มือกล
MECHANICAL HAND

ฉัตรวรี สุริยาธานินทร์

ฉัตรวิรุณ ดำรงสกุล

ปริญวัฒน์ เอกบุศย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

มือกล

MECHANICAL HAND

ฉัตรวรี สุริยาธานินทร์
ฉัตรวิรุณ ดำรงสกุล
ปริญวัฒน์ เอกบุศย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

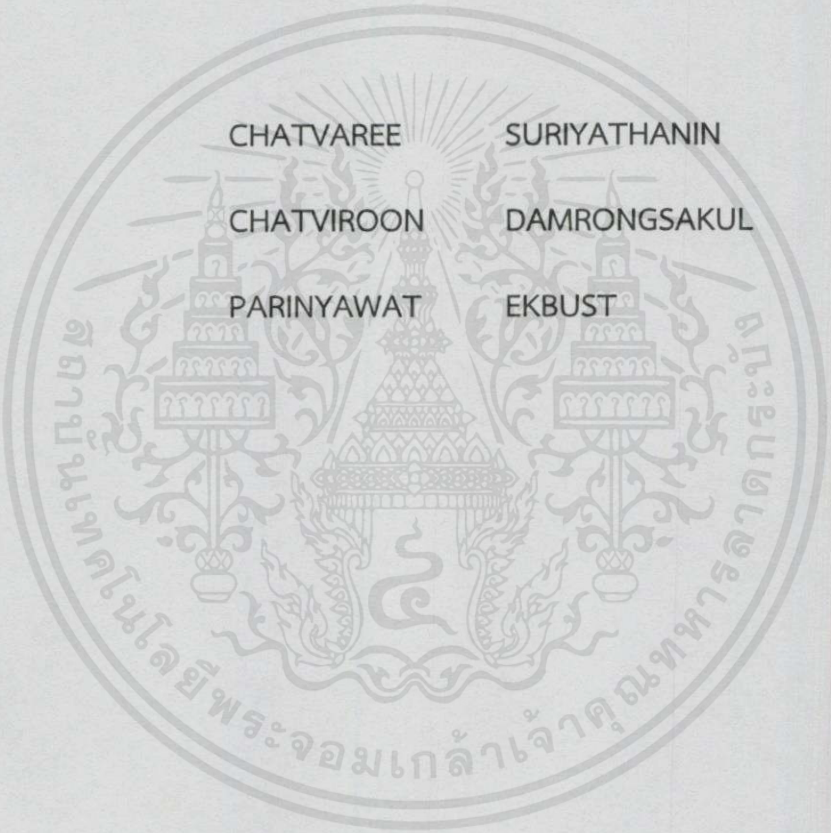
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL HAND

CHATVAREE SURIYATHANIN

CHATVIROON DAMRONGSAKUL

PARINYAWAT EKBUST



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง มือกล

MECHANICAL HAND

ผู้จัดทำ นางสาวฉัตรวรี สุริยาธานินทร์ 54010251

นายฉัตรวิรุณ ดำรงสกุล 54010252

นายปริญวัฒน์ เอกบุศย์ 54010792

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มือกล

โดย
นางสาวฉัตรวรี สุริยาธานินทร์ 54010251
นายฉัตรวิรุณ ดำรงสกุล 54010252
นายปริญวัฒน์ เอกบุศย์ 54010792

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ถูกจัดทำขึ้นเนื่องจากผู้จัดทำเล็งเห็นถึงคุณค่าของอวัยวะในร่างกาย โดยเฉพาะมือ จากสถิติการได้รับบาดเจ็บในโรงงานอุตสาหกรรม มือเป็นอวัยวะที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด เทคโนโลยีมือกลในปัจจุบันพัฒนาไปมากแต่ยังคงพบได้ยากในประเทศไทย ทั้งนี้คณะผู้จัดทำจึงได้ทดลองสร้างมือกลเพื่อตอบสนองประโยชน์แก่ผู้พิการ โดยที่โครงงานนี้เป็นเพียงแค่แบบจำลองอย่างง่ายในการสร้างมือกล ผู้จัดทำได้ใช้ความรู้ในศาสตร์ทางวิศกรรมแขนงต่างๆ เช่น ทางด้านไฟฟ้าอิเลกทรอนิกส์ ทางด้านเครื่องกล เป็นต้น โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ เริ่มต้นจากการศึกษาความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างทางกายภาพของมือ การเคลื่อนไหวของมือแบบต่างๆ ออกแบบมือกลโดยใช้โปรแกรมโซลิดเวิคร์ (Solid Work) คำนวณหาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องใช้ เช่น ขนาดของแบริ่ง ขนาดของน็อต ขนาดของมอเตอร์ เป็นต้น และนำทุกอย่างมาประกอบกัน เพื่อที่จะควบคุมมือกลให้เคลื่อนไหวโดยใช้ระบบควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามลำดับ สามารถนำมือกลที่สร้างขึ้นนี้มาใช้งานด้วยการติดเซนเซอร์ที่ถุงมือ และเมื่อเราสวมถุงมือข้างหนึ่ง อีกข้างหนึ่งเป็นมือกล เมื่อมือข้างที่สวมถุงมือขยับไปในรูปแบบใด ด้านที่เป็นมือกลก็จะมีรูปแบบตามนั้นด้วย กล่าวได้ว่ามือกลทำงานโดยการเลียนแบบพฤติกรรมของมืออีกด้านนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL HAND

By

Ms. Chatvaree Suriyathanin 54010251

Mr. Chatviroon Damrongsakul 54010252

Mr. Parinyawat Ekbust 54010792

Advisor

Asst.Prof. Sumit Panaudomsup

Academic Year 2014

ABSTRACT

This project perform because we saw an important of human organ specifically ' Hand '. From statistics hand is the most organ with accidents. From nowadays mechanical hand technology is further develop but hard to found in our country, so we make mechanical hand for handicapped. This project is easy mock up to build mechanical hand for handicapped. We use the knowledge in the engineering field and mechanical field to build this mock. First step is study about physical structure of hand and Movement of hand. We use CAD (Computer Aid Design) program to design our mechanical hand and calculate tool we use for example bearing, nut, screw, and motor. Then assemble everything to control mechanical hand by microcontroller. We use our mechanical hand by add sensor in gloves if hand that wear gloves move mechanical hand will move by mimic another hand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับปริญญานิพนธ์เล่มนี้ที่ประกอบไปด้วยความรู้ในหลายส่วน ในการทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้คำปรึกษาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดระยะการทำปริญญานิพนธ์นี้

ในส่วนของทางด้านการพิมพ์สามมิติขอขอบคุณ นายจิตตฤณ นิมิตรเพิ่มพูน นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมยานยนต์ วิทยาลัยนานาชาติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นที่ปรึกษาในการพิมพ์สามมิติ และให้ใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ

ขอขอบคุณทุกคนในชมรมอัลโตโมทีฟ (Automotive) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีส่วนช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ลุล่วงสำเร็จ

ขอขอบคุณทุกคนในชุมนุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Club) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีส่วนช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ลุล่วงสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ
นางสาวฉัตรวรี สุริยาธานินทร์
นายฉัตรวิรุณ ดำรงสกุล
นายปริญวัฒน์ เอกบุศย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน	1
1.4 ขอบเขตการศึกษาโครงงาน 1	
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	**2**
2.1 การศึกษาโครงสร้างของมือ 2	
2.2 หลักการทำงานเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing) และหลักการเลือกใช้วัสดุ	3
2.3 กลศาสตร์ของมือ	5
2.4 หลักการส่งถ่ายแรงทางกลศาสตร์	6
2.5 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	8
2.6 เซนเซอร์วัดความบิดงอ (Flex Sensor)	10
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.8 ทฤษฎีออกแบบเครื่องจักร (Machine Design)	12
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	**16**
3.1 การเลือกและการคำนวณการใช้อุปกรณ์ด้านไฟฟ้า	16
3.2 การออกแบบโครงสร้างภายนอกของมือกล	19
3.3 การเลือกและการคำนวณการใช้อุปกรณ์ด้านเครื่องกล	22
3.4 การสร้างมือกลและออกแบบระบบควบคุมมือกล	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	**28**
4.1 การทำท่าทางของมือ	28
4.2 การหยิบจับของขนาดเล็ก	29
4.3 การหยิบจับของขนาดใหญ่	29
4.4 การหยิบจับของที่มีความเปราะบางสูง	29
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล	**30**
5.1 สรุปผลการทดลอง	30
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหา	30
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	32
เอกสารอ้างอิง	**33**
ภาคผนวก	**34**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของมือ และกล้ามเนื้อแขนถึงมือ	2
2.2 การเคลื่อนไหวของมือจากแบมือไปสู่กำมือ	2
2.3 เครื่องพิมพ์สามมิติ และวัสดุที่ใช้	3
2.4 คานและโมเมนต์	5
2.5 การเคลื่อนไหวของมือในการจับหรือถือวัตถุต่างๆ ที่ต้องการความแม่นยำสูง	7
2.6 การเคลื่อนไหวของมือในการจับหรือถือวัตถุต่างๆ ที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูง	7
2.7 ทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นเมื่อมีการจับหรือถือวัตถุ	8
2.8 โครงสร้างของระบบควบคุมตำแหน่ง	9
2.9 เซนเซอร์วัดความบิดงอ	10
3.1 เซนเซอร์วัดความบิดงอที่ใช้จริง	18
3.2 เซอร์โวมอเตอร์	19
3.3 การฉายข้อที่ 1 ของนิ้วมือ	20
3.4 การฉายข้อที่ 2 ของนิ้วมือ	21
3.5 การฉายข้อที่ 3 ของนิ้วมือ	21
3.6 น็อตตัวเมีย และตัวผู้	22
3.7 เพลา	23
3.8 แบริ่ง หรือตลับลูกปืน	23
3.9 พลาสติกแบบพอลิแลกติก	24
3.10 เส้นเอ็นเบอร์ 40	25
3.11 นิ้วมือที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว	26
3.12 ชุดควบคุมอะดูโน	26
3.13 วงจรควบคุมความโค้งงอ	27
3.14 เซนเซอร์วัดความบิดงอที่ติดเข้ากับถุงมือ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะระหว่างพลาสติก พลาสติกอะคริโลไนไตรล์บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS)และพลาสติกแบบพอลิแลกติก (PLA)	4
2.2 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO R 755 – 1969	15
3.1 แสดงการทดลองวัดค่าความต้านทานของเซนเซอร์วัดความบิดงอที่ค่าองศาต่างๆ	17
3.2 แสดงการทดลองวัดค่าแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์	18

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

เนื่องจากมือเป็นหนึ่งในอวัยวะภายนอก ที่มีอัตราการพิการสูงถึงหนึ่งในห้าของอวัยวะภายนอกทั้งหมด และยังเป็นอวัยวะที่สำคัญในการใช้งานในชีวิตประจำวัน ดังนั้นการจัดทำโครงงานนี้จึงจัดทำขึ้น ด้วยการจำลองมือกลที่มีโครงสร้างการใช้งานใกล้เคียงกับมือจริงมากที่สุด เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้พิการที่สูญเสียมือ แต่ยังสามารถใช้แขนได้อย่างปกติ โดยใช้ความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์แขนงต่างๆ เช่น ไฟฟ้า เครื่องกล และความรู้ทางชีววิทยา มาเป็นส่วนช่วยสร้างมือกลอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน

1. สามารถนำมือกลไปใช้ได้จริงกับผู้พิการ

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน

1. ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของมือมนุษย์ ระบบประสาท ข้อต่อ และกล้ามเนื้อ
2. ศึกษากลศาสตร์และการเคลื่อนไหวของมือ พร้อมทั้งออกแบบลักษณะมือกล
3. ศึกษาประเภทวัสดุที่นำมาใช้งาน
4. ศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์และเซนเซอร์พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองมือกล
5. เขียนชุดคำสั่งต่างๆ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวของมือกล

1.4 ขอบเขตการศึกษาโครงงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและวิธีการทำเบื้องต้นของมือกล
2. ศึกษาวิชาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ด้านไฟฟ้า (Electrical) เครื่องกล (Mechanics)
3. สร้างแบบจำลองมือกลสำหรับผู้พิการ

