# แขนกลประดิษฐ์

# HUMAN ROBOTICS ARM

ธนกร สงครามสุข
จิรัสย์ เกษร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

# แขนกลประดิษฐ์

# HUMAN ROBOTICS ARM

ธนกร สงครามสุข

จิรัสย์ เกษร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HUMAN ROBOTICS ARM

THANAKORN SONGKRAMSOOK

JIRATH KESORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

*OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF*

BACHELOR OF ENGINEERING INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** แขนกลประดิษฐ์

HUMAN ROBOTICS ARM

**นักศึกษาผู้จัดทำ** นายธนากร สงครามสุข **รหัสนักศึกษา** 58010484

นายจิรัสย์ เกษร **รหัสนักศึกษา** 58010197

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมการวัดคุม

**ปีการศึกษา** 2561

| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
| --- | --- |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒนะ | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** แขนกลประดิษฐ์

HUMAN ROBOTICS ARM

**นักศึกษาผู้จัดทำ** นาย ธนากร สงครามสุข รหัสนักศึกษา 58010484

นาย จิรัสย์ เกษร รหัสนักศึกษา 58010197

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ ธรรมารักษ์วัฒนะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงชัย วีระทวีมาศ

**ปีการศึกษา** 2561

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และพัฒนาแขนกลที่ใช้งานแทนมือมนุษย์ เพื่อใช้หยิบจับวัสดุสิ่งของ ที่เป็นอันตรายและมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสูงรวมถึงสามารถช่วยเหลือผู้ที่บกพร่องในการใช้มือ ให้สามารถดำเนินกิจกรรมได้เหมือนหรือใกล้เคียงคนปกติ โดยที่เราศึกษาการทำงาน ของ EMG Sensor ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่วัดศักย์ไฟฟ้าจากการขยับกล้ามเนื้อ โดยศึกษาทั้งการใช้งานปัจจัยที่มีผลต่อตัวเซนเซอร์ผลลัพธ์ที่ออกมาในรูปแบบของสัญญาณ และศึกษารูปแบบของสัญญาณเพื่อที่เราจะนำสัญญาณที่ได้มาเขียนโปรแกรมควบคุมแขนกลโดยใช้ ArduinoMega2560 เป็นตัวประมวลผลสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์แล้วสั่งการไปยังเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อสั่งการให้นิ้วมือขยับตามคำสั่งที่เราโปรแกรมไว้ในส่วนของแขนกลเราใช้การขึ้นรูปโดยใช้เครื่อง 3DPrinter พิมพ์ส่วนประกอบของแขนกลแล้วนำมาประกอบกันเป็นอุปกรณ์แขนกลประดิษฐ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ .

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | HUMAN ROBOTICS ARM |
| **Authors** | Mr. Thanakorn Songkramsook |
| | Mr. Jirath Kesorn |
| **Thesis Advisor** | Asst.prof. Narin Tammarugwattana |
| | Assoc. Songchai Weerathaweemas |
| **Year** | 2018 |


## ABSTRACT

The objective of this research is to study and develop robotics arm instead of human hand to catch objects that dangerous and high-risk situation of injury include help a person with differently abled by hand. In principle of EMG sensor (Electromyography sensor). It is electric potential sensor from nerve and muscle signal. By study both the use of factors that that affect the sensor and result of signal pattern and study signal pattern to programming robotic arm by Arduino Mega2560 as a signal processor and then direct servo motor to pull robot finger by following a program instruction. Robotic arm was printed by 3Dprinter as a parts and assembly all of component to human robotics arm.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันเนื่องจากความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. นรินทร์ ธรรมารักษ์วฒนะ และ รศ. ทรงชัย วีระทวีมาศ ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้ารวมถึงสนับสนุนอุปกรณ์สำหรับทำแขนกลสำหรับผู้พิการตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษาจัดทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณผู้แต่งหนังสือ เอกสารอ้างอิง และเว็บไซต์ต่างๆ คณะผู้จัดทำได้นำมาใช้อ้างอิงประกอบการศึกษา และจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

**บทที่ 1 บทนำ**.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....1

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์.....2

**บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**.....3

2.1 ระบบการเคลื่อนไหวและกล้ามเนื้อ.....3

2.1.1 กลไกการทำงาน.....3

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า.....3

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี.....3

2.1.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวกับการหดตัว.....4

2.1.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวกับการใช้พลังงาน.....4

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง.....5

2.1.5 การเปลี่ยนแปลงเชิงกล.....5

2.1.5.1 ชนิดของการหดตัวเชิงกล.....5




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.1.6 หน่วยยนต์ (motor unit).....6
2.2 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ.....6
2.3 การตรวจกล้ามเนื้อและเส้นประสาทด้วยไฟฟ้า.....7
2.3.1 เซนเซอร์ตรวจวัดกล้ามเนื้ออีเอ็มจี.....7
2.3.1.1 อิเล็กโทรด.....8
2.3.1.2 ส่วนขยายสัญญาณ (amplifier).....9
2.3.2 การปรับสัญญาณอีเอ็มจี.....9
2.4 Arduino.....10
2.5 3D Printed.....10
2.5.1 3D Printer.....10
2.5.2 เครื่องปริ้นสามมิติทำงานอย่างไร.....11
2.5.3 ฟิลาเมนต์การพิมพ์แบบ 3 มิติ.....11
2.5.4 คุณสมบัติของเส้น ABS และ PLA.....11
2.5.5 ขนาดและความแม่นยำ.....12
2.5.6 การเลือกใช้เส้นพลาสติกสำหรับ 3D Printer.....13

**บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....14**
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....14
3.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง.....14
3.2.1 MyoWare Muscle Sensor.....14
3.2.2 Arduino bord – mega 2560.....18
3.2.3 Servo motor.....20
3.3 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง.....21
3.3.1 Arduino IDE.....21




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


3.3.2 XYZware....21

3.4 การออกแบบและวางแผนการทำงาน....22

3.4.1 การวางแผนและออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์....22

3.4.2 การวางแผนและออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์....22

3.5 วิธีการดำเนินงาน....22

3.5.1 การหาตำแหน่งสัญญาณ....22

3.5.2 การทดสอบหาตำแหน่ง....27

3.5.3 เก็บข้อมูลและวิเคราะห์สัญญาณแต่ละนิ้ว....32

3.5.4 การสร้างแขนกล....38

3.5.4 การสร้างแขนกล....39

3.5.5.1 การพิมพ์แบบแขนกล....39

3.5.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้....43

3.5.5.3 การประกอบรวมกันอุปกรณ์ต่างๆ....44

**บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน....48**

4.1 ผลการออกแบบ....48

4.2 ผลการตอบสนองของสัญญาณ....51

4.3 ผลการหยิบจับสิ่งของ....55

**บทที่ 5 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ....56**

5.1 บทวิจารณ์และสรุปผลการดำเนินงาน....56

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน....57

5.3 แนวทางการแก้ไข....57

**บรรณานุกรม....58**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

**ภาคผนวก**.....60

ภาคผนวก ก.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


**ตารางที่** **หน้า**

2.1 ศักย์ไฟฟ้าและความถี่ที่ตอบสนองของสัญญาณไฟฟ้าสมอง หัวใจ และกล้ามเนื้อ.....7

3.1 ข้อมูลจำเพาะของ MyoWare Muscle Sensor.....17

3.2 สัญญาณที่ได้รับจากการตรวจวัดกล้ามเนื้อในแต่ละตำแหน่ง 10 ครั้ง.....27

3.3 ตัวอย่างค่าสัญญาณจากการตรวจวัดโดยใช้เซนเซอร์ 2 ตัวจาก 2 ตำแหน่ง.....34

4.1 สัญญาณที่ได้จากการขยับนิ้วโป้ง 5 รอบ รอบละ 10 ครั้ง.....51

4.2 สัญญาณที่ได้จากการขยับนิ้วชี้ 5 รอบ รอบละ 10 ครั้ง.....52

4.3 สัญญาณนิ้วกลางได้จะการขยับ 5 รอบ รอบละ 10 ครั้ง.....53

4.4 สัญญาณการกำมือที่ได้จะการขยับ 5 รอบ รอบละ 10 ครั้ง.....54

4.5 การหยิบจับวัตถุหรือสิ่งของด้วยแขนเทียม.....55




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | การปรับสัญญาณ EMG จาก Raw signal มาเป็น Integrated EMG signal | 7 |
| 2.2 | ลักษณะของอิเล็กโทรดที่ใช้บันทึกสัญญาณอีเอ็มจี | 8 |
| 2.3 | การปรับสัญญาณอีเอ็มจี | 9 |
| 2.4 | ฟิลาเมนต์การพิมพ์แบบ 3 มิติ | 11 |
| 3.1 | MyoWare Muscle Sensor | 14 |
| 3.2 | การติดตั้งที่ 1 | 15 |
| 3.3 | การติดตั้งที่ 2 | 15 |
| 3.4 | การติดตั้งที่ 3 | 16 |
| 3.5 | การติดตั้งที่ 4 | 16 |
| 3.6 | Arduino board – mega 2560 | 18 |
| 3.7 | Servo motor MG 996R | 20 |
| 3.8 | โปรแกรม arduino IDE | 21 |
| 3.9 | โปรแกรม XYZware | 21 |
| 3.10 | สัญญาณ Raw EMG เมื่อติดในตำแหน่งต่างๆ | 23 |
| 3.11 | กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม โปรฟันดัส | 24 |
| 3.12 | กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ พอลิซิส ลองกัส | 25 |
| 3.13 | กล้ามเนื้อซุเปอร์ฟิเชียลิส เฟลกเซอร์ | 26 |
| 3.14 | ตัวอย่างสัญญาณนิ้วโป้ง | 32 |
| 3.15 | ตัวอย่างสัญญาณนิ้วชี้ | 32 |
| 3.16 | ตัวอย่างสัญญาณนิ้วกลาง | 33 |
| 3.17 | ตัวอย่างสัญญาณนิ้วนาง | 33 |
| 3.18 | ตัวอย่างสัญญาณนิ้วก้อย | 33 |
| 3.19 | ตัวอย่างสัญญาณนิ้วโป้ง | 33 |
| 3.20 | Flow chart ของระบบ | 38 |
| 3.21 | แขนกลที่ออกแบบโดย Ryan Gross | 39 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3.22 | ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของข้อนิ้วมือ | 40 |
| 3.23 | ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของฝ่ามือ | 40 |
| 3.24 | ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของข้อนิ้วใหม่ของนิ้วโป้ง | 41 |
| 3.25 | ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของตัวเชื่อมข้อมือ | 41 |
| 3.26 | ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของแขน | 42 |
| 3.27 | ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของข้อศอก | 42 |
| 3.28 | ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของตัววางเซอร์โวมอเตอร์ | 43 |
| 3.29 | ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของตัวเชื่อมระหว่างเอ็นกับเซอร์โวมอเตอร์ | 43 |
| 3.30 | การประกอบแขนกลขั้นตอนที่ 1 | 44 |
| 3.31 | การประกอบแขนกลขั้นตอนที่ 2 | 44 |
| 3.32 | การประกอบแขนกลขั้นตอนที่ 3 | 45 |
| 3.33 | การประกอบแขนกลขั้นตอนที่ 4 | 45 |
| 3.34 | การประกอบแขนกลขั้นตอนที่ 5 | 46 |
| 3.35 | การประกอบแขนกลขั้นตอนที่ 6 | 46 |
| 3.36 | การประกอบแขนกลขั้นตอนที่ 7 | 47 |
| 3.37 | การประกอบแขนกลขั้นตอนที่ 8 | 47 |
| 4.1 | แขนกลประดิษฐ์ | 48 |
| 4.2 | การตอบสนองของแขนเทียมต่อการขยับนิ้วโป้ง | 49 |
| 4.3 | การตอบสนองของแขนเทียมต่อการขยับนิ้วชี้ | 49 |
| 4.4 | การตอบสนองของแขนเทียมต่อการขยับนิ้วกลาง | 50 |
| 4.5 | การตอบสนองแขนเทียมต่อการกำมือ | 50 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องด้วยคณะผู้วิจัยเล็งเห็นถึงปัญหาของการหยิบจับวัสดุสิ่งของที่เป็นวัตถุอันตราย หรือมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดอันตราย และผู้พิการที่ไม่สามารถใช้งานมือได้เต็มประสิทธิภาพหรือมีมือที่ไร้สมรรถภาพ จึงต้องการที่จะสร้างอุปกรณ์แกนกล เพื่อช่วยเหลือ และแก้ปัญหาให้สามารถใช้งานมือได้ดีกว่าไม่มากก็น้อย โดยทำการศึกษาการนำสัญญาณจากกล้ามเนื้อจากทางการแพทย์แล้วจึงประยุกต์ใช้ให้เข้ากับทางวิศวกรรม ซึ่งปัจจุบันได้มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่พยายามสร้างเครื่องมือขึ้นมาใช้งานดังกล่าว ตลอดจนช่วยเหลือบุคคลที่พิการขึ้นเรื่อยๆ โดยทางผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและช่วยเหลือบุคคล เหล่านั้นได้

ทั้งนี้ปัจจัยหลักที่จะเป็นตัวขับเคลื่อนงานวิจัยนี้คือ การตรวจการทำงานของประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า เนื่องจากโดยปกติแล้วการสั่งการขยับของกล้ามเนื้อจะมีสัญญาณไฟฟ้าในปริมาณเล็กน้อยมากใน ตอนที่ขยับกล้ามเนื้อต่างๆ จึงได้นำหลักการการตรวจประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้านี้มาใช้งาน

ด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวข้างต้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่เป็นการออกแบบ และสร้างต้นแบบแขนเทียมที่สั่งการโดยสัญญาณศักย์ไฟฟ้าในร่างกาย ที่ปรับเปลี่ยนไปตามการขยับของกล้ามเนื้อโดยจากงานวิจัยนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า จะช่วยพัฒนาเทคโนโลยีด้านการหยิบจับที่สามารถช่วยเหลือผู้ปฏิบัติงานที่มีความเสี่ยงสูงและผู้พิการได้ไม่มากก็น้อย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

สามารถสร้างแขนกลและใช้โปรแกรมควบคุมแขนกลให้ขยับได้ตามสัญญาณจากเซนเซอร์ที่ติดไว้ที่แขนได้อย่างถูกต้อง

## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษารูปแบบโครงสร้างแขนกลและสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมแขนกลได้
2. ศึกษาเซนเซอร์และสามารถใช้เซนเซอร์ตรวจวัดศักย์ไฟฟ้าที่แขนได้
3. สามารถนำสัญญาณจากเซนเซอร์มาควบคุมแขนกลให้ขยับได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้วัดสัญญาณกล้ามเนื้อ
3. ออกแบบการทำงานของอุปกรณ์
4. จัดหาอุปกรณ์
5. ทดลองอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้วัดสัญญาณกล้ามเนื้อ
6. ประมวลผลและเขียนโปรแกรมอุปกรณ์
7. ปริ้นโมเดลแขนเทียม 3 มิติ
8. ประกอบอุปกรณ์ทุกอย่างเข้ากับแขนเทียม

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ฝึกวางแผนและการแก้ปัญหาต่างๆ ในระหว่างการทำโครงงาน
2. มีทักษะด้านการออกแบบ การเขียนโปรแกรมเพิ่มขึ้น
3. บูรณาการความรู้ต่างๆ ที่ได้เรียนมา ประยุกต์ใช้ให้มีความเหมาะสมกับการทำโครงงาน
4. ได้เครื่องต้นแบบอุโมงค์ลมจำลองเลียนแบบความเร็วลมตามธรรมชาติ
5. สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการศึกษาและทดสอบผลกระทบของลมที่มีต่อชิ้นงานต่างๆ

## 1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำเป็นการกล่าวนำถึงปัญหา และที่มาของปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์ ขอบเขตของโครงงาน ขั้นตอนการดำเนินงานประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและรายละเอียดของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ อุปกรณ์ และความรู้ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

บทที่ 5 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ระบบการเคลื่อนไหวและกล้ามเนื้อ [1]

### 2.1.1 กลไกการทำงาน

กล้ามเนื้อลายเป็นอวัยวะใหญ่ในการทำงาน ต้องได้รับคำสั่งมาจากระบบประสาทกลาง และ เพื่อให้การแผ่คำสั่งไปได้กว้างขวางและรวดเร็วจึงต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าทั้งการทำงานต้องอาศัยพลังงานอย่างมาก เพราะฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจึงมีความสำคัญไม่น้อยหลังจากนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างแล้วตามด้วยการเปลี่ยนแปลงเชิงกล อย่างไรก็ดีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ไม่ได้เป็นไปตามลำดับขั้นที่เดียว ในแต่ละแบบก็จะมีการเหลื่อมล้ำกันบ้าง

### 2.1.2 การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า

เมื่อมี"คำสั่ง"ผ่านจุดประสานระหว่างประสาทกับกล้ามเนื้อจะมีการดีโปลาไรซ์* ที่เยื่อหุ้มกล้ามเนื้อแล้วแผ่ไปตามเยื่อหุ้มกล้ามเนื้อด้วยความเร็วประมาณ 5 เมตร/วินาที เยื่อหุ้มกล้ามเนื้อมีศักย์ไฟฟ้า ในภาวะปกติเช่นเดียวกับประสาทคือภายในเป็นลบมากกว่าภายนอก 70 มิลลิโวลท์ มีข้อแตกต่างอย่างหนึ่งคือ ความจุไฟฟ้าของเยื่อหุ้มกล้ามเนื้อสูงกว่าประมาณ 5 ไมโครฟารัด/ตารางเซนติเมตร (ประสาทมีเพียง 2 ไมโครฟารัด/ตารางเซนติเมตร) ค่าที่สูงกว่าเนื่องมาจาก ซาร์โคพลาสมิกเรติคูลัม (sarcoplasmic/reticulum) ซึ่งมีหลอดฝอย(transverse/tubule) ติดต่อกับพื้นหน้าของเยื่อหุ้มเมื่อคลื่นดีโปลาไรซ์แผ่ถึงหลอดฝอยนี้จะดีโปลาไรซ์ แล้วปล่อยแคลเซียมไอออนออกมาจากนั้นก็เข้าสู่การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

*ดีโปลาไรซ์ หรือ ภาวะกลับขั้ว (Depolarization) คือ ภาวะที่เกิดการกระตุ้น จนถึงระดับ threshold ทำให้โซเดียมเข้าสู่ภายในเซลได้ จึงกลับขั้วจาก - เป็น + เกิด Nerve impulse. ภาวะคืนขั้ว (Repolarization) ช่องที่ให้ โซเดียมเข้าปิด เซลขับโพแทสเซียมอิออนออกสู่ภายนอก

### 2.1.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในกล้ามเนื้ออาจแบ่งได้ 2 อย่างคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.1.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวกับการหดตัว**

สารเคมีที่สำคัญใน กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวคือ โปรตีน การหดตัว (contractile protein) มีอยู่ 3 ชนิด คือ

