เครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

Lower Exoskeleton

นายธนากร หวัง
Tanakorn Wang
นายสุชาติ เทพศิริ
Suchart Thepsiri

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

Lower Exoskeleton

นายธนากร หวัง

Tanakorn Wang

นายสุชาติ เทพศิริ

Suchart Thepsiri

สภ.
ว231 ค
2558
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....144655
วัน,เดือน,ปี..29 พย. 2559

.b.....12821652
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2558

สาขา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง	เครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง (Lower Exoskeleton)
ผู้จัดทำ	นายธนากร หวัง รหัสนักศึกษา 55010531
	นายสุชาติ เทพศิริ รหัสนักศึกษา 55011329

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

กิตติกรรมประกาศ

รายงานจากการศึกษาค้นคว้าฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่ผู้ศึกษาขอกราบพระคุณคือ ท่าน ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้งานวิจัยชิ้นี้สมบูรณ์ที่สุด งานวิจัยนี้จะสำหรับเร็จลุล่วงไปไม่ได้เลยหากขาดกำลังใจและความช่วยเหลือที่สำคัญยิ่งจากครอบครัวของข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณ บิดา ที่คอยช่วยเหลือเมื่อมีอะไรขาดตกบกพร่อง ขอบคุณมารดาผู้ที่คอยให้กำลังใจตลอดไม่ว่าจะท้อถอยเพียงใด ขอบคุณเพื่อนสนิทที่คอยถามไถ่และให้ความช่วยเหลือเสมอเมื่อมีสิ่งขาดตกบกพร่องยินดีช่วยเหลือแม้ไม่ใช่หน้าที่ ขอขอบพระคุณทุกๆท่านเป็นอย่างสูง

นายธนากร หวัง
นายสุชาติ เทพศิริ

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง
นักศึกษา	นายธนากร หวัง 55010531
	นายสุชาติ เทพสิริ 55011329
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

บทคัดย่อ

เครื่องช่วยพยุงร่างกาย มีหน้าที่เพื่อช่วยรองรับการเคลื่อนไหวของร่างกาย อุปกรณ์นี้เหมาะสมกับคนทั่วไปที่ใช้อวัยวะช่วงล่างทำงานหนัก และผู้ป่วยที่เดินลำบาก หรืออยู่ในช่วงกำลังฟื้นฟู งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาเทคโนโลยีทางการแพทย์ในประเทศไทย เพื่อให้คนไทยได้มีโอกาสได้ใช้เทคโนโลยีที่ยังมีราคาแพงและยังไม่แพร่หลาย เป็นการเพิ่มทางเลือกในการรักษา อุปกรณ์นี้จึงถูกมุ่งพัฒนาให้มีต้นทุนต่ำและคุณภาพดีเป็นหลัก วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือการสร้างเครื่องช่วยพยุงร่างกายเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาต่อไป โดยที่เครื่องต้นแบบนี้มีความสามารถในการช่วยยืน และช่วยเดินได้ เพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์ ผู้พัฒนาจึงมีการออกแบบและเลือกสรรวัสดุที่มีราคาไม่แพงนักแต่มีความคงทนแข็งแรง เพื่อให้ได้ต้นแบบของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง โดยได้ใช้ซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ ในการออกแบบแต่ละชิ้นส่วนเพื่อให้เข้ากับสรีระของมนุษย์ จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยอลูมีเนียมหนา 3 มิลลิเมตร โดยชิ้นงานที่จัดทำนี้ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ โครงอลูมิเนียม อุปกรณ์รับแรงกระแทก มอเตอร์ และชุดควบคุม

Thesis	Lower Exoskeleton
Student	Mr.Tanakorn Wang 55010531
	Mr.Suchart Thepsiri 55011329
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Biomedical Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Supan Tungjitkusolmun

Abstract

An Exoskeleton Technology is the external skeleton that supports a human body. It is made for many objectives such as support a disabled, Increase the force, Use in military and Use in medical. Nowadays an Exoskeleton Technology is not well-known in Thailand because it is a new technology and expensive more than is necessary. So we got a chance to make the Low cost Exoskeleton prototype. First we use the 3D software to create the Exoskeleton model. The material is one of factors that make the exoskeleton to be interesting. We decided to use 3mm Aluminum alloy for the prototype. Our design was made for a prototype to develop in the future and has some function like support the body when the people stand for long time and help the people to walk. This Exoskeleton prototype consists of 4 parts body, shock absorber motor and micro-controller.

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ I
Abstract II
สารบัญ III
สารบัญรูป VII
สารบัญตาราง XII

บทที่1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 1
1.3 สมมติฐานการวิจัย 1
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 โครงร่างของรายงาน 2

บทที่ 2 3
หลักการและทฤษฎี 3
2.1 การเดิน 3
2.1.1 การแบ่งช่วงของการเดิน 3
2.1.2 วงจรการเดิน 3
2.2 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา 7
2.2.1 กระดูกเชิงกราน (Pelvis) 7
2.2.2 ขา (Lower Extremity) 9
2.2.3 ข้อต่อและเอ็น (Joints & Ligaments) 12
2.3 ตัวอย่างของเครื่องช่วยพยุงส่วนล่าง 14
2.4 กลศาสตร์เรื่องแรงและการเคลื่อนไหว 16
2.4.1 Link-Segment Model Development 17
2.4.2 แรงที่กระทำบน Link-Segment Model 17
2.4.3 แรงปฏิกิริยาระหว่างข้อต่อ 18
2.4.4 LINK-SEGMENT EQUATIONS และ THE FREE-BODY DIAGRAM 18
2.5 ชนิดของพลาสติกที่ใช้สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติ 19
2.5.1 PLA 20
2.5.2 ABS 21
2.6 การใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติ 24
2.7 วัสดุอะไรบ้างที่ใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติได้ 26

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

2.8 อลูมิเนียม อัลลอยด์(Aluminum alloy).....28
2.8.1 คุณสมบัติอลูมิเนียม.....29
2.8.2 การผลิตอลูมิเนียม.....29
2.8.3 ชนิดของอลูมิเนียม.....30
2.8.4 สัญลักษณ์แสดงกลุ่มอลูมิเนียมขึ้นรูป.....31
2.8.5 เกรดอลูมิเนียม ประเภท 1xxx.....31
2.9 มอเตอร์ไฟฟ้า.....33
2.9.1 หลักการทำงานของมอเตอร์.....33
2.9.2 คุณสมบัติทั่วไป.....34
2.9.3 กฎมือซ้ายสำหรับมอเตอร์.....34
2.9.4 ชนิดของมอเตอร์.....35
2.9.5 ประเภทของมอเตอร์.....36
2.9.6 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสสลับ.....36
2.9.7 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง.....38
2.9.9 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....38
2.9.10 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....39
2.9.11 บทสรุป.....40
2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino.....41
2.10.1 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino.....42
2.10.2 ข้อมูล Arduino Board.....45

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย.....56
3.1 ขั้นตอนการทำงานและการออกแบบ.....56
3.2 ศึกษาข้อมูลจากแหล่งความรู้.....56
3.3 การออกแบบโดยใช้ซอฟแวร์คอมพิวเตอร์.....56
3.3.1 SpaceClaim 2014.....56
3.3.2 FlashPrint.....60
3.4 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์.....61
3.4.1 พลาสติก PLA.....61
3.4.2 อลูมิเนียม เกรด6.....65
3.4.3 มอเตอร์ zytd 555.....66
3.4.4 อุปกรณ์รับแรงกระแทก.....66
3.4.5 ชุดควบคุม Arduino board and Relay module.....67

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.5 ขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน	67
3.5.1 ทำการสั่งตัดอลูมิเนียมด้วยเลเซอร์	67
3.5.2 นำมอเตอร์ zytd 555	68
3.5.3 เชื่อมมอเตอร์เข้ากับส่วนสะโพกที่ทำจากพลาสติก	68
3.5.4 เชื่อมส่วนสะโพกกเข้ากับส่วนขา	69
3.5.5 ติดวาโก้เทปเพื่อให้สามารถยึดกับส่วนของร่างกายได้	70
3.5.6 ติดส่วนควบคุมเข้ากับด้านหลัง	71
3.5.7 หุ้มสายไฟด้วยผ้าเพื่อให้ดูน่าใช้มากยิ่งขึ้น	71
3.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	72
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	73
4.1 ผลการทดลอง	73
4.1.1 วัดการกินกระแสของมอเตอร์ขณะที่ไม่มีโหลด	76
4.1.2 การวัดการกินกระแสขณะที่มีโหลด	74
4.1.3 การวัดการกินกระแสขณะที่สวมเครื่องช่วยพยุงส่วนล่าง	75
4.1.4 การใช้งานแบตเตอรี่	77
4.1.5 แบบสอบถามความพึงพอใจ	78
4.1.6 ผลสรุปแบบสอบถามความพึงพอใจ	98
บทที่5 การสรุปผลการทดลอง	100
5.1 การสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	100
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	100
อ้างอิง	102
ภาคผนวก ก	103