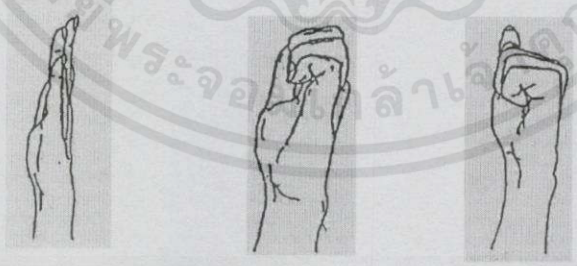
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาโครงสร้างของมือ

โครงสร้างของมือนั้นจะประกอบไปด้วยกระดูก ข้อต่อ กล้ามเนื้อและเส้นเอ็นเป็นจำนวนมาก โดยจะมีกระดูกเป็นแกนที่ทำให้คงรูป ส่วนเส้นเอ็นและนิ้วจะมีหน้าที่ช่วยให้ขยับได้ และมีข้อต่อที่เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่หลายๆ แบบ ซึ่งการขยับมือจะรับคำสั่งจากสมอง ในส่วนระบบประสาทนอกส่วนกลางที่ควบคุมกล้ามเนื้อในร่างกาย โดยในการศึกษาโครงสร้างมือในขั้นต้นจะทำการศึกษาเกี่ยวกับข้อ และกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น อย่างคร่าวๆ ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของมือ และกล้ามเนื้อแขนถึงมือ



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนไหวของมือจากแบมือไปสู่กำมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing) และหลักการเลือกใช้วัสดุ

2.2.1 หลักการทำงานเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printing)

หลักการทำงานเครื่องพิมพ์สามมิตินั้นจะทำงานสัมผัสกันทั้ง 3 แกนคือ ระนาบ X Y ที่หัวฉีดจะเคลื่อนที่ และในแนวแกนตั้ง Z ทำงานเคลื่อนที่ถาดสร้างชิ้นงานให้เครื่องที่ลงทีละชั้น ชิ้นงานจะเริ่มสร้างขึ้นจากส่วนล่างสุดไปเรื่อยๆ จนชิ้นงานจะเสร็จ

การพิมพ์ชิ้นงานจะต้องมีโมเดล 3 มิติในรูปแบบไฟล์นามสกุล .STL หรือไฟล์นามสกุล .OBJ ก่อน จากนั้นต้องแปลงค่าของวัตถุ 3 มิตินี้ให้อยู่ในรูปของจีโค้ด (G-code) เมื่อได้จีโค้ด (G-code) มาแล้วจึงสามารถสั่งพิมพ์ชิ้นงานผ่านคอมพิวเตอร์ได้ หากต้องการพิมพ์ชิ้นงานโดยใช้เอสดีการ์ด (SD Card) นั้นต้องบันทึกไฟล์เป็นนามสกุลไฟล์ .X3G อีกที

2.2.2 หลักการเลือกใช้วัสดุ

วัสดุที่จะใช้ในการพิมพ์ชิ้นงานที่ให้เลือกแบบหลักๆ 2 ชนิด คือพลาสติกอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS) กับพลาสติกแบบพอลิแลกติก (PLA) และพลาสติกแบบพอลิแลกติก (PLA) สิ่งที่เหมือนกันทั้งคู่คือ พลาสติกที่หลอมใหม่ได้โดยใช้ความร้อน (Thermoplastic) ที่นิยมใช้กันทั้ง 2 ตัวนี้เพราะทั้งคู่สามารถทำให้เป็นเส้นและสามารถจัดเก็บเป็นม้วนได้ แต่พลาสติกอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS) กับพลาสติกแบบพอลิแลกติก (PLA) มีคุณสมบัติแตกต่างกันในหลายๆ เรื่อง เช่น จุดหลอมเหลว, ความแข็งและยืดหยุ่น, ลักษณะภายนอกของชิ้นงาน, การย่อยสลาย และกลิ่น ควรทำความเข้าใจกับความแตกต่าง เพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับชิ้นงานให้มากที่สุด

รูปที่ 2.3 เครื่องพิมพ์สามมิติ และวัสดุที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะระหว่างพลาสติก พลาสติกอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS) และพลาสติกแบบพอลิแลกติก (PLA)

คุณสมบัติ	พลาสติกอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS)	พลาสติกแบบพอลิแลกติก (PLA)
จุดหลอมเหลว	มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 200-250 องศา และมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อยู่ที่ 105 องศา (จำเป็นต้องใช้แผ่นรองความร้อน)	มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 180-220 องศา และมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อยู่ที่ 60-65 องศา
ลักษณะภายนอกของชิ้นงาน	มีลักษณะขุ่น และด้านกว่าชิ้นงานคมชัดน้อยกว่า	มีลักษณะโปร่งแสง และเงากว่าขอบชิ้นงานคมกว่า
ความแข็งและความยืดหยุ่น	แข็งไม่เท่าแบบพอลิแลกติก แต่มีความยืดหยุ่นกว่าคล้ายยางสังเคราะห์	แข็งมาก แต่ไม่มีความยืดหยุ่นคล้ายแก้ว
การย่อยสลาย	ทนต่อสภาพอากาศ อุณหภูมิ ได้ดีกว่า เนื่องจากเป็นวัสดุปิโตรเลียม	ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทนอุณหภูมิได้ต่ำ ไม่ทนต่อแสงแดด
กลิ่น	เมื่อถูกความร้อนจะมีกลิ่นคล้ายพลาสติกไหม้	เมื่อถูกความร้อนจะมีกลิ่นอ่อนๆ

2.2.3 สรุปหลักการเลือกใช้วัสดุ

พลาสติกแบบพอลิแลกติกเป็นตัวที่นิยมกับงานทั่วไป เนื่องจากใช้งานง่าย สวยกว่า แข็งกว่า กลิ่นดีกว่า เหมาะกับบุคคลทั่วไป, งานอดิเรก หรือใช้สอนในโรงเรียน แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของไม่ทนอุณหภูมิสูง และไม่ยืดหยุ่น ขณะที่พลาสติกอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน อาจจะใช้งานยากกว่า ต้องมีแผ่นรองความร้อนในเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer Heated Bed) และอาจเกิดการเสียรูปได้ง่ายกว่าขณะพิมพ์สามมิติ แต่พลาสติกอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน มีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อม ใช้งานภายนอกได้ มีลักษณะยืดหยุ่นจึงเหมาะกับงานกลไก และวิศวกรรมมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กลศาสตร์ของมือ

เนื่องจากมือประกอบไปด้วยกระดูกที่เป็นส่วนแกนกลาง และนิ้วที่สามารถเคลื่อนไหวได้อิสระ ดังนั้นกลศาสตร์ของมือในที่นี้จะกล่าวถึง นิ้วมือ เป็นสำคัญ

2.3.1 หลักการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ

โมเมนต์ของแรง (Moment of Force) หรือโมเมนต์ (Moment) คือ ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุเพื่อให้วัตถุเกิดการหมุนรอบจุดหมุนนั้น ซึ่งก็คือ ผลคูณของแรงที่กระทำกับระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน

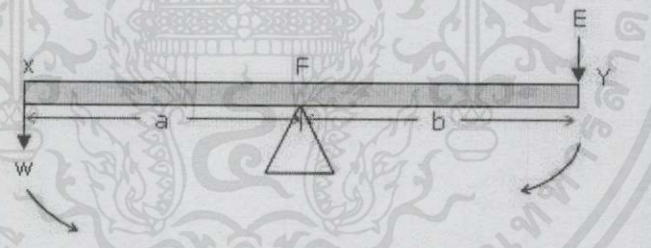
โมเมนต์ (N.m) = แรง (N) × ระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน (m) (2.1)

โดยทิศทางของโมเมนต์มี 2 ทิศทางคือ

1. โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา
2. โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

ถ้ามีหลายแรงที่กระทำต่อวัตถุ แล้วทำให้วัตถุนั้นอยู่ในสภาพสมดุลจะได้ว่า

ผลรวมโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา = ผลรวมโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.4 คานและโมเมนต์

หลักการของโมเมนต์นี้นำไปใช้คาน (Lever) อาจเป็นได้ทั้งคานดีดและคานงัด คาน (Lever) เป็นเครื่องกลชนิดหนึ่งซึ่งเกิดการงัดหรือดีด เพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่รอบจุดหมุน (Fulcrum) ที่ต้องการ โดยคานมีลักษณะเป็นแท่งยาว โดยคานจะใช้หลักการทำงานของโมเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของคาน

1. จุดหมุน (Fulcrum)
2. แรงความต้านทาน (W) หรือน้ำหนักของวัตถุ
3. แรงความพยายาม (E) หรือแรงที่กระทำต่อคาน

หลักการคำนวนเรื่องคาน

1. น้ำหนักคานจะถูกกดลงที่กึ่งกลางคานเสมอ
2. เมื่อคานอยู่ในภาวะสมดุล ผลรวมโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกาจะต้องเท่ากับผลรวมโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา
3. เมื่อมีแรงใดๆ มากระทำที่จุดหมุน ค่าของโมเมนต์แรงนั้น จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากไม่มีระยะทาง

2.4 หลักการส่งถ่ายแรงทางกลศาสตร์

จากการศึกษาเรื่องโครงสร้างของมือ ทำให้เราทราบว่า นิ้ว ข้อต่อ เส้นเอ็นต่างๆ จะช่วยทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของมือในแบบต่างๆ ตามลักษณะการใช้งานที่ต้องการ เช่น การหยิบ การถือ วัตถุต่างๆ ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยการเคลื่อนไหวของมือที่แตกต่างกันนี้เองจะทำให้เกิดการส่งถ่ายแรงจากมือสู่วัตถุในรูปแบบที่แตกต่างกันไป ตามลักษณะการเคลื่อนของข้อต่อ อีกทั้งยังมีแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างมือกับวัตถุอีกด้วย จะสามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

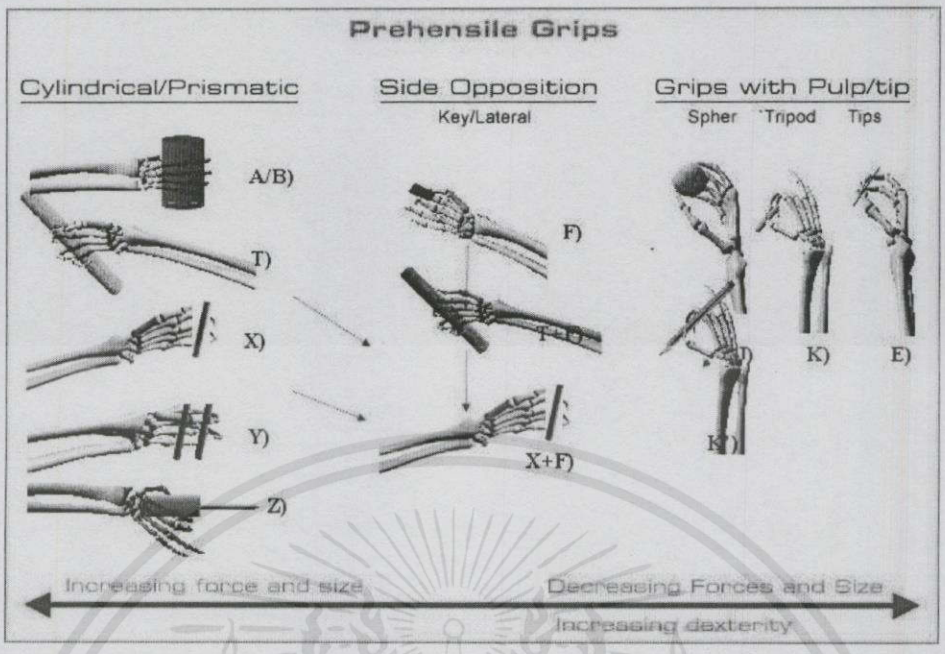
2.4.1 ลักษณะของมือที่จับวัตถุรูปทรงเรขาคณิตแบบต่างๆ

การจับหรือถือวัตถุสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.4.1.1 การจับวัตถุที่ต้องการความแม่นยำสูง