1) แอ็คตินมีอยู่ 15 % เป็นส่วนประกอบของเส้นใยชนิดบาง (thin filament)
2) ไมโอซินมีอยู่ร้อยละ 35 เป็นเอนไซม์อะดีโนซีนไตรฟอสฟาเทส (adenosine triphosphatase - ATP - ase) ซึ่งเป็นส่วนประกอบ ของเส้นใยชนิดหนา (thick filament)
3) โทรไปไมโอซิน (tropomyosin) มีอยู่ 10% บทบาทยังไม่ทราบแน่แต่เชื่อว่าทำหน้าที่คล้ายสวิตช์ ทำให้มีการหดตัวและหยุดหดตัวเชื่อว่าเมื่อแอ็คตินรวมกับไมโอซินจะได้แอ็คโตไมโอซิน (actomyosin) แต่การรวมนี้ต้องอาศัยอะดีโนซีนไตรฟอสฟาเทส จึงจะทำให้มีการหดตัวของ กล้ามเนื้อ ตามมา

**2.1.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวกับการใช้พลังงาน**

1) อะดีโนซีนไตรฟอสฟาเทส เป็นสารที่จำเป็นสำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อและให้พลังงานมาก แต่มีเก็บไว้ในกล้ามเนื้อน้อยมากมีเพียง 3 มิลลิโมลต่อกล้ามเนื้อหนึ่งกิโลกรัม และใช้สำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อได้เพียง 8 ครั้งเท่า
2) ครีเอตีนฟอสเฟต (creatine phosphate) เป็นแหล่งสะสมพลังงานในกล้ามเนื้อที่สามารถนำออกมาใช้ได้ทันที เปรียบเทียบได้กับแบตเตอรี่ที่เก็บไฟฟ้าของระบบเครื่องยนต์ ครีเอตีนฟอสเฟตมีอยู่ในกล้ามเนื้อ 20 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมซึ่งทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้ประมาณ 100 ครั้ง
3) ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ เป็นต้นตอที่สำคัญของพลังงานที่กล้ามเนื้อใช้มีอยู่ถึง 100 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม(ของน้ำตาลเฮ็กโซส) ซึ่งกล้ามเนื้อสามารถใช้หดตัวได้ถึง 20,000 ครั้ง

การสลายไกลโคเจนเพื่อให้ได้พลังงานมานั้นมี 2 วิธีด้วยกัน คือ

ก. การสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobicglycolysis)

ข. การสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนไกลโคเจน จะสลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำทำให้ได้พลังงานมากมาย จากการทดลองถ้าให้กล้ามเนื้อทำงานในที่ไม่มีออกซิเจน จะทำงานได้น้อยคือหดตัวได้เพียง 600 ครั้งเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.4 การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง

เมื่ออะดีโนซีนไตรฟอสฟาเทสสลายให้พลังงานออกมาจะไปเร่งปฏิกิริยาเคมีทำให้เส้นใยชนิดหนาและเส้นใยชนิดบางซึ่งประสานกันอยู่เลื่อนเข้าไปหากัน จึงทำให้กล้ามเนื้อสั้นเข้าไป

### 2.1.5 การเปลี่ยนแปลงเชิงกล

เมื่อกล้ามเนื้อมีการเปลี่ยนแปลงตามลำดับขั้นจนถึงมีการเปลี่ยนแปลงเชิงกลคือการหดตัว ในการทดลอง ถ้าตัดกล้ามเนื้อออกมาแล้วทำการกระตุ้นเพื่อบันทึกความยาวหรือความตึงของกล้ามเนื้อโดยบันทึกคลื่นกล้ามเนื้อ (myogram) เปรียบเทียบความสัมพันธ์กับศักย์ไฟฟ้าของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นด้วย จะเห็นว่าศักย์ไฟฟ้าของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นก่อนการเปลี่ยนแปลงเชิงกล เมื่อกระตุ้นกล้ามเนื้อจะต้องใช้เวลาจำนวนหนึ่งก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงใน ความยาวหรือความตึงเรียกว่า ระยะแฝง (latency period) ซึ่งกิน เวลาประมาณ 10 มิลลิวินาที จึงเข้าสู่ระยะหดตัว (contraction period) และระยะคลายตัว (relaxation period) ซึ่งกินเวลาประมาณ 40 และ 50 มิลลิวินาทีตามลำดับ

#### 2.1.5.1 ชนิดของการหดตัวเชิงกล

การหดตัวเชิงกล อาจแบ่งได้เป็น 2 อย่าง คือ

1) การหดตัวแบบไอโซเมตริก (isometric contraction) การหดตัวชนิดนี้ความยาวของกล้ามเนื้อคงที่ แต่ความตึงเปลี่ยนไป
2) การหดตัวแบบไอโซโทนิก (isotonic contraction) การหดตัวชนิดนี้ความตึงของกล้ามเนื้อคงที่ แต่ความยาวเปลี่ยนไป

อาจช่วยให้เข้าใจการทำงานทั้งสองชนิดนี้ได้โดยคิดถึงการทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายจริงเมื่อใช้มือขวายกน้ำหนักโดยพยายามใช้กล้ามเนื้อไบเซพ (biceps) ออกแรงดึงเพื่อให้ข้อศอกงอในระยะแรกที่แรงของกล้ามเนื้อน้อยกว่าน้ำหนักของวัตถุจะยังยกวัตถุไม่ขึ้น ความยาวของกล้ามเนื้อไบเซพจะไม่เปลี่ยนแต่ความตึงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การทำงานของกล้ามเนื้อในระยะนี้จะเป็นชนิดไอโซเมตริกต่อมาเมื่อแรงดึงของกล้ามเนื้อมากกว่าน้ำหนักของวัตถุ แขนจะงอและยกน้ำหนักขึ้นกล้ามเนื้อจะสั้นเข้าการหดตัวในระยะนี้เป็นชนิดไอโซโทนิก ฉะนั้นการทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายส่วนใหญ่มักจะมีการทำงานทั้งสองชนิดนี้ร่วมกัน นอกจากการทำงานบางระยะที่มีการหดตัวเพียงชนิดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6 หน่วยยนต์ (motor unit)

กล้ามเนื้อในร่างกายมีการทำงานเป็นหน่วย หน่วยเล็กที่สุดที่จะทำงานได้เรียกว่า หน่วย-ยนต์ซึ่งประกอบด้วยประสาทยนต์ หนึ่งเส้นกับใยกล้ามเนื้อจำนวนหนึ่งซึ่งเลี้ยงด้วยใยประสาทยนต์นั้น (ในร่างกายมนุษย์มีกล้ามเนื้อ 2.7x10 ยกกำลัง 8 ใยและมีประสาทยนต์ประมาณสี่แสนเส้น) ขนาดของหน่วยยนต์แตกต่างกันตามตำแหน่ง และงานที่กล้ามเนื้อต้องทำ กล้ามเนื้อที่ต้องทำงานละเอียด เช่น กล้ามเนื้อลูกตา หน่วยยนต์ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเพียง 45 ใยแต่ถ้าเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ที่ไม่ต้องทำงานละเอียดจะมีใยกล้ามเนื้อหลายร้อยหรือเป็นพันใย เช่นกล้ามเนื้อน่อง(gastrocnemius) จะมีใยกล้ามเนื้อ 1,000 - 2,000 ใย

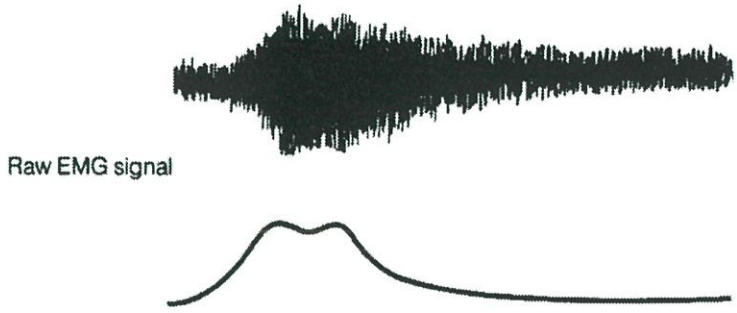
## 2.2 คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

**ความหมายของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ**

คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ หมายถึงระดับความตึงตัวของกล้ามเนื้อที่เกิดจากการกระตุ้นอย่าง รุนแรง กล้ามเนื้อประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีลักษณะเหมือนเส้นด้ายจำนวนหลายล้านเส้น เมื่อเส้นใยกล้ามเนื้อเกิดอาการเกร็งนั้นเกิดจากการกระทำของเซลล์ประสาททางกลไก (Motor neuron) ที่ส่งกระแสประสาทไปยังเส้นใยกล้ามเนื้อนั้นๆ ไม่ว่าจะเวลาใดก็ตามที่เส้นใยกล้ามเนื้อ 2-3 เส้นที่อยู่ในขณะพักตัวซึ่งดูเหมือนจะมีการเกร็งอยู่ภายใต้สภาวะปกติ การกระตุ้นที่เกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อจะถูกกระตุ้นจนกระทั่งเกิดการตอบสนองทั้งหมด หรืออาจจะเพียงบางส่วนของกล้ามเนื้อรวมเข้าด้วยกันเพื่อทำให้เกิดการตอบสนองของกล้ามเนื้อทั้งชิ้น [2]

การเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ในการส่งกระแสไฟฟ้ามาที่พื้นผิวด้านนอกของผิวหนัง ไม่ใช่จะถูกวัดได้ในทุกสภาวะอารมณ์และความรู้สึกที่เกิดขึ้นจากจิตใจกิจกรรมของกล้ามเนื้อระดับพื้นผิวนี้สามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เรียกว่า Electromyography(EMG) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมทางไฟฟ้าของกล้ามเนื้อในขณะที่กล้ามเนื้อเกิดอาการเกร็ง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.1** การปรับสัญญาณ EMG จาก Raw signal มาเป็น Integrated EMG signal [2]

## 2.3 การตรวจกล้ามเนื้อและเส้นประสาทด้วยไฟฟ้า [3]

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าสมอง เส้นประสาท และกล้ามเนื้อ จัดเป็นเนื้อเยื่อที่ไวต่อสิ่งเร้าสามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าและส่งผ่านสัญญาณเมื่อถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าดังกล่าวไปตามเส้นประสาทใยกล้ามเนื้อ การตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อหรือ อีเอ็มจี เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างจากเส้นประสาทและ กล้ามเนื้อโดยตรงเพื่อใช้ในการวินิจฉัยสภาพที่เกิดขึ้นในเส้นประสาทหรือกล้ามเนื้อซึ่งคล้ายกับ การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจและคลื่นไฟฟ้าสมองแตกต่างเฉพาะขนาดของความถี่และศักย์ไฟฟ้าดังตารางที่ 2.1 [4]

**ตารางที่ 2.1** ชนิดศักย์ไฟฟ้าและความถี่ที่ตอบสนองของสัญญาณไฟฟ้าสมอง หัวใจ และกล้ามเนื้อ [5]

| ชนิดของสัญญาณไฟฟ้า | ศักย์ไฟฟ้า (mV) | ความถี่ตอบสนอง (Hz) |
|---|---|---|
| สมอง(EEG) | 0.001-0.10 | 0.02-100 |
| หัวใจ (ECG,EKG) | 0.001-0.10 | 0.1-30 |
| กล้ามเนื้อ (EMG) | 0.003-5.0 | 2-10,000 |

### 2.3.1 เซนเซอร์ตรวจวัดคลื่นกล้ามเนื้ออีเอ็มจี

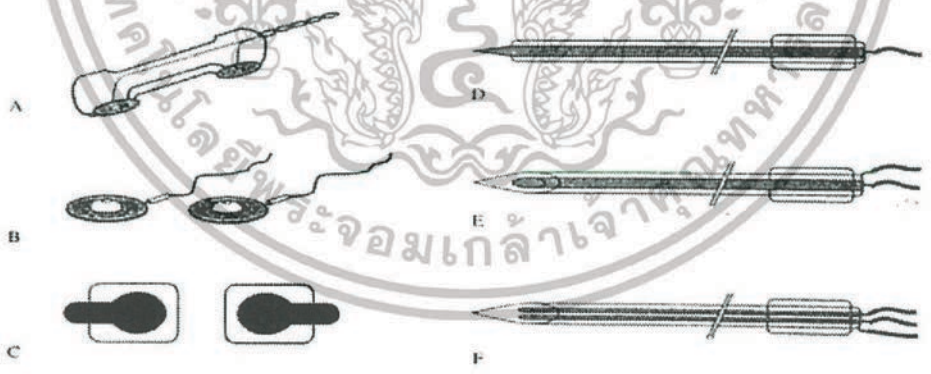
เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจคลื่นไฟฟ้าอีเอ็มจีประกอบด้วยตัวเครื่องและอิเล็กโทรดบันทึกสัญญาณเข้า ตัวเครื่องมักมีอุปกรณ์/วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่กรองขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.1.1 อิเล็กโทรด [4]**

อิเล็กโทรด หรือขั้วไฟฟ้าที่ใช้สำหรับตรวจวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้ออีเอ็มจีนั้นแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือขั้วไฟฟ้าสำหรับกระตุ้นและขั้วไฟฟ้าสำหรับบันทึกสัญญาณไฟฟ้าขั้วไฟฟ้าสำหรับกระตุ้นมักเป็น ตัวกระตุ้นขนาดเล็กและเป็น ชนิดสองขั้ว (bipolar electrode) ยึดติดกัน

ส่วนอิเล็กโทรดสำหรับบันทึกสัญญาณไฟฟ้านั้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อิเล็กโทรดแบบเข็ม (needle electrode) มักใช้แทงเข้าไปในกล้ามเนื้อเพื่อบันทึกสัญญาณ/ศักย์ไฟฟ้าที่ใยกล้ามเนื้อโดยตรงใช้สำหรับวินิจฉัยโรคทางคลินิกและอิเล็กโทรดแบบวางที่ผิวหนัง(surface electrode) เป็นแผ่นขั้วไฟฟ้าที่วางบนผิวหนังบริเวณที่วัด มักนิยมใช้บันทึกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพื่อแสดงถึงความหนักเบาของการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนั้นยังใช้สำหรับการบันทึกสัญญาณไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบความเร็วของการนำสัญญาณประสาท (nerve conduction velocity) อิเล็กโทรดแบบเข็มที่นิยมใช้กันมากได้แก่อิเล็กโทรด แบบแกนเดียว (single coaxial needle electrode หรือ concentric needle electrode)มักลักษณะคล้ามเข็มฉีดยา(ที่มีรู) ปลายตัดเป็นปลอกและมีแกนลวดโลหะ (แพลตินัมหรือทองแดง) หุ้มฉนวนโผล่ออกมาพอดีกับปลายเข็ม เพื่อวัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุด (จุดหนึ่งคือตัวเข็มอีกจุดคือแกนลวดโลหะ) มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร นอกจากนั้น ยังมีอิเล็กโทรดอีกชนิดเป็นแบบสองแกน (double coaxial needle หรือ bipolar needle electrode) ซึ่งใช้ลวดโลหะสองเส้นสอดเข้าไปในเข็มฉีดยาอิเล็กโทรดชนิดนี้สามารถตรวจวัดศักย์ไฟฟ้าของสัญญาณประสาทได้แคบว่า มักใช้สำหรับตรวจเฉพาะรายมากกว่าใช้ตรวจประจำ รูปที่ 2




**รูปที่ 2.2** ลักษณะของอิเล็กโทรดที่ใช้บันทึกสัญญาณ อีเอ็มจี [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

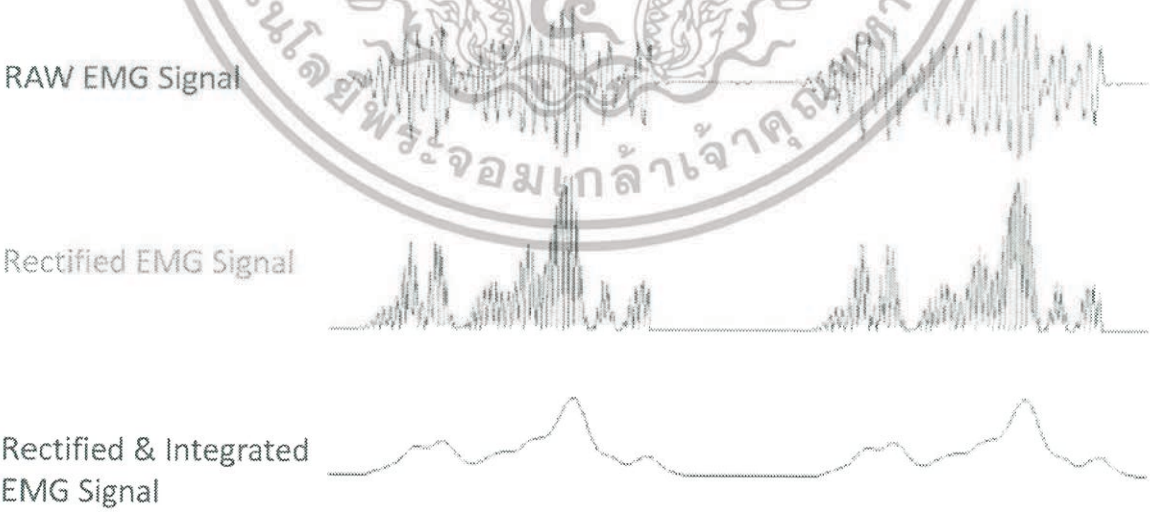
#### 2.3.1.2 ส่วนขยายสัญญาณ (amplifier)

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าจากเส้นประสาท กล้ามเนื้อมีปริมาณน้อย และขนาดไม่มาก ดังนั้นที่ตัวเครื่องมักมีส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้ให้มีขนาดโตพอสำหรับในการพิจารณาส่วนที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ดี มีกำลังขยายที่สูงพอ และสม่ำเสมอตลอดช่วงศักย์ไฟฟ้าในย่านที่ตรวจวัดและสามารถกรองสัญญาณ หรือไม่ขยาย/ตัดสัญญาณไฟฟ้ารบกวนที่ไม่ได้ใช้ออก

### 2.3.2 การปรับสัญญาณอีเอ็มจี

สัญญาณที่ได้จากตรวจวัดกล้ามเนื้อ และประสาทด้วยไฟฟ้าคือ Raw EMG signal ดังรูปที่3.2 เพื่อนำไปใช้งานต่อไปสัญญาณ Raw EMG signal นี่จะถูกทำให้ถูกต้องและดูดีขึ้นด้วยการค่าเฉลี่ยกำลังสองจนได้ค่าสัญญาณอีเอ็มจีที่แก้ไขแล้วดังรูป (Rectified EMG Signal)

การอินทริเกรทอีเอ็มจี (iEMG) ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณอีเอ็มจีที่แก้ไขแล้ว (rectified EMG signal) นั้นคือการอินทริเกรททางคณิตศาสตร์ของค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณ RAW EMG signal เมื่อค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณถูกนำออกสัญญาณรบกวนจะทำให้การอินทริเกรททางคณิตศาสตร์มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าการอินทริเกรทของสัญญาณอีเอ็มจีจะแบ่งสัญญาณให้เป็นความกว้างคงที่ใน timeslice และรีเซ็ตการอินทริเกรทตั้งแต่จุดเริ่มต้นของแต่ละ timeslice ค่าการอินทริเกรทสัญญาณอีเอ็มที่ถูกแก้ไขแล้ว (integratedrectified EMG signal) จะถูกพล็อตกราฟเป็นแบบ “sawtooth” ดังรูป 2.3




