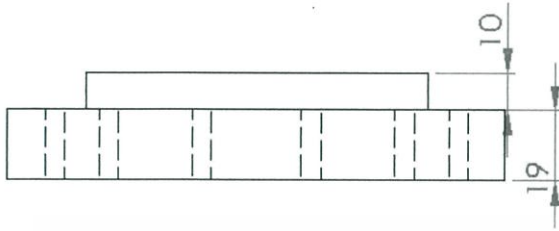
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part name	Shaft	Scale 3:1
Material	Aluminum	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		

ผก4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part name  
Material

Shaft joint 1-2  
Aluminum

Scale 1:2

King Mongkut's Institute of  
Technology Ladkrabang

ผก5

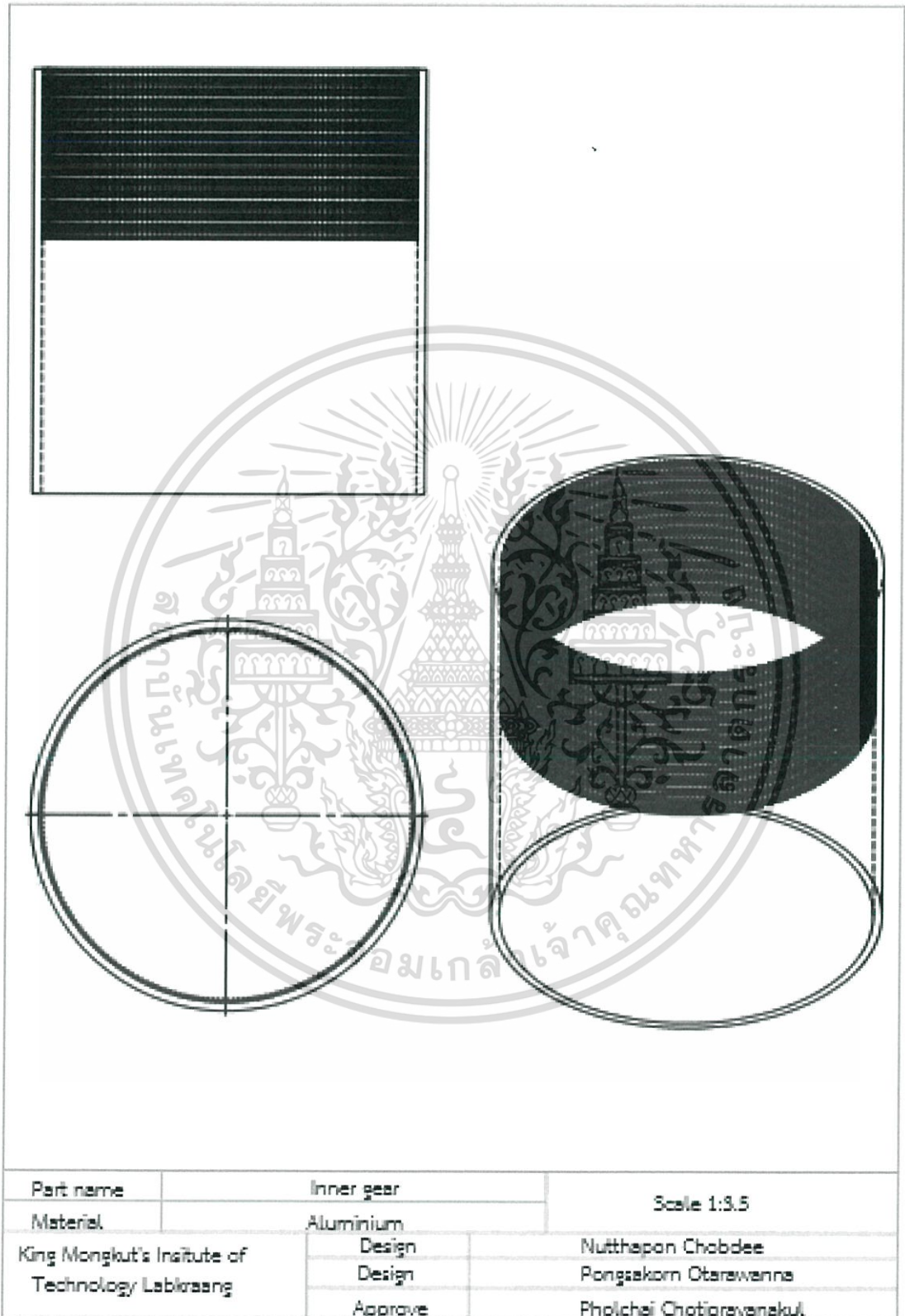
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part name	27 tooth gear	Scale 2:1
Material	Aluminum	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		