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 Initial Condition 3
2.2 Loading Response 4
2.3 Mid Stance 4
2.4 Terminal Stance 5
2.5 Pre-Swing 5
2.6 Initial Swing 6
2.7 Terminal Swing 6
2.8 Terminal Swing 7
2.9 ลักษณะโดยทั่วไปของ hip bone 8
2.10 ลักษณะของกระดูกเชิงกราน (ก) เพศหญิง และ (ข) เพศชาย 9
2.11 โครงสร้างของกระดูกขา 9
2.12 ลักษณะโดยทั่วไปของกระดูก Femur และ Patella 10
2.13 ลักษณะโดยทั่วไปของกระดูก Tibia และ Fibula 11
2.14 ลักษณะโดยทั่วไปของกระดูกเท้า 12
2.15 ชนิดของข้อต่อ 13
2.16 จำแนกข้อต่อตามการเคลื่อนไหว 14
2.17 Design and Implementation of a New Motorized-Mechanical Exoskeleton Based on CGA Patternized Control 14
2.18 On the Mechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton 15
2.19 Customizable Rehabilitation Lower Limb Exoskeleton System 15
2.20 Firefighter Exoskeleton 16
2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจลศาสตร์ ,ข้อมูลสัดส่วนร่างกาย และการคำนวณแรง 16
2.22 แสดงการการใช้ link-segment models แทนขา 17
2.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง free-body diagram และ the link-segment model 18
2.24 free-body diagram 19
2.25 ตัวอย่างการพิมพ์ 3D 20
2.26 ตัวอย่างชิ้นงาน 3D 21
2.27 เครื่องพิมพ์ 3D 22
2.28 ตัวอย่างชิ้นงาน 3D 23
2.29 ภาพจาก 3D Material 24
2.30 Makerbot Replicator 2 เครื่องพิมพ์ขนาดตั้งโต๊ะ 25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.31 ภาพจาก 3D Material 25
2.32 ภาพจาก THRE3D 26
2.33 ภาพตัวอย่างของเส้นพลาสติก PLA และ ABS รูปร่างภายนอกไม่ต่างกัน 27
2.34 ภาพงานพิมพ์จากเส้นพลาสติกทั้งสอง ซ้าย PLA ขวา ABS – ภาพจาก CubeX 3D 27
2.35 น้ำเรซินแบบใส สำหรับใช้กับเครื่อง The Form 1 28
2.36 ตัวอย่างงานที่พิมพ์สามมิติด้วยน้ำเรซิน 28
2.37 อลูมิเนียม 29
2.38 การแปรรูปอลูมิเนียม 30
2.39 ความสัมพันธ์ระหว่าทิศทางของสนามแม่เหล็ก ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในตัวนำและทิศทางที่ตัวนำเคลื่อนที่ 35
2.40 ภาพขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก 36
2.41 แกนขั้ว (Pole Core) 37
2.42 แกนเพลา (Shaft) 37
2.43 แปรงถ่าน 37
2.44 บอร์ด Arduino 41
2.45 การควบคุม Arduino 42
2.46 เลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload 42
2.47 Comport ของบอร์ด 43
2.48 ขาต่างๆของ Arduino UNO R3 43
2.49 Schmetic ของ Arduino 44
2.50 Arduino Uno 45
2.51 Arduino Uno R3 46
2.52 Arduino Mega 2560 R3 47
2.53 Arduino Mega ADK 48
2.54 Arduino Leonardo 49
2.55 Arduino Mini 05 49
2.56 Arduino Pro Mini 50
2.57 Arduino Pro Mini 328 50
2.58 Arduino Ethernet with PoE module 51
2.59 Arduino Ethernet with PoE module 51
2.60 Arduino Due Duo 52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.61 Arduino Micro 53
2.62 Arduino Nano....54
3.1 โปรแกรม SPACECLAIM 2014....56
3.2 หน้าต่างของโปรแกรม SPACECLAIM 2014....57
3.3 แสดงการออกแบบด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014....57
3.4 การออกแบบชิ้นส่วนต้นขาด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014....57
3.5 การออกแบบส่วนหน้าแข้งด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014....58
3.6 การออกแบบส่วนเท้าด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014....58
3.7 การออกแบบส่วนรับแรงกระแทกด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014....59
3.8 การออกแบบสะโพกด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014....59
3.9 การออกแบบส่วนประกอบโดยรวมด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014....60
3.10 หน้าต่างของโปรแกรม Flash Print....60
3.11 แสดงการแปลงไฟล์ชิ้นงานเป็นไฟล์ .g ด้วยโปรแกรม FlashPrint....61
3.12 พลาสติก PLA สีดำ....61
3.13 ชิ้นส่วนหน้าแข้งทำจากพลาสติก PLA....62
3.14 ชิ้นส่วนหน้าแข้ง (อีกมุม) ทำจากพลาสติก PLA....62
3.15 ชิ้นส่วนหน้าแข้งทำจากพลาสติก PLA....63
3.16 ชิ้นส่วนข้อเท้าทำจากพลาสติก PLA....63
3.17 ชิ้นงานข้างซ้ายทำจากพลาสติก PLA....64
3.18 ชิ้นส่วนชิ้นงานข้างซ้าย(อีกมุม)ทำจากพลาสติก PLA....64
3.19 เกรดอลูมิเนียม ประเภท 6xxx....65
3.20 ชิ้นงานข้างขวาทำจากอลูมิเนียม....65
3.21 มอเตอร์ zytd 555....66
3.22 อุปกรณ์รับแรงกระแทก....66
3.23 ชุดควบคุมมอเตอร์....67
3.24 ชิ้นส่วนข้างขวาทำจากอลูมิเนียม....67
3.25 มอเตอร์ zytd 555....68
3.26 มอเตอร์ และสะโพก....68
3.27 มอเตอร์และสะโพก(อีกมุม)....69
3.28 มอเตอร์ สะโพก บอดี้อลูมิเนียม....69
3.29 ชิ้นงานเต็มตัว....70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.30 ชิ้นงานและวาโก้เทป....70
3.31 ชิ้นงานและส่วนควบคุม....71
3.32 ชิ้นงานทั้งหมด....71
4.1 วัดการกินกระแสต่ำสุดเมื่อไม่มีโหลด....73
4.2 วัดการกินกระแสสูงสุด ขณะไม่มีโหลด....74
4.3 วัดค่าการกินกระแสต่ำสุด ขณะมีโหลด....74
4.4 วัดค่าการกินกระแสสูงสุดขณะมีโหลด....75
4.5 วัดค่าการกินกระแสต่ำสุด เมื่อใส่เครื่องพยุง....75
4.6 วัดค่าการกินกระแสสูงสุดเมื่อใส่เครื่องพยุง....76
4.7 ผู้ทดลองคนที่ 1 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....78
4.8 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 1....79
4.9 ผู้ทดลองคนที่ 2 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....80
4.10 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 2....81
4.11 ผู้ทดลองคนที่ 3 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....82
4.12 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 3....83
4.13 ผู้ทดลองคนที่ 4 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....84
4.14 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 4....85
4.15 ผู้ทดลองคนที่ 5 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....86
4.16 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 5....87
4.17 ผู้ทดลองคนที่ 6 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....88
4.18 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 6....89
4.19 ผู้ทดลองคนที่ 7 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....90
4.20 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 7....91
4.21 ผู้ทดลองคนที่ 8 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....92
4.22 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 8....93
4.23 ผู้ทดลองคนที่ 9 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....94
4.24 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 9....95
4.25ผู้ทดลองคนที่ 10 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง....96
4.26 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 10....97
4.27 ผลสรุปการประเมิน ข้อ 1,2....98
4.28 ผลสรุปการประเมิน ข้อ 3,4,5,6....99

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.29 ผลสรุปการประเมิน ข้อ 7.8.9 100

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบยบคุณสมบัติของarduino 88
3.1 ขั้นตอดำเนินงาน.....72
4.1 ค่าการใช้กระแสของมอเตอร์เมื่อไม่โหลด.....76
4.2 ค่าการใช้กระแสของมอเตอร์เมื่อมีโหลด 77
4.3 ค่าการใช้กระแสของมอเตอร์เมื่อมีโหลด 77
4.4 เวลานานที่สุดที่สามารถใช้ได้ 77

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการแพทย์ก้าวหน้าไปมาก อุปกรณ์จำนวนมากมายถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้น เทคโนโลยีที่ก้าวหน้ามักจะถูกพัฒนาโดยต่างประเทศและมีต้นทุนที่สูง หากมีความต้องการใช้เทคโนโลยี้นั้นก็ต้องมีการนำเข้า ทำให้ต้นทุนสูงมากขึ้นไปอีก จึงเป็นการดีที่เราจะหันมาพัฒนาอุปกรณ์และเทคโนโลยีภายในประเทศเพื่อให้คนไทยมีโอกาสได้ใช้ ในราคาที่เข้าถึงได้ จึงเป็นที่มาของการออกแบบและพัฒนา เครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง หรือ Lower-Exoskeleton เครื่องนี้มีความสำคัญต่อคนปกติที่ต้องการลดภาระของร่างกายส่วนล่าง เช่น คนที่เดินบ่อย ผู้ป่วยที่เดินได้บ้างแต่ยังไม่อยากออกแรงมากหรือกำลังอยู่ในช่วงพักฟื้นไม่ต้องการออกแรงในส่วนของข้อต่อมาก การทำกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยพักฟื้น ซึ่งในประเทศไทยนั้น เครื่องช่วยพยุงร่างกายทั้งส่วนล่างและส่วนบน ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และยังมีราคาแพงไม่คุ้มค่าต่อการซื้อมาใช้ ดังนั้นหากเราสามารถลดต้นทุนกระบวนการผลิตรวมถึงต้นทุนการออกแบบ วัสดุอุปกรณ์ ก็จะสามารถลดราคาค่าเครื่องไปได้มาก และคนทั่วไปก็จะสามารถเข้าถึงได้ ดังนั้น อุปกรณ์ช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างนี้ จึงสามารถเป็นทางเลือกใหม่ของการแพทย์ ที่คนทั่วไปสามรถเข้าถึงได้ อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางการแพทย์ในประเทศไทยได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างในร่างกายส่วนล่าง อัตราส่วนของน้ำหนักและความยาวของส่วนต่างๆ
2. เพื่อศึกษาการเดินและการเคลื่อนไหวในคนปกติ
3. เพื่อเพิ่มทางเลือกในการใช้เครื่องช่วยพยุง
4. เพื่อลดต้นทุนการผลิตโดยการออกแบบและใช้วัสดุที่ราคาประหยัด คนทั่วไปสามารถเข้าถึง
5. เป็นการเสริมสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องมือแพทย์ให้เจริญก้าวหน้าต่อไป

1.3 สมมติฐานการวิจัย

จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์ช่วยพยุงร่างกายได้ คนทั่วไปสามารถเข้าถึงและสามารถนำไปใช้ได้ ทั้งสำหรับในทางการแพทย์และในชีวิตประจำวัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยพยุงร่างหกายส่วนล่าง และเพื่อที่จะสามารถนำมาใช้งานจริงได้ จึงมีการศึกษาตามหัวข้อดังนี้

1. ลักษณะการเดินในคนปกติ
2. การทำงานของอวัยวะควบคุมการเคลื่อนที่ส่วนล่าง
3. วัสดุที่มีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ช่วยพยุง

4. การออกแบบโดยใช้ซอฟแวร์คอมพิวเตอร์
5. การขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ และอลูมิเนียม
6. คุณลักษณะของมอเตอร์แต่ละชนิด
7. การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ลดแรงกระแทก
8. การเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอลโทรลเลอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการเดิน ธรรมชาติของการเคลื่อนไหวในมนุษย์ สามารถนำเครื่องมือช่วยพยุงร่างกายมาสวมใส่ แล้วสามารถช่วยผ่อนแรงในตอนเดินและตอนยืนได้ สามารถใช้ได้กับคนปกติที่ยืนนานๆ และเป็นต้นแบบในการพัฒนาต่อไป

1.6 โครงร่างของรายงาน

โครงสร้างของรายงานนี้ประกอบไปด้วย

บทที่1 บทนำ ความเป็นมาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย

บทที่2 หลักการและทฤษฎี

บทที่3 ระเบียบการวิจัย

บทที่4 ผลการทดลอง

บทที่5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 การเดิน

การเดินจะถูกแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยๆหลายขั้นตอน รูปแบบการเดินจะมีด้วยกัน 2 แบบคือ รูปแบบดั้งเดิม(Traditional Terminology)กับรูปแบบเรนโชลอสอะมิโกส (Rancho Los Amigos,RLA) รูปแบบดั้งเดิมนั่นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการปรับปรุงขาเทียม และแบ่งขั้นตอนออกเป็นช่วงสั้นๆ เช่น การเหวี่ยงส้นเท้า (heel strike) การยกส้นเท้า (heel rise) และการแตะพื้นของนิ้วหัวแม่มือเท้า (toe-off) ส่วนรูปแบบอาร์แอลเอ(RLA) จะอ้างอิงกับตำแหน่งของการยืนและแบ่งออกเป็นช่วงๆ เช่น การเตรียมการตอบสนอง (Loading Response) ระยะสิ้นสุดของการยืน (Terminal Stance) และระยะก่อนการสวิง (Pre-Swing) รูปแบบดั้งเดิมใช้การเหวี่ยงส้นเท้าเป็นตัวบอกถึงสภาวะที่เท้าแตะพื้น ในขณะที่รูปแบบอาร์แอลเอใช้ระยะเริ่มต้นของการแตะ(Initial Condition) เป็นตัวบอก ดังนั้น รูปแบบอาร์แอลเอจึงเหมาะสมกับผู้ป่วยอัมพาตหรือผู้ป่วยที่ไม่สามารถเดินได้โดยใช้ส้นเท้าแตะพื้น ฉะนั้นรูปแบบอาร์แอลเอจึงใช้ได้หลากหลายกว่า ดังนั้นเราจึงใช้รูปแบบอาร์แอลเอในการศึกษาการเดิน

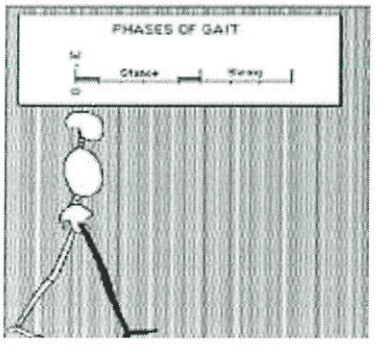
2.1.1 การแบ่งช่วงของการเดิน

แบ่งได้เป็น 2 ระยะ (phases) คือ

2.1.1.1 ระยะที่เท้ารับน้ำหนัก (stance phases) เริ่มจากระยะที่ส้นเท้าแตะพื้น จนถึงระยะที่เท้าพ้นพื้น (60% ของวงจรการเดิน)