**รูปที่ 2.3** การปรับสัญญาณอีเอ็มจี [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 Arduino [8]

Arduino คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ชนิดหนึ่งซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุม หรืออ่านค่าบางสิ่งถ้าให้เปรียบเทียบมันก็คือคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กนั่นเอง แต่มีราคาที่ถูกกว่าคอมพิวเตอร์มาก

**จุดเด่นของ Arduino**

ความง่ายในการพัฒนา เสียบกับคอมพิวเตอร์ก็สามารถใช้งานได้ทันที ต่างจากรุ่นอื่นๆที่ต้องซื้อตัวโปรแกรม เพิ่ม มี IO ทั้ง Digital analog ADC I2C ISP จึงสามารถใช้งานกับอุปกรณ์อื่น ได้หลากหลาย สามารถเพิ่มความสะดวกได้โดยมีการพัฒนาอุปกรณ์เสริมเช่น Arduino Shield สามารถเสียบกับ Arduino พร้อมใช้งานได้ทันที สามารถเชื่อมต่อกับ Ethernet เพื่อสามารถใช้งานระบบเครือข่าย Lan หรือ Internet ได้อีกด้วย สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ได้หลายหลาย wifi Sensor Module ต่างเยอะแยะมากมาย ให้นักพัฒนาได้หัดเขียนโปรแกรม สร้างความคิดสร้างสรรค์ ให้เป็นจริงขึ้นมาได้

ที่สำคัญด้วยความที่เป็น Open/Souce ของมันทำให้เกิดชุมชนกลุ่มนักพัฒนาหลากหลายที่บนโลกทำให้มี Souce Code มากมาย มาแจกกันฟรีๆ บางครั้งแทบจะไม่ต้องเขียนโปรแกรมกันเลยทีเดียว แค่คัดลอกวางผสม Code ก็เสร็จกลายเป็นโปรเจคของเราทันที

มาถึงรูปแบบคำสั่งของ Arduino โดยหลักแล้วจะใช้เป็นภาษา C แบบ Arduino ในการพัฒนารูปแบบคำสั่งพื้นฐานง่ายไม่ซับซ้อนยากเกินไปทำให้คนที่เริ่มต้นเข้าใจภาษานี้ได้ง่ายจึงเหมาะกับท่านที่เริ่มต้น เขียนโปรแกรมใน ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของการพัฒนาสามารถพัฒนาได้ทุก Platform หรือทุก OS ไม่ว่าจะเป็น windows linux Mac os หรือบนโทรศัพท์ แอนดรอย ก็สามารถพัฒนาเขียนโปรแกรมได้ไม่ยาก

## 2.5 3D print [9]

### 2.5.1 3D Printer คืออะไร

3D printer คือเครื่องจักรที่ใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างที่สามารถจับต้องได้ตามที่ต้องการ โดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิตอล ซึ่งการเติมเนื้อหรือพิมพ์วัสดุลงไปนั้นเรียกว่า Additive Process ซึ่งการพิมพ์นั้นจะค่อยเป็นไปทีละ Layer หรือทีละชั้นยกตัวอย่าง ถ้าเราต้องการสร้างตึกที่มีจำนวน 25 ชั้น เราก็ต้องเริ่มสร้างจากฐานรากก่อน แล้วค่อยๆ ต่อเสาขึ้นไปทีละชั้น ซึ่งก็เป็นหลักการเดียวกับการพิมพ์งานของ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2 เครื่องพิมพ์สามมิติทำงานอย่างไร

3D Printer ทำงานอย่างไรเครื่องพิมพ์ 3 มิตินั้นก่อนที่จะพิมพ์งานได้ ต้องมีข้อมูลในรูปแบบของ Digital ซึ่งสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำพวก CAD (Computer Aided Design) ในการออกแบบ นอกจากจะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบแล้ว ยังสามารถใช้สแกนเนอร์ 3 มิติในการเปลี่ยนวัตถุ ในโลกความจริงไปเป็นไฟล์ดิจิตอล ที่สามารถนำไปใช้งานกับ 3D printed

เมื่อได้โมเดลหรือชิ้นงานในรูปของไฟล์ดิจิตอลแล้ว ก็จะนำไฟล์นั้นไปทำการ Slice หรือตัดเลเยอร์งานออกมาให้เป็นแผ่นบางๆ เพื่อที่จะให้ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ พิมพ์แผ่นหรือชั้นบางๆ นั้นทับต่อกันจนเกิดเป็นวัตถุ 3 มิติขึ้นมา

### 2.5.3 ฟิลาเมนต์การพิมพ์แบบ 3 มิติ

เส้นพลาสติกสำหรับ 3D Printer นั้นที่นิยมใช้ในตอนนี้ได้แก่ ABS และ PLA ซึ่งพลาสติกซึ่งพลาสติกที่จะนำมาใช้ ก็ให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันสำหรับงานที่พิมพ์ ซึ่งก่อนที่จะนำเส้นพลาสติกมาใช้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิตินั้นจำเป็นต้องถูกแปรรูปให้อยู่ในรูปของเส้นพลาสติกที่เรียกว่า Filament ซึ่งขนาดที่ใช้นั้น ได้ถูกกำหนดขนาดเอาไว้ 2 ขนาด ได้แก่ 2.85 มิลลิเมตรและ 1.75 มิลลิเมตร ซึ่งเส้นขนาด 2.85 มิลลิเมตร นั้นนิยมใช้ในฝั่งยุโรป ส่วนฝั่งเอเชียบ้านเรานั้นนิยมใช้เส้นขนาด 1.75 มิลลิเมตร

**รูปที่ 2.4** ฟิลาเมนต์การพิมพ์แบบ 3 มิติ

### 2.5.4 คุณสมบัติของเส้น ABS และ PLA [10]

ABSนั้นเป็นพลาสติกที่ได้มาจากน้ำมันและเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เพราะเป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นปานกลางเมื่อเทียบกับ PLA ซึ่งพลาสติก ABS สามารถทนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ดีกว่า PLA เมื่อตากแดด เพราะค่า Glass Transition ของ ABS นั้นสูงกว่า PLA กล่าวคือ พลาสติก ABS จะไม่เสียรูปเมื่อตากแดดเป็นเวลานานซึ่งข้อดีตรงนี้ทำให้พลาสติก ABS สามารถทำเป็น ชิ้นส่วนในรถยนต์ พลาสติก ABS นั้นสามารถที่จะขัดแต่ง ได้ง่ายกว่า PLA ข้อดีของ ABS อีกอย่างก็คือ ความยืดหยุ่นที่มีมากกว่า PLA ทำให้เหมาะสมกับชิ้นงาน ที่ต้องมีการต่อหรือสวมประกอบเขาหากัน นอกจากนั้นพลาสติก ABS สามารถที่จะละลายได้ในสารละลาย อะซิโตน(Acetone) ซึ่งสารละลายตัวนี้ก็มีอยู่ในน้ำยาล้างเล็บ ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะใช้อะซิโตนในการเชื่อมหรือต่อ งานที่พิมพ์จาก ABS ได้ เพราะ ABS นั้นสามารถละลายได้ในอะซิโตน นอกจากนั้นยังสามารถใช้อะซิโตนในการเคลือบผิวงานที่พิมพ์จากพลาสติก ABS ทำให้งานที่เคลือบออกมา ผิวเงาวาวเหมือนกับพลาสติกที่ฉีดออกมาจากเครื่องฉีดพลาสติก แต่ข้อเสียของการเคลือบผิวนั้น จะทำให้งานที่พิมพ์ออกมาขาดความคมชัด เพราะอะซิโตนจะไปละลายพลาสติก ABS

PLA เป็นพลาสติกที่ได้มาจากพืชซึ่งถือว่าเป็นพลาสติกที่ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับพลาสติก ABS ซึ่งพลาสติก PLA นั้นเป็นที่นิยมใช้ สำหรับทำบรรจุภัณฑ์อาหาร เช่นถาดใส่อาหาร เส้นพลาสติก PLA นั้นสามารถย่อยสลายได้ แต่ต้องผ่านกระบวนการที่ถูกต้อง ไม่ใช่ว่า วางเอาไว้ในห้องและจะย่อยสลายพลาสติก PLA นั้นจะมีความแข็งมากกว่าพลาสติก ABS แต่จะขาดความยืดหยุ่นซึ่งไม่เหมาะสำหรับงานพิมพ์ที่ต้องทีการสวมประกอบ เพราะงานที่พิมพ์อาจจะหักได้ ข้อเสียอีกอย่างของพลาสติก PLA คือไม่สามรถทนหรือตากแดดได้ เพราะจะเสียรูปง่าย จึงไม่เหมาะกับชิ้นงานที่ใช้งานกลางแดด

### 2.5.5 ขนาดและความแม่นยำ

พลาสติก ก็เป็นอีกตัวแปรสำหรับขนาด ความแม่นยำของชิ้นงานที่พิมพ์ออกมาซึ่ง พลาสติก ABS นั้นจะมีปัญหาในเรื่องของการหดตัวเมื่อเทียบกับพลาสติก PLA ซึ่งพลาสติก ABS นั้นจะมีปัญหาในเรื่องของการยึดติดกับฐานที่พิมพ์พลาสติก ABS นั้นจะหดตัวได้ง่าย โดยเฉพาะในส่วนของฐานงานที่ติดกับฐานพิมพ์ จะมีการยกตัวหรือหดตัว ทำให้งานไม่ติดกับฐาน เนื่องมาจากพลาสติก ABS นั้นหดตัวเมื่อความร้อนไม่สม่ำเสมอทำให้ฐานงานมีการยกตัว ซึ่งการแก้ไขปัญหาก็คือ ให้ใช้ฐานพิมพ์ที่มีฮีทเตอร์ทำความร้อนที่ฐาน เพื่อเวลาพิมพ์พลาสติก ABS แล้ว จะทำให้อุณหภูมิความร้อน ของงานนั้นไม่เสียไป ทำให้งานหดตัวน้อยลง และยังช่วยให้ฐานของชิ้นงานละลายแล้วยึดติดกับฐาน ซึ่งอุณหภูมิของฐานที่ใช้สำหรับพิมพ์ ABS นั้นจะอยู่ประมาณ 100 องศา นอกจากจะใช้ความร้อนช่วยแล้ว อาจจะยังต้องใช้กาว ABS ที่สามารถทำเองได้โดยทาไปที่ฐานพิมพ์ ก่อนพิมพ์งาน จะช่วยให้งานยึดติดกับฐานได้ดีขึ้น ซึ่งกาว ABS ทำก็มาจาก เส้นพลาสติก ABS ละลายในอะซิโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการพิมพ์งานประเภทเฟือง หรืองานมีมีมุมแหลมนั้นพลาสติก ABS นั้นจะทำได้ไม่ค่อยคม หรือมุมอาจจะไม่แหลม ซึ่งสามารถที่จะใช้พัดลมช่วยเป่างานช่วย แต่ถ้าเปิดพัดลมแรงเกินก็อาจจะทำให้งานที่พิมพ์ไม่ติดกัน เพราะพลาสติก ABS เย็นเกิน

พลาสติก PLA นั้นจะหดตัวน้อยกว่า พลาสติก ABS ซึ่งเป็นข้อดีของ PLA ทำให้พลาสติก PLA สามารถจะพิมพ์งานบนฐานที่ไม่ต้องใช้ความร้อนก็ได้ซึ่งพลาสติก PLA นั้นสามารถพิมพ์งานที่มีมุมแหลมได้ดีเพราะตอนที่ PLA ละลายนั้นจะหนืดน้อยกว่า ABS ทำให้มุมที่ได้นั้นคมกว่า ซึ่งทำให้พลาสติก PLA นั้นเหมาะกับการพิมพ์งานประเภท มุมแหลม เช่น เฟือง เป็นต้น

### 2.5.6 การเลือกใช้เส้นพลาสติกสำหรับ 3D Printer

ABS จะให้คุณสมบัติที่แข็งแรง ยืดหยุ่น และทนต่ออุณหภูมิที่สูง เหมาะสำหรับงานวิศวกรรมที่มีการสวมต่อ หรือประกอบเข้าด้วยกัน สามารถขัดแต่งชิ้นงานได้ง่าย แต่ต้องแลกมาด้วยกลิ่นที่รุนแรงและการหดตัวของชิ้นงาน ซึ่งถ้าจะพิมพ์ ABS เครื่องพิมพ์ 3 มิติจำเป็นต้องมีฐานทำความร้อน และตู้ครอบที่ป้องกันอุณหภูมิภายนอก เพื่อป้องกันชิ้นงานหดตัว

PLA เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องตากแดด แต่ต้องการความแข็งแรงพิมพ์ง่ายไม่หดตัว และตอนพิมพ์ไม่มีกลิ่น สามารถพิมพ์กับ เครื่องปริ้น 3 มิติ ที่ไม่มีฐานทำความร้อนได้ สามารถพิมพ์งานได้เร็ว พิมพ์รายละเอียดงานได้คม แต่ข้อเสียคือ ขัดแต่งยากกว่า ABS ไม่สามารถทำผิวให้เงาได้เหมือน ABS ชิ้นงานแตกหักง่ายกว่า ABS เพราะขาดความหยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินงาน

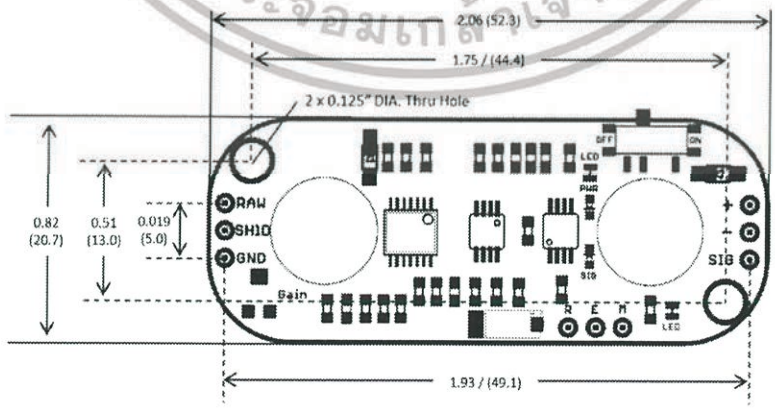
## 3.1 ขั้นตอนของการดำเนินงาน

**ขั้นตอนของการดำเนินงานได้วางแผนไว้ดังนี้**

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้วัดสัญญาณกล้ามเนื้อ
3. ออกแบบการทำงานของอุปกรณ์
4. จัดหาอุปกรณ์
5. ทดลองอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้วัดสัญญาณกล้ามเนื้อ
6. ประมวลผลและเขียนโปรแกรมอุปกรณ์
7. ปริ้นโมเดลแขนเทียม 3 มิติ
8. ประกอบอุปกรณ์ทุกอย่างเข้ากับแขนเทียม
9. ทดสอบอุปกรณ์
10. ปรับแก้ข้อบกพร่อง
11. สรุปผลและจัดทำรายงาน

## 3.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

### 3.2.1 MyoWare Muscle Sensor



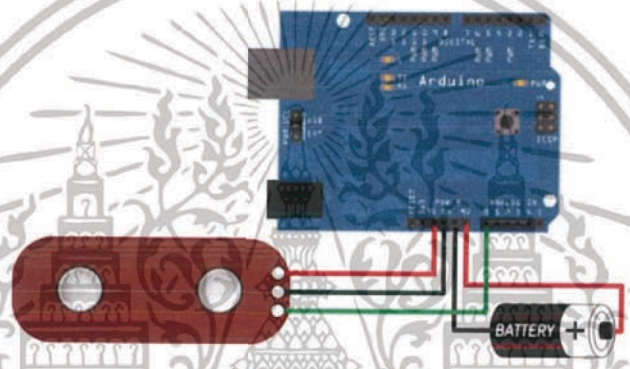

**รูปที่ 3.1** MyoWare Muscle Sensor [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราเลือกใช้ MyoWare Muscle Sensor ซึ่งเป็นเซนเซอร์ใช้วัดการกระตุ้นของกล้ามเนื้อผ่านศักย์ไฟฟ้าโดยเทียบกับอีเอ็มจี (electromyography หรือ EMG )ที่โดยปกติแล้วจะถูกใช้ในทางการแพทย์ในการวิจัยและวินิจฉัยโรคความผิดปกติของประสาทและกล้ามเนื้อและ Myoware เองก็สามารถใช้งานได้ง่ายต่อ arduino

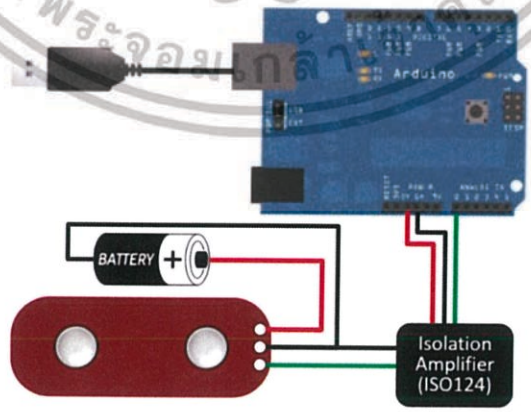
**การตั้งค่าการติดตั้ง**

1. การใช้แบตเตอรี่ขับเคลื่อนด้วยไอโซเลชั่น โดยไม่มีการเชื่อมต่อภายนอกตั้งแต่ไม่มีอุปกรณ์ใดๆที่เชื่อมต่อในเครือข่ายวงจรไฟฟ้ามากไปกว่านั้น การไอโซเลชั่นก็ไม่มีความจำเป็นมันยอมรับต่อแหล่งพลังงานของแบตเตอรี่ของ MCU ผ่าน USB




รูปที่ 3.2 การติดตั้งที่ 1

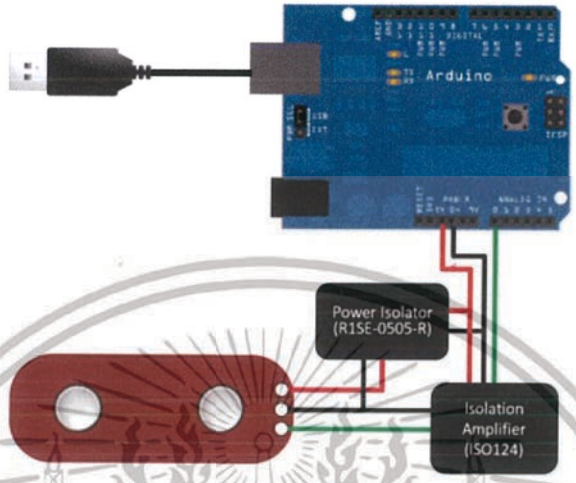
2. การใช้แบตเตอรี่ขับเคลื่อนเซนเซอร์, วงจรไฟฟ้าขับเคลื่อน MCU กับเอาท์พุตไอโซเลชั่นวงจรขยายแบบที่มีไอโซเลชั่นและแบตเตอรี่ทำให้มีการไอโซเลชั่นรุ่นของไอซีที่ปรากฏในภาพการติดตั้งที่ 2 เพียงแค่การแนะนำเท่านั้น