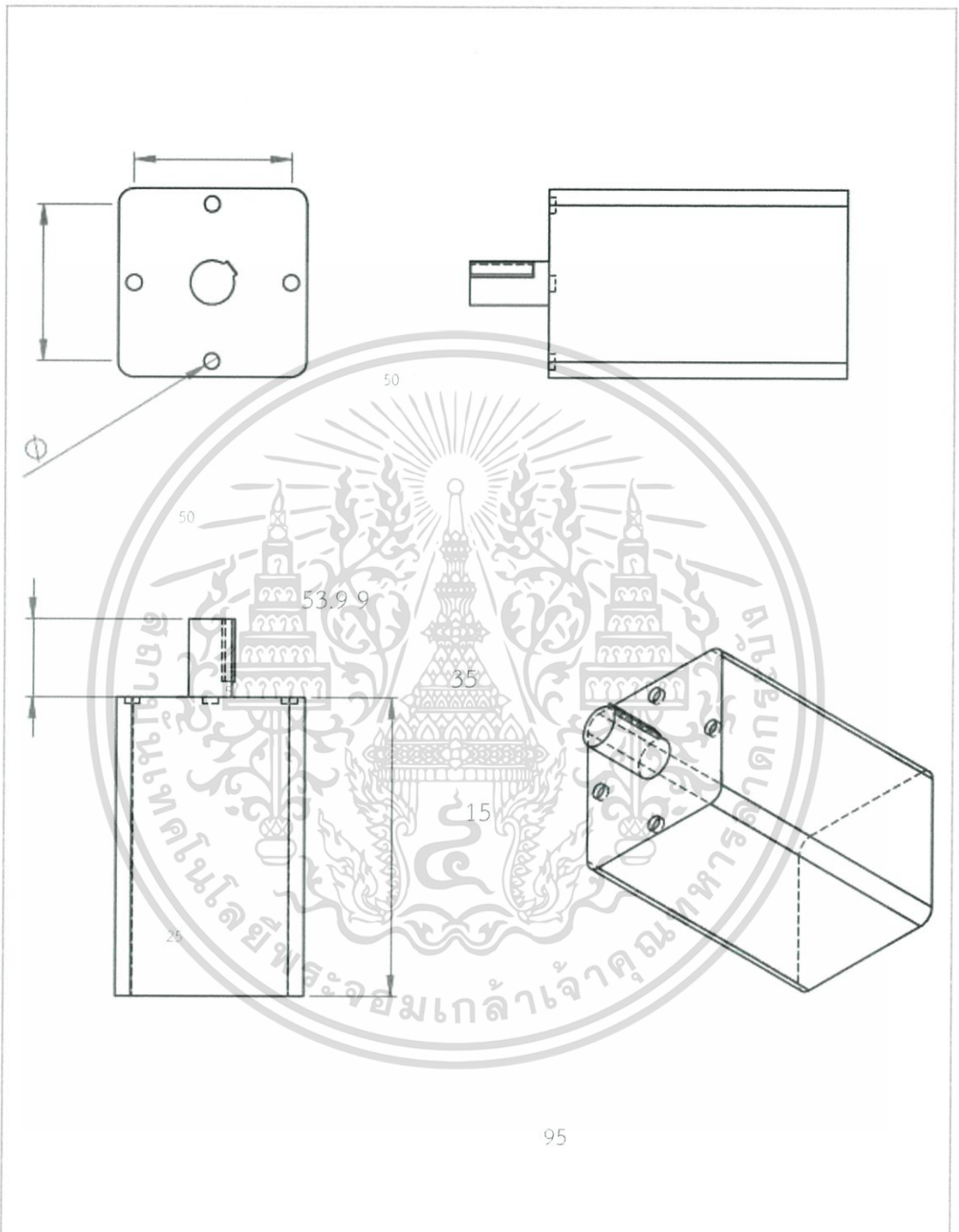
ผก6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผก7