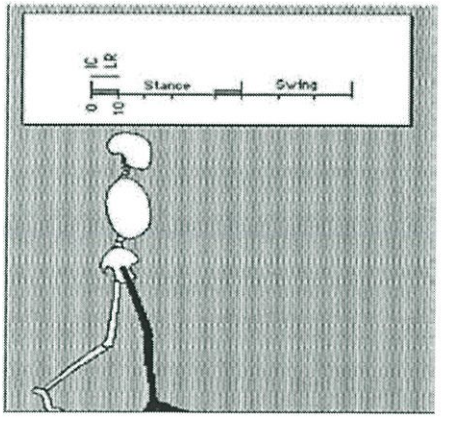
2.1.1.2 ระยะที่ขาแกว่งเท้าพ้นพื้น (swing phases) เริ่มตั้งแต่ระยะที่เท้าพ้นพื้น จนถึงระยะที่ส้นเท้าแตะพื้นอีกครั้งหนึ่ง (40% วงจรการเดิน)

2.1.2 วงจรการเดิน



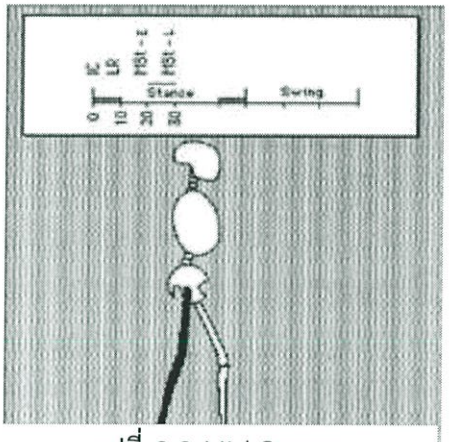
รูปที่ 2.1 Initial Condition

2.1.2.1 ระยะเริ่มต้นของการแตะ (Initial Condition) คือช่วงที่เท้าแตะพื้นโดยสัมผัสพื้นครั้งแรกด้วยส้นเท้า (ไม่เสมอไป) ทำให้ขาเริ่มที่จะยืนด้วยส้นเท้า และสามารถทรงตัวด้วยขาทั้งสองข้างดังภาพ โดยที่ฝ่าเท้าแตะพื้นแค่บางส่วน ระยะนี้ไม่ถือเป็นวงจรหนึ่งของการเดิน เพียงแต่เป็นระยะของการเตรียมการเพื่อนำไปสู่วงจรถัดไป



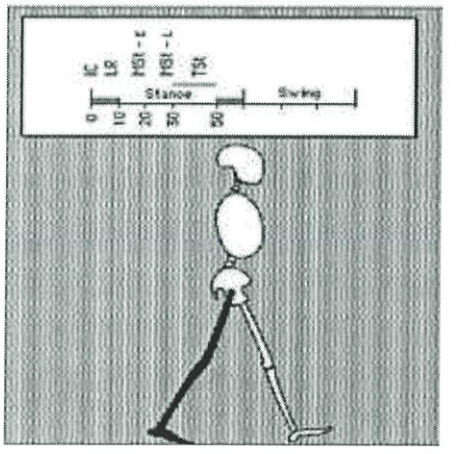
รูปที่ 2.2 Loading Response

2.1.2.2 ระยะเตรียมการตอบสนอง (Loading Response) คือระยะที่ต่อเนื่องมาจากระยะเริ่มต้นของการแตะ (Initial Condition) จนกระทั่งเท้าข้างหนึ่งเริ่มยกขึ้นเพื่อเตรียมการเหวี่ยงไปด้านหน้า น้ำหนักจะถูกถ่ายเทไปยังขาอีกข้างที่เหยียดตรง ช่วงเวลา 0-10 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน



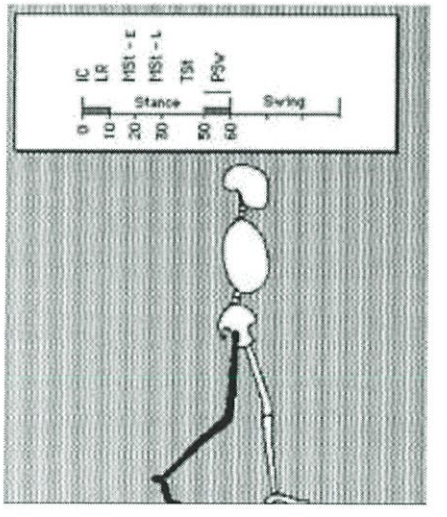
รูปที่ 2.3 Mid Stance

2.1.2.3 ระยะกลางของการยืน (Mid Stance) เป็นระยะเริ่มต้นจากจุดจบของระยะเตรียมการตอบสนอง (Loading Response) เท้าข้างหนึ่งยกลอยจากพื้นและเคลื่อนที่ไปข้างหน้า น้ำหนักตัวตกลงสู่ฝ่าเท้าส่วนหน้า (Forefoot) หรือก็คือในขณะที่กระดูกหน้าแข้ง (Tibia) ของขาข้างที่ลอยเหนือพื้น(Swing leg)อยู่ในแนวตั้ง ช่วงเวลา 10-30 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน



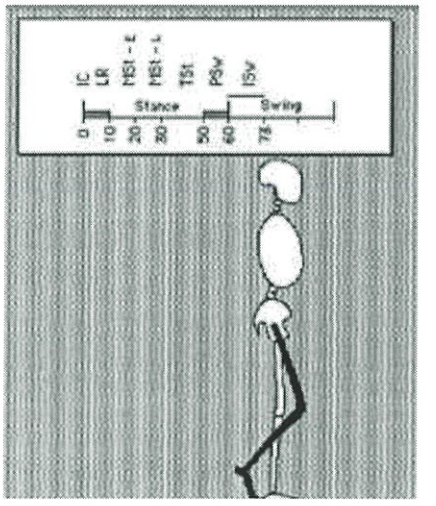
รูปที่ 2.4 Terminal Stance

2.1.2.4 ระยะสิ้นสุดของการยืน (Terminal Stance) คือระยะที่เริ่มจากส้นเท้าลอยเหนือพื้น และระยะนี้สิ้นสุดเมื่อเท้าอีกข้างแตะพื้น น้ำหนักตัวจะถูกถ่ายเทไปยังเท้าที่อยู่ด้านหน้า และกลับเข้าสู่ระยะเริ่มต้นของการแตะ (Initial Condition) ช่วงเวลา 30-50 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน



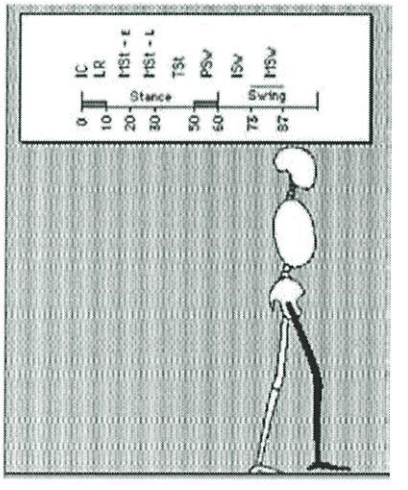
รูปที่ 2.5 Pre-Swing

2.1.2.5 ระยะก่อนการเหวี่ยง (Pre-Swing) เป็นระยะที่เริ่มมาจากระยะเริ่มต้นของการแตะ (Initial Condition) เริ่มด้วยการ สัมผัสพื้นด้วยส้นเท้าจนปลายของเท้านี้แตะพื้น และส้นเท้าอีกข้างยกสูงจากพื้น ช่วงเวลา 50-60 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน



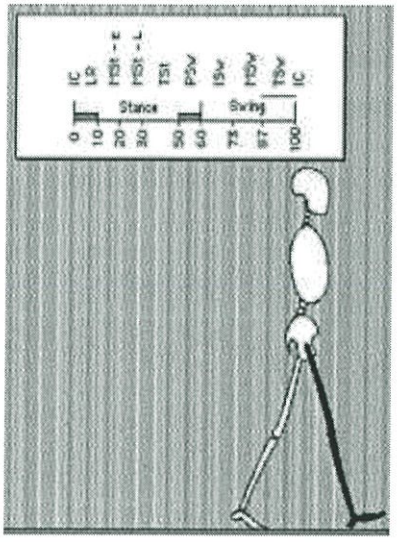
รูปที่ 2.6 Initial Swing

2.1.2.6 ระยะเริ่มการเหวี่ยง (Initial Swing) คือระยะที่เริ่มด้วยการยกเท้าลอยจากพื้นและจบเมื่อเท้านี้มาอยู่ด้านตรงข้ามกับเท้าที่ใช้ยืน ช่วงเวลา = 60-73 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน



รูปที่ 2.7 Mid Swing

2.1.2.7 ระยะกลางของการเหวี่ยง (Mid Swing) คือระยะที่เริ่มจากเท้าที่เหวี่ยงอยู่ในตำแหน่งตรงข้ามกับเท้าที่ยืน จบด้วยเท้าที่เหวี่ยงเคลื่อนไปด้านหน้าและกระดูกหน้าแข้ง (Tibia) ตั้งตรงช่วงเวลา 73-87 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน

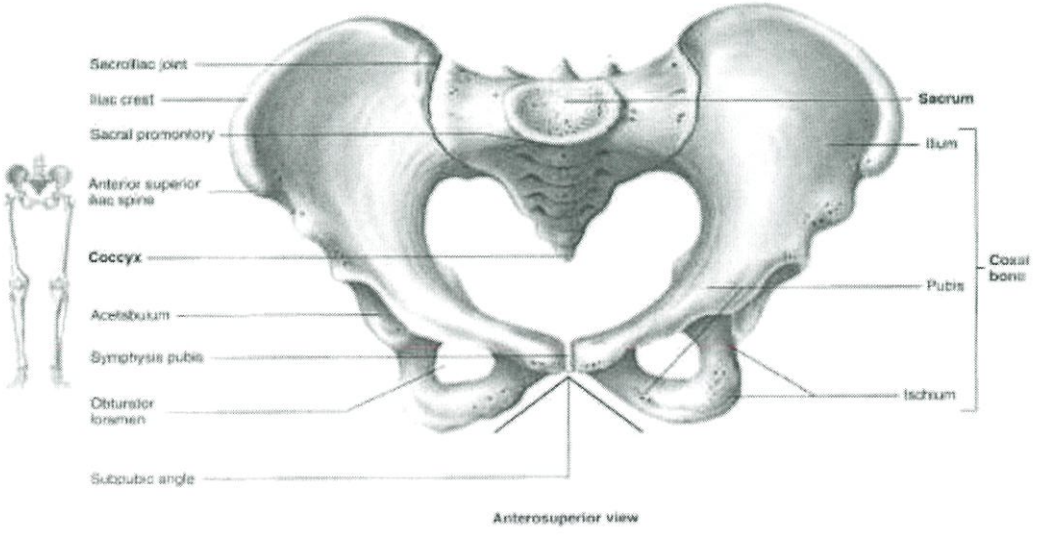


รูปที่ 2.7 Terminal Swing

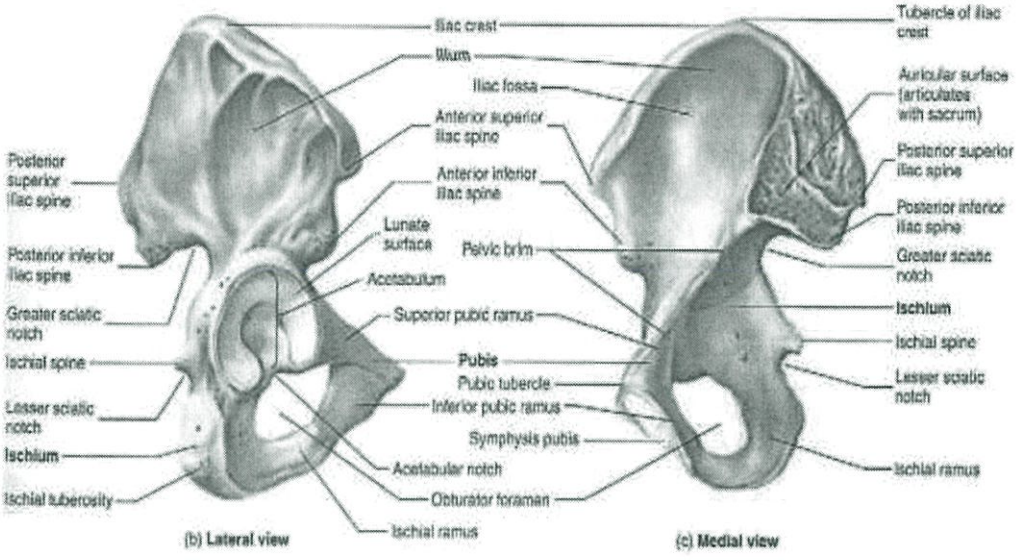
2.1.2.8 ระยะสิ้นสุดของการเหวี่ยง (Terminal Swing) คือระยะที่เริ่มจากเท้าที่เหวี่ยงอยู่ด้านหน้าและกระดูกหน้าแข้ง (Tibia) ตั้งตรง และจบเมื่อเท้าข้างนี้แตะพื้น ช่วงเวลา 87-100 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการเดิน

2.2 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา

2.2.1 กระดูกเชิงกราน (Pelvis) ประกอบด้วยกระดูกสะโพก (Hip bone) 2 ชิ้น กระดูกสะโพกแต่ละชิ้นประกอบด้วย กระดูก 3 ชิ้นดังนี้ Ilium อยู่ทางด้านบน , Pubic bone อยู่ทางด้านล่างค่อนมาทางด้านหน้า และ Ischium อยู่ทางด้านล่างค่อนไปทางด้านหลัง เมื่ออายุมากขึ้น กระดูกทั้ง 3 ชิ้นจะเชื่อมติดกัน ด้านข้างมีหลุมเรียกว่า Acetabulum ทำหน้าที่เป็นเบ้ารับ Head ของ กระดูก Femur



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.8 (ก) และ(ข) ลักษณะโดยทั่วไปของ hip bone

2.2.1.1 ส่วนประกอบของกระดูกสะโพก (Hip bone) ประกอบด้วยกระดูก 3 ชิ้นเชื่อมติดกัน มีโครงสร้างดังนี้

Ilium ประกอบด้วย - Iliac crest

- Anterior superior iliac spine
- Anterior inferior iliac spine
- Posterior superior iliac spine
- Posterior inferior iliac spine
- Iliac fossa
- Body

Pubic bone ประกอบด้วย - Superior and inferior pubic ramai

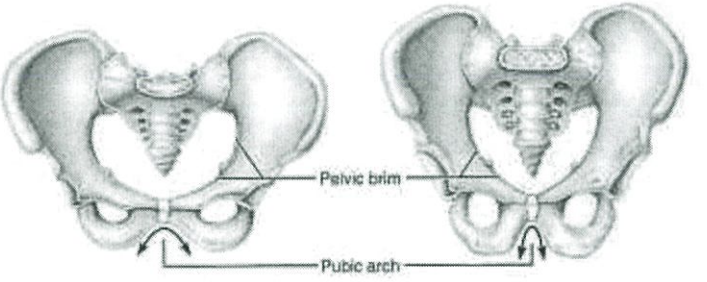
- Pubic crest
- Pubic tubercle
- Body

Ischium ประกอบด้วย - Ischial tuberosity

- Ischeal spine
- Body
- Lesser sciatic notch
- Obturator foramen
- Ischeal ramus

2.2.1.2 ความแตกต่างของกระดูกเชิงกรานเพศชายและเพศหญิง

ในเพศหญิงช่องเชิงกรานภายในอุ้งเชิงกรานจะกว้างกว่า เพศชาย มุมของ Pubic arch ในเพศหญิงกว้างกว่า เพศชาย รอยเกาะของกล้ามเนื้อในเพศชายจะชัดกว่าเพศหญิง และกระดูกจะหนักกว่า

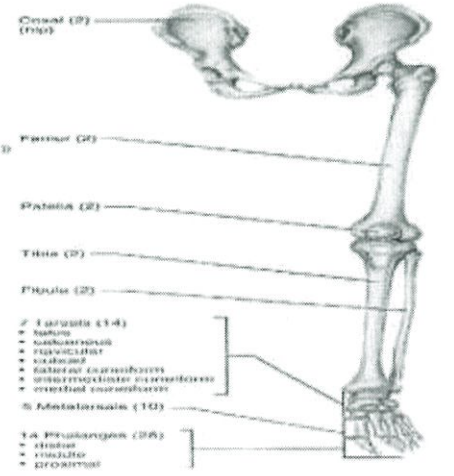


(ก) (ข)

รูปที่ 2.9 ลักษณะของกระดูกเชิงกราน (ก) เพศหญิง และ (ข) เพศชาย

2.2.2 ขา (Lower extremity หรือ Lower limb) ขาประกอบด้วยกระดูก ส่วนต่างๆ คือ

- กระดูกต้นขา (Femur)
- กระดูกสะบ้า (Patella)
- กระดูกปลายขา (Tibia,fibula)
- กระดูกของเท้า (Tarsals)
- กระดูกฝ่าเท้า (Metatarsals)
- กระดูกนิ้วเท้า (Phalanges)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของกระดูกขา

2.2.2.1 Femur เป็นกระดูกที่ยาวที่สุดและมีน้ำหนักมากที่สุดของร่างกาย ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

-Head อยู่ปลายบนมีรูปร่างกลม

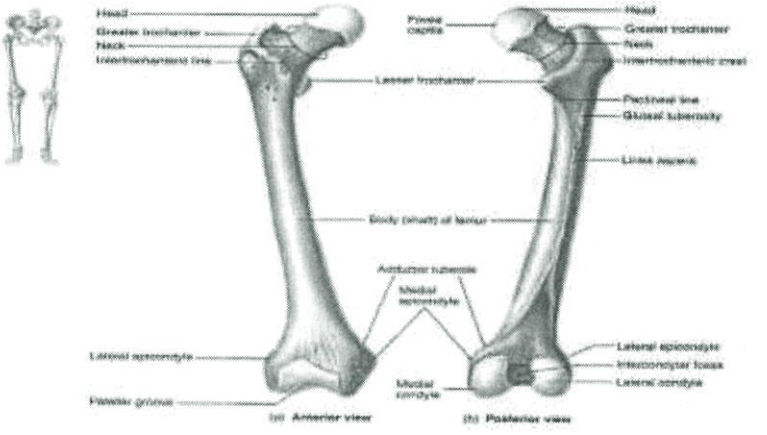
-Neck อยู่ต่อจาก head

-Greater trochanter ปุ่มนูนใหญ่ใกล้กับ Neck

-Lesser trochanter ปุ่มนูนเล็กอยู่ด้านในล่างต่อ Neck

-Linea aspera สันนูนตามยาวของแท่งกระดูก

-Medial และ Lateral condyle อยู่ปลายกระดูกด้านใน และด้านนอก เหนือต่อ Condlye เรียกว่า Epicondyle



รูปที่ 2.11 ลักษณะโดยทั่วไปของกระดูก Femur และ Patella

2.2.2.2 Patella (กระดูกสะบ้า) เป็นกระดูกชิ้นเล็กรูปสามเหลี่ยมวางอยู่ด้านหน้าของข้อเข่า

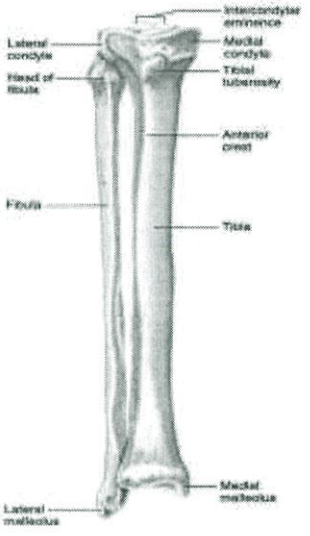
2.2.2.3 Tibia เป็นกระดูกหน้าแข้ง อยู่ด้านในของปลายขา ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

-Medial และ Lateral condyle อยู่ปลายบนสุด

-Tibial tuberosity ปุ่มนูนด้านหน้าเป็นที่เกาะของ Patella ligament

-Medial malleolus ตาตุ่มด้านใน ซึ่งอยู่ปลายล่างสุดด้านใน

2.2.2.4 Fibula วางตัวอยู่ด้านนอกขนานกับกระดูก Tibia ประกอบด้วยส่วน Head อยู่ปลายบน และปลายล่างมี Lateral malleolus เป็นตาตุ่มด้านนอก

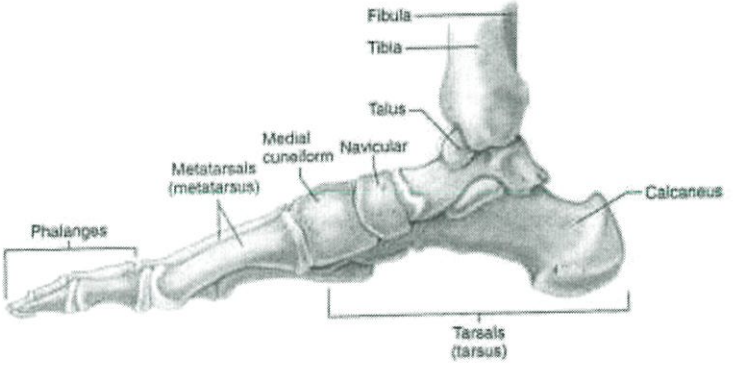


รูปที่ 2.12 ลักษณะโดยทั่วไปของกระดูก Tibia และ Fibula

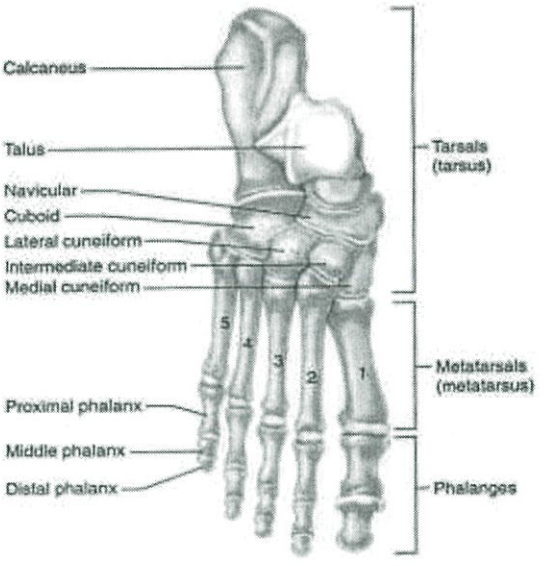
2.2.2.5 Tarsal bones เป็นกระดูกที่อยู่บริเวณข้อเท้า มี 7 ชิ้นคือ Talus , Calcaneus, Cuboid ,Navicular และ Cuneiform ที่ 1- 3

2.2.2.6 Metatarsal bones เป็นกระดูกที่อยู่บริเวณฝ่าเท้า มี5 ชิ้น เรียกชื่อตามลำดับว่า metatarsal bone ที่ 1ถึง 5 เรียงจากด้านในออกด้านนอก