**รูปที่ 3.3** การติดตั้งที่ 2

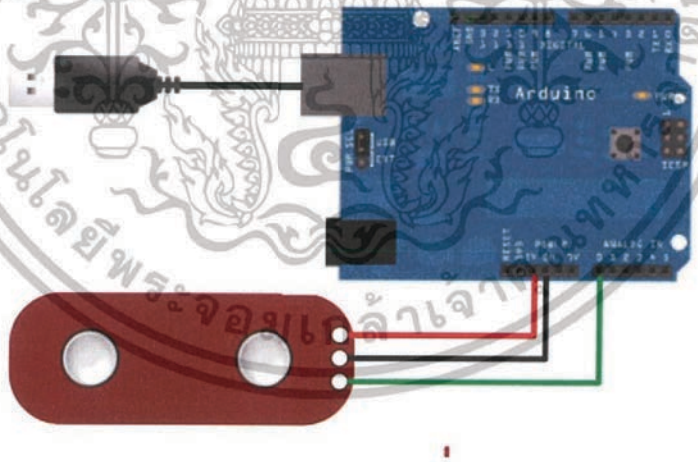
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครือข่ายวงจรไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟไฟ้า และเอาท์พุตไอโซเลชั่นวงจรขยายแบบที่มีไอโซเลชั่นและแบตเตอรี่ทำให้มีการไอโซเลชั่นรุ่นของไอซีที่ปรากฏในภาพการติดตั้งที่ 3 เป็นเพียงแค่การแนะนำเท่านั้น




**รูปที่ 3.4** การติดตั้งที่ 3

4. เครื่อข่ายวงจรไฟฟ้าการตั้งค่านี้ไม่มีการไอโซเลชั่น โดยปกติแล้วจะปลอดภัยแต่ก็มีโอกาสที่จะเกิดเหตุกาณ์การ สร้างลูปไฟฟ้าในเครื่อข่ายวงจรไฟฟ้า ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการใช้งานทางการค้า




**รูปที่ 3.5** การติดตั้งที่ 4

**การติดตั้งเซนเซอร์**

1. ทำความสะอาดจุดกล้ามเนื้อที่จะทำการติดตั้งด้วยสบู่หรือแอกลฮอฮ์เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและความมัน
2. นำอิเล็กโทรดติดตั้งเข้ากับเซนเซอร์ (แนะนำให้ติดตั้งเข้าด้วยกันก่อนที่จะนำไปติดตั้ง บนกล้ามเนื้อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วางเซนเซอร์ไว้บนจุดกล้ามเนื้อที่ต้องการ

3.1 หลังจากตัดสินใจได้แล้วว่ากลุ่มมัดกล้ามเนื้อไหนจะถูกนำมาใช้ให้ทำความสะอาดกล้ามเนื้อ

3.2 วางเซนเซอร์และหนึ่งในอิเล็กโทรดที่ใช้เชื่อมต่อจะต้องอยู่กึ่งกลางของมัดกล้ามเนื้อ ส่วนอิเล็กโทรดตัวอื่นควรวางในทิศทางตามยาวของมัดกล้ามเนื้อ

3.3 ลอกแผ่นปิดของอิเล็กโทรดเพื่อใช้งาน และทำการติดตั้งให้แน่นบนผิวหนัง

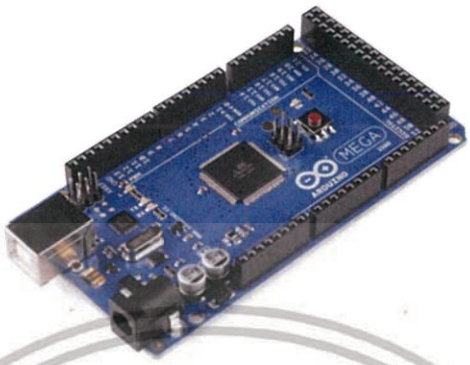
4. เชื่อมต่อกับบอร์ดประมวลผล (เช่น Arduino, RaspberryPi), ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ADC (Analog to Digital Converter)

**ตารางที่ 3.1** ข้อมูลจำเพาะของ MyoWare Muscle Sensor

| Parameter | Min | TYP | Max |
|---|---|---|---|
| Supply Voltage | +2.9V | +3.3V or +5V | +5.7V |
| Adjustable Gain Potentiometer | 0.01 Ω | 50 kΩ | 100 kΩ |
| Output Signal Voltage | | | |
| EMG Envelope | 0V | -- | +Vs |
| Raw EMG (centered about +Vs/2) | 0V | -- | +Vs |
| Input Impedance | -- | 110 GΩ | -- |
| Supply Current | -- | 9 mA | 14 mA |
| Common Mode Rejection Ratio (CMRR) | -- | 110 | -- |
| Input Bias | -- | 1 pA | -- |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 Arduino board - mega 2560



**รูปที่ 3.6** Arduino board - mega 2560

| | |
|---|---|
| Microcontroller | ATmega2560 |
| Operating Voltage | 5V |
| Input Voltage (recommended) | 7-12V |
| Input Voltage (limits) | 6-20V |
| Digital I/O Pins | 54 (of which 14 provide PWM output , 4 UART TTL) |
| Analog Input Pins | 16 |
| DC Current per I/O Pin | 40 mA |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA |
| Flash Memory | 256 KB of which 8 KB used by bootloader |
| SRAM | 8 KB |
| EEPROM | 4 KB |
| Clock Speed | 16 MHz |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino Mega สามารถเชื่อมรับพลังงานโดยการเชื่อมต่อ micro USB connector หรือจากpower supply จากภายนอกได้ โดยแหล่งพลังงานจะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ

แหล่งจ่ายจากภายนอกสามารถมาได้จาก AC to DC adapter หรือจากแบตเตอรี่โดยต่อเข้ากับ 2.1 mm center-positive plug ไปยังช่องเสียบแหล่งจ่ายและการต่อเข้ากับแบตเตอรี่สามารถทำได้ โดยการต่อเข้ากับGND และ Vin pin header ของ power connector

บอร์ดสามารถทำงานได้ในช่วงแรงดัน 6 ถึง 20 volts ถ้า แหล่งจ่ายมีค่าต่ำกว่า 7 V อาจส่งผลให้ 5 V pinมีแรงดันที่ต่ำกว่า 5 V และ บอร์ดอาจจะไม่เสถียรแต่ถ้าหากแรงดันมีค่าสูงกว่า 12 V อาจส่งผลให้บอร์ด Overheat และอาจทำให้บอร์ดเสียหายได้ ดังนั้นช่วงแรงดันที่เหมาะสมกับบอร์ดคือ 7 V ถึง 12 V

- VIN เป็น input voltage ของบอร์ด Arduino โดยใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก
- 5V เป็น output pin ที่ควบคุม 5 V จากบอร์ด
- 3V3 เป็น 3.3 volt supply ที่สร้างขึ้นจาก regulator บนบอร์ด และให้กระแสได้สูงสุด 50 mA
- GND เป็น ground pin
- IOREF เป็น pin ที่ให้ voltage reference กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเลือกค่าแรงดันให้กับ shield ที่มาเชื่อมต่อกับบอร์ด

### Memory

ATmega2560 มีหน่วยความจำ 256 KB (8 KB ใช้สำหรับ bootloader) นอกจากนี้ยังมีอีก 8 KB สำหรับ SRAM และ 4 KB สำหรับ EEPROM

### Input and Output

ในแต่ละ digital pins ทั้ง 54 pins บนบอร์ด Arduino Uno สามารถเป็นได้ทั้ง input และ output โดยจะทำงานที่แรงดัน 5 V และให้กระแสสูงสุด 40 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 Servo motor

รูปที่ 3.7 Servo motor MG 996R

**Specification**

Compatible with Arduino Servo library.

Metal gears

Operating Voltage: 4.8 - 6VDC

Speed: 0.17 sec/60° at 6.00V(no load)

Torque: 13.0 kg.cm (~1.274 N.m) at 6.0 V

Size: 40.7 x19.7 x 42.9mm

Weight: 55g

Rotation angle: 180 degree

Wiring:

Brown = GND

RED = 5V

Orange = Signal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง

### 3.3.1 Arduino IDE

**รูปที่ 3.8** โปรแกรม arduino IDE

เป็นโปรแกรมสำหรับใช้เขียนโปรแกรม, คอมไพล์ และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino หรือบอร์ดตัวอื่นๆ ที่คล้ายกัน เช่น Generic ESP8266 modules, NodeMCU หรือ WeMos D1 เป็นต้น

ในที่นี้ เราใช้ Arduino IDE ในการเขียนเพื่อนำสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ มาสั่งให้ servo motor ขยับตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้

### 3.3.2 XYZware

**รูปที่ 3.9** โปรแกรม XYZware

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเปลี่ยนไฟล์สามมิติชนิดต่างๆให้เป็นภาษาเครื่องพิมพ์ซึ่งแต่ละเครื่องจะสามารถรองรับโปรแกรม Slicer ได้แตกต่างกันสำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติของเครื่อง XYZ จะใช้โปรแกรม XYZwarePro เป็นโปรแกรม Slicer โดยโปรแกรมดังกล่าวจะให้เอาท์พุตออกมาเป็นไฟล์ที่สามารถใช้งานกับเครื่องพิมพ์สามมิติได้ และมีการปรับแต่งคุณสมบัติการพิมพ์ตามที่ผู้ใช้ต้องการ เช่น ความละเอียดการพิมพ์ ความเร็วในการวิ่งของหัวพิมพ์ ขนาด ตำแหน่งที่วาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 การออกแบบและวางแผนการทำงาน

### 3.4.1 การวางแผนและออกแบบทางด้าน Hardware

1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อ
2. หาข้อมูลชิ้นส่วนวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้าง
3. นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการออกแบบชิ้นงาน
4. ทำการประกอบชิ้นงาน รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันตามที่ได้ออกแบบไว้

### 3.4.2 การวางแผนและออกแบบทางด้าน Software

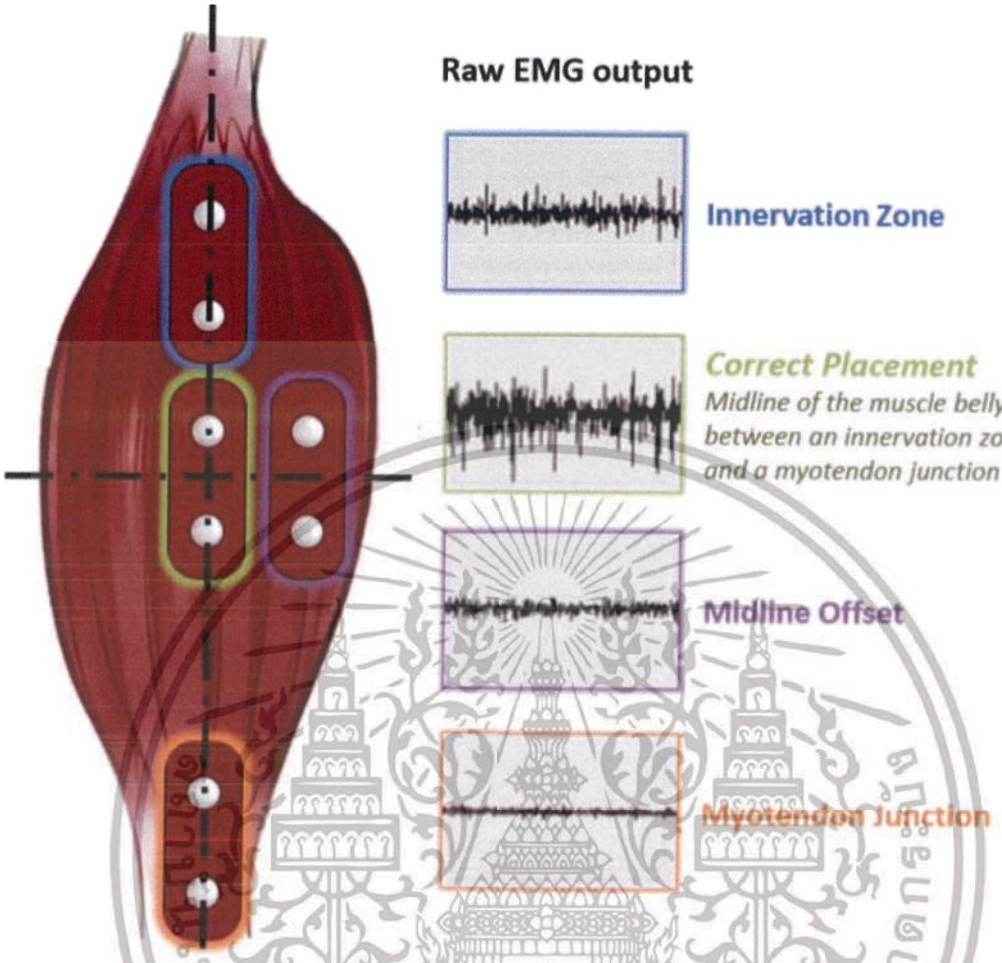
1. ศึกษาโปรแกรมและทฤษฎีที่ต้องใช้
2. เขียนผังงาน (Flowchart) ของระบบเพื่อช่วยในการกำหนดทิศทางในการเขียนโปรแกรม
3. เขียนโปรแกรมสร้างเงื่อนไขใช้งานในแต่ละสัญญาณ
4. ทดสอบการใช้งาน

## 3.5 วิธีการดำเนินงาน

### 3.5.1 การหาตำแหน่งสัญญาณ

ตำแหน่งและทิศทางของเซนเซอร์มีผลอย่างมากต่อความแรงของสัญญาณตัวอิเล็กโทรด (ขั้วไฟฟ้า) ควรอยู่ตรงกลางของกล้ามเนื้อ และควรจัดให้สอดคล้องกับทิศทางแนวกล้ามเนื้อการวางเซนเซอร์ในตำแหน่งอื่นที่ไม่เหมาะสมจะลดคุณภาพของสัญญาณของเซนเซอร์เนื่องจากจำนวนหน่วยยนต์ที่น้อย

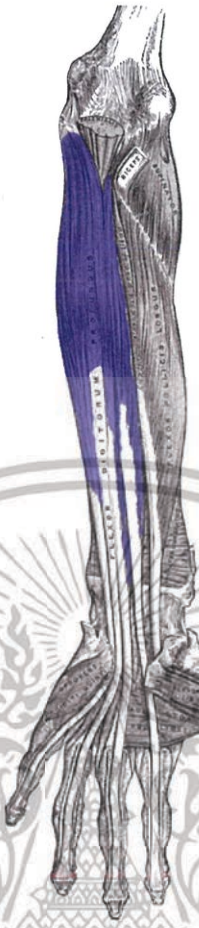
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.10 สัญญาณ Raw EMG เมื่อติดในตำแหน่งต่างๆ [7]

สำหรับการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งเซนเซอร์ เพื่อตรวจวัดค่าจากนั้นเอามาประมวลผลในลำดับต่อไป โดยการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมนั้นจะเลือกจากกลุ่มของกล้ามเนื้อที่ใช้งานเวลาขยับนิ้วมือโดยดูทั้งมัดกล้ามเนื้อ และเส้นเอ็นเป็นหลักจนได้กล้ามเนื้อในส่วนต่างๆที่คิดว่าน่าจะเหมาะสมในการทำการทดลองหาส่วนที่เหมาะสมที่สุดได้ 3 ส่วนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

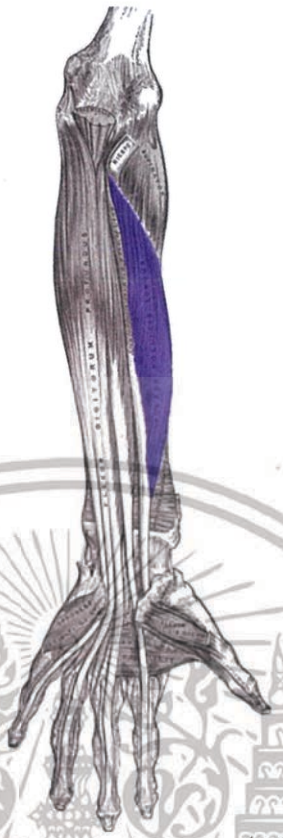


**รูปที่ 3.11** กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม โปรฟันดัสบนแขนขวาขณะคว่ำมือ [11]

**1. กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม โปรฟันดัส (Flexor digitorum profundus; FDP)**

กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม โปรฟันดัส (Flexor digitorum profundus; FDP) เป็นกล้ามเนื้อในปลายแขนที่ทำหน้าที่งอนิ้วมือ จัดว่าเป็น เอ็กเทนซิส มัสเซิล (extrinsic muscle) เพราะว่าการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อนี้อยู่ที่ตำแหน่งที่แตกต่างจากตัวหลักของมัดกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ดึงข้อมือ รวมถึงดึงนิ้วทั้ง 4 ที่ไม่ใช่นิ้วโป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



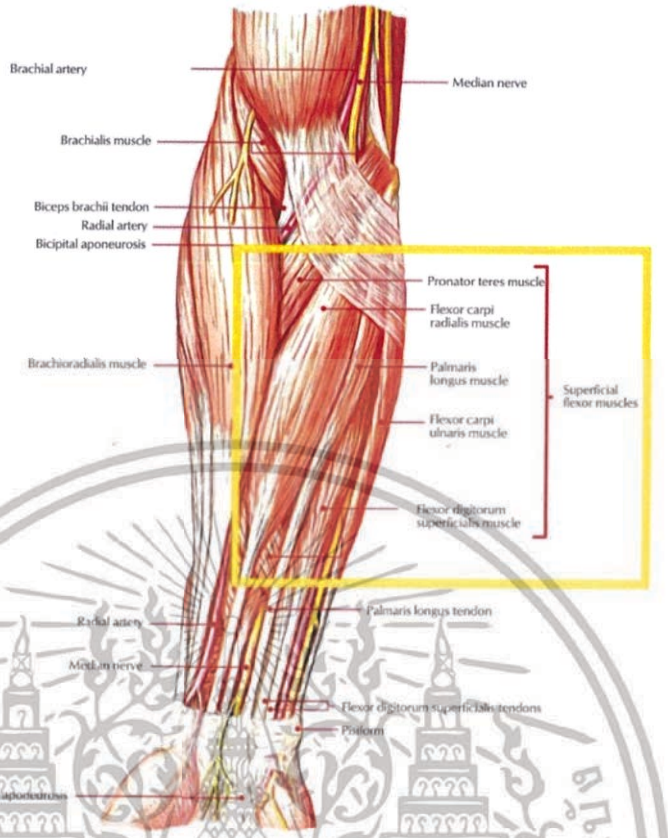
**รูปที่ 3.12** กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ พอลิซิส ลองกัสบนแขนขวาขณะคว่ำมือ [12]