1. วัตถุขนาดใหญ่ที่ต้องออกแรงมากในการยึดถือ
2. วัตถุขนาดเล็กที่ออกแรงเพียงเล็กน้อยในการยึดถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การเคลื่อนไหวของมือในการจับหรือถือวัตถุต่างๆ ที่ต้องการความแม่นยำสูง

2.4.1.2 การจับวัตถุที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูง

การจับหรือถือวัตถุแบบนี้ จะเป็นการจับวัตถุไว้แบบหลวมๆ มีความเป็นอิสระภายในมือมากกว่าแบบที่ต้องการความแม่นยำในการจับสูง เช่น การถือกระเป๋า

รูปที่ 2.6 การเคลื่อนไหวของมือในการจับหรือถือวัตถุต่างๆ ที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 แรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในการจับวัตถุ

จากการศึกษาเบื้องต้นที่ได้กล่าวมาในหัวข้อก่อนหน้านี้ การหยิบจับวัตถุในลักษณะที่แตกต่างกันนั้น จะทำให้เกิดแรงที่ส่งผ่าน และโมเมนต์ ดังนี้

1. แรงภายนอกที่เกิดระหว่างวัตถุและมือ (External Demand Force)
2. โมเมนต์ในการงอมือเพื่อหยิบจับวัตถุ (Moment)
3. แรงภายในที่เกิดระหว่างมือกับมือ (Internal Demand Force)
4. แรงกดที่เกิดขึ้นในนิ้วมือกับมือ (Pressure Distribution)
5. แรงยืดดึงที่เกิดจากกล้ามเนื้อที่ยึดติดกับกระดูกที่ฝ่ามือ (Musculoskeletal Tissue Loading)

รูปที่ 2.7 ทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นเมื่อมีการจับหรือถือวัตถุ (เรียงจากซ้ายไปขวา)

2.5 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์เป็นการรวมคำระหว่างคำว่า เซอร์โวและมอเตอร์ ซึ่งอาจเป็นดีซีมอเตอร์ หรือเอซีมอเตอร์ก็ได้ โดยคำว่าเซอร์โวหมายถึง ระบบควบคุม โดยรวมคำว่าเซอร์โวมอเตอร์จึงหมายถึงมอเตอร์ที่มีการควบคุม ตำแหน่ง หรือความเร็ว ก็ได้

ข้อดีของการใช้งานเซอร์โวมอเตอร์คือ มีความละเอียดสูงเนื่องจากการควบคุมมอเตอร์ต้องสั่งการโดยระบบป้อนกลับ (Closed-loop) เพื่อที่จะระบุตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ตามที่กำหนด

2.5.1 การควบคุมความเร็วมอเตอร์

การควบคุมมอเตอร์สามารถทำได้โดยควบคุมระดับแรงดันตกคร่อมมอเตอร์ โดยวิธีการที่นิยมใช้มีสองวิธีดังนี้

1. การปรับระดับแรงดันโดยใช้หลักการเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจร ซึ่งจะทำให้แรงดันตกคร่อมเปลี่ยน แต่วิธีนี้จะมีการเกิดความสูญเสีย (Loss) เนื่องจากกำลังไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน (พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การปรับแรงดันโดยการเปิดปิดแหล่งจ่ายไฟ โดยระดับแรงดันเฉลี่ยที่ได้จะขึ้นกับช่วงปิด และเปิดวิธีนี้เรียกว่าวิธีการ แบบพัลซ์วิดธ์โมดูเลชั่น (Pulse Width Modulation) และเรียกอัตราส่วนเปิดปิดว่าดิวตี้ไซเกิ้ลหรืออัตราส่วนระหว่างความกว้างของพลัซ์ (Duty Cycle) โดยวิธีการนี้มีข้อเสียคือ หากเลือกความถี่ของพัลส์ไม่เหมาะสมจะทำให้มอเตอร์สั่นได้

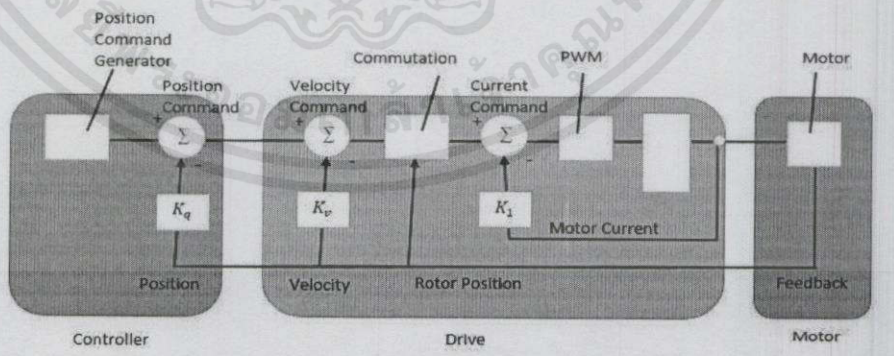
2.5.2 การควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

การควบคุมตำแหน่งมอเตอร์คือ การควบคุมความเร็วเช่น หากต้องการให้มอเตอร์หมุนไป 30 องศา ในช่วง 0-30 องศาต้องควบคุมให้มอเตอร์มีความเร็วค่าหนึ่ง และเมื่อถึงตำแหน่ง 30 องศา จึงควบคุมให้มอเตอร์มีความเร็วเป็นศูนย์

ในการออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งต้องออกแบบระบบควบคุมความเร็วก่อน และอาศัยสัญญาณผลต่างของตำแหน่งที่ต้องการเคลื่อนไป และสัญญานที่ได้จากอุปกรณ์ป้อนกลับ โดยสัญญาณจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณขาเข้าของตัวควบคุม จากนั้นตัวควบคุมจะประมวลผลเพื่อให้สัญญาณขับเพื่อให้มอเตอร์หมุนไปในตำแหน่งที่ต้องการ

2.5.3 ชุดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ที่เลือกใช้นั้นเป็นเซอร์โวประเภทดีซีมอเตอร์ โดยจะประกอบไปด้วย เซอร์โวมอเตอร์ ชุดเกียร์ และส่วนควบคุม ควบคุมโดยสายไฟ 3 เส้น สายจากแรงดันแหล่งจ่าย (VCC),สายจุดอ้างอิงในการวัดหรือกราวด์ (GND) และสายสัญญาณควบคุม (Control) โดยสัญญาณที่จ่ายจะเป็นสัญญาณแบบพัลซ์วิดธ์โมดูเลต และเนื่องจากเป็นดีซีมอเตอร์ขนาดเล็ก จึงไม่จำเป็นต่อต้องวงจรขับ (Driver)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของระบบควบคุมตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เซนเซอร์วัดความบิดงอ (Flex Sensor)

เซนเซอร์วัดความงอเป็นเซนเซอร์ที่เกิดจากความต้านทานของวัตถุที่เปลี่ยนไปเมื่อเกิดการงอ โดยเซนเซอร์จะสามารถงอได้หนึ่งทิศทางหรือสองทิศทางก็ได้ โดยทำงานร่วมกับวงจรแบ่งแรงดัน ด้านในเซนเซอร์วัดความงอประกอบไปด้วยสารประกอบคาร์บอนที่บางและสามารถงอได้ โดยปริมาณคารบอนที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานลดลง เมื่อสสารถูกงอเซนเซอร์จะให้เอ้าต์พุตเป็นความต้านทานขึ้นอยู่กับรัศมีความโค้ง

ปัจจุบันเซนเซอร์วัดความบิดงอ ได้นำมาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ อุปกรณ์ออกกำลังกาย เครื่องดนตรี ฯลฯ

รูปที่ 2.9 เซนเซอร์วัดความบิดงอ

2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่มีความสามารถคล้ายกับคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์มีซีพียู หน่วยความจำ พอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของคอมพิวเตอร์ไว้

2.7.1 ส่วนประกอบสำคัญในไมโครคอนโทรลเลอร์

1. ซีพียู (CPU) เป็นศูนย์กลางการควบคุมรับข้อมูลจากอินพุต ประมวลผลตามคำสั่งของโปรแกรม และส่งผลลัพธ์ออกไปยังหน่วยแสดงผล

2. หน่วยความจำ (Memory) แบ่งเป็นหน่วยเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) โดยข้อมูลใดๆ ที่เก็บไว้จะไม่หายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) เป็นหน่วยความจำชั่วคราวโดยข้อมูลจะหายไปถ้าไม่มีไฟเลี้ยง แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่จะมีหน่วยความจำแรมที่ข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงและเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ อินพุตสำหรับรับข้อมูล และเอาต์พุตหรือพอร์ตส่งสัญญาณ โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก โดยใช้ร่วมกันเช่นการกดสวิตช์ (อินพุต) และส่งสัญญาณเพื่อให้ไฟติด (เอาต์พุต) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ช่องเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) เป็นเส้นทางสำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูลของซีพียู หน่วยความจำและพอร์ตเป็นลักษณะของสายสัญญาณอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็น บัสข้อมูล (Data BUS) บัสแอดเดรส (Address BUS) บัสควบคุม (Control BUS)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock) เป็นการกำหนดสัญญาณภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำงานซึ่งยิงสัญญาณนาฬิกา(Clock) มีความถี่สูงจะส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเร็วในการประมวลผลสูง

นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้นอาจจะมีส่วนพิเศษอื่นๆ เช่น ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Converter: ADC), ตัวแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter: DAC), สัญญาณแบบพัลซ์วิดธ์โมดูเลต (Pulse Width Modulus)

โดยภาษาที่ใช้ในการเขียนมีทั้งภาษาแอสแซมบลี (Assembly),ภาษาซี (Basic C),พาลคัส (Pascal) และจาวา (Java) ขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่ใช้ของบริษัทผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์

2.7.2 อะดูโน (Arduino)

อะดูโน (Arduino) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดหนึ่งตระกูล AVR ที่มีการใช้งานอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากคือราคาไม่แพง มีโค้ดคำสั่งต่างๆ ให้เลือกใช้งานฟรีจำนวนมาก โปรแกรมสามารถใช้งานได้บน ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) และระบบปฏิบัติการแบบลินุซ (Linux) ถูกพัฒนาด้วยภาษาซี สิ่งสำคัญที่อะดูโนต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตัวคือการที่อะดูโน (Arduino) มีบูทโหลดเดอร์ (Boot Loader) บรรจุอยู่ในบอร์ดทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ ผู้เขียนโปรแกรม (Programmer) ในการเป็นตัวกลางเพื่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ สามารถเสียบกับคอมพิวเตอร์แล้วใช้งานได้โดยตรงผ่านสายควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ทฤษฎีออกแบบเครื่องจักร (Machine Design)

2.8.1 แบริ่ง หรือตลับลูกปืน

แบริ่ง (Bearing) คือ อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อรองรับโหลดพร้อมกับอนุญาตให้ มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชิ้นส่วนสองชิ้นในชิ้นงาน

แบริ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. เพลนแบริ่ง (Plain Bearing) คือ แบริ่งที่อาศัยการสัมผัสแบบลื่นไถล (Sliding Contact) เพื่อรับโหลดและลดแรงเสียดทาน เช่น เจอร์นัลแบริ่ง

2. โรลลิ่งแบริ่ง (Rolling Bearing) คือ แบริ่งที่อาศัยการสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling Contact) เพื่อรับโหลดและลดแรงเสียดทาน เช่น บอลแบริ่ง โรลเลอร์แบริ่ง

สำหรับชิ้นงานของมือกลนี้เลือกใช้งาน โรลลิ่งแบริ่ง ดังนั้นจะยกหลักการทำงานของโรลลิ่งแบริ่งที่อาศัยการสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling Contact) เท่านั้นดังนี้

2.8.3.1 โรลลิ่งแบริ่ง (Anti-Friction Bearing)

คือ แบริ่งที่อาศัยการสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling Contact) เพื่อรองรับโหลดและลดความเสียดทาน โดยทั่วไปจะใช้ลูกบอล (Ball) และโรลเลอร์ (Roller) เป็นชิ้นส่วนสำหรับการกลิ้ง (Rolling Element)