2.2.2.7 Phalanges กระดูกนิ้วเท้า เรียงตัวเป็น 3 แถว ได้แก่ Proximal ,Middle, Distal phalanges ยกเว้นนิ้วหัวแม่เท้า มี 2 ชิ้น ไม่มี Middle phalange



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.13 ลักษณะโดยทั่วไปของกระดูกเท้า

2.2.3 ข้อต่อและเอ็น (Joints & Ligaments)

ข้อต่อและเอ็นเป็นการเชื่อมต่อระหว่างกระดูกกับกระดูก ข้อต่อเกิดจากกระดูกตั้งแต่สองชิ้นขึ้นไปมาต่อกัน โดยมีเอ็นหรือพังผืด (Ligament) มาช่วยยึดเกาะกันไว้เพื่อประกอบให้กระดูกหลายๆ ชิ้นติดกันเป็นโครงของร่างกายเป็นส่วนสาคัญของระบบการเคลื่อนไหว โดยทาหน้าที่เป็นจุดหมุนของการเคลื่อนไหว การจำแนกชนิดของข้อต่อ แบ่งตามรูปร่างเป็น 3 ชนิด ได้แก่

2.2.3.1 Fibrous joints มีเส้นใยของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นตัวเชื่อมระหว่างกระดูกทาให้มีความแข็งแรง และไม่มีการเคลื่อนไหว เช่นข้อต่อบริเวณกระดูกกะโหลกศีรษะและกระดูกหน้า (ยกเว้นกระดูกขากรรไกรล่าง) ข้อต่อบริเวณปลายของกระดูก Tibia และ Fibula ข้อต่อระหว่างกระดูก Radius และ Ulna

2.2.3.2 Cartilaginous joints เป็นข้อต่อที่มีกระดูกอ่อนชนิด Hyaline หรือ Fibrocartilage เชื่อมระหว่างกระดูก เช่น Pubic symphysis และ กระดูกสันหลังแต่ละข้อ ข้อต่อประเภทนี้ช่วยรับน้าหนักและแรงกดต่างๆ ข้อต่อนี้เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย

2.2.3.3 Synovial joints เป็นข้อต่อที่พบมากที่สุด บริเวณปลายกระดูกถูกหุ้มด้วยกระดูกอ่อนและมี Capsule เป็นแผ่นยึดให้กระดูกอยู่ชิดกัน ด้านใน Capsule บุด้วยเยื่อเรียกว่า Synovial membrane เยื่อนี้ทาหน้าที่สร้างของเหลวเรียกว่า Synovial fluid เพื่อหล่อลื่นช่องว่างในข้อต่อ ทาให้ข้อต่อชนิดนี้เคลื่อนไหวได้มาก สามารถจาแนกข้อต่อตามลักษณะและการเคลื่อนไหวต่างๆ ดังนี้

- Hinge joint เป็นข้อต่อแบบบานพับ ลักษณะของกระดูกเป็นรูปเว้าและรูปนูนมาต่อกัน สามารถเคลื่อนไหวได้ทิศทางเดียวคือ การงอและเหยียด เช่น ข้อศอก กระดูกขากรรไกรล่าง ข้อต่อระหว่างนิ้ว

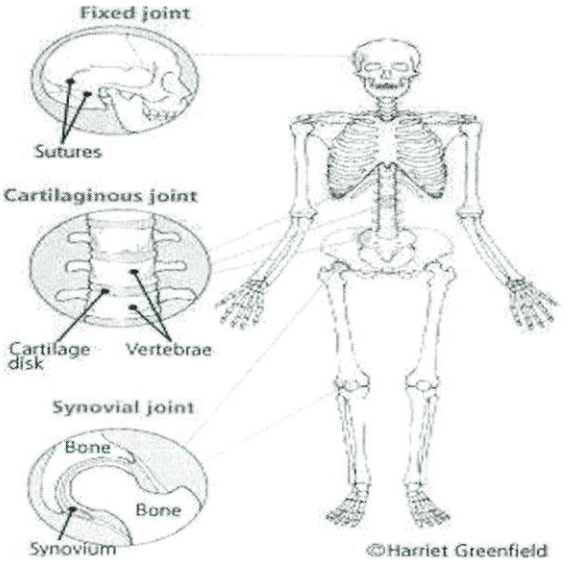
- Pivot joint เป็นลักษณะข้อต่อที่มีการเคลื่อนไหวโดยหมุน ซึ่งมีกระดูกหนึ่งหมุนหรือสวมอยู่ในวงของกระดูกอีกอันหนึ่ง เช่น กระดูกสันหลังคอชิ้นที่ 1 และ 2 (Atlas and Axis) ข้อต่อส่วนต้นของกระดูก Radius และ Ulna

- Ball and Socket Joint เป็นข้อต่อชนิดที่ปลายของกระดูกข้างหนึ่งมีหัวกลมสวมเข้าไปในเบ้าของกระดูกอีกอันหนึ่ง ทาให้เคลื่อนไหวไปได้ทุกทาง ได้แก่ การงอเหยียด การกาง หุบ การหมุนเข้าด้านในและด้านนอก เช่น ข้อสะโพก ข้อไหล่

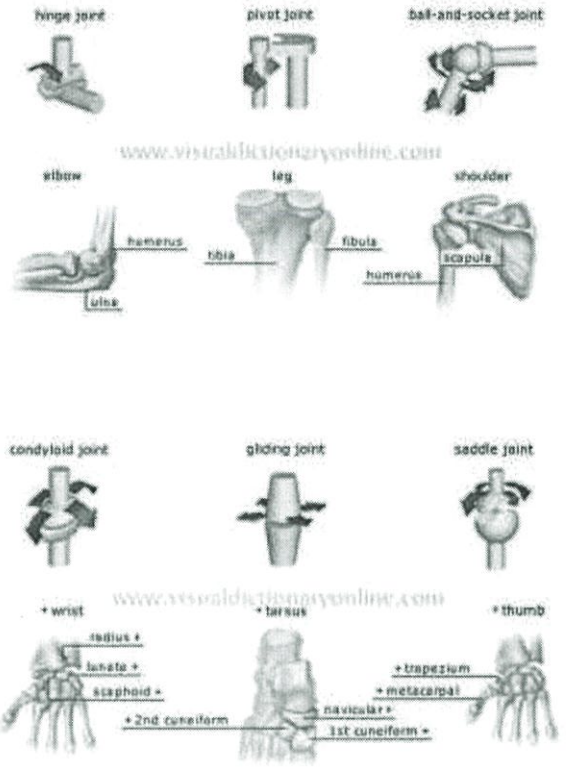
- Ellipsoidal (Condyloid) Joint ข้อต่อนี้เคลื่อนไหวแบบการงอเหยียด การกาง และหุบเช่น กระดูกข้อมือ และข้อต่อระหว่างกระดูกข้อฝ่ามือและกระดูกนิ้ว

- Gliding (Plane) Joint เป็นข้อต่อแบบลื่นไถล ลักษณะการต่อระหว่างกระดูกแบบที่มีหัวตัดค่อนข้างเรียบจึงเคลื่อนไหวได้เล็กน้อยและไม่มีแนวทางการเคลื่อนไหวแน่นอน ได้แก่ ข้อต่อระหว่างกระดูกข้อมือและข้อเท้า

- Saddle joint เป็นข้อต่อแบบอานม้า มีลักษณะกระดูกหนึ่งเว้าและกระดูกหนึ่งนูนมาประกบกันเข้าพอดี เช่น กระดูกฝ่ามือของนิ้วหัวแม่มือระหว่างกระดูกนิ้วมือชิ้นแรกและกระดูกข้อมือ

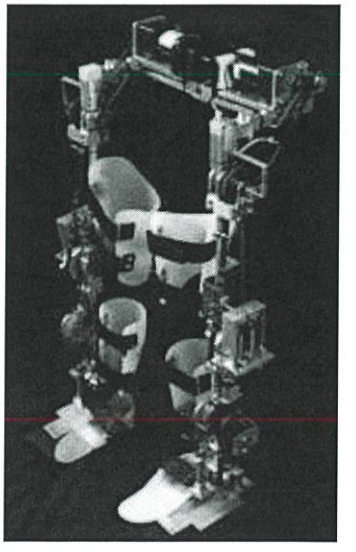


รูปที่ 2.14 ชนิดของข้อต่อ

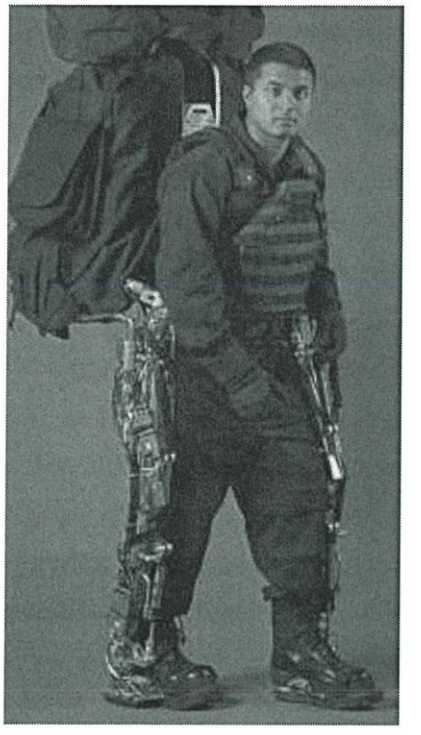


รูปที่ 2.15 จำแนกข้อต่อตามการเคลื่อนไหว

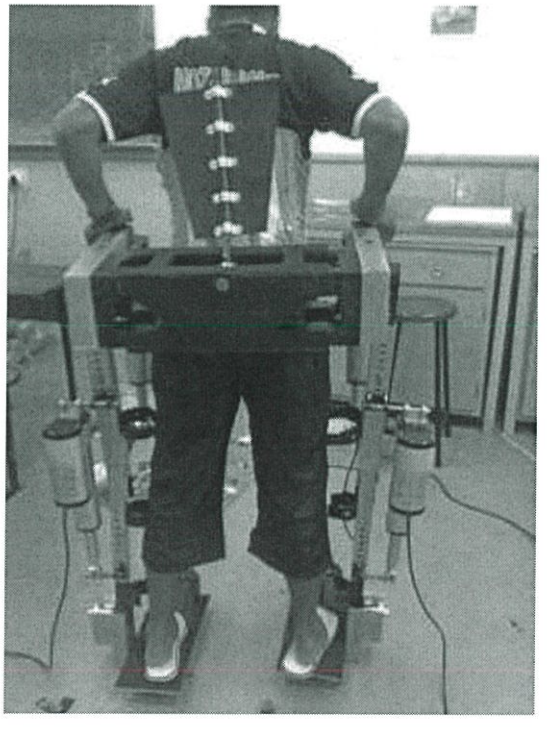
2.3 ตัวอย่างของเครื่องช่วยพยุงส่วนล่าง



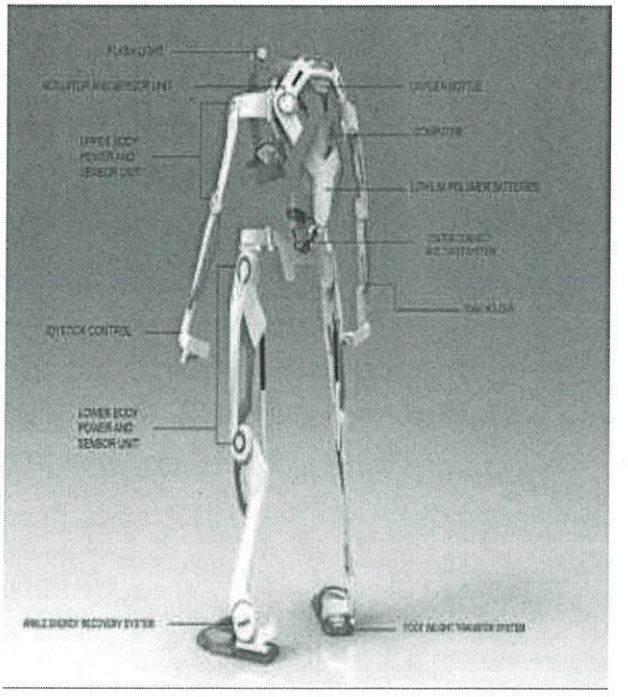
รูปที่ 2.16 Design and Implementation of a New Motorized-Mechanical Exoskeleton Based on CGA Patternized Control