**2. กล้ามเนื้อ เฟลกเซอร์ พอลิซิส ลองกัส (Flexor pollicis longus, FPL)**

กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ พอลิซิส ลองกัส (Flexor pollicis longus, FPL) เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ในปลายแขน (forearm) และมือที่ทำหน้าที่งอนิ้วหัวแม่มือ กล้ามเนื้อนี้วางตัวอยู่ในระนาบเดียวกันกับกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม โปรฟันดัส (Flexor digitorum profundus)

ซึ่งกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม โปรฟันดัส (Flexor digitorum profundus; FDP) และกล้ามเนื้อ เฟลกเซอร์ พอลิซิส ลองกัส (Flexor pollicis longus, FPL) เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่เรียกว่า กลุ่มกล้ามเนื้อชั้นใน (deep group) และจะมีกล้ามเนื้อที่เรียกว่า ซุเปอร์ฟิเชียลิส (superficialis) อีก 5 มัด แปะทับอยู่บนกล้ามเนื้อทั้ง 2 นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.13** กล้ามเนื้อ ซุเปอร์ฟิเชียลิส เฟลกเซอร์บนแขนขวาขณะหงายมือ [13]

**3. กล้ามเนื้อ ซุเปอร์ฟิเชียลิส เฟลกเซอร์ (Superficial flexor muscles)**

เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อชั้นนอกที่ปิดคลุมกล้ามเนื้อ 2 มัด ในข้อ 1. และ 2. ที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 5 มัด คือ กล้ามเนื้อโปรเนเตอร์ เทเรส (Pronator teres muscle) , กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ คาร์โพ เรเดียลิส (Flexor carpi radialis muscle, FCR) , กล้ามเนื้อปาล์มาริส ลองกัส (Palmaris longus muscle) , กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ คาร์โพ อัลนาริส (Flexor carpiulnaris muscle, FCU) , กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม ซุเปอร์ฟิเชียลิส (Flexor digitorum superficialis muscle,FDS) ซึ่งกล้ามเนื้อเหล่านี้มีหน้าที่ที่เหมือนกันก็คือ งอนิ้วทั้ง 4 ยกเว้นนิ้วโป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 ทำการทดสอบหาตำแหน่ง

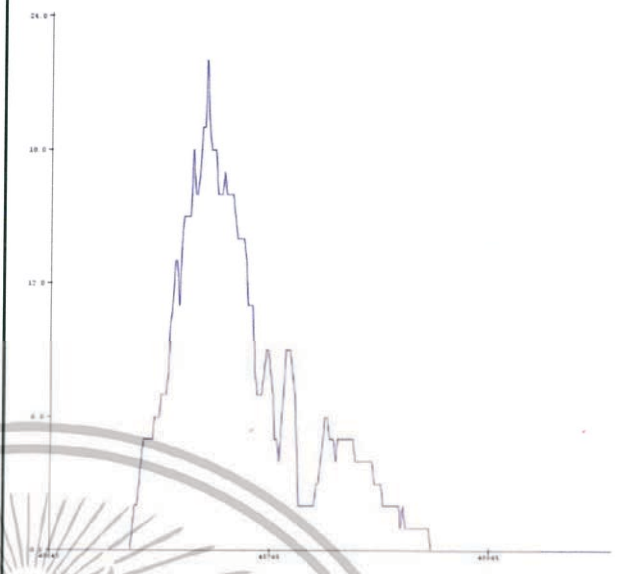
การทดสอบหาตำแหน่งจะทำการติดตั้งเซนเซอร์ตามตำแหน่งต่างๆ จากนั้นจะทำการสังเกต ,บันทึกผลและเปรียบเทียบข้อมูลในเวลาถัดมา โดยในการหาตำแหน่งจะอ้างอิงจาก 3 จุดใหญ่ๆคือ 3 มัดกล้ามเนื้อที่ผลโดยตรงต่อการขยับนิ้วตามที่กล่าวมาข้างต้น หลังจากนั้นจะทำการวัดหลายๆจุดในช่วง 1 มัดกล้ามเนื้อที่ได้เลือกมาตามตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** สัญญาณที่ได้รับจากการตรวจวัดกล้ามเนื้อและประสาทด้วยคลื่นไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่ง 10 ครั้ง

| ตำแหน่งที่เลือก | ผลลัพธ์สัญญาณที่ได้ |
|---|---|
| 1. กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม โปรฟันดัส [11]<br>• จุดที่ 1 | <br>ค่าเฉลี่ยจุด peak = 25 |

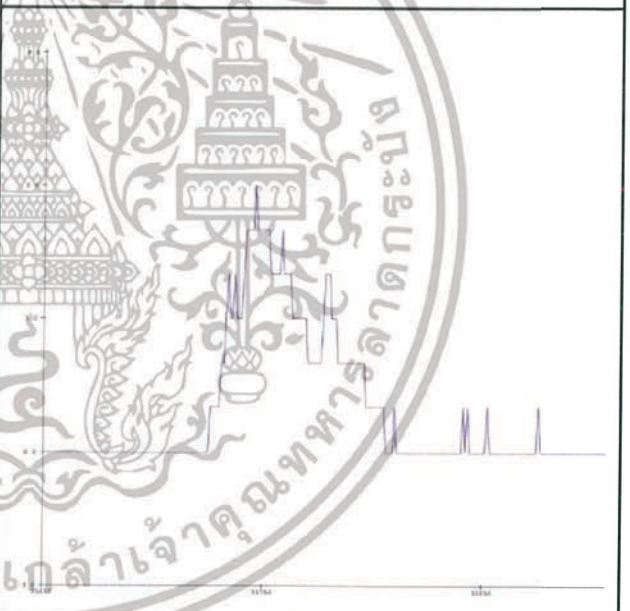
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดที่ 2



ค่าเฉลี่ยจุด peak = 23

- จุดที่ 3

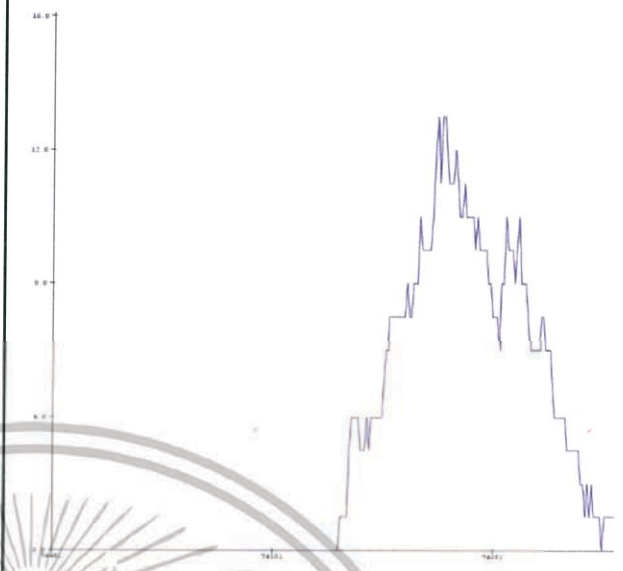


ค่าเฉลี่ยจุด peak = 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.กล้ามเนื้อ เฟลกเซอร์ พอลิซิส ลองกัส (flexor pollicis longus, FPL) [12]

- จุดที่ 1



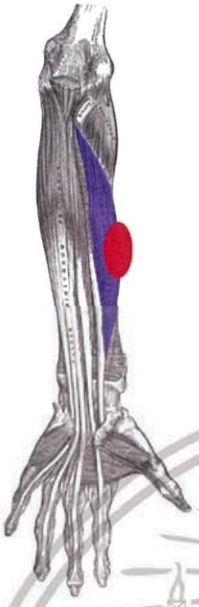
ค่าเฉลี่ยจุด peak = 13

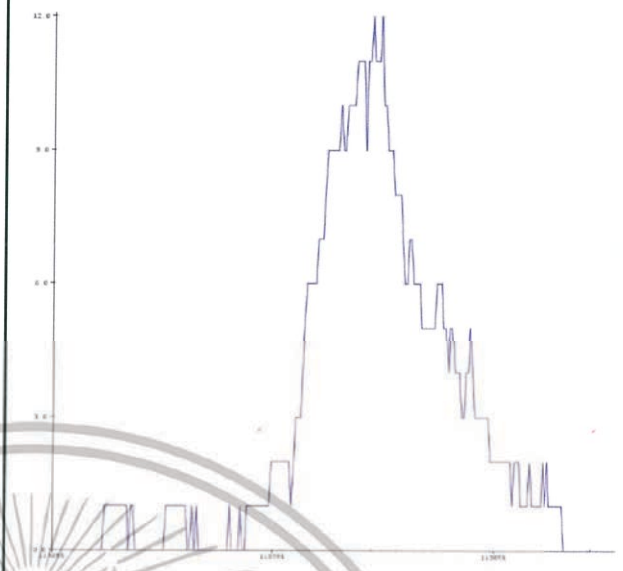
- จุดที่ 2

ค่าเฉลี่ยจุด peak = 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดที่ 3

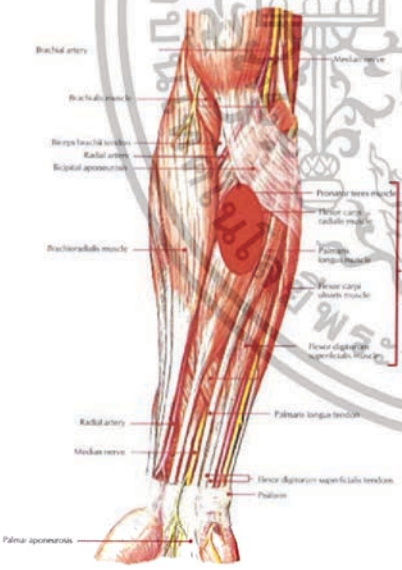




ค่าเฉลี่ยจุด peak = 12

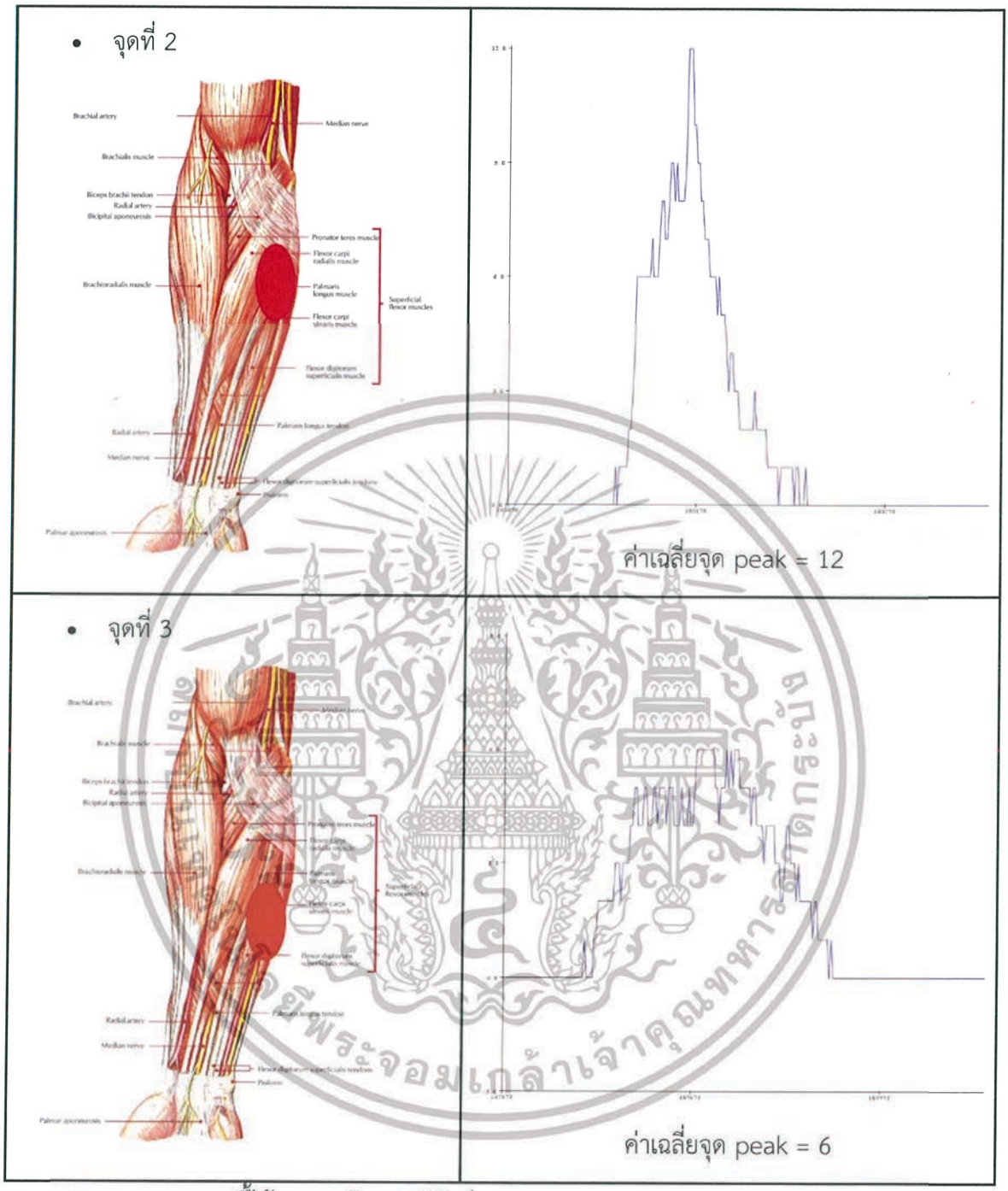
3. กล้ามเนื้อ ซุเปอร์ฟิเชียลิส เฟลกเซอร์ (superficial flexor muscles) [13]

- จุดที่ 1



ค่าเฉลี่ยจุด peak = 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**หมายเหตุ การทดลองนี้ได้ทดลองกับนาย จิรัสย์ เกษร

ผลการทดลองการวัดหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดจำนวน 10 ครั้ง ได้ผลว่า ตำแหน่งที่จุดที่ 1 ของกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม โปรฟันดัส มีการตอบสนองที่มากที่สุดในบรรดาจุดทุกจุดที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

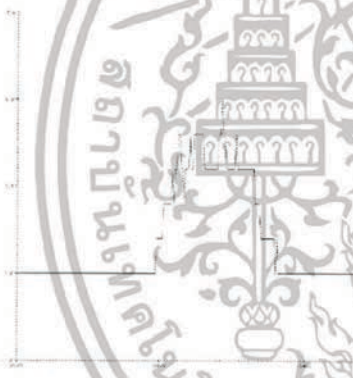
### 3.5.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์สัญญาณแต่ละนิ้ว

ค่าศักษ์ไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจกล้ามเนื้อ และเส้นประสาทด้วยไฟฟ้าของเซนเซอร์จะถูกส่งไปยัง arduino เพื่อประมวลผลโดยเชื่อมต่อเข้าในขาอนาล็อกแล้วจะถูกแปลงค่าโดยค่าที่ได้จะเป็น 10 บิต นั่นคืออยู่ในช่วง 0 ถึง 1023 หรือก็คือ 0 ถึง 5 โวลต์เนื่องจากค่าที่ได้จากการตรวจกล้ามเนื้อและเส้นประสาทด้วยไฟฟ้ามีค่าในปริมาณน้อยมากๆค่าประมาณเพียง 0.003 ถึง 5.0 มิลลิโวลต์ เท่านั้นเอง แต่สามารถขยายค่า ได้เล็กน้อยด้วยการปรับเกรน (Gain) บนตัวเซนเซอร์

หลังจากได้ตำแหน่งการติดที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการทดลองเก็บข้อมูลสัญญาณอีเอ็มจีเพื่อหารูปแบบของสัญญาณดังหัวข้อที่ 3.5.3.1

#### 3.5.3.1 ค่าสัญญาณที่ตรวจได้ของแต่ละนิ้วจากการทดลอง 50 ครั้ง

1. นิ้วโป้ง



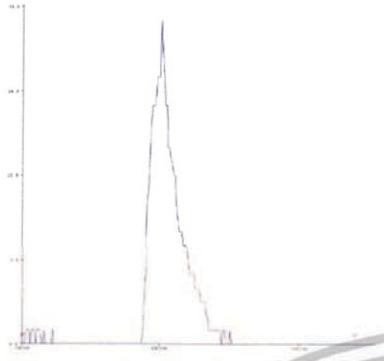
**รูปที่ 3.14** ตัวอย่างสัญญาณนิ้วโป้ง
ค่าเฉลี่ยจุด peak = 5

2. นิ้วชี้

**รูปที่ 3.15** ตัวอย่างสัญญาณนิ้วชี้
ค่าเฉลี่ยจุด peak = 12

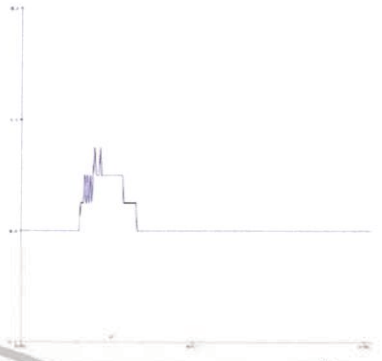
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นิ้วกลาง



**รูปที่ 3.16** ตัวอย่างสัญญาณนิ้วกลาง
ค่าเฉลี่ยจุด peak = 23

4. นิ้วนาง



**รูปที่ 3.17** ตัวอย่างสัญญาณนิ้วนาง
ค่าเฉลี่ยจุด peak = 3

5.นิ้วก้อย

**รูปที่ 3.18** ตัวอย่างสัญญาณนิ้วก้อย
ค่าเฉลี่ยจุด peak = 2

6. นิ้วทั้ง 5 นิ้ว (กำมือ)

**รูปที่ 3.19** ตัวอย่างสัญญาณนิ้วทั้ง 5 นิ้ว (กำมือ)
ค่าเฉลี่ยจุด peak = 37

**หมายเหตุ การทดลองนี้ได้ทดลองกับนาย จิรัสย์ เกษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองหาสัญญาณในแต่ละนิ้วพบว่า รูปแบบสัญญาณมีค่าความแตกต่างทางสัญญาณในระดับหนึ่งสามารถแยกแยะได้ในระดับการใช้แรงระดับเดิมเท่านั้นแต่เมื่อมีการเพิ่มแรงหรือเบาแรงค่าสัญญาณก็จะเปลี่ยนแต่ยังคงอยู่ในรูปแบบการเกิดสัญญาณเดิมจึงหาทางแก้ไข โดยการหาสัญญาณอ้างอิงเพื่อช่วยในการแยกแยะสัญญาณโดยใช้เซนเซอร์เพิ่มมาอีก 1 ตัวแล้วนำไปติดในจุดที่แตกต่างกันออกไป โดยคาดว่าค่าสัญญาณจะมีรูปแบบสัญญาณทั้งสองจุดเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มเดียวกันโดยไม่เหมือนกับรูปแบบสัญญาณของแต่ละนิ้ว