การประเมินอายุการใช้งานของโรลลิ่งแบริ่ง

1. อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับค่าความเค้นกระทำซ้ำ

2. คุณภาพของแบริ่งที่ผลิตจากวิธีการและเครื่องมือชิ้นเดียวกัน อาจจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นทางสมาคม ABFMA จึงได้กำหนดนิยามและวิธีการเลือกแบริ่งดังนี้

3. อายุใช้งาน (L) หมายถึง จำนวนรอบที่แบริ่งหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความล้าขึ้นในวงแหวนหรือลูกกลิ้ง จากการทดลองของลันซ์เบริค (Lundberg) และแพลมเจน (Palmgren) พบว่าอายุการใช้งาน L แปรผันเป็นสัดส่วนกับแรงในแนวรัศมี P

$$L\alpha\frac{1}{P^k} \tag{3.1}$$

หมายเหตุ แบบบอลแบริ่ง k = 3 และ แบบโรลเลอร์แบริ่ง K = 3.33

4. อายุประเมิน (L_{10}) หมายถึง จำนวนรอบที่แบริ่ง 90% สามารถหมุนได้ โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อายุใช้งานเฉลี่ย (L_{50}) หมายถึง จำนวนรอบที่แบริ่ง 50% สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้า

6. แรงสถิตประเมิน (C_0) หมายถึง แรงในแนวรัศมีที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวของ ลูกกลิ้งและวงแหวนรวมกันเท่ากับ 0.0001 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้ง

7. แรงพลวัตประเมิน (C) หมายถึง แรงในแนวรัศมีที่ทำให้แบริ่งมี L_{10} เท่ากับ หนึ่งล้านรอบ เมื่อวงแหวนอันในหมุนและวงแหวนอันนอกอยู่นิ่ง

ในการหาอายุการใช้งานจริงของแบริ่ง ทำได้โดยการกำหนดให้ L_{10} เป็นอายุใช้งานจริงซึ่งมีหน่วงล้านรอบ

$$L_{10} = (\frac{C}{P})^k \tag{3.2}$$

แรงสมมูล

1. ในการนำไปใช้งานนั้น โรลลิ่งแบริ่งอาจจะรับทั้งแรงในแนวรัศมี แรงในแนวแกน และวงแหวนในหรือนอกหมุนก็ได้

2. อายุประเมินของแบริ่งกำหนดในเทอมของแรงในแนวรัศมีเท่านั้น ดังนั้นต้องเปลี่ยนแรงที่แบริ่งรับจริง ให้เป็นแรงในแนวรัศมีโดยมีวงแหวนในเป็นตัวหมุน เรียกว่า แรงสมมูล

$$P = XVF_r + YF_a \text{ หรือ } \quad P = VF_r \tag{3.3}$$

F_r คือ แรงในแนวรัศมี
F_a คือ แรงรุน
V คือ ตัวประกอบการหมุน

2.8.2 เพลา

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่ใช้งานอยู่ในเครื่องจักร อุปกรณ์ต่างหลากหลายชนิด ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังหรือทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ขณะใช้งานเพลาจะอยู่ภายใต้แรงกระทำชนิดต่างๆ เช่น แรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิดซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิตและแรงแบบวัฏจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2.1 วิธีการเรียกเพลา

1. เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ส่งกำลัง

2. แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น

3. สพินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้น เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-Stock Spindle) เป็นต้น

4. สตับชาฟ (Stub Shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมา สำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่น ๆ

5. เพลาแนว (Line Shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลาเมน (Main Shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง ใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

6. แจ๊คชาฟ (Jack Shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

7. เพลาอ่อน (Fiexble Shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเหนียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้แต่ส่งกำลังได้น้อย

2.8.2.2 วัสดุเพลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาทั่วไปคือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ถ้าต้องการความเหนียวและมีความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษ มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นๆ เช่น AISI 1347, AISI 3140, AISI 4150 เป็นต้น อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้เหลาราคาถูก ควรเลือกใช้คาร์บอนธรรมดาก่อนที่เลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ขนาดระบุของเพลาตามมาตรฐาน ISO R 755 – 1969

ขนาดของเล่นผ่านศูนย์กลาง เป็นมิลลิเมตร				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	-

การออกแบบการคำนวณเพลา ในการออกแบบหาขนาดของเพลา จะต้องพิจารณาสิ่งเหล่านี้

1. กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่ใช้เพลาส่งกำลัง

2. ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา รวมทั้งรูปร่างขนาด วัสดุ และผิวสำเร็จ ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดความเค้นตกค้าง (Stress Concentration) ขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเพลา

3. ความแกร่ง (Stiffness หรือ Rigidit) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือการบิดไปของเพลาเมื่อรับภาระ

4. ความเร็ววิกฤติ (Critical Speed) หมายถึง การสั่นตัวของเพลาอันเป็นผลเนื่องมาจากการแอ่นตัวของเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

จากหลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่กล่าวในบทที่ 2 นำมาคำนวณและคัดเลือกการใช้อุปกรณ์ การออกแบบมือกล โดยแบ่งเป็น

1. การเลือกและการคำนวณการใช้อุปกรณ์ด้านไฟฟ้า
2. การออกแบบโครงสร้างภายนอกของมือกล
3. การเลือกและการคำนวณการใช้อุปกรณ์ด้านเครื่องกล
4. การสร้างมือกลและออกแบบระบบควบคุมมือกล

3.1 การเลือกใช้อุปกรณ์ด้านไฟฟ้า

3.1.1 การทดลองหาค่าความต้านทานของเซนเซอร์วัดความบิดงอ

3.1.1.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

เพื่อหาค่าความต้านทานของเซนเซอร์วัดความบิดงอเมื่อมีการเปลี่ยนมุมองศา และนำเอาไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

3.1.1.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เซนเซอร์วัดความบิดงอ จำนวน 5 ตัว
2. กระดาษวัดมุมองศา
3. มัลติมิเตอร์ (Multi-meter)

3.1.1.3 วิธีการทดลอง

นำเซนเซอร์วัดความบิดงอมาบิดโค้งงอตามกระดาษวัดมุมองศาต่างๆ แล้ววัดค่าความต้านทาน บันทึกผลลงในตารางด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงการทดลองวัดค่าความต้านทานของเซนเซอร์วัดความบิดงอที่ค่าองศาต่างๆ

	ค่าความต้านทาน (kΩ)				
องศา	เซนเซอร์วัดความบิดงอตัวที่ 1	เซนเซอร์วัดความบิดงอตัวที่ 2	เซนเซอร์วัดความบิดงอตัวที่ 3	เซนเซอร์วัดความบิดงอตัวที่ 4	เซนเซอร์วัดความบิดงอตัวที่ 5
0 °	40.23	40.50	25.89	40.14	35.26
10 °	45.56	46.28	30.21	45.26	40.41
20 °	50.12	48.08	35.02	50.18	45.68
30 °	55.74	53.25	40.00	55.31	55.53
40 °	60.54	60.13	45.10	60.26	60.47
50 °	65.41	65.20	50.06	65.11	65.24
60 °	70.39	70.15	55.31	70.21	70.11
70 °	75.12	75.33	60.11	75.84	75.42
80 °	80.04	80.41	65.39	81.01	80.97
90 °	86.02	86.12	70.50	87.30	85.88

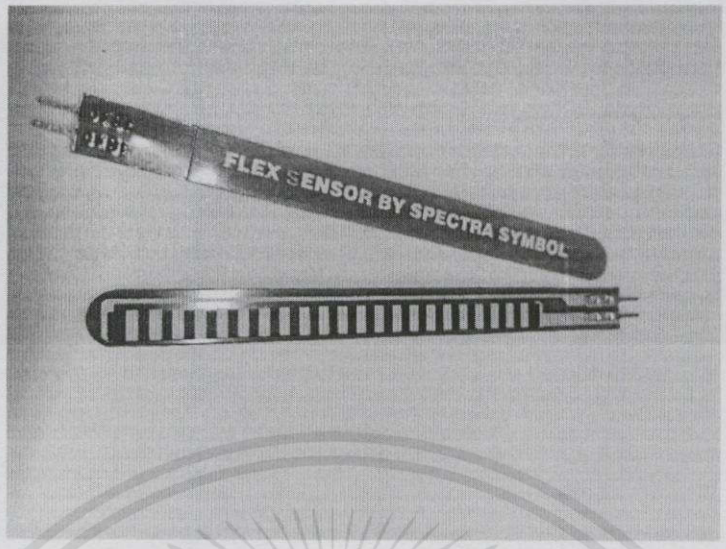
3.1.1.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่าความต้านทานของเซนเซอร์วัดความบิดงอที่ค่ามุมองศาต่างๆ จะพบว่าค่าความต้านทานเริ่มต้นจะอยู่ที่ 25 – 40 kΩ และเมื่อบิดงอมากขึ้นก็จะมีแนวโน้มค่าความต้านทานที่มากขึ้นด้วย และเมื่อโค้งงอถึง 90 ° ค่าความต้านทานของเซนเซอร์ความบิดงอในแต่ละตัวจะมีค่าสูงที่สุด โดยทั่วไปค่าสูงสุดจะอยู่ที่ 100 kΩ แต่ทั้งนี้ในการใช้งานจริงรูปแบบการบิดงอในแต่ละการใช้งานอาจจะไม่เหมือนกัน ดังนั้นค่าสูงสุดของเซนเซอร์ในแต่ละตัวอาจมีค่าไม่เท่ากันก็เป็นได้

3.1.1.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองดังกล่าวที่ผ่านมานั้น อาจจะมีการคลาดเคลื่อนของค่าความต้านทานมากน้อย ทั้งนี้ในการทดลอง ผู้ทำการทดลองอาจจะมีการใช้แรงในการบิดงอในแต่ละเซนเซอร์ไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เซนเซอร์วัดความบิดงอที่ใช้จริง

3.1.2 การวัดค่าแรงบิดที่ต้องการและเลือกใช้ขนาดของเซอร์โวมอเตอร์

การใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการทำโครงงานนี้พิจารณาจาก

1. มีราคาถูก
2. มีขนาดเล็กที่เหมาะพอดีกับมือ
3. มีความแข็งแรง
4. ให้ค่าแรงบิดที่ต้องการ โดยประมาณค่าจากน้ำหนักที่ต้องการจะยก

3.1.2.1 การทดลองหาค่าแรงบิดจากเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 5 ตัว

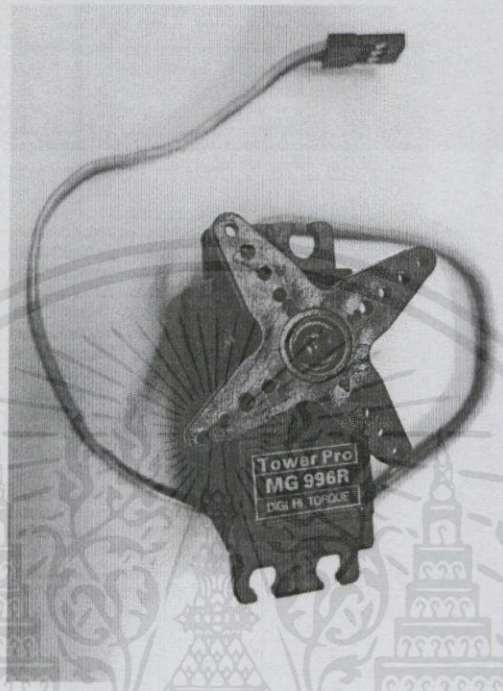
ทำการทดลองโดยการใช้เครื่องวัดแรงบิด (Torque Motor) เพื่อหาค่าแรงบิดที่แท้จริง

ตารางที่ 3.2 แสดงการทดลองวัดค่าแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์

	แรงบิดที่วัดได้			แรงบิดเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1	10	10.5	10.3	10.27
เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2	11	10.7	10.8	10.83
เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 3	10.5	10.2	10.6	10.43
เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 4	10	11	10.7	10.57
เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 5	10.8	10.5	10.7	10.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าแรงบิดโดยเฉลี่ยของเซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละตัวนั้น มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ไม่มีตัวใดตัวหนึ่งที่มีแรงบิดมากเกินไปหรือน้อยเกินไป และแรงบิดที่ได้ยังเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการอีกด้วย