รูปที่ 2.17 On the Mechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)



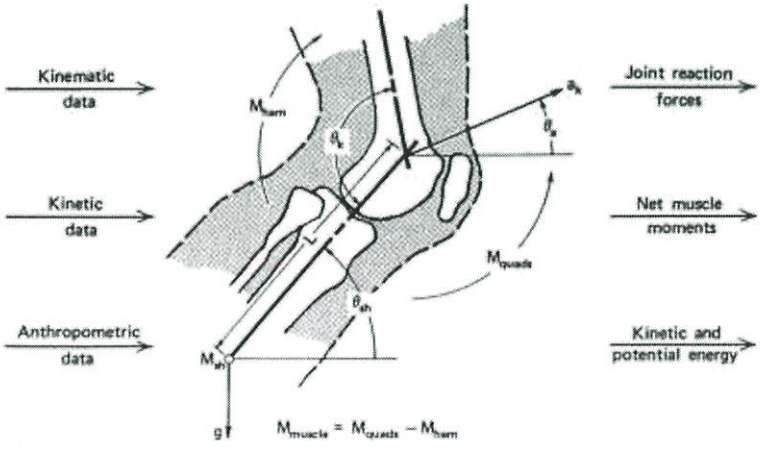
รูปที่ 2.18 Customizable Rehabilitation Lower Limb Exoskeleton System



รูปที่ 2.19 Firefighter Exoskeleton

2.4 กลศาสตร์เรื่องแรงและการเคลื่อนไหว

การศึกษาเรื่องแรงและการเคลื่อนไหวเป็นที่รู้จักในชื่อของจลศาสตร์ (Kinetics) ความรู้เกี่ยวกับรูปแบบของแรงที่กระทำจะนำมาซึ่งความเข้าใจถึงสาเหตุของการเคลื่อนไหว ถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาทรานดิวเซอร์ที่สามารถตรวจวัดแรงจากกล้ามเนื้อ แต่ยังคงสามารถคำนวณได้โดยตรงจากหลักการทางจลศาสตร์และอาศัยข้อมูลของสัดส่วนร่างกายมาใช้ประมาณค่าแรงจากกล้ามเนื้อ การคำนวณลักษณะนี้เรียกว่า Link-Segment Modeling ตัวอย่างดังรูปด้านล่าง ถ้าหากทราบหลักการทางจลศาสตร์ ขนาดสัดส่วนร่างกายที่ถูกต้อง และแรงที่มากระทำจากภายนอก เราจะสามารถคำนวณหาแรงกระทำที่ข้อต่อและการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ ข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ในการผ่าตัดและการทำกายภาพบำบัด ตลอดจนสามารถนำไปใช้ในวินิจฉัยได้



รูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจลศาสตร์ ,ข้อมูลสัดส่วนร่างกาย และการคำนวณแรง

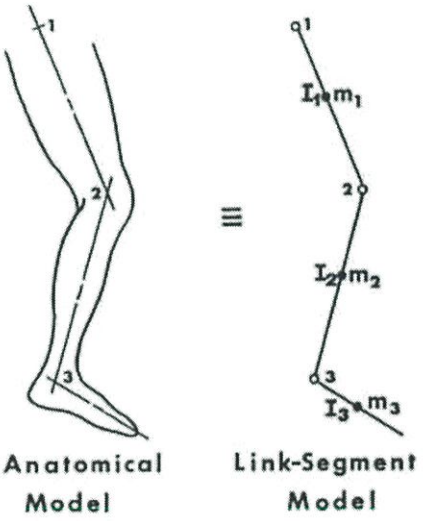
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4.1 Link-Segment Model Development

การประมาณที่ถูกต้องเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับโมเดล มวลของสัดส่วนร่างกายที่ถูกต้อง จุดศูนย์กลางมวล จุดศูนย์กลางข้อต่อ และโมเมนเฉื่อย ข้อมูลเหล่านี้เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการคำนวณ ซึ่งสามารถหาได้จากข้อมูลทางสถิติที่อ้างอิงกับ ความสูง น้ำหนัก และเพศ แต่ถ้าหากว่าไม่สามารถหาข้อมูลเหล่านี้ได้ ก็ยังมีอีกวิธีหนึ่งที่อาศัยสมมติฐานดังนี้

1. จุดศูนย์รวมมวลของอวัยวะวางตำแหน่งอยู่ที่จุดศูนย์ถ่วงของอวัยวะนั้น
2. จุดศูนย์รวมมวลของอวัยวะอยู่ตำแหน่งเดิมตลอดการเคลื่อนไหว
3. ข้อต่อมีการเคลื่อนไหวเหมือนบานพับหรือแบบ Ball-and-socket
4. มวลของโมเมนต์ความเฉื่อยรอบอวัยวะมีค่าคงที่ตลอดการเคลื่อนไหว
5. ความยาวของอวัยวะคงที่ตลอดการเคลื่อนไหว

รูปด้านล่างแสดงการใช้ Link-Segment Models แทนขา แบ่งเป็น m1 แทนจุดศูนย์กลางมวลของต้นขา(Thigh) m2 แทนจุดศูนย์กลางมวลของขาท่อนล่าง (Shank) และ m3 แทนจุดศูนย์กลางมวลของเท้า (Foot) ความยาวและโมเมนต์ความเฉื่อยคงที่ในขณะที่เคลื่อนไหว



รูปที่ 2.21 แสดงการการใช้ link-segment models แทนขา

2.4.2 แรงที่กระทำบน Link-Segment Model

1. แรงดึงดูดของโลก เป็นแรงที่โลกกระทำต่ออวัยวะผ่านจุดศูนย์กลางมวลในแนวทางเข้าหาจุดศูนย์กลางของโลก มีขนาดเท่ากับมวลคูณความเงแนวถ่วงของโลก (9.8m/s^2)

2. แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่สัมผัส แรงนี้จะกระจายไปทั่วพื้นผิวของอวัยวะที่สัมผัสกับพื้น เราจะแทนแรงที่กระจายเหล่านี้ด้วยแรงเพียงแรงเดียวกระทำอยู่ที่จุดๆหนึ่งที่เรียกว่า จุดศูนย์กลางความดัน (COP) ซึ่งเป็นจุดที่เหมาะสมสำหรับรองรับแรง

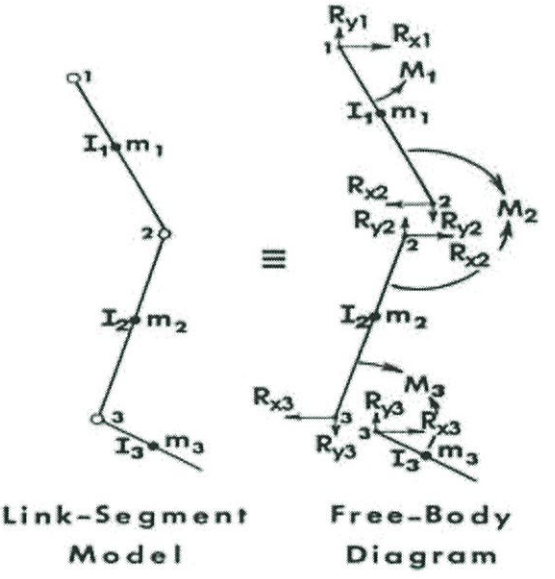
3. แรงของกล้ามเนื้อและเอ็น แรงสุทธิของกล้ามเนื้อสามารถคำนวณได้จากการโมเมนต์การหมุนของกล้ามเนื้อ ถ้าเกิดการหดตัวดึงกล้ามเนื้อสองส่วน จะเป็นผลให้เกิดการหักล้างกันของแรง แรงเสียดทานจะส่งผลที่ข้อต่อและบริเวณภายในของกล้ามเนื้อ การเพิ่มแรงเสียดทานมีผล

144655

เพียงแค่ทำให้การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อลดน้อยลงเท่านั้น กล้ามเนื้อที่หดตัวจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้มากกว่าเมื่อเทียบกับการหดตัวของเอ็นกล้ามเนื้อ มีค่าผิดพลาดน้อยเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์เมื่อทำการวัดในขณะที่กำลังเคลื่อนไหวด้วยความเร็วต่ำ ในระยะสูงสุดของการเคลื่อนไหว โครงสร้างบางส่วนเช่น เอ็นกระดูกจะทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งการเคลื่อนไหว

2.4.3 แรงปฏิกิริยาระหว่างข้อต่อ

แรงทั้งสามประเภทที่กล่าวไว้ข้างต้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของแรงทั้งหมดที่กระทำต่ออวัยวะ การคำนวณนั้นจำเป็นต้องใช้ Free-Body diagram ดังแสดงในรูปด้านล่าง ทำการแบ่งโมเดลเป็นส่วนย่อยๆ เพื่อความสะดวกจึงทำการแบ่งตรงบริเวณข้อต่อ จึงแบ่งออดเป็น 3 ส่วน ต้นขา (Thigh) ขาท่อนล่าง (Shank) และเท้า (Foot) จากกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน ที่บริเวณข้อต่อจะมีแรงกิริยา-ปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงกันข้าม ตัวอย่างเช่น เมื่อเท้าไม่ได้แตะพื้นและลอยอยู่นิ่งกลางอากาศ เท้าจะออกแรงกระทำต่อเอ็นกล้ามเนื้อและเอ็นกระดูกที่ติดกับข้อเท้าในทิศทางดึงลงด้านล่าง ในขณะเดียวกันขาก็ออกแรงกระทำต่อเท้าในทิศทางดึงขึ้นด้านบน ซึ่งแรงทั้งสองนี้มีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงกันข้าม



รูปที่ 2.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Free-Body Diagram และ The Link-Segment Model

2.4.4 LINK-SEGMENT EQUATIONS และ THE FREE-BODY DIAGRAM

ทำการเขียน FREE-BODY DIAGRAM โดยนำแต่ละส่วนของร่างกายมาคำนวณแยกจากกัน และรวมแรงกระทำเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกเข้าไปด้วย จากนั้นทำการพิจารณาการเคลื่อนไหวในแนวระนาบใดระนาบหนึ่ง ค่าของตัวแปรที่มีผลต่อการคำนวณมีดังนี้

ax, ay = ค่าความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล

θ = มุมที่อวัยวะทำกับระนาบของการเคลื่อนที่

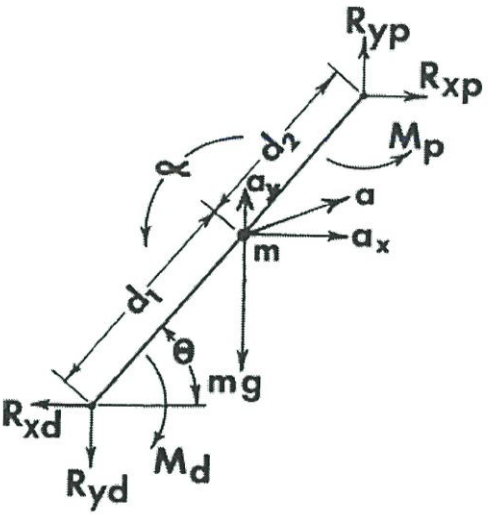
α = ความเร่งเชิงมุมของอวัยวะ

Rxd, Ryd = แรงกิริยา-ปฏิกิริยาที่กระทำที่ส่วนปลายของอวัยวะ

Md = โมเมนต์รวมที่ส่วนปลายของอวัยวะ

Rxp, Ryp = แรงกิริยา-ปฏิกิริยาที่กระทำที่ส่วนต้นของอวัยวะ

Mp = โมเมนต์รวมที่ส่วนต้นของอวัยวะ



รูปที่ 2.23 Free-Body Diagram

Equations

1. $\Sigma F_x = ma_x$

   $R_{xp} - R_{xd} = ma_x$

2. $\Sigma F_y = ma_y$

   $R_{yp} - R_{yd} - mg = ma_y$

3. About the segment COM, $\Sigma M = I_0\alpha$

2.5 ชนิดของพลาสติกที่ใช้สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติ

ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีบทบาทในชีวิตประจำวันเกือบทั้งหมด ที่มีการตอบสนองด้านการใช้งาน มีความคงทนถาวร ตลอดจนราคาที่เหมาะสม ได้มาจากกระบวนการทางปิโตรเคมี ด้วยปัญหาในการการกำจัด ไม่ย่อยสลาย ตกค้างในธรรมชาติ และต้องเผาเพื่อทำลาย สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อโลก เช่น ปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect)