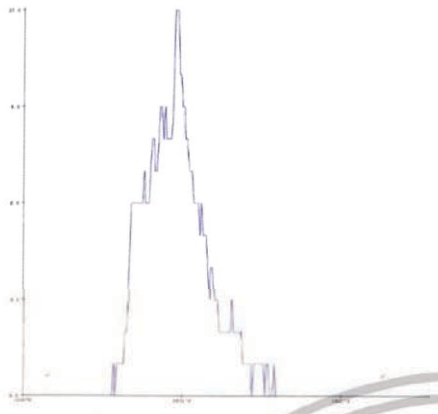
หลังจากนั้นจึงทำการทดลอง ตรวจวัดค่าสัญญาณโดยใช้เซนเซอร์ 2 ตัวติดตั้งในตำแหน่งที่แตกต่างกัน โดยเลือกตำแหน่งเซนเซอร์ไว้ในจุดที่รูปสัญญาณแตกต่างกับสัญญาณหลัก เพื่อให้สามารถหารูปแบบได้แตกต่างกันที่สุด ดังตารางที่ 3.3

**ตารางที่ 3.3** ตัวอย่างค่าสัญญาณจากตรวจวัดโดยใช้เซนเซอร์ 2 ตัวจาก 2 ตำแหน่ง

| สัญญาณที่ตรวจวัดได้ | สัญญาณอ้างอิง |
|---|---|
| นิ้วโป้ง<br> <br>ค่าเฉลี่ยจุด peak = 5 | นิ้วโป้ง<br> <br>ค่าเฉลี่ยจุด peak = 10 |

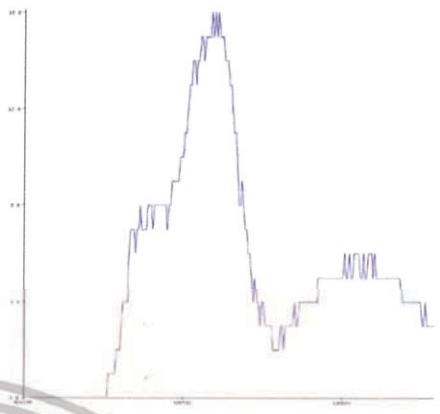
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิ้วชี้



ค่าเฉลี่ยจุด peak = 12

นิ้วชี้



ค่าเฉลี่ยจุด peak = 16

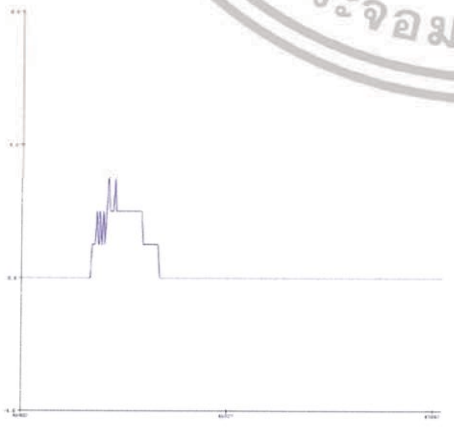
นิ้วกลาง

ค่าเฉลี่ยจุด peak = 23

นิ้วกลาง

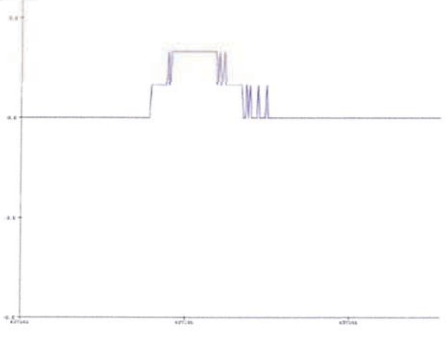
ค่าเฉลี่ยจุด peak = 31

นิ้วนาง



ค่าเฉลี่ยจุด peak = 3

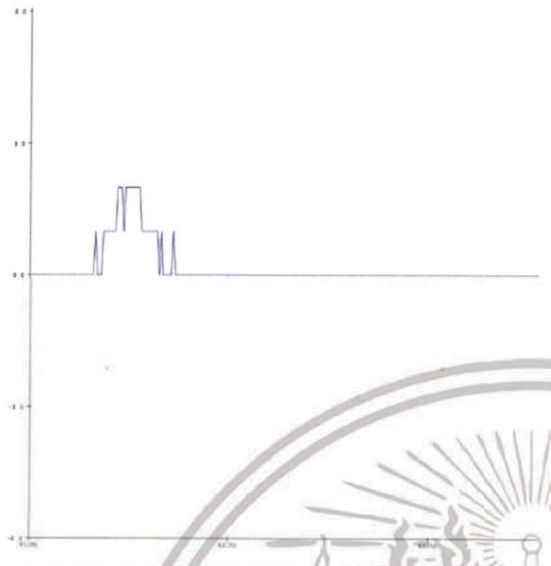
นิ้วนาง



ค่าเฉลี่ยจุด peak = 2

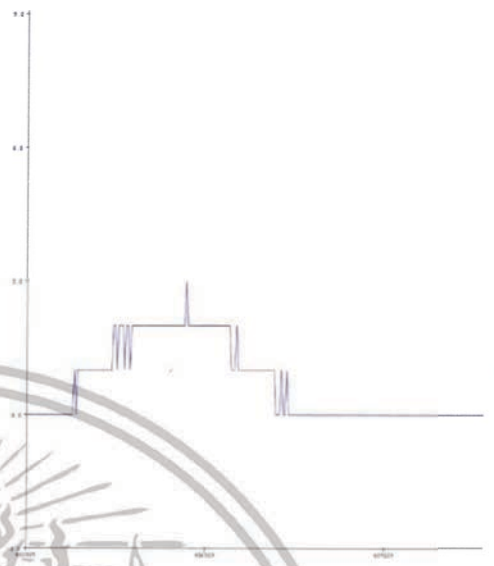
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิ้วก้อย



ค่าเฉลี่ยจุด peak = 2

นิ้วก้อย



ค่าเฉลี่ยจุด peak = 3

นิ้วทั้ง 5 นิ้ว (กำมือ)

ค่าเฉลี่ยจุด peak = 37

นิ้วทั้ง 5 นิ้ว (กำมือ)

ค่าเฉลี่ยจุด peak = 70

**หมายเหตุ การทดลองนี้ได้ทดลองกับนาย จิรัสย์ เกษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง การเปรียบเทียบระหว่าง ค่าสัญญาณที่วัดได้ หรือค่าสัญญาณหลักกับค่าสัญญาณอ้างอิงค่าสัญญาณอ้างอิงจะมีค่าสูงกว่าในระยะห่างที่ไม่ต่างจากเดิมเสมอและช่วงของสัญญาณจะมีค่าต่ำสุดแต่ไม่มีค่าสูงสุดเพราะขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้งานแต่จะไม่มากเกินไปเพราะในความเป็นจริง คงไม่ออกแรงมากถึงขนาดนั้น

เนื่องจากสัญญาณอีเอ็มจีจากนิ้วนาง และนิ้วก้อยที่ได้มีค่าสัญญาณไฟฟ้าในปริมาณที่น้อยเกินไปไม่สามารถแยกแยะกับค่าสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นในบางครั้งหรือค่าสัญญาณที่เกิดจากการขยับแขนเพียงเล็กน้อย จึงตัดสินใจไม่เอาคิดใช้งานกับแขนเทียมด้วยเหตุผลดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.4 การทำงานของระบบ

**รูปที่ 3.20** Flow chart ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์ตรวจวัดกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า(EMG) ตรวจวัดสัญญาณอีเอ็มจีจากการตอบสนองของกล้ามเนื้อที่ถูกสั่งงานมาจากสมองการตอบสนองของสัญญาณแต่ละนิ้วมีค่ารูปแบบสัญญาณที่แตกต่าง ค่าสัญญาณเหล่านี้จะถูกส่งไปเพื่อประมวลผลสัญญาณที่ arduino board หลังจากทำการแยกแยะสัญญาณได้แล้วจึงสั่งการต่อไปยังเซอร์โวมอเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ที่แขนกล

เนื่องด้วยความละเอียดของสัญญาณอีเอ็มจีที่ตรวจวัดได้ มีสัญญาณที่แยกแยะได้ยากการทำงนของระบบหรือเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะทำงานแบบเปิด-ปิด(เซอร์โวมอเตอร์ทำงานแบบเปิดสุดถึงปิดสุดเท่านั้น)

### 3.5.5 การสร้างแขนกล

#### 3.5.5.1 การพิมพ์แบบแขนกล

หลักจากที่เราได้สัญญาณที่ต้องการแล้ว จึงเอานำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแขนเทียมเพื่อให้สามารถใช้งานได้ โดยแขนกลนี้จะเป็นเอาท์พุตที่จะถูกควบคุมโดยการประมวลผลของ arduino ซึ่งรับค่ามาจากสัญญาณการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้แบบแขนกลที่ออกแบบโดย Ryan Gross จาก thingiverse.com

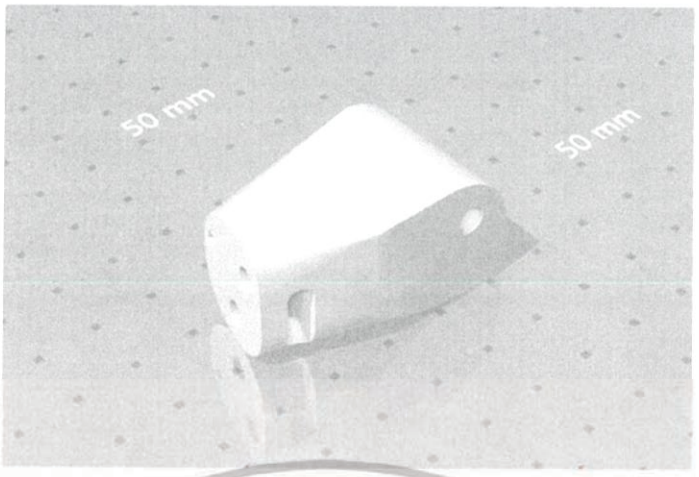
**รูปที่ 3.21** แขนกลที่ออกแบบโดย Ryan Gross [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของข้อนิ้วมือ

**รูปที่ 3.23** ชิ้นงานการพิมพ์สามมิติส่วนของผ่ามือ

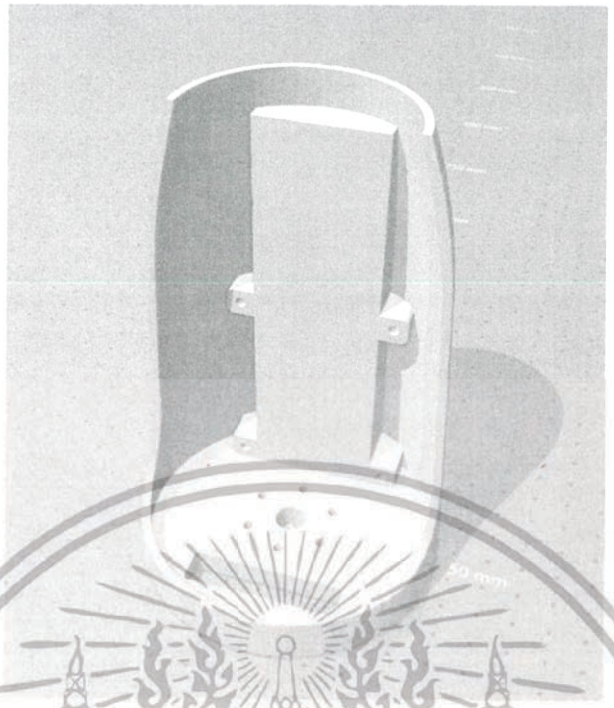
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.24 ชิ้นงานจากพิมพ์สามมิติส่วนของข้อนิ้วใหม่ของนิ้วโป้ง

รูปที่ 3.25 ชิ้นงานจากพิมพ์สามมิติส่วนของตัวเชื่อมข้อมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

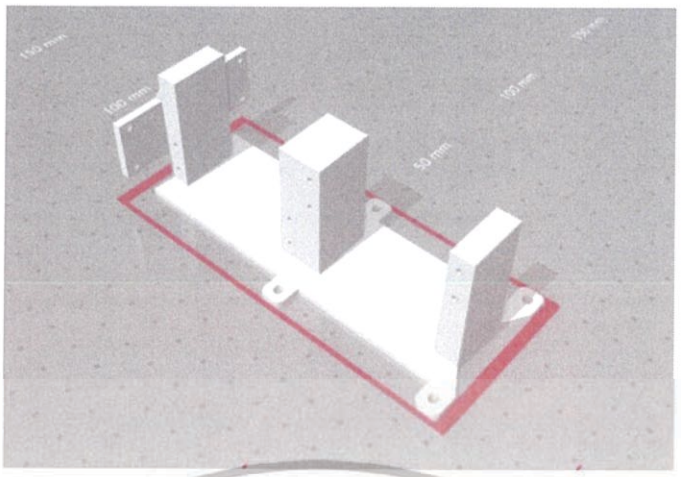


**รูปที่ 3.26** ชิ้นงานจากพิมพ์สามมิติส่วนของแขน



**รูปที่ 3.27** ชิ้นงานจากพิมพ์สามมิติส่วนของข้อศอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ชิ้นงานจากพิมพ์สามมิติส่วนของตัววางเซอร์โวมอเตอร์

รูปที่ 3.29 ชิ้นงานจากพิมพ์สามมิติส่วนของตัวเชื่อมระหว่างเอ็นกับเซอร์โวมอเตอร์

โดยทำการพิมพ์สามมิติจากเครื่อง da Vinci 1.0 A จากบริษัท XYZprinting และใช้ซอฟต์แวร์ XYZware ในการพิมพ์แบบสามมิติ

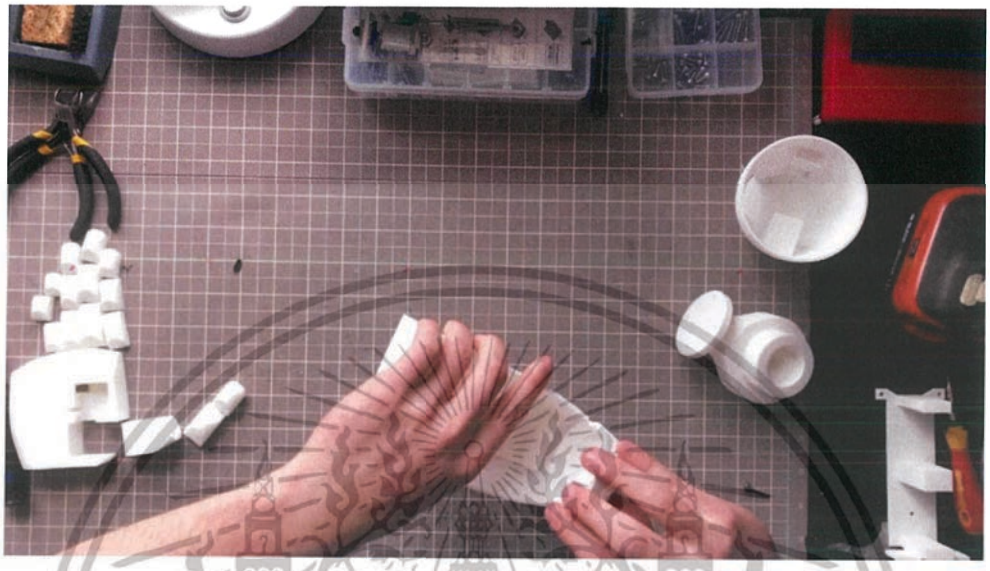
### 3.5.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้

1. เชือกไนล่อนยืดหยุ่น ขนาด 1/8 นิ้ว
2. เส้นเอ็นตกปลาขนาด 0.6 มิลลิเมตร
3. เซอร์โวมอเตอร์ ขนาดมาตรฐาน 4 ตัว
4. ไมโครเซอร์โวมอเตอร์ 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

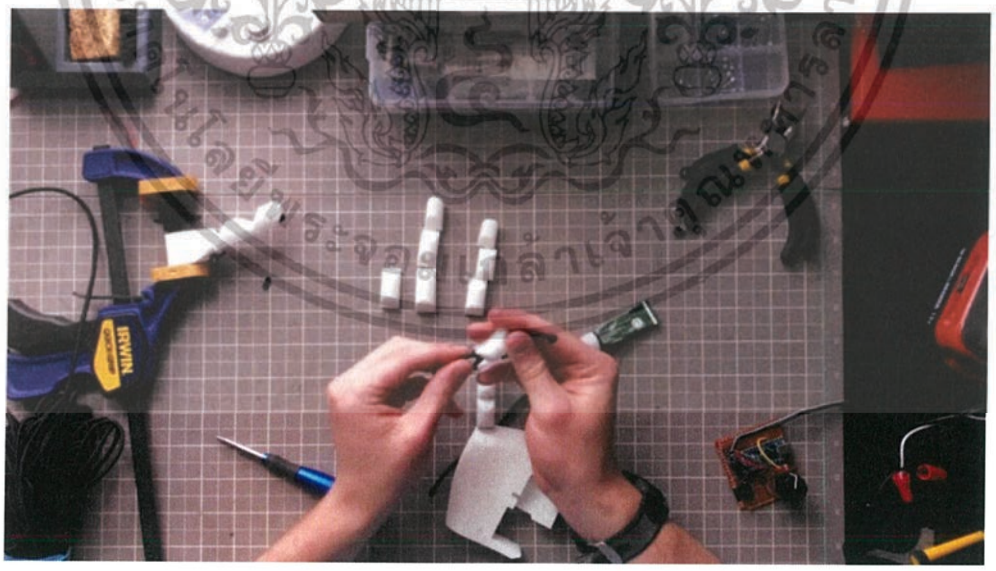
3.5.5.3 การประกอบร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ [15]

ชิ้นส่วนแขนเทียมที่ถูกปริ้นมาแล้วจะนำมาประกอบกันโดยส่วนหลักคือ ส่วนการดึงนิ้วและมอเตอร์ซึ่งจะประกอบตามวิธีการดังนี้



**รูปที่ 3.30** การประกอบแขนกล ขั้นตอนที่ 1

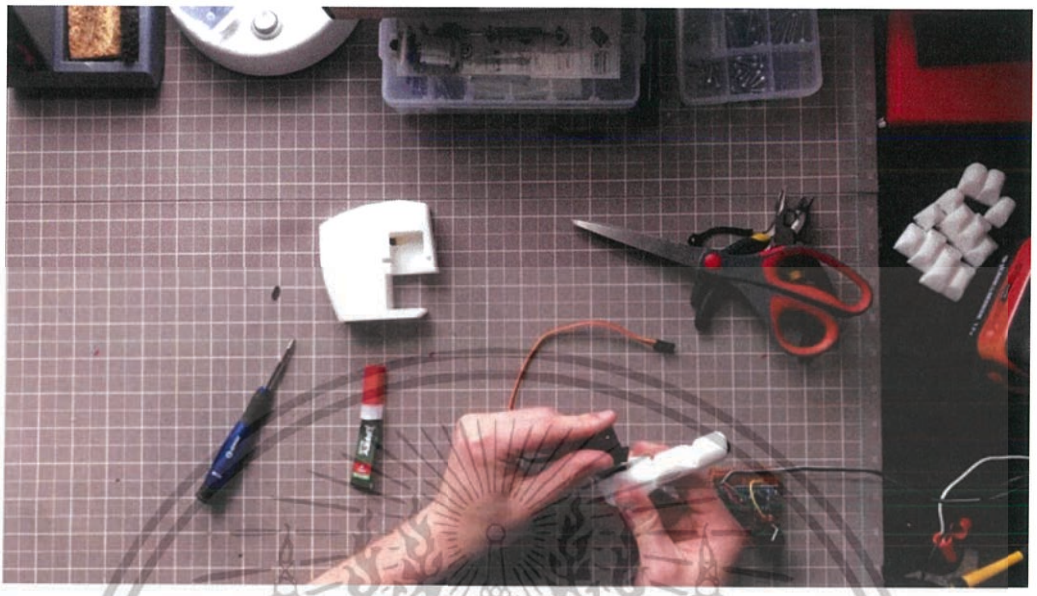
นำชิ้นงานส่วนของแขน มาติดกับส่วนของข้อมือและข้อศอก