รูปที่ 3.2 เซอร์โวมอเตอร์

3.2 การออกแบบโครงสร้าภายนอกของมือกล การเลือกใช้อุปกรณ์ด้านเครื่องกล

3.2.1 การออกแบบโครงสร้างภายนอกของมือกล

3.2.1.1 ออกแบบโครงสร้างของมือกลตามที่ต้องการ

โดยยึดขนาดอ้างอิงจาก

1. ขนาดมือจริงของมนุษย์
2. ค่าความละเอียดของเครื่องพิมพ์สามมิติ
3. แรงที่ต้องการให้มือรับน้ำหนักได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 ขั้นตอนการออกแบบ

1. วัดขนาดมือ นิ้วมือ โดยการออกแบบจะต้องมีขนาดใกล้เคียงขนาดจริง โดยอาจจะใหญ่หรือเล็กกว่าขนาดจริงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงค่าความละเอียดของเครื่องพิมพ์สามมิติ และแรงที่ต้องการรับน้ำหนักอีกด้วย

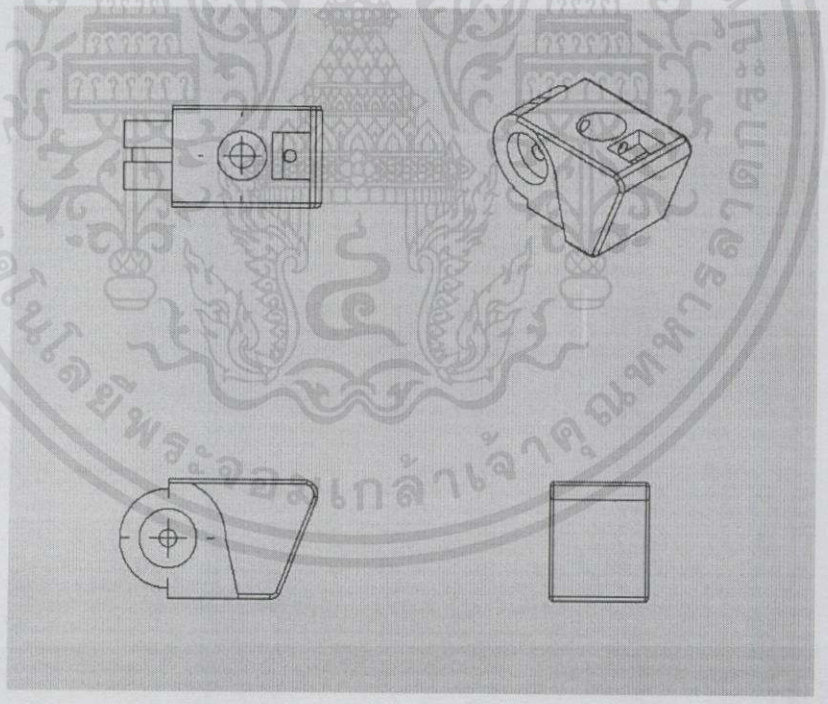
2. ใช้โปรแกรมโซลิดเวิคร์ (Solid Work) ในการออกแบบ โดยตั้งค่าหน่วยออกแบบชิ้นงานเป็นหน่วยมิลลิเมตร (Millimeter : mm.)

3. แบ่งการออกแบบมือกล ให้เป็นชิ้นงานย่อยทั้งหมด 10 ส่วน ในส่วนนิ้วมือจะแบ่งย่อยออกเป็นสามส่วนเท่านั้น

4. วิเคราะห์การออกแบบเครื่องจักรเบื้องต้น โดยการออกแบบโครงสร้างสามมิตินี้ จำเป็นที่จะต้องมีการเว้นช่องว่างในชิ้นงาน เพื่อใส่เครื่องมืออุปกรณ์อื่นๆ ลงไปในภายหลัง เช่น น็อต เส้นเอ็น เป็นต้น โดยค่าที่ใช้ในการเว้นช่องใส่ต่างๆ นั้นจะมาจากการคำนวณ

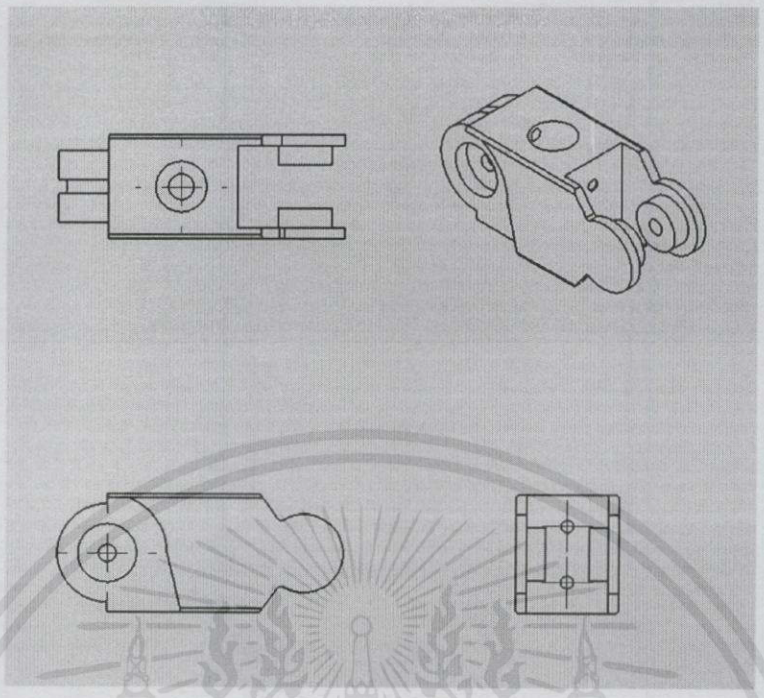
5. ช่องว่างในภาพจำลองสามมิติจำเป็นจะต้องมี ระยะเผื่อ ของค่าผิดพลาด (Error) ในตัวเครื่องพิมพ์สามมิติเครื่องนั้นๆ ด้วย โดยระยะเผื่อในเครื่องพิมพ์ที่ใช้จะมีค่าตั้งแต่ 0.5-1.0 มิลลิเมตร

6. ออกแบบให้มีความโค้งมน สวยงาม ได้ตามต้องการ

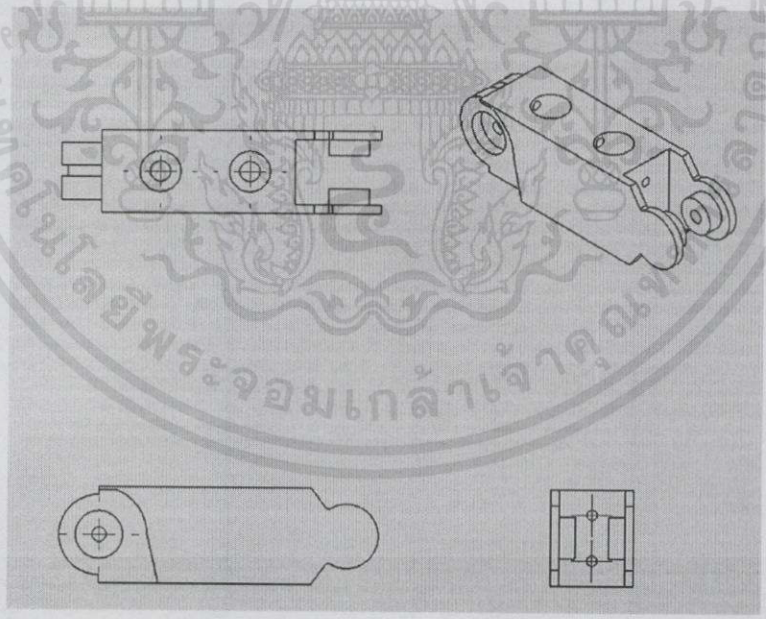


รูปที่ 3.3 การฉายข้อที่ 1 ของนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การฉายข้อที่ 2 ของนิ้วมือ



รูปที่ 3.5 การฉายข้อที่ 3 ของนิ้วมือ

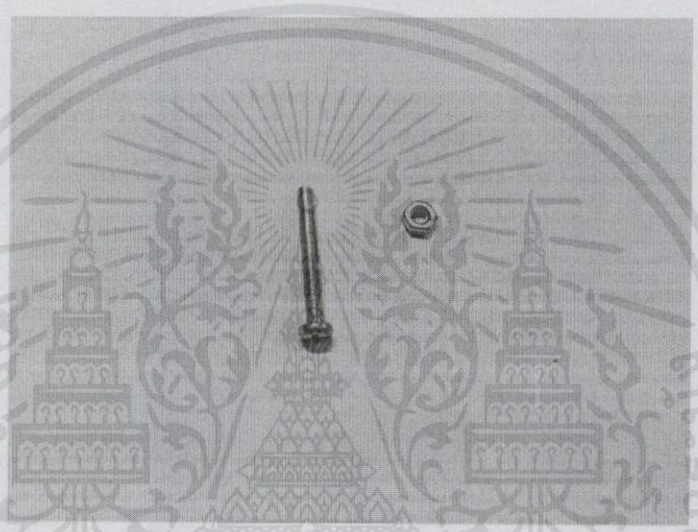
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเลือกใช้อุปกรณ์ด้านเครื่องกล

เลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

3.3.1 น็อต

จากการออกแบบชิ้นงานที่สร้างขึ้น จะสามารถคำนวณหาขนาดน็อตหรือสกรูได้ โดยใช้การคำนวณในบทที่ 2 เพื่อยึดติดชิ้นงานเข้าด้วยกัน จะพบว่าควรเลือกใช้น็อตที่มีขนาด 3 มิลลิเมตร ในการยึดชิ้นส่วนทั้งบนและล่าง โดยใช้ทั้งหมด 4 ตัว ต่อนิ้วจำนวนหนึ่งนิ้ว

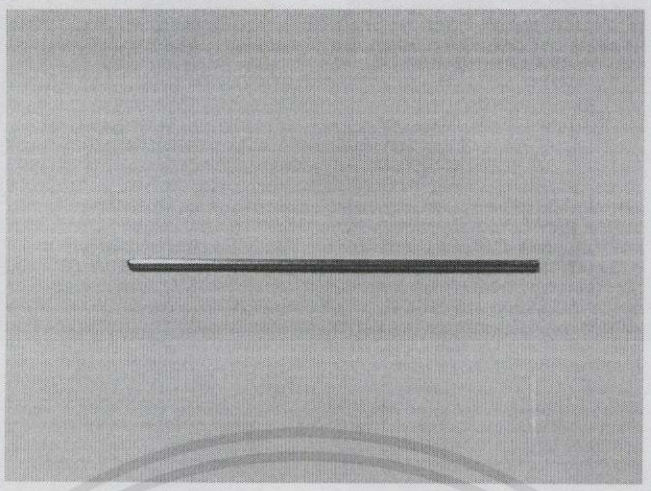


รูปที่ 3.6 น็อตตัวเมีย และตัวผู้

3.3.2 เพลา

การเลือกใช้เพลา เพลาที่ใช้ต้องมีขนาดเล็กกว่าปกติ แต่ยังคงรับน้ำหนักของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ และมีการหมุนของเพลาที่เสถียร โดยสามารถหาขนาดของเพลาได้จากการคำนวณในบทที่ 2 โดยค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลาที่ใช้ควรมีประมาณ 1.7-1.8 มิลลิเมตร โดยเพลาที่เราใช้จริงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 1.76 มิลลิเมตร นำเพลามาเป็นแกนของแบริ่ง เพื่อใช้เป็นจุดหมุนในข้อนิ้ว ซึ่งมีทั้งหมด 3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เพลา