ณ ปัจจุบัน จึงมีแนวคิดใหม่ในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ และใช้วัตถุดิบที่สามารถ ผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (Renewable resources) เพื่อนำมาทดแทนพลาสติกจากปิโตรเคมี

ซึ่งแบ่งตามแหล่งกำเนิดวัตถุดิบได้ 2 ประเภท คือ

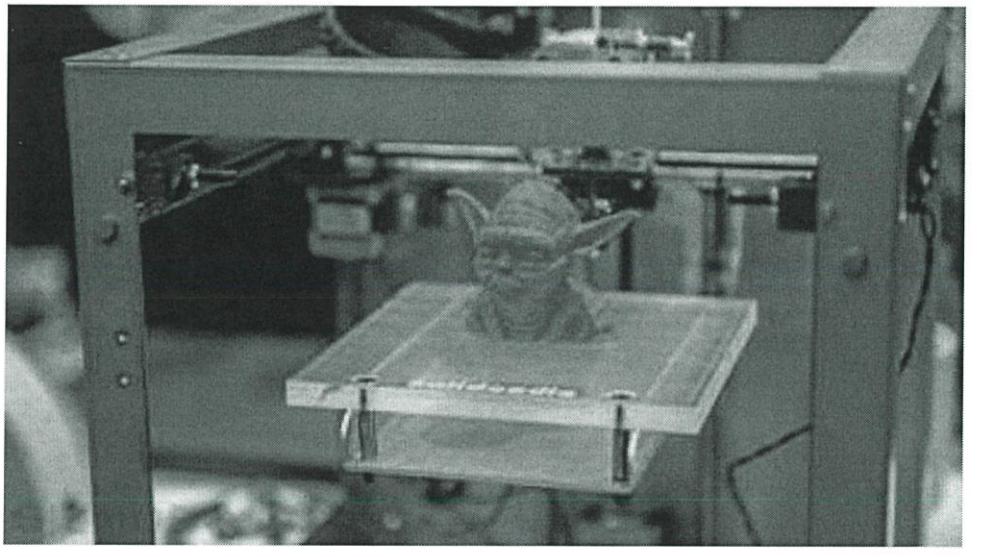
1. พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (Petroleum-Based Biodegradable Plastics)

2. พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่ผลิตจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ (Bio-Based Biodegradable Plastics) พลาสติกชนิดย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ

Polylactic acid (PLA) เป็นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) สามารถย่อยสลายได้ เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งาน ผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ ได้ในธรรมชาติ (Renewable resource) เช่น ผลิตมาจากพืช เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้งแล้วใช้เอนไซม์ย่อยแป้งให้ เป็นน้ำตาลกลูโคส ผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) โดยใช้แบคทีเรีย Lactobacillus brevis ได้ผลผลิตเป็น กรดแลคติก (Lactic acid) ผ่านกระบวนการทางเคมีได้ Lactide มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน แล้วจึงนำไปผ่าน กระบวนการพอลีเมอร์ไรเซชั่น (Polymerization) กลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างได้เป็นโพลิเมอร์

2.5.1 PLA

PLA หรือ Polylactic-acid เป็นพลาสติกได้มาจากส่วนผสม วัตถุทางธรรมชาติ เช่น ส่วนประกอบข้าวโพด หรือ ธัญญาพืช (หากเคยเรียนBioที่โรงเรียนLactic acidจะอยู่ในน้ำนม) PLA เป็นThermoplastic เช่นกัน คือ หากถูกความร้อนสามารถหลอมละลายเปลี่ยนรูปร่างต่างๆได้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่เกิดจากผลผลิตธรรมชาติ จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียก็ย่อยสลายได้ง่ายเช่นเดียวกัน หากเทียบกับ ABS



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างการพิมพ์ 3D

คุณสมบัติเด่น (ใส-แข็ง-เปราะ)

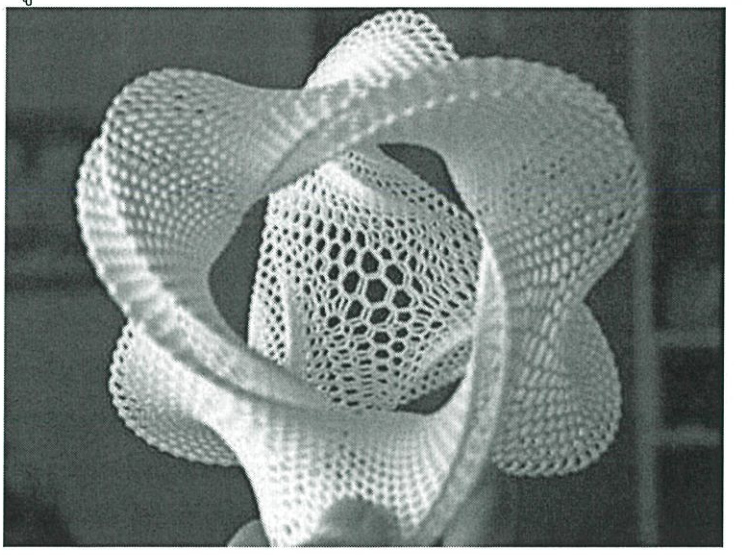
• มีลักษณะใสและเงา ชิ้นงานที่ออกมามีลักษณะกึ่งใส คล้ายแก้ว และมีมีความเงากว่า จึงเหมาะชิ้นงานพวกโมเดล หรือ วัตถุที่ต้องการความเงา

• ความแข็ง เนื่องจากคุณสมบัติคล้ายๆกับแก้ว คือ แข็ง จึงเหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการความแข็ง แต่ต้องระวังให้ดีเนื่องจากไม่ทนต่อ การบิด และการดึง

• กลิ่นเป็นมิตร มีหล่อมละลายจะมีกลิ่นอ่อนๆ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบจากธรรมชาติ กลิ่นจึงไม่เหมือนพลาสติกโดยทั่วไป

• ชิ้นงานสวยกว่า เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 180-220 องศา น้ำพลาสติกที่ออกจากหัวฉีดนั้นจะมีความหนืดน้อยกว่า PLA ทำให้เกิดชิ้นงานที่มีความคมมากกว่า เก็บลายละเอียดดีกว่า

• ใช้งานง่ายกว่า ขึ้นรูปง่ายกว่า เนื่องจากจุดหลอมเหลวต่ำ และไม่ต้องใช้ แผ่นรองความร้อน ขึ้นรูปและเย็นตัวเร็วกว่า จึงเหมาะการใช้งานในโรงเรียน หรือ ตามบ้าน



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างชิ้นงาน 3D

คุณสมบัติด้อย

• เปราะ จากที่กล่าวไว้ข้างต้นแข็งแต่เปราะ ไม่ทดต่อแรงบิดนัก หากดึงหรือบิด ABS จะเริ่มงอแล้วค่อยขาด แต่ PLA จะหักก่อนที่จะงอ (คุณสมบัติคล้ายๆแก้ว)

• ทนความร้อนได้น้อยกว่า เนื่องจากมี Glass Transition(สถานะที่มีคุณสมบัติกึ่งของแข็ง-ของเหลว) ที่ 60-65 องศาเท่านั้น จึงเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายๆ จากไปไว้ในที่อุณหภูมิสูง เช่นเก็บไว้ในรถ หรือ ใกล้เครื่องทำความร้อน

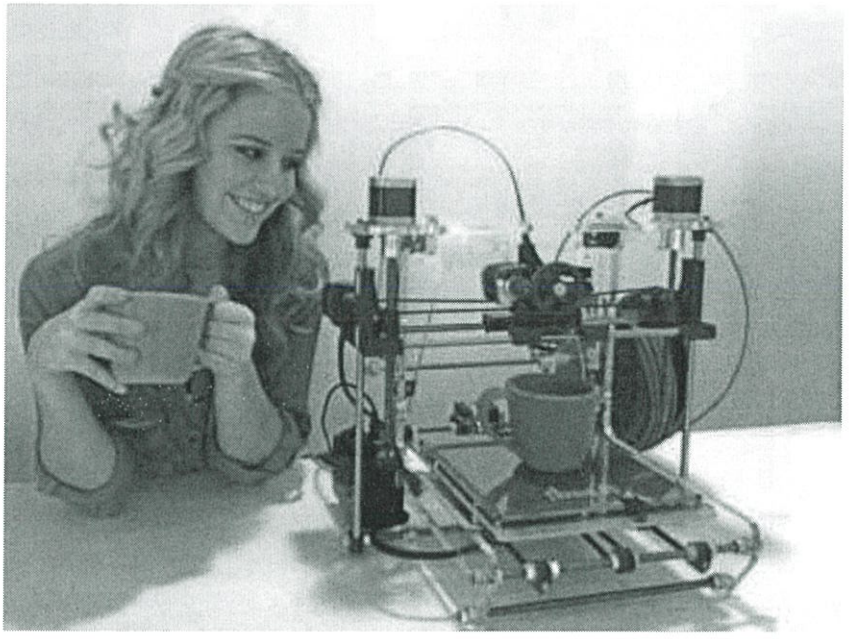
• ย่อยสลายได้ง่ายกว่า เนื่องจากเป็นวัสดุหลักจากธรรมชาติ จึงย่อยสลายได้ง่ายกว่า ไม่เหมาะอย่างยิ่งที่จะเอาไปใช้งานตากแดด

2.5.2 ABS

ABSหรือ Acrylonitrile-Butadiene-Styrene เป็นพลาสติก Thermoplastic หรือพลาสติกที่หลอมใหม่ได้ ที่ใช้กับแพร่หลาย เป็นพลาสติกอีกตัวหนึ่งที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ 3มิติ (3D printer) นอกเหนือจาก PLA เนื่องจากมีคุณสมบัติทดทานต่อสภาอากาศ ยืดหยุ่น แข็งแรงทนทาน ทำให้ขึ้นรูปง่าย ใช้การผลิตถ้วยหรือ ภาชนะเป็นต้น อีกประการสำคัญคือ สามารถทำในรูปแบบเส้น filament ที่ใช้เป็น Material ในการพิมพ์ในเครื่องพิมพ์สามมิติ ตัวอย่าง ชิ้นงานที่ทำจาก ABS เช่น ตัวต่อ Lego ที่เราเห็นกันอยู่ทั่วไป