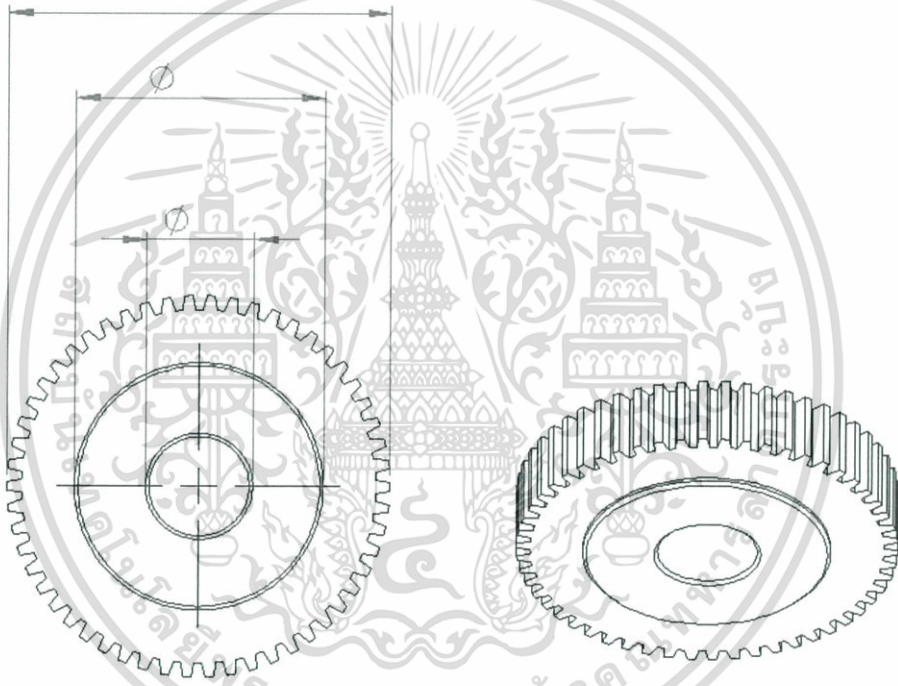
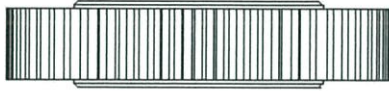
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part name	Motor	Scale 1:2
Material	Aluminum	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		

ผก8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part name	54 tooth gear	Scale 1:1
Material	Aluminum	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		

ผก9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Part name	Joint 1	Scale 1:3.5
Material	Aluminum	
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		

ผก10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Arduino ที่สั่งมอเตอร์

```
void setup() {  
  
  pinMode(8,OUTPUT);  
  
  pinMode(9,OUTPUT);  
  
}  
  
void loop() {  
  
  for (long i=1;i<45000;i++)  
  {  
    digitalWrite(8,HIGH);  
    delayMicroseconds(60);  
    digitalWrite(8,LOW);  
    delayMicroseconds(60);  
  }  
  
  for (long i=1;i<45000;i++)  
  {  
    digitalWrite(9,HIGH);  
  
    delayMicroseconds(60);  
  
    digitalWrite(9,LOW);  
  
    delayMicroseconds(60);  
  }  
}
```