3.3.3 แบริ่ง หรือตลับลูกปืน

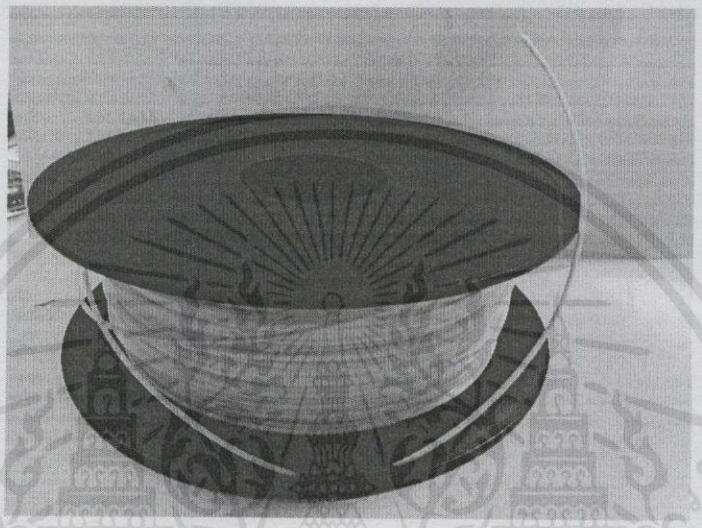
แบริ่งหรือตลับลูกปืนจะถูกนำมาใช้ร่วมกับเพลาเพื่อเป็นจุดหมุนของข้อในนิ้วมือ ซึ่งมีทั้งหมด 3 จุด ในหนึ่งนิ้ว การหาขนาดแบริ่งเช่นเดียวกับเพลา และน็อต โดยการคำนวณหาขนาดในบทที่ 2 ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ขนาดแบริ่งที่นำมาใช้ยังต้องคำนึงถึงขนาดของเพลาอีกด้วย โดยขนาดของแบริ่งที่นำมาใช้จริงมีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในเท่ากับ 1.86 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางวงนอกเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และมีความหนาเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.8 แบริ่ง หรือตลับลูกปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 พลาสติกในการใช้ทำโครงสร้างภายนอก

การเลือกใช้พลาสติกเป็นวัสดุในการทำชิ้นงานนี้ จากตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสติกแบบต่างกัน และพิจารณาเครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้เป็นตัวแปรร่วมในการพิจารณา เลือกใช้ฟิลาเมนต์ (Filament) พลาสติกแบบพอลิแลกติก (PLA) เส้นใยขนาด 0.75 มิลลิเมตร ในการพิมพ์เครื่องพิมพ์สามมิติ



รูปที่ 3.9 พลาสติกแบบพอลิแลกติก

3.3.5 เส้นเอ็น

เส้นเอ็นเป็นส่วนสำคัญในการที่จะทำให้นิ้วของเราบิดงอไปตามรูปแบบที่ต้องการ ดังนั้นการเลือกใช้เส้นเอ็นต้องคำนึงถึงดังนี้

1. ขนาดช่องว่างที่ออกแบบในนิ้วมือ
2. ความยืดหยุ่นของเอ็น ซึ่งจะต้องมีความยืดหยุ่นมากพอ มิเช่นนั้นอาจจะได้รับความเสียหายได้ง่าย เมื่อมีแรงบิดที่ส่งมาจากเซอร์โวมอเตอร์มากระทำ
3. แรงที่ต้องรับน้ำหนัก

หลังจากพิจารณาตามเงื่อนไขแล้ว จึงเลือกเส้นเอ็น เบอร์ 40 ดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

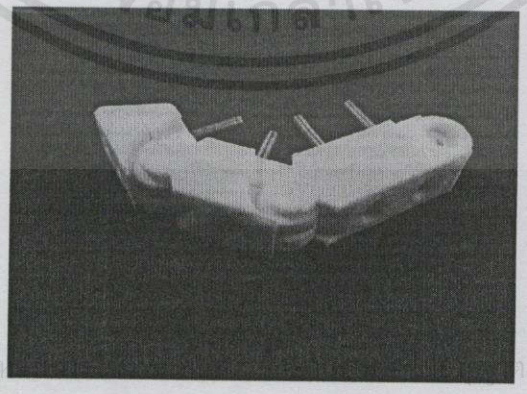
รูปที่ 3.10 เส้นเอ็นเบอร์ 40

3.4 การสร้างมือกลและออกแบบระบบควบคุมมือกล

3.4.1 การสร้างมือกล

เมื่อออกแบบโครงสร้างภายนอก และเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ทำเรียบร้อยแล้ว ก็นำทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกันตามวิธี ดังนี้

1. นำเส้นเอ็นร้อยไปตามช่องว่างในนิ้วมือที่ได้ออกแบบไว้
2. นำแบริ่งและเพลามาใส่ระหว่างข้อของนิ้วมือ
3. ใส่น็อตตัวเมีย และตัวผู้ โดยระวังไม่ให้สายเอ็นถูกน็อตกดทับ พร้อมทั้งใส่น็อตยึดเส้นเอ็นไว้ที่ปลายข้อในนิ้วมืออีกด้วย
4. ต่อนิ้วมือทั้งหมดเข้าด้วยกันกับฝ่ามือ
5. นำเส้นเอ็นทั้งหมดต่อเข้ากับเซอร์โวมอเตอร์
6. นำเซนเซอร์วัดความบิดงอ และวงจรต่างๆ ติดเข้ากับถุงมือ
7. จัดองค์ประกอบทั้งหมดให้เข้าที่

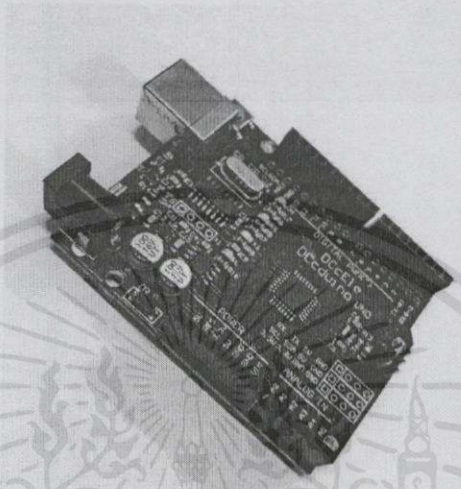


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 นิ้วมือที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว

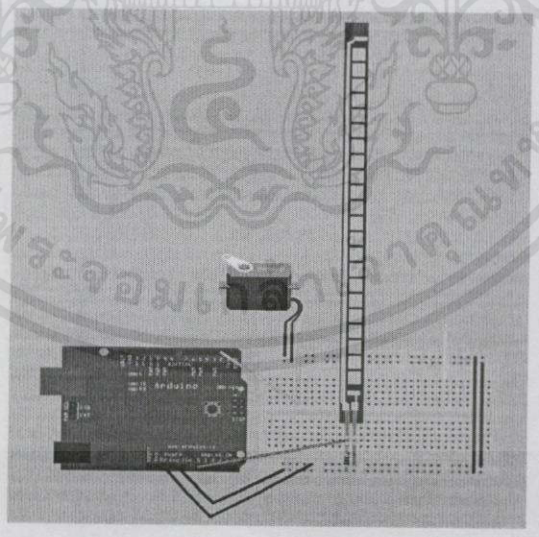
3.4.2 ออกแบบระบบควบคุมมือกล

อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมมือกล เลือกใช้อะดูโน เนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็ว และมีความเสถียรภาพของวงจรมากกว่า โดยภาษาที่ใช้เขียนควบคุมมือกลคือภาษาซี ในส่วนโปรแกรมที่เขียนสามารถดูได้ในภาคผนวก



รูปที่ 3.12 ชุดควบคุมอะดูโน

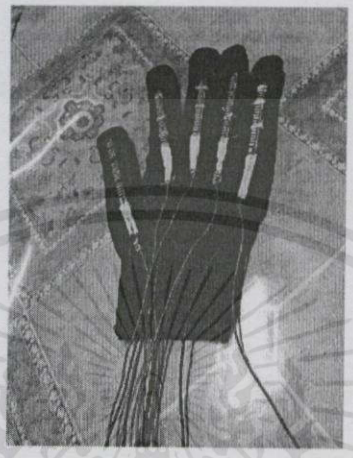
โดยหลักการทำงานควบคุมมือกลจะทำได้โดยใช้เซนเซอร์วัดความบิดงอเป็นตัววัดค่า เพื่อที่จะส่งค่าไปให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนทำงาน โดยต่อวงจรควบคุมเซนเซอร์วัดความบิดงอ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมความโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมมือกลทำได้โดย นำเซนเซอร์วัดความบิดงอและวงจรที่ได้ติดเข้ากับถุงมือโดย หลักการควบคุมมือกลคือ เมื่อเซนเซอร์วัดความบิดงอที่ติดกับถุงมือมีการบิดงอ จะส่งผลให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนทำให้มือกลบิดงอไปตามแรงบิด



รูปที่ 3.14 เซนเซอร์วัดความบิดงอที่ติดเข้ากับถุงมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

มือกลที่ทำขึ้นพร้อมทั้งป้อนโปรแกรมควบคุมขั้นต้น จะถูกนำมาทดลองเพื่อใช้งานจริง และมีการเปลี่ยนโปรแกรมควบคุมแบบต่างๆ เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการจับหรือถือในวัตถุแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยแบ่งการทดลอง ออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. การทำท่าทางของมือ
2. การหยิบจับของขนาดเล็ก
3. การหยิบจับของขนาดใหญ่
4. การหยิบจับของที่มีความเปราะบางสูง

4.1 การทำท่าทางของมือ

ทดสอบโปรแกรมควบคุมมือเบื้องต้น และการทำงานของเซนเซอร์โดยทำการทดลอง โดยให้ทำท่าแบบต่างๆ ตามมือที่ต้องการทั้งหมด 3 แบบ ดังนี้

1. แบมือตรง
2. กำมือ
3. ชูสองนิ้ว

4.1.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่ามือกลสามารถแบมือเหยียดตรงได้ แต่เมื่อมีการกำมือ ในส่วนของความลื่นไหลในการเปลี่ยนท่าทาง พบว่ามีการติดขัดช่วงข้อที่สองของนิ้วเล็กน้อย แต่ก็ยังสามารถทำท่ากำมือได้โดยที่นิ้วมือไม่ติดกับฝ่ามือ และการทำท่าทางชูสองนิ้วพบว่า มีการติดขัดในนิ้วหัวแม่มือในการขยับ และยังมีความลื่นไหลในการเปลี่ยนท่าทางมากกว่าท่ากำมืออีกด้วย ทั้งนี้ตัวเซนเซอร์วัดความบิดงอมีผลมากในการทำงานเลียบแบบท่าทางให้กับมือกล ถ้าเซนเซอร์มีการติดขัดหรือชำรุดอาจจะส่งผลให้มือกลไม่ขยับโค้งงอไปตาทิศทางที่เราต้องการ นั่นหมายความว่าเราจะไม่สามารถเปลี่ยนท่าทางของมือกลได้นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การหยิบจับของขนาดเล็ก

ทดลองโดยการหยิบจับวัตถุขนาดเล็กที่มีรูปร่างต่างกันทั้งหมด 3 สิ่ง ดังนี้

1. ปากกา
2. กล่องนม
3. เทปกาว

4.2.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าในการหยิบปากกามือกลสามารถหยิบจับปากกาได้ โดยมีความลื่นไหลปกติ เมื่อเปลี่ยนมาหยิบกล่องนมขนาดเล็กสามารถหยิบได้ปกติ และเมื่อหยิบเทปกาว โดยวัตถุมีช่องว่างขนาดใหญ่ตรงกลาง นั่นทำให้มือกลสามารถหยิบได้อย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาหยิบน้อยกว่าสองอย่างข้างต้น ดังนั้น รูปร่างของวัตถุ และตำแหน่งวัตถุก่อนหยิบมีผลมากกับการใช้เวลาในการหยิบว่ามากน้อยเพียงใด

4.3 การหยิบจับของขนาดใหญ่

ทดลองมือกลโดยการหยิบวัตถุขนาดใหญ่ 2 อย่าง ดังนี้

1. ขวดน้ำ
2. กระเป๋าเงินแบบยาว

4.3.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าสามารถหยิบขวดน้ำที่มีความแข็งแรงได้ แต่เนื่องจากเซนเซอร์มีความติดขัดเล็กน้อยในการหยิบทำให้เสียเวลาในการหยิบค่อนข้างมาก และเมื่อหยิบกระเป๋าเงินแบบยาวมือกลไม่สามารถหยิบได้ เนื่องจากมีน้ำหนักที่มาก และรูปทรงใหญ่กว่ามือมากเกินไป