โครงสร้างของพลาสติก ABS

พลาสติก ABS ได้มาจากการทำปฏิกิริยาของโมโนเมอร์ 3 ชนิดคือ สไตรีน (Styrene) , อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) และโพลิบิวทาไดอีน (Polybutadiene) ซึ่งโมโนเมอร์ทั้ง 3 ชนิดล้วนส่งผลต่อคุณสมบัติของพลาสติก ABS โดยอะคริไลไนโตรล์ช่วยให้ทนความร้อนและสารเคมี บิวทาไดอีนช่วยให้มีความทนทานต่อแรงกระทบกระแทก ส่วนสไตรีนช่วยให้เนื้อพลาสติกมีพื้นผิวเป็นมันเงาสวยงาม และสามารถตัดแต่งรูปทรงได้ง่าย ผู้ผลิตพลาสติก ABS จึงสามารถปรับเปลี่ยนสัดส่วนของโมโนเมอร์ทั้ง 3 ชนิดเพื่อให้พลาสติก ABS ที่ผลิตมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.26 เครื่องพิมพ์ 3D

คุณสมบัติเด่น (ขุ่น-หยุ่น-เหนียว)

• แข็งแรงยืดหยุ่น เป็นคุณสมบัติเด่น ของ ABS หากเทียบกับ PLA ซึ่งมีความแข็งกว่า แต่เปราะ ชิ้นงานที่ทำจาก 3D Printing ที่ใช้ ABS นั้นสามารถทดต่อแรงบีบ ดึง ได้ดี จึงเหมาะในการขึ้นงานทางกลไก, Engineering หรือ Mechanic เช่น ข้อต่อต่างๆ,โซ่ หรือ ตาข่าย สามารถนำไปใช้ในการ Outdoor ได้เนื่องจากเป็นผลผลิตจากปิโตรเลียม ทำให้ทดต่อสภาพอากาศได้ดี

• มีจุดหลอมเหลวสูง คือ 200-250 องศา (สูงกว่าเมื่อเทียบกับ หากที่เทียบกับ PLA ที่อุณหภูมิ 160-220) ทำให้สามารถใช้งานในสภาพที่ร้อนกว่าได้ แต่จุดเด่นนี้ก็อาจเป็นจุดด้อยได้เหมือนกัน โดยมันจะเย็นตัวช้ากว่า และ ต้องการ Heated Bed ฐานทำความร้อนเป็นฐานชิ้นงาน

• ขุ่น โดยปกติแล้ว ABS จริงๆแล้วมีความใส แต่เมื่อใส่สีเข้าไปแล้วจะมีคุณสมบัติคือขุ่น ชิ้นงานที่เกิดจากการพิมพ์ 3 มิติมีลักษณะขุ่นทึบ เหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการคุณสมบัติทึบ เช่น ภาชนะใส่ของเป็นต้น

• ตกแต่งชิ้นงานได้ง่าย ด้วยกระดาษทราย หรือ อะซิโตน โดยเฉพาะ Acetone สามารถทำละลาย ABS ได้ดี เราจึงสามารถใช้ประโยชน์เช่นนี้ได้หลายแบบ เช่น หยดซิโตน 2-3 หยดเพื่อต่อชิ้นงาน 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน, ใช้อะซิโตนในการทำความสะอาดชิ้นงาน, จุ่มงานในอะซิโตน เพื่อทำให้ชิ้นงานเงาขึ้น(Glossy) หรือ เอาอาซิโตนทาบางๆที่ แท่นรองชิ้นงาน เพื่อให้แกะชิ้นงานได้ง่ายเป็นต้น

รูปที่ 2.27 ตัวอย่างชิ้นงาน 3D

คุณสมบัติด้อย

- กลิ่นแรง เนื่องจาก ABS มีส่วนประกอบหลักเป็นพลาสติก เมื่อโดนความร้อน ถูกฉีดออกมาจาก หัวฉีด จะมีกลิ่นพลาสติกไหม้ แต่เมื่อปล่อยให้เย็น ชิ้นงานอาจมีกลิ่นอ่อน เหมือนพลาสติกทั่วไป
- ขอบชิ้นงานไม่คม เนื่องจากมีลักษณะหนืด เวลาถูกฉีดออกจากหัวฉีด จะมีความโค้งมนอยู่ โดยเฉพาะชิ้นงานที่ต้องการขอบคมๆ ใช้ ABS อาจจะไม่สวยนัก
- มีโอกาสเสียรูปได้ง่ายจากการหดตัว เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูง และเย็นช้า ทำให้ชิ้นงานมีโอกาสหดตัว หรือเสียรูปได้ง่ายขณะพิมพ์ด้วย 3D printer คือไม่ควรปล่อยทิ้งให้เย็นเร็วเกินไป อาจจะทำให้เสียรูป บิดเบี้ยวได้ สิ่งแวดล้อมที่ดีในการทำ ABS คือให้เย็นตัวอย่างช้าๆเอง ไม่ใช้ลมเป่า

ท่ามกลางนวัตกรรมใหม่ๆ จำนวนมากที่เกิดดับในช่วงหลายปีที่ผ่านมานี้ ยังมีหนึ่งเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อยๆ จากความสามารถในการดัดแปลงไปใช้กับอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง และเริ่มเข้าไปสู่บ้านของคนทั่วไปมากขึ้น ด้วยราคาของเทคโนโลยีที่กำลังลดลงอยู่ทุกขณะ แน่นอนว่าเทคโนโลยีที่พูดถึงนี้คงหนีไม่พ้นการพิมพ์สามมิติ (3D Printing) หรือพูดให้ถูกกว่าคือการผลิตแบบดิจิทัลที่ลดรูปจากเครื่อง CNC ที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมนั่นเอง

ตัวเครื่องพิมพ์สามมิตินั้นไม่ได้เพิ่งเกิดมาไม่นาน เพราะถูกสร้างมาตั้งแต่ช่วงปี 1984 ด้วยฝีมือของ Chuck Hull ผู้ร่วมก่อตั้งบริษัท 3D Systems Corp ซึ่งได้ไอเดียการพิมพ์สามมิติจากผ้าปูโต๊ะที่แข็งจากรังสีอุลตร้าไวโอเลตซึ่งเป็นต้นแบบของการพิมพ์แบบ "Stereolithography (SLA)" อันเป็นจุดเริ่มต้นของการพิมพ์สามมิติ แต่ก็ใช้เวลพอสมควรก่อนจะเริ่มได้รับความนิยมเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา

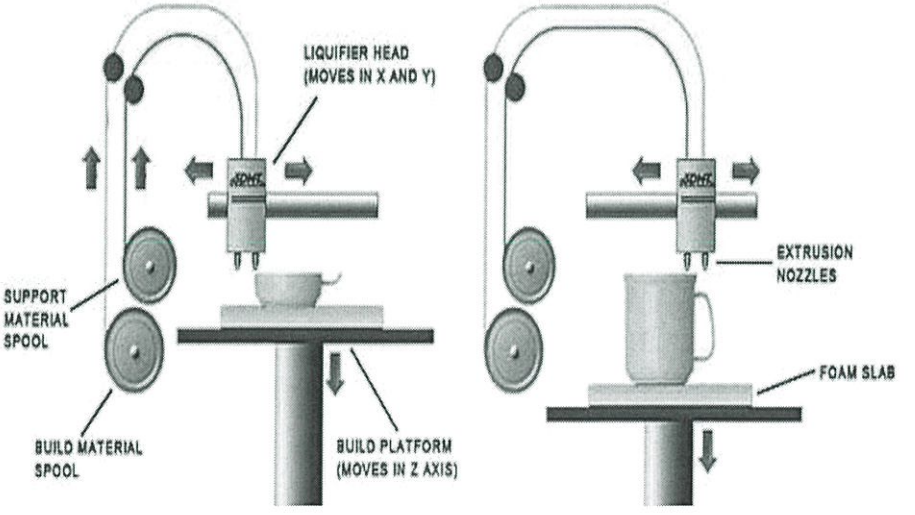
การมาของเครื่องพิมพ์สามมิติทำให้ผู้คนทั่วไปเข้าถึงกระบวนการผลิตแบบอุตสาหกรรมได้ง่ายขึ้น มีค่าใช้จ่ายที่ถูกลงมาก และนิยมนำไปใช้ในธุรกิจหลายประเภท เน้นไปที่การ

ผลิตสินค้าต้นแบบที่ทำได้ทันที ไม่มีค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ไม่ต้องทำเป็นจำนวนเยอะๆ เหมือนระบบที่ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างการฉีดพลาสติกเข้าเบ้าหล่อ (Mold injection) ที่จะผลิตของหนึ่งชิ้น ต้องทำเบ้าหล่อขึ้นมาเสียก่อน

เกริ่นถึงการพิมพ์สามมิติกันมาพอสมควรแล้วเราก็จะมาพูดถึงพระเอกของงานนี้คือตัวเครื่องพิมพ์สามมิติ ว่ามีการทำงานอย่างไรบ้าง ใช้วัสดุอะไรพิมพ์ได้บ้าง และมีอะไรที่ต้องรู้บ้างหากว่าสนใจจะลองสั่งมาใช้งานซักเครื่อง

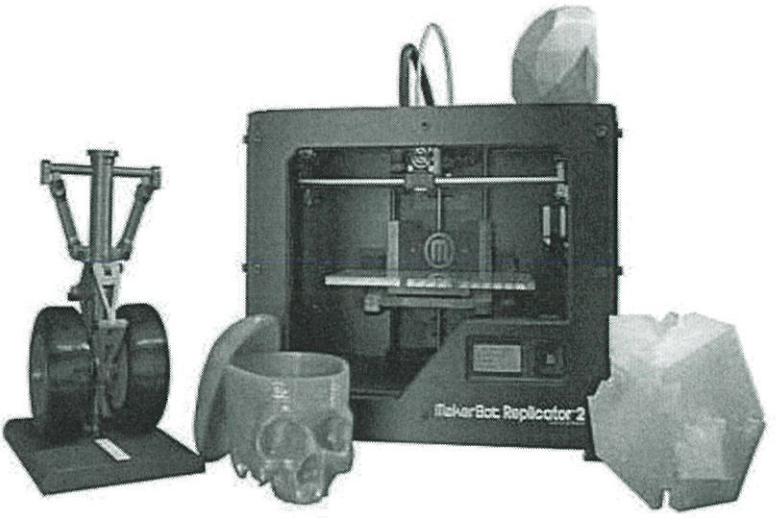
2.6 การใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติ

การพิมพ์สามมิตินั้น มีวิธีการพิมพ์ค่อนข้างหลากหลายตามวัตถุประสงค์การใช้งาน แต่แบบที่ได้รับความนิยมในกลุ่มผู้ใช้ทั่วไปนั้นเรียกว่า Fused Deposition Modeling (FDM) หรือการฉีดพลาสติก และอีกสองแบบที่ควรค่าแก่การกล่าวถึงได้แก่ Stereolithography (SLA) คือรูปแบบการพิมพ์สามมิติด้วยการใช้รังสีอัลตร้าไวโอเล็ตทำให้น้ำเรซินแข็งตัว และ Laminated Object Manufacturing (LOM) หรือการพิมพ์ด้วยแผ่นลามิเนต Fused Deposition Modeling (FDM) หรือการพิมพ์แบบใช้หัวฉีด เป็นการพิมพ์สามมิติที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในตลาด เนื่องจากใช้กับวัสดุได้หลายประเภท รวมถึงต้นทุนที่ถูกกว่าการพิมพ์แบบอื่นทั้งในแง่ของวัสดุ และตัวเครื่องพิมพ์เอง การพิมพ์แบบ FDM จะมีกลไกสำหรับดึงเส้นพลาสติกมาทำความร้อนที่หัวฉีด และฉีดลงไปที่ฐานทีละชั้น ก่อตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยมากการพิมพ์แบบ FDM จะถูกใช้สำหรับงานพิมพ์ตัวต้นแบบ (Rapid Prototype) เพราะตัวงานที่ออกมาจะไม่แข็งแรงนัก และมีพื้นผิวเป็นลายไม้ จำเป็นต้องขัดเก็บงานเสียก่อน หากจะนำไปใช้งานจริง