**รูปที่ 3.31** การประกอบแขนกล ขั้นตอนที่ 2

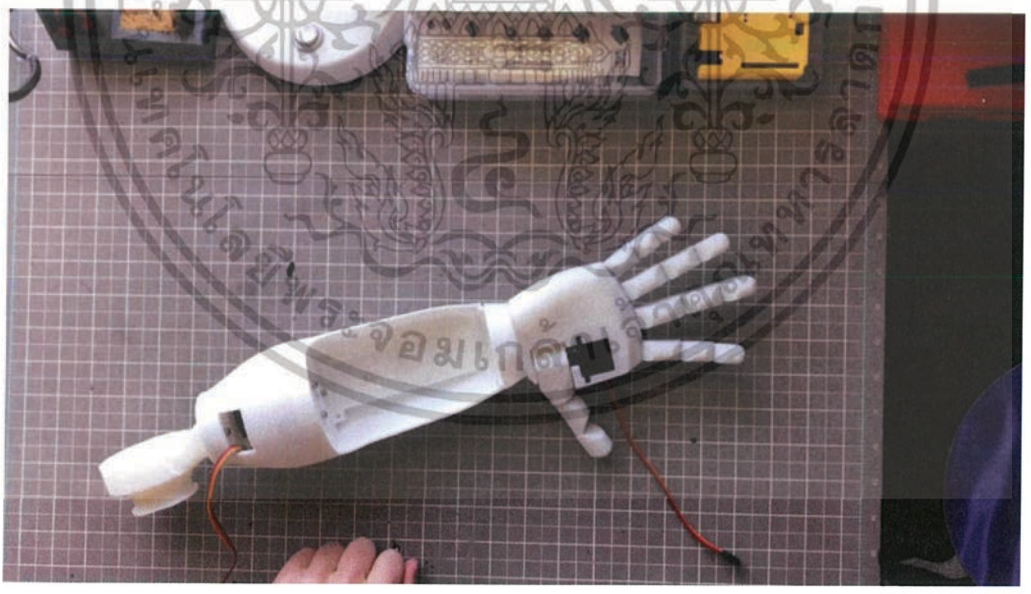
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำนิ้วแต่ละนิ้วมาประกอบโดยใช้ไนล่อนยึดหยุ่นร้อยผ่านรูบนนิ้วเมื่อได้นิ้วครบก็ร้อยเข้ากับส่วนของมือมัดปมให้แน่น



**รูปที่ 3.32** การประกอบแขนกล ขั้นตอนที่ 3

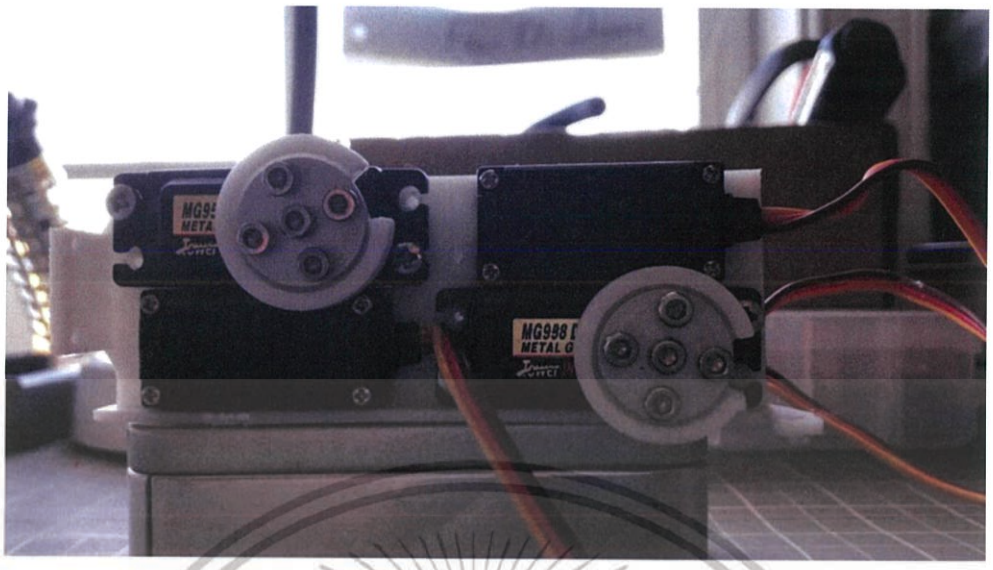
นำนิ้วโป้งติดกับไมโครเซอร์โวมอเตอร์



**รูปที่ 3.33** การประกอบแขนกล ขั้นตอนที่ 4

นำนิ้วโป้งที่ทำไว้แล้วมาติดเข้ากับมือแล้วนำส่วนมือทากาวติดเข้ากับตัวแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



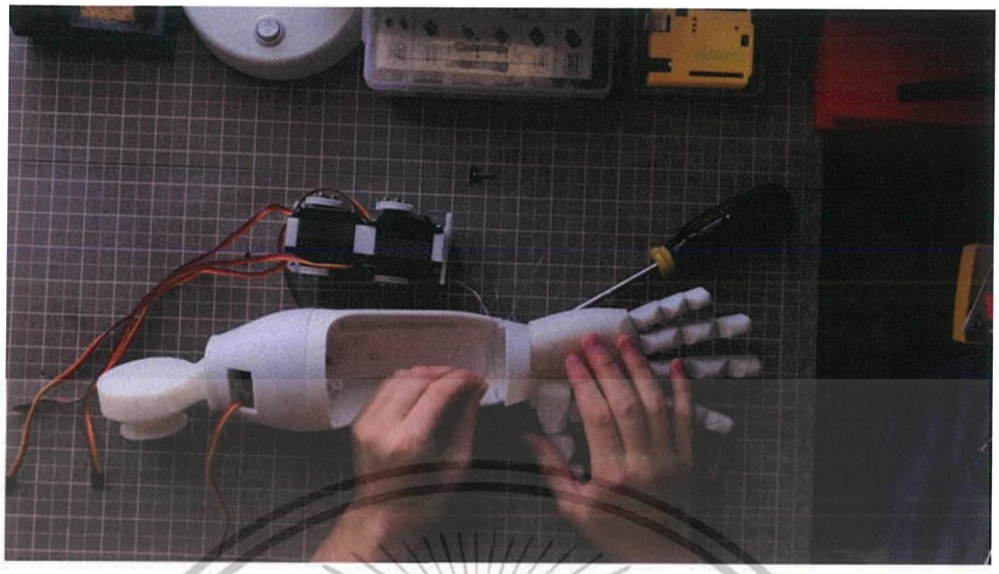
**รูปที่ 3.34** การประกอบแขนกล ขั้นตอนที่ 5

นำเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 4ตัวมาประกอบเข้ากับส่วนของตัววางมอเตอร์โดยใช้สกรูไขเข้าตามรูบนตัววางมอเตอร์พร้อมปะกอบตัวเชื่อมระหว่างเอ็นกับมอเตอร์

**รูปที่ 3.35** การประกอบแขนกล ขั้นตอนที่ 6

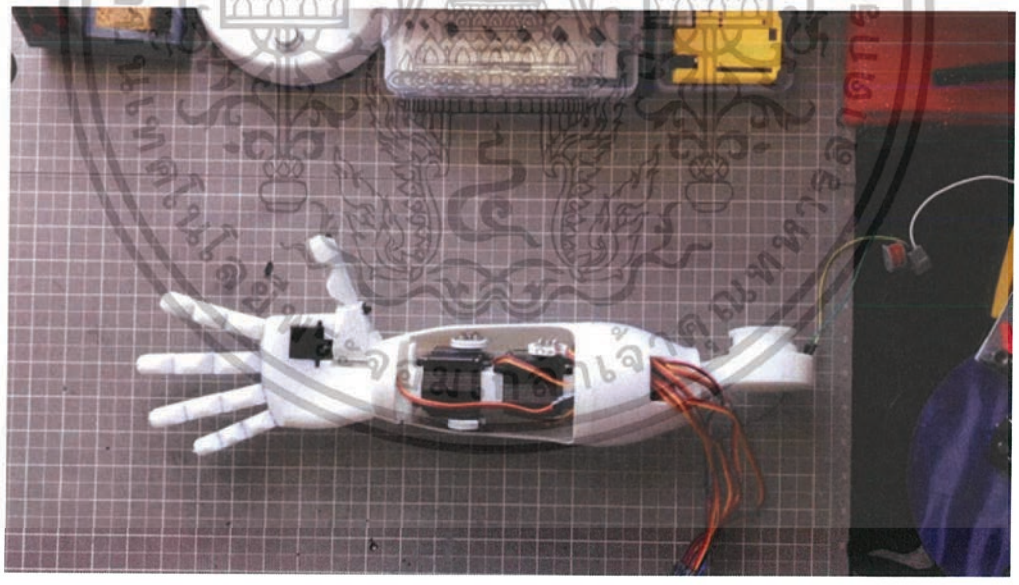
นำเอ็นมาร้อยเข้ากับรูบนส่วนของตัวเชื่อมระหว่างเอ็นกับมอเตอร์โดยมัดปมไว้ฝั่งนึงแล้วร้อยเอ็นผ่านรูบนส่วนของตัววางมอเตอร์ดังรูป จะมีส่วนของนิ้วนางกับนิ้วก้อยที่จะใช้มอเตอร์ตัวเดียวกันโดยร้อยเอ็น 2 เส้นในมอเตอร์ตัวเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.36** การประกอบแขนกล ขั้นตอนที่ 7

นำเส้นเอ็นมาร้อยตามรูตรงข้อมือให้ร้อยยาวไปจนสุดนิ้ว ทำครบทุกนิ้วแล้วนำส่วนมอเตอร์มาประกอบรวมกับตัวแขน



**รูปที่ 3.37** การประกอบแขนกล ขั้นตอนที่ 8

มัดปมของเอ็นบนปลายนิ้วโดยให้เส้นเอ็นตึงพอดี ได้แขนกลพร้อมนำไปใช้งาน ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการดำเนินงาน

## 4.1 ผลการออกแบบ

ผลจากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์แขนเทียมและเครื่องมือตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้า ตามรูปที่ 4.1 ถึง 4.4

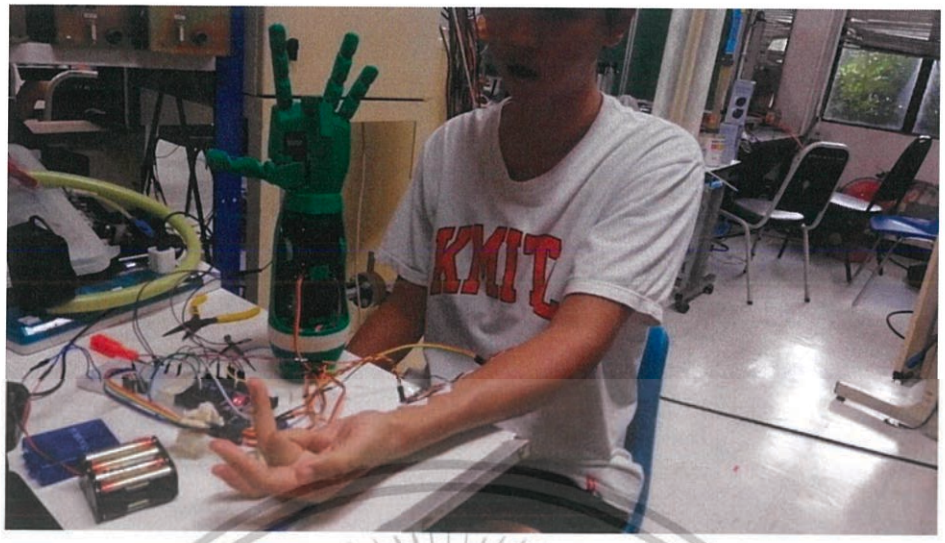
**รูปที่ 4.1** แขนกลประดิษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 การตอบสนองแขนเทียมต่อการขยับนิ้วโป้ง

รูปที่ 4.3 การตอบสนองแขนเทียมต่อการขยับนิ้วชี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.4 การตอบสนองแขนเทียมต่อการขยับนิ้วกลาง

รูปที่ 4.5 การตอบสนองแขนเทียมต่อการกำมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการตอบสนองของสัญญาณ

หลังจากวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณแล้วจึงได้ทำการหาความผิดพลาดเพื่อดูความเป็นไปได้ในการใช้งานของแขนเทียมดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.4

**ตารางที่ 4.1** สัญญาณที่ได้จะการขยับนิ้วโป้ง 5 รอบ รอบละ 10 ครั้ง

| ครั้งที่ | สัญญาณที่ได้ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | รอบ | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง |
| 2 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง |
| 3 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง |
| 4 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง |
| 5 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | X | นิ้วโป้ง |
| 6 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง |
| 7 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง |
| 8 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | X |
| 9 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง |
| 10 | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง | นิ้วโป้ง |

*หมายเหตุ X คือไม่มีการตอบสนอง

**หมายเหตุ การทดลองนี้ได้ทดลองกับนาย จิรัสย์ เกษร

สัญญาณตรงตามการขยับนิ้วโป้งเป็นจำนวน 48 ครั้งจาก 50 ครั้งอีก 2 ครั้งเป็นการไม่ตอบสนองต่อสัญญาณ ซึ่งเกิดจากค่าศักย์ไฟฟ้ามีค่าไม่ถึงช่วงที่กำหนดไว้

สำหรับความผิดพลาดของสัญญาณนิ้วโป้งมีความผิดพลาด = ( 2 / 50 ) * 100 = 4% สันนิษฐานว่าเป็นความผิดพลาดจากความไม่สม่ำเสมอและเหนื่อยล้าจากการทดลองของผู้ทดลองหรือการเขียนโปรแกรมที่ไม่ครอบคลุมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** สัญญาณนิ้วชี้ที่ได้จะการขยับ 5 รอบ รอบละ 10 ครั้ง

| ครั้งที่ | สัญญาณที่ได้ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | รอบ | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | X | นิ้วชี้ |
| 2 | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ |
| 3 | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | **นิ้วกลาง** | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ |
| 4 | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ |
| 5 | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ |
| 6 | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ |
| 7 | นิ้วชี้ | **นิ้วกลาง** | นิ้วชี้ | **นิ้วกลาง** | นิ้วชี้ |
| 8 | **นิ้วกลาง** | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ |
| 9 | นิ้วชี้ | X | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ |
| 10 | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | นิ้วชี้ | **นิ้วกลาง** | นิ้วชี้ |

*หมายเหตุ X คือไม่มีการตอบสนอง

**หมายเหตุ การทดลองนี้ได้ทดลองกับนาย จิรัสย์ เกษร

สัญญาณตรงตามการขยับนิ้วชี้เป็นจำนวน 43 ครั้งจาก 50 ครั้งอีก 7 ครั้งมีไม่ตอบสนองต่อสัญญาณเพียง 1 ครั้งแต่อีก 6 ครั้งมีการตอบสนองแต่เป็นการตอบสนองสัญญาณที่ผิดซึ่งสืบเนื่องมาจากค่าสัญญาณนิ้วชี้และนิ้วกลางมีบางสภาวะที่มีค่าใกล้เคียงกันจนเกินไป

สำหรับความผิดพลาดของสัญญาณนิ้วโป้งมีความผิดพลาด = ( 7 / 50 ) * 100 = 14% สันนิษฐานว่าเป็นความผิดพลาดจากความไม่สม่ำเสมอและเหนื่อยล้าจากการทดลองของผู้ทดลองหรือการจัดการสัญญาณที่ไม่ดีพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** สัญญาณนิ้วกลางได้จะการขยับ 5 รอบ รอบละ 10 ครั้ง

| ครั้งที่ | สัญญาณที่ได้ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | รอบ | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง |
| 2 | นิ้วกลาง | **นิ้วชี้** | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง |
| 3 | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง |
| 4 | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง |
| 5 | **นิ้วชี้** | นิ้วกลาง | X | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง |
| 6 | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | **นิ้วชี้** |
| 7 | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง |
| 8 | นิ้วกลาง | **นิ้วชี้** | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง |
| 9 | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | **นิ้วชี้** |
| 10 | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | นิ้วกลาง | **นิ้วชี้** |

*หมายเหตุ X คือไม่มีการตอบสนอง

**หมายเหตุ การทดลองนี้ได้ทดลองกับนาย จิรัสย์ เกษร

สัญญาณตรงตามการขยับนิ้วชี้เป็นจำนวน 43 ครั้ง จาก 50 ครั้ง อีก 7 ครั้ง มีไม่ตอบสนองต่อสัญญาณเพียง 1 ครั้ง แต่อีก 6 ครั้งมีการตอบสนองแต่เป็นการตอบสนองสัญญาณที่ผิด ซึ่งสืบเนื่องมาจากค่าสัญญาณนิ้วชี้และนิ้วกลางมีบางสภาวะที่มีค่าใกล้เคียงกันจนเกินไป

สำหรับความผิดพลาดของสัญญาณนิ้วโป้งมีความผิดพลาด = ( 7 / 50 ) * 100 = 14% สันนิษฐานว่าเป็นความผิดพลาดจากความไม่สม่ำเสมอและเหนื่อยล้าจากการทดลองของผู้ทดลอง หรือการจัดการสัญญาณที่ไม่ดีพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** สัญญาณการกำมือที่ได้จะการขยับ 5 รอบ รอบละ 10 ครั้ง

| ครั้งที่ | สัญญาณที่ได้ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | รอบ | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ |
| 2 | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ |
| 3 | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ | **นิ้วกลาง** |
| 4 | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ |
| 5 | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ |
| 6 | กำมือ | กำมือ | กำมือ | **นิ้วกลาง** | กำมือ |
| 7 | กำมือ | **นิ้วกลาง** | กำมือ | กำมือ | กำมือ |
| 8 | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ |
| 9 | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ |
| 10 | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ | กำมือ |

*หมายเหตุ X คือไม่มีการตอบสนอง

**หมายเหตุ การทดลองนี้ได้ทดลองกับนาย จิรัสย์ เกษร

สัญญาณตรงตามการขยับนิ้วชี้เป็นจำนวน 47 ครั้งจาก 50 ครั้งอีก 3 ครั้งมีการตอบสนองแต่เป็นการตอบสนองสัญญาณที่ผิดซึ่งสืบเนื่องมาจากค่าสัญญาณที่ได้ขึ้นไม่ถึงช่วงสัญญาณของการกำมือตามที่กำหนดไว้

สำหรับความผิดพลาดของสัญญาณนิ้วโป้งมีความผิดพลาด = ( 3 / 50 ) * 100 = 6% สันนิษฐานว่าเป็นความผิดพลาดจากความไม่สม่ำเสมอและเหนื่อยล้าจากการทดลองของผู้ทดลองหรือการจัดการสัญญาณที่ไม่ดีพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 ผลการหยิบจับสิ่งของ

หลังจากการที่สามารถขยับนิ้วได้แล้วต่อไปคือการทดสอบการหยิบจับสิ่งของ หรือวัตถุต่างๆโดยใช้แขนกล ดังตารางที่ 4.5 โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขวดเท่ากับ 55 มม. โดยประมาณ ปากกาเท่ากับ 7 มม. กระดาษที่ถูกทำให้เป็นก้อน 80 มม. โดยประมาณ ด้ามไขควง 21 มม.