4.4 การหยิบจับของที่มีความเปราะบางสูง

ทดลองหยิบจับของที่มีความเปราะบางสูง คือ ไข่ไก่

4.4.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า มือกลไม่สามารถหยิบวัตถุที่มีความเปราะบางสูง เสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแตกสลายได้ เนื่องจากไม่มีการวัดแรงที่เกิดขึ้น และแรงในการใช้หยิบวัตถุแบบเปราะบางที่จำเป็นจะต้องใช้แรงน้อย มือกลไม่สามารถควบคุมแรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการทำงานของมือกลในบทที่ 4 ในการทำท่าทางของมือ และการหยิบจับวัตถุรูปทรงและขนาดแบบต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. มือกลที่สร้างขึ้นสามารถเปลี่ยนท่าทางได้เพียงบางท่าเท่านั้นที่จะออกมาเหมือนมือจริง
2. การหยิบจับวัตถุในมือกลสามารถหยิบจับได้ ทั้งนี้ต้องขึ้นกับ รูปทรงวัตถุ ขนาดวัตถุ ความเปราะ และน้ำหนักวัตถุ เงื่อนไขเหล่านี้จะเป็นตัวแปรที่สำคัญ
3. เมื่อวัตถุมีน้ำหนักเบา และไม่เปราะ มือกลสามารถหยิบจับได้
4. เมื่อวัตถุมีน้ำหนักเบา แต่เปราะ มือกลไม่สามารถหยิบได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการควบคุมแรงที่เข้าจับวัตถุยังไม่สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. เมื่อวัตถุมีน้ำหนักมาก และไม่เปราะ มือกลสามารถหยิบจับได้ แต่วัตถุที่มีน้ำหนักมากสูงสุดของมือกลที่สามารถถือไว้ได้ อยู่ที่ 1.5 กิโลกรัม
6. รูปทรงต่างๆ ของวัตถุ ถ้าเป็นรูปทรงที่มีเหลี่ยมมุม มือกลจะสามารถหยิบจับได้รวดเร็วกว่าวัตถุที่เป็นทรงโค้งมน
7. วัตถุที่มีความหนามากกว่า มือกลจะสามารถหยิบจับได้ง่ายกว่าวัตถุที่มีความหนาน้อย

ทั้งนี้มือกลที่สร้างขึ้นเป็นเพียงแบบจำลองในการนำไปใช้งานจริงเท่านั้น โดยที่มือกลที่สร้างขึ้นยังคงมีปัญหาหลายอย่างที่ต้องได้รับการแก้ไข เพื่อที่จะสามารถนำมือกลไปใช้งานได้อย่างสมจริงที่สุด

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหา

5.2.1 ปัญหาที่พบ

1. ในการใช้เครื่องพิมพ์สามมิติในการพิมพ์โครงสร้างมือกลนั้น อาจพบปัญหาขัดข้องได้ตลอดเวลา ทำให้เสียเวลาเป็นอย่างมากในการแก้ไข และความละเอียดในการพิมพ์ก็มีผลต่อโครงสร้างเป็นเช่นกัน เนื่องจากอาจมีเศษพลาสติกที่เป็นความผิดพลาดของเครื่องพิมพ์สามมิติ ติดหรือหลุดออกไปจากชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานนั้นไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ และอาจจะทำให้เกิดปัญหาอย่างอื่นตามมาภายหลังได้
2. ชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนมีขนาดเล็กทำให้มีความผิดพลาดได้ง่าย เช่น การขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย เพื่อเพิ่มความเรียบกับตัวชิ้นงาน เมื่อบางส่วนชิ้นงานมีขนาดเล็กยากต่อการเข้าถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลให้ส่วนนั้นๆ ไม่ได้รับการขัดเรียบอย่างทั่วถึง อีกทั้งในบางชิ้นส่วนเมื่อมีขนาดเล็ก แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนนั้นเมื่อทำการขัดอาจจะมีมากเกินไป ส่งผลให้ชิ้นงานนั้นมีขนาดบางลงกว่าที่ควรจะเป็น

3. ขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เพลา น็อต และแบริ่ง ในท้องตลาดขนาดที่ต้องการใช้หาซื้อได้ยาก ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องทำการตัด เจีย ด้วยตนเอง ซึ่งอาจจะส่งผลให้มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้มากกว่า

4. ในส่วนของเซนเซอร์วัดความบิดงอ เมื่อนำมาติดเข้ากับถุงมือ มุมที่เซนเซอร์บิดงออาจมีค่าผิดไป เนื่องจากตำแหน่งในการวางเซนเซอร์วัดความบิดงอบนถุงมือ ส่งผลให้มือกลอาจมีการเคลื่อนที่ผิดเพี้ยนไปด้วย

5. เนื่องจากมือกลที่ได้ทำจากวัสดุพลาสติกทำให้ไม่มีความเหนียวบนฝ่ามือเหมือนกับมือจริง ดังนั้นเมื่อจับวัตถุบางชนิดวัตถุจะไม่สามารถยึดติดบนลงฝ่ามือได้

6. ในการสร้างชิ้นงานนี้อุปกรณ์หลายส่วนมีราคาสูง

7. ในการออกแบบชิ้นงานเมื่อทดลองทำในหลายส่วนแยกกัน เช่น การออกแบบ การประกอบ การทดลองต่อวงจร เมื่อนำมารวมกันในตอนสุดท้าย ปัญหาการเชื่อมต่อจะพบมากกว่าการทำทีละขั้น

8. เมื่อใช้เซอร์โวมอเตอร์หมุนเพื่อดึง รัศมีของเซอร์โวมอเตอร์ไม่พอที่จะดึงนิ้วมือให้เคลื่อนที่เป็นไปตามที่ต้องการ

5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. ออกแบบโดยคำนวณค่าความผิดพลาดเผื่อ โดยขึ้นกับค่าความผิดพลาดของเครื่องพิมพ์สามมิติในแต่ละเครื่อง

2. ในส่วนชิ้นงาน ส่วนไหนที่มีขนาดช่องว่างเล็กเกินไป จำเป็นจะต้องแก้การออกแบบเพื่อให้ช่องว่างนั้นๆ มีการขยายมากขึ้น

3. ในส่วนของการขัด ตัด หรือ เจีย ศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเพื่อที่จะกระทำได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และเพื่อให้เกิดความผิดพลาดตามมาให้น้อยที่สุด

4. ทดลองหาตำแหน่งเซนเซอร์วัดความบิดงอที่ติดเข้ากับถุงมือ โดยทำการทดลองหลายครั้งเพื่อให้ได้ค่าต้านทานที่ต้องการ และทำให้นิ้วมือมีการงอในรูปร่างที่ต้องการมากที่สุด

5. หาอุปกรณ์ หรือวัสดุเพิ่มเติม มาติดลงบนมือกล เช่น ยางเหลว ที่เมื่อนำไปใความร้อนจะเหนียวติด

6. ใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างประหยัด และนำสิ่งของกลับมาใช้ใหม่ให้มากที่สุด

7. จัดการทำงานให้เป็นขั้นเป็นตอน มีการวางแผนทุกครั้งก่อนเริ่มทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เมื่อเซอร์โวมอเตอร์รัศมีการบิดไม่พอเท่าที่ต้องการ สามารถเพิ่มรัศมีโดยการเพิ่มน็อตติดเข้าไปในเซอร์โวมอเตอร์

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

สำหรับข้อเสนอและแนวการพัฒนาเราจะเห็นได้ว่า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นบางอย่างมีข้อจำกัดเกี่ยวกับอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์ที่ดีมักจะมีราคาที่สูง ดังนั้นโครงงานนี้เป็นเพียงแบบจำลองของโครงสร้างมือกลที่ออกแบบเองเพื่อให้รับกับอุปกรณ์ที่สามารถหาได้เท่านั้น อีกทั้งการหยิบจับวัตถุ มือกลจำลองยังไม่สามรถหยิบได้ โดยเฉพาะวัตถุที่หนัก และเปราะบาง สามารถพัฒนาได้ในอนาคต โดยสามารถติดเครื่องวัดแรงไว้ที่มือกล หรืออาจจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของมือที่ใช้งานได้อย่างลื่นไหลมากกว่า ในอนาคตมือกลที่สร้างจากเครื่องพิมพ์สามมิตินี้อาจจะเป็นที่แพร่หลายในไทย การพัฒนามือกลในลักษณะนี้ต้องมีขึ้นอย่างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **"Mechanical Hand"** (Online). Available :

http://www.openhandproject.org/

[2] **"Flex Sensor"** (Online). Available :

https://yoduino.files.wordpress.com/2011/07/screen-capture-1.jpg

[3] **"Arduino"** (Online). Available :

http://arduino.cc

[4] **"Servo Motor"** (Online). Available :

http://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor

[5] **"เพลา"** (Online). Available.

http://kingamuletcenter.blogspot.com

[6] **"แบริ่ง"** (Online). Available :

http://eng.sut.ac.th/ae/engsut/sites/default/files/AMD7.1_RollingBearing.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมมือกล

HandController

```
#include <Servo.h>

int flexSensorPin1 = A1; //analog pin 1

int flexSensorPin2 = A2; //analog pin 2

int flexSensorPin3 = A3; //analog pin 3

int flexSensorPin4 = A4; //analog pin 3

int flexSensorPin5 = A5; //analog pin 5

Servo sv1;  //servo1

Servo sv2;  //servo2

Servo sv3;  //servo3

Servo sv4;  //servo4

Servo sv5;  //servo5

int potpin1 = 0;    // analog 1

int val1;           // var read 1

int potpin2 = 0;    // analog 2

int val2;           // var read 2

int potpin3 = 0;    // analog 3

int val3;           // var read 3

int potpin4 = 0;    // analog 4

int val4;           // var read 4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int potpin5 = 0;    // analog 5
int val5;           // var read 5
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  sv1.attach(3);  // attach sv 1 to digi 3
  sv2.attach(4);  // attach sv 2 to digi 4
  sv3.attach(5);  // attach sv 3 to digi 5
  sv4.attach(6);  // attach sv 4 to digi 6
  sv5.attach(7);  // attach sv 5 to digi 7
 }
void loop(){
  val1 = analogRead(potpin1);            // reads the value of flex sensor
  val1 = map(val1, 210, 155, 10, 100);     // scale it to use it with the servo ( angle )
  sv1.write(val1);                  // sets the servo position according to the scaled value
  val2 = analogRead(potpin2);            // reads the value of flex sensor
  val2 = map(val2, 243, 122, 10, 100);     // scale it to use it with the servo ( angle )
  sv2.write(val2);                  // sets the servo position according to the scaled value
  val3 = analogRead(potpin2);            // reads the value of flex sensor
  val3 = map(val3, 250, 130, 10, 100);     // scale it to use it with the servo ( angle )
  sv3.write(val3);                  // sets the servo position according to the scaled value
  val4 = analogRead(potpin4);            // reads the value of flex sensor
  val4 = map(val4, 233, 114, 10, 100);     // scale it to use it with the servo ( angle )
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

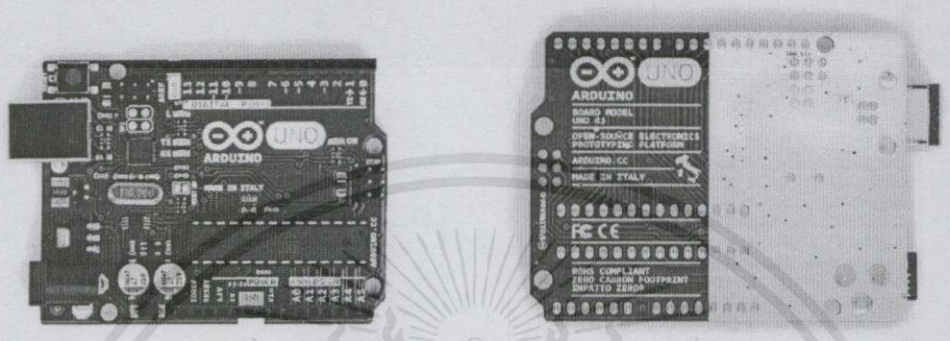
```
  sv4.write(val4);              // sets the servo position according to the scaled value
  val5 = analogRead(potpin5);          // reads the value of flex sensor
  val5 = map(val5, 122, 253, 10, 100);    // scale it to use it with the servo ( angle )
  sv5.write(val5);              // sets the servo position according to the scaled value
  delay(15);     // waits for the servo to get there
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

Arduino Uno R3



The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 . It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

Revision 2 of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

Revision 3 of the board has the following new features:

1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible with both the board that uses the AVR, which operates with 5V and with the Arduino Due that

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

operates with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.

Stronger RESET circuit.

Atmega 16U2 replace the 8U2.

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

The power pins are as follows:

VIN. The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5V.This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.

3V3. A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.

GND. Ground pins.

IOREF. This pin on the Arduino board provides the voltage reference with which the microcontroller operates. A properly configured shield can read the IOREF pin voltage and select the appropriate power source or enable voltage translators on the outputs for working with the 5V or 3.3V.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using pinMode(), digitalWrite(), and digitalRead() functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

Serial: 0 (RX) and 1 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.

External Interrupts: 2 and 3. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the attachInterrupt() function for details.

PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Provide 8-bit PWM output with the analogWrite() function.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). These pins support SPI communication using the SPI library.

LED: 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the analogReference() function. Additionally, some pins have specialized functionality:

TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin. Support TWI communication using the Wire library.

There are a couple of other pins on the board:

AREF. Reference voltage for the analog inputs. Used with analogReference().

Reset. Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the mapping between Arduino pins and ATmega328 ports. The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, a .inf file is required. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A SoftwareSerial library allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the documentation for details. For SPI communication, use the SPI library.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software (download). Select "Arduino Uno from the Tools > Board menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the reference and tutorials.

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol (reference, C header files).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header using Arduino ISP or similar; see these instructions for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available . The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.

On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

You can then use Atmel's FLIP software (Windows) or the DFU programmer (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See this user-contributed tutorial for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see this forum thread for details.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino Uno R3 Schematic

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE
Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them.
The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.

ARDUINO is a registered trademark.

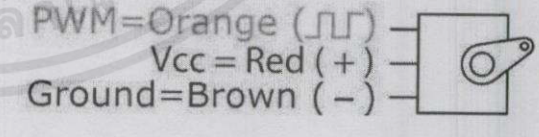
Use of the ARDUINO name must be compliant with http://www.arduino.cc/en/Main/Policy

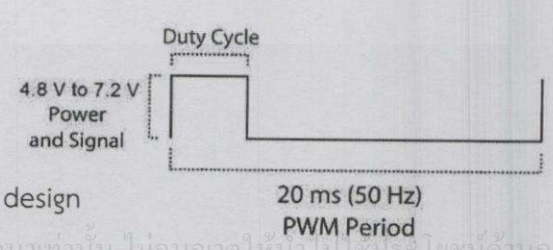
MG Tower Pro 996R

This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kgstalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec. This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

Specifications

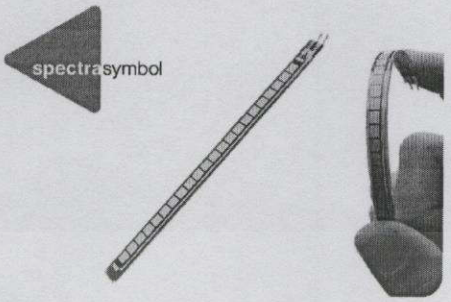
- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 µs
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flex Sensor Datasheet



FLEX SENSOR FS

Features

- Angle Displacement Measurement
- Bends and Flexes physically with motion device
- Possible Uses
  - Robotics
  - Gaming (Virtual Motion)
  - Medical Devices
  - Computer Peripherals
  - Musical Instruments
  - Physical Therapy
- Simple Construction
- Low Profile

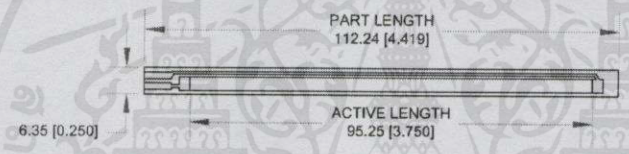
Mechanical Specifications

-Life Cycle: >1 million
-Height: ≤0.43mm (0.017")
-Temperature Range: -35°C to +80°C

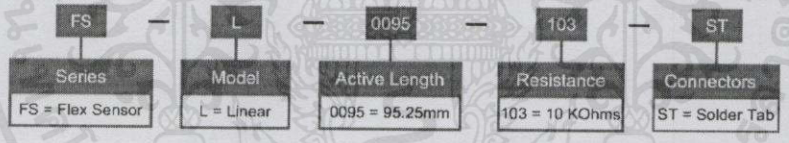
Electrical Specifications

-Flat Resistance: 10K Ohms ±30%
-Bend Resistance: minimum 2 times greater than the flat resistance at 180° pinch bend *(see "How it Works" below)*
-Power Rating : 0.5 Watts continuous; 1 Watt Peak

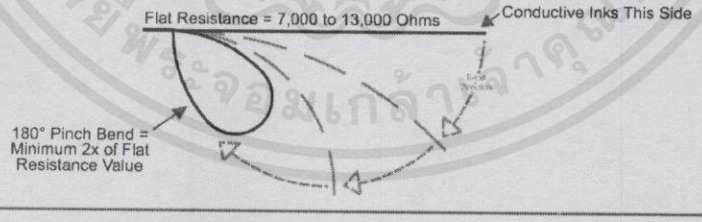
Dimensional Diagram - Stock Flex Sensor



How to Order - Stock Flex Sensor



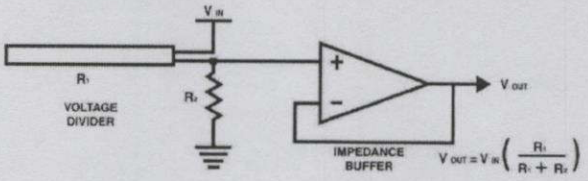
How It Works



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematics

BASIC FLEX SENSOR CIRCUIT:

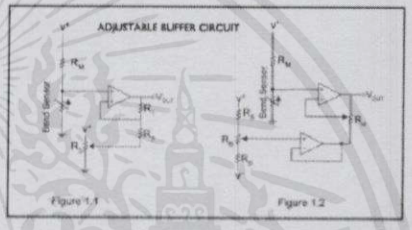


Following are notes from the ITP Flex Sensor Workshop

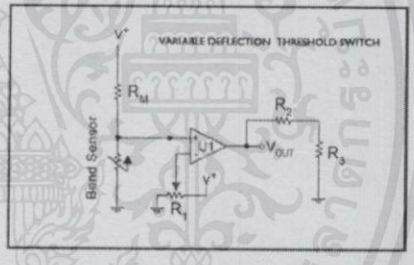
"The impedance buffer in the [Basic Flex Sensor Circuit] (above) is a single sided operational amplifier, used with these sensors because the low bias current of the op amp reduces error due to source impedance of the flex sensor as voltage divider. Suggested op amps are the LM358 or LM324."

"You can also test your flex sensor using the simplest circut, and skip the op amp."

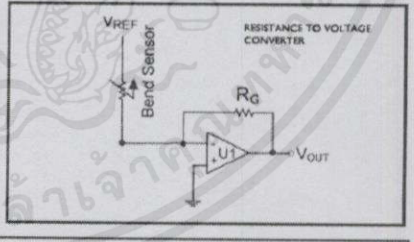
"Adjustable Buffer - a potentiometer can be added to the circuit to adjust the sensitivity range."



"Variable Deflection Threshold Switch - an op amp is used and outputs either high or low depending on the voltage of the inverting input. In this way you can use the flex sensor as a switch without going through a microcontroller."



"Resistance to Voltage Converter - use the sensor as the input of a resistance to voltage converter using a dual sided supply op-amp. A negative reference voltage will give a positive output. Should be used in situations when you want output at a low degree of bending."



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maker Bot Replicator 2 Datasheet

MAKERBOT: SETTING THE STANDARD IN DESKTOP 3D PRINTING

MAKERBOT® REPLICATOR® 2X

EXPERIMENTAL 3D PRINTER

EXPERIMENT WITH DUAL EXTRUSION

- Be ready for cutting-edge developments in filament technology and multi-material 3D printing
- Add a new level of creativity to your 3D designs with interlaced colors
- Print in two colors through precisely aligned dual nozzles, without swapping filament or pausing your print
- Experiment with overhangs and internal structures using MakerBot Dissolvable Filament as solid infill material
- Completely reengineered, constant-force filament feeding system
- New thermal core design stabilizes the internal extruder temperature for more reliable prints

OPTIMIZED FOR PRINTING WITH MAKERBOT ABS FILAMENT

- MakerBot ABS filament is a ductile petroleum-based thermoplastic filament with elastic deformation properties that make it good for snaps, living hinges, and threadability
- Superflat heated aluminum build plate is optimized for ABS:
  - Machined for crucial flatness to prevent warping or sagging that can affect build quality
  - Anodized for longevity and durability
  - Heated accurately and evenly with better temperature control
- Six-sided enclosure stabilizes ABS cooling:
  - Draft-blocking enclosure helps reduce uneven cooling, shrinking, and cracking
  - Magnetic lid snaps on and off for easy access
  - Clear-view top and sides let you monitor your progress and see the action
  - Friction-hinge door stays where you put it for easy and fast print retrieval

WORLD-CLASS 100-MICRON LAYER RESOLUTION

- Create professional-quality, high-resolution prototypes and complex models
- Get smooth-to-the-touch surfaces that don't need sanding, finishing, or post-production
- Create realistic prototypes and models for demonstrations and presentations
- Choose settings that range from fast draft to finer resolution

SPECIFICATIONS

PRINTING

PRINT TECHNOLOGY
Fused Deposition Modeling

BUILD VOLUME
24.6 W x 15.2 D x 15.5 H cm
(9.7 W x 6.0 D x 6.1 H in)

5796 cubic centimeters
(355 cubic inches)

LAYER RESOLUTION
100 microns (0.0039 in)

FILAMENT DIAMETER
1.75 mm (0.069 in)

FILAMENT COMPATIBILITY
MakerBot ABS Filament
MakerBot Dissolvable Filament

BUILD PLATE
Heated, Black Anodized Aluminum

SIZE & WEIGHT

PRODUCT DIMENSIONS
WITHOUT SPOOL
49 W x 32 D x 53.1 H cm
(19.1 W x 12.8 D x 20.9 H in)

WITH SPOOL
49 W x 42 D x 53.1 H cm
(19.1 W x 16.5 D x 20.9 H in)

PRODUCT WEIGHT
12.6 kg (27.8 lbs)

ELECTRICAL

POWER REQUIREMENTS
100-240V AC, 50-60 HZ

SOFTWARE

FILE TYPES
STL | OBJ | THING

OPERATING SYSTEMS
Windows (7+)
Mac OS X (10.7+)
Linux (Ubuntu 12.04+)

CONNECTIVITY
USB and SD Card
(Both Included)

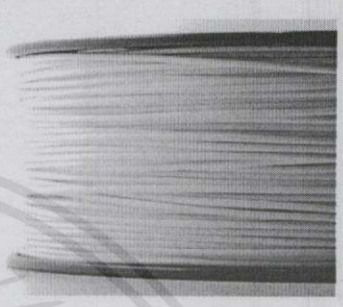
ORDER NOW makerbot.com/replicator2X
CALL FOR INFORMATION +1.347.334.6800
EXPLORE thingiverse.com
GET INSPIRED digitalstore.makerbot.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLA Filament Datasheet

robox

PLA Filament - Polar White RBX-PLA-WH170



CEL	RBX-PLA-WH170 PLA FILAMENT - POLAR WHITE
Product Code	RBX-PLA-WH170
Weight for shipping (kg)	0.95
Product Name	RBX-PLA-WH170 Polar White
Description	A full reel of high quality PLA Filament - Polar White Each reel is sealed in a reusable zip lock bag with a sachet of silica gel to control moisture. The bag is then placed in a sturdy windowed box for shipping. Included on the reel is an eeprom which can be read by a Robox® device. The eeprom stores data on the material and statistics of use.
Filament diameter	1.75mm
Length (metres approx.)	240
Weight (grams approx.)	700
Compatibility	Compatible with any printer which accepts 1.75mm filament. The Eeprom requires a reader which is fitted to all Robox® units.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้