**ตารางที่ 4.5** การหยิบจับวัตถุหรือสิ่งของของแขนเทียมจำนวน

| ชื่อสิ่งของ | สามารถจับได้หรือไม่ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ขวดน้ำพลาสติกขนาด 600 ม.ล. ไม่มีน้ำ | / | / | / | / | / |
| ขวดน้ำพลาสติกขนาด 600 ม.ล. มีน้ำครึ่งขวด | / | / | / | / | / |
| ขวดน้ำพลาสติกขนาด 600 ม.ล. มีน้ำเต็มขวด | / | / | / | / | X |
| ปากกา | X | X | X | / | X |
| กระดาษที่ถูกทำให้เป็นก้อน | / | / | / | / | / |
| ไขควง | / | X | / | / | / |

*หมายเหตุ / หมายถึงสามารถจับได้ X หมายถึงไม่สามารถจับได้

ผลการทดลองพบว่า สิ่งของหรือวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูระหว่างกำมือจะไม่สามารถถือไว้ได้ ยกตัวอย่างเช่นปากกาซึ่งไม่สามารถจับไว้ได้เลย แต่มีเพียง 1 ครั้งที่จับได้เพราะบังเอิญเกี่ยวนิ้วเพียงเท่านั้น ส่วนวัตถุที่มีขนาดใหญ่พอจนสามารถจับได้เต็มฝ่ามือจะสามารถจับได้ แต่จะเกิดความผิดพลาดในตอนจับเล็กน้อยเมื่อเล็งมุมในการจับไม่ดีจนทำให้ให้สิ่งของที่จับนั้นหลุด

โดยเส้นผ่านศูนย์ของขนาดที่ทำการจับตรงๆได้อย่างแน่นอนคือ 30 มม. เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

## 5.1 บทวิจารณ์และสรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอถึงการศึกษาอุปกรณ์เซนเซอร์วัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่เรียกว่า Electro myography (EMG) ทำการศึกษารูปแบบของคลื่นสัญญาณไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อเพื่อนำไปสร้างแขนกลที่ใช้กับการทำงานที่เสี่ยงอันตราย และสำหรับผู้พิการ จุดประสงค์ของปริญญานิพนธ์นี้คือการสร้างแขนกลที่สามารถขยับได้โดยใช้ สัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากกล้ามเนื้อ ดำเนินการโดยเริ่มจาก

1. การรวบรวมศึกษาข้อมูล ศึกษาถึงระบบการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ศึกษาเซนเซอร์วัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ หาข้อมูลของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเคลื่อนไหวนิ้วมือ
2. หาตำแหน่งที่ดีที่สุดในการติดเซนเซอร์ แล้วเก็บข้อมูลสัญญาณของนิ้วแต่ละนิ้วเมื่อทำการขยับวิเคราะห์ หารูปแบบสัญญาณของแต่ละนิ้ว
3. ปริ้นชิ้นส่วนของแขนกล และประกอบแขนกลขึ้นมาตามที่ออกแบบเอาไว้
4. ทดสอบการใช้งานแขนกล โดยทดสอบการขยับของนิ้วแต่ละนิ้ว

จากการทดสอบและเก็บข้อมูลของแขนกล พบว่าแขนกลที่ออกแบบมาโดยใช้เซนเซอร์วัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ Electromyography (EMG) สามารถทำให้แขนกลขยับได้เป็นผลสำเร็จตามจุดประสงค์ที่คาดหวังไว้ของปริญญานิพนธ์นี้

จากการดำเนินงานตั้งแต่ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลการศึกษารูปแบบของสัญญาณ การออกแบบแขนกลการ ประกอบแขนกลและ ทดสอบการใช้งานของแขนกลตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น มักพบเจอปัญหาและอุปสรรคอยู่เป็นระยะๆ ซึ่งต้องใช้ความรู้และทักษะต่างๆ มาเพื่อใช้แก้ไขปัญหาโดยในขั้นต้นจะเริ่มแก้ไขปัญหาโดยการศึกษาค้นคว้าจากอินเตอร์เน็ต ซึ่งในปัจจุบันสามารถค้นคว้าได้สะดวกและเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้แต่หากค้นหาไม่พบ หรือไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ ขั้นต่อมาคือ การปรึกษาผู้รู้ที่น่าเชื่อถือ อาทิเช่น อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ในภาควิชาฯ และบุคคลภายนอกที่สามารถให้ข้อมูลได้เพื่อให้ความกระจ่าง อันนำไปสู่การแก้ไขปัญหาต่างๆ ให้ผ่านพ้นมาได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

1. เซนเซอร์มีความไวต่อการเปลี่ยนลักษณะท่าทางอากัปกิริยาต่างๆ ของผู้ทดลองทำให้เกิดความยากลำบากในการเก็บข้อมูลของสัญญาณ

2. สัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากเซนเซอร์ในแต่ละคนให้ค่าข้อมูลที่แตกต่างกันทำให้แขนกลนี้สร้างมาเพื่อคนคนเดียว ถ้าผู้อื่นต้องการใช้งานจำเป็นต้องวัดค่าสัญญาณใหม่

3. ชิ้นส่วนตัวเชื่อมต่อระหว่างเอ็นกับเซอร์โวมอเตอร์ที่พิมพ์ออกมาได้มีความแข็งแรงต่ำ เกิดการชำรุด ใช้งานต่อไปไม่ได้ จากการใช้งานทดลองเป็นระยะเวลาหนึ่ง

4. วัสดุที่ใช้ทำแขนกลเป็นแบบราคาถูกทำให้ความสามารถในการหยิบจับชิ้นงานไม่ละเอียดเท่าที่ควรจะเป็น

## 5.3 แนวทางแก้ไข

1. ศึกษาระบบการทำงานของเซนเซอร์โดยการค้นคว้าหรือสอบถามข้อมูลกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านอุปกรณ์การแพทย์ที่มีการวัดตรวจหาสัญญาณไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ เช่นผู้เชี่ยวชาญคณะเทคนิคการแพทย์ที่มีความรู้กับอุปกรณ์ทางการ แพทย์ โดยตรง

2. ออกแบบ แก้ไข ชิ้นส่วนที่ชำรุดบ่อย เพื่อให้สามารถใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

3. จัดหาวัสดุที่ทำให้แขนกลสามารถหยิบจับชิ้นงานขนาดเล็กและทำงานที่ละเอียดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม

[1] เรื่องที่ ๒ กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบการเคลื่อนไหวและกล้ามเนื้อ. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ ๘ [สืบค้นเมื่อ มกราคม 2562]

[2] John PJ Pinel. Biopsychology, pp. 135-136,584 , 1993 [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2562]

[3] รศ.ดร.สมชาย รัตนทองคำ. การตรวจประสาท-กล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า. ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2562]

[4] สมชาย รัตนทองคำ คู่มือการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ: ปฏิบัติการและการประยุกต์ใช้ทางคลินิก. ขอนแก่น: ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2537. [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2562]

[5] Goodgold J and Eberstein A. Electrodiagnosis of neuromuscular diseases.Baltimore:William and Wilkins, 1972. [สืบค้นเมื่อ มกราคม 2562]

[6] Robinson AJ and Snyder-Mackler L. Clinical electrophysiology, electrotherapy and electrophysiology testing, 3rd edition. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2008. [สืบค้นเมื่อ มกราคม 2562]

[7] MyoWare™ Muscle Sensor (AT-04-001) DATASHEET. 3-lead Muscle / Electromyography Sensor for Microcontroller Applications. [ระบบออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ พฤศจิกายน 2561]

[8] 9Arduino. 2560. Arduino คืออะไร. https://www.9arduino.com/article/54/arduino- [ระบบออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 2562]

[9] Siamreprap. 2558. 3D Printer คืออะไร. https://www.siamreprap.com/2015/10/what-is-3d-printer/. [ระบบออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 2562]

[10] Siamreprap. 2558. เส้น ABS และ PLA สำหรับ 3D PRINTER แตกต่างกันอย่างไร. https://www.siamreprap.com/2015/10/3d-printer-difference-between-abs-and-pla/ [ระบบออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 2562]

[11] Wikipedia. 2556. รูปกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ ดิจิทอรุม โปรฟันดัส. https://th.wikipedia.org/wiki/ [ระบบออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2562]

[12] Wikipedia. 2561. รูปกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ พอลิซิส ลองกัส. https://th.wikipedia.org/wiki/ [ระบบออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2562]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม(ต่อ)

[13] MUSCLES OF THE ANTERIOR OR FRONT OF THE FOREARM https//www.earthslab.com /anatomy/muscles-anterior-front-forearm/ [ระบบออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2562]

[14] Ryan Gross. Humanoid Robotic Hand. 2017. https://www.thingiverse.com /thing:2269115 [ระบบออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ เมษายน 2562]

[15] Ryan Gross. How to Assemble the Forearm and Hand of the PROTO1 Robot. 2017. https://www.youtube.com/watch?v=L2ddw3MQl9g [ระบบออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ เมษายน 2562]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

**การเขียนโปรแกรมควบคุมแขนกลประดิษฐ์**

```
#include <Servo.h>

Servo F1;                    //ประกาศตัวแปรเซอร์โวมอเตอร์นิ้วโป้ง

Servo F2;                    //ประกาศตัวแปรนิ้วชี้

Servo F3;                    //ประกาศตัวแปรนิ้วกลาง

Servo F4;                    //ประกาศตัวแปรนิ้วนาง และก้อย

Servo F;                     //ประกาศตัวแปรเซอร์โวมอเตอร์นิ้วโป้งล่าง

boolean z = false ;          //มีเพื่อป้องกันการทำงานทับซ้อน
เมื่อนิ้วหนึ่งทำงานนิ้วอื่นจะไม่สามารถทำงานได้

//ส่วนตั้งค่าเริ่มต้น

void setup() {

  Serial.begin(9600);        // เริ่มต้นการสื่อสารใน Arduino ที่ 9600 บิท/วินาที

 //กำหนดขาที่เชื่อมต่อระหว่างเซอร์โวมอเตอร์และ arduino

    F1.attach(5);            //ส่วนของเซอร์มอเตอร์นิ้วโป้ง

    F2.attach(4);            //ส่วนของเซอร์มอเตอร์นิ้วชี้

    F3.attach(2);            //ส่วนของเซอร์มอเตอร์นิ้วกลาง

    F4.attach(3);            //ส่วนของเซอร์มอเตอร์นิ้วนางและก้อย

    F.attach(6);             //ส่วนของเซอร์มอเตอร์ตัวเล็กนิ้วโป้ง
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//ค่าองศาเริ่มต้นเมื่อเริ่มใช้งาน

///ค่าF1 F2 และ F3 F4 มีมุมเริ่มต้นแตกต่างกันเนื่องจากตำแหน่งการวางของเซอร์โวมอเตอร์

F1.write(180);

F2.write(180);

F3.write(0);

F4.write(0);

F.write(0);

}

// ส่วนโปรแกรมที่จะทำการวนซ้ำไปเรื่อยๆ

void loop() {

  // ส่วนตัวแปรรับค่าเซนเซอร์

  int sensorValue = analogRead(A0);  //ประกาศตัวแปรเพื่อรับค่าจากเซนเซอร์ที่ต่อขาอนาล็อค A0

  int sensorValue1 = analogRead(A7); //ประกาศตัวแปรเพื่อรับค่าจากเซนเซอร์ที่ต่อขาอนาล็อค A7

  // ส่วนแสดงค่าในมอนิเตอร์ของ Arduino เพื่อสังเกตในเวลาดูสัญญาณ

  Serial.print(sensorValue);              //แสดงค่าเซนเซอร์ตัวที่ 1

  Serial.print("    ");                   //เว้นเพื่อแยกสัญญาณ

  Serial.println(sensorValue1);           //แสดงค่าเซนเซอร์ตัวที่ 2 และเริ่มบรรทัดใหม่

  delay(100);        //ทำการดีเลย์ไม่ให้รับค่าจากเซนเซอร์เร็วเกินจนเกิดการทับกัน
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int F2minus1 = sensorValue1 - sensorValue ;        //ความแตกต่างของค่าเซนเซอร์1 และ2

//ส่วนโปรแกรมที่ควบคุม

//ส่วนของนิ้วโป้ง (ส่วนของนิ้วโป้งจะมีเซอร์โวมอเตอร์ควบคุมทั้งหมดสองตัว)

//ใช้ if ในการสร้างเงื่อนไขก่อนมอเตอร์จะทำงาน ในกรณีใช้การเปรียบเทียบในค่าของเซนเซอร์สองตัว

if(sensorValue>3&&sensorValue<=6&&sensorValue1>sensorValue&&sensorValue1<=13&&
sensorValue1>=8&&z==false&&F2minus1>=5&&F2minus1<=6)

    {

        z=true;          //ทำให้ส่วนของโปรแกรมอื่นใช้งานไม่ได้

        F.write(90);     //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง 90 องศา (สถานะนิ้วทำงาน)

        delay(200);              //ดีเลย์เพื่อให้เกิดระยะห่างระหว่างข้อนิ้วเวลาทำการขยับ

        F1.write(10);    //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง 10 องศา (สถานะนิ้วทำงาน)

        delay(1000);     //เว้นระยะก่อนจะขยับขั้นต่อไป

        F.write(0);              //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง 0 องศา (สถานะนิ้วไม่ทำงาน)

        delay(200);      //ดีเลย์เพื่อให้เกิดระยะห่างระหว่างข้อนิ้วเวลาทำการขยับ

        F1.write(180);   //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง180 องศา  (สถานะนิ้วไม่ทำงาน)

    Serial.println("1");          //แสดงเลข 1 ในมอนิเตอร์ของ Arduino เพื่อให้รู้ว่ามีการขยับแล้ว
```

เผื่อในกรณีที่โปรแกรมทำงานแต่มอเตอร์ไม่ทำงาน จะได้สามารถรู้ได้ว่ามอเตอร์ชำรุดหรือมีปัญหาอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        z=false;                    //ทำให้ส่วนของโปรแกรมอื่นพร้อมใช้งาน

        delay(400);                 //ทำการหน่วงเวลาก่อนขึ้นโปรแกรมใหม่

    }
```

//ส่วนของนิ้วชี้

//ใช้ if ในการสร้างเงื่อนไขก่อนมอเตอร์จะทำงาน ในกรณีใช้การเปรียบเทียบในค่าของเซนเซอร์สองตัว

```
if(sensorValue>10&&sensorValue<=14&&sensorValue1>sensorValue&&sensorValue1<=20
&&sensorValue1>=12&&z==false&&F2minus1>=4&&F2minus1<=5)

    {

        z=true;             //ทำให้ส่วนของโปรแกรมอื่นใช้งานไม่ได้

        F2.write(10);    //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง 10 องศา (สถานะนิ้วทำงาน)

        delay(500);      //เว้นระยะก่อนจะขยับขั้นต่อไป

        Serial.println("2");       //แสดงเลข 2 ในมอนิเตอร์ของ Arduino เพื่อให้รู้ว่ามีการขยับแล้ว
เผื่อในกรณีที่โปรแกรมทำงานแต่มอเตอร์ไม่ทำงาน จะได้สามารถรู้ได้ว่ามอเตอร์ชำรุดหรือมีปัญหาอื่นๆ

         F2.write(180); //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง 180 องศา (สถานะนิ้วไม่ทำงาน)

        z=false;                    //ทำให้ส่วนของโปรแกรมอื่นพร้อมใช้งาน

        delay(400);                 //ทำการหน่วงเวลาก่อนขึ้นโปรแกรมใหม่

    }
```

//ส่วนของนิ้วกลาง

//ใช้ if ในการสร้างเงื่อนไขก่อนมอเตอร์จะทำงาน ในกรณีใช้การเปรียบเทียบในค่าของเซนเซอร์สองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(sensorValue>=20&&sensorValue<=28&&sensorValue1>=27&&sensorValue1<=34&&z==f
alse&&F2minus1>=7&&F2minus1<=8)

    {

        z=true;          //ทำให้ส่วนของโปรแกรมอื่นใช้งานไม่ได้

        finger2.write(30);              //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง 30 องศา (สถานะนิ้วทำงาน)

        delay(500);             //เว้นระยะก่อนจะขยับขั้นต่อไป

        finger2.write(0);               //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง 0 องศา (สถานะนิ้วไม่ทำงาน)

        Serial.println("3");      //แสดงเลข 3 ในมอนิเตอร์ของ Arduino เพื่อให้รู้ว่ามีการขยับแล้ว
เผื่อในกรณีที่โปรแกรมทำงานแต่มอเตอร์ไม่ทำงาน จะได้สามารถรู้ได้ว่ามอเตอร์ชำรุดหรือมีปัญหาอื่นๆ

        z=false;          //ทำให้ส่วนของโปรแกรมอื่นพร้อมใช้งาน

        delay(400);          //ทำการหน่วงเวลาก่อนขึ้นโปรแกรมใหม่

    }

//ส่วนของกำมือ

//ใช้ if ในการสร้างเงื่อนไขก่อนมอเตอร์จะทำงาน ในกรณีใช้การเปรียบเทียบในค่าของเซนเซอร์สองตัว


if(sensorValue>=35&&sensorValue<=40&&sensorValue1>=68&&sensorValue1<=75&&z==f
alse&&F2minus1>=30&&F2minus1<=35)

    {

        z=true;          //ทำให้ส่วนของโปรแกรมอื่นใช้งานไม่ได้

        finger3.write(30);              //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง 30 องศา (สถานะนิ้วทำงาน)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay(500);              //เว้นระยะก่อนจะขยับขั้นต่อไป

        finger3.write(0);              //มอเตอร์หมุนมาตำแหน่ง 0 องศา (สถานะนิ้วไม่ทำงาน)

        Serial.println("4");      //แสดงเลข 4 ในมอนิเตอร์ของ Arduino เพื่อให้รู้ว่ามีการขยับแล้ว
เผื่อในกรณีที่โปรแกรมทำงานแต่มอเตอร์ไม่ทำงาน จะได้สามารถรู้ได้ว่ามอเตอร์ชำรุดหรือมีปัญหาอื่นๆ

        z=false;               //ทำให้ส่วนของโปรแกรมอื่นพร้อมใช้งาน

        delay(400);            //ทำการหน่วงเวลาก่อนขึ้นโปรแกรมใหม่

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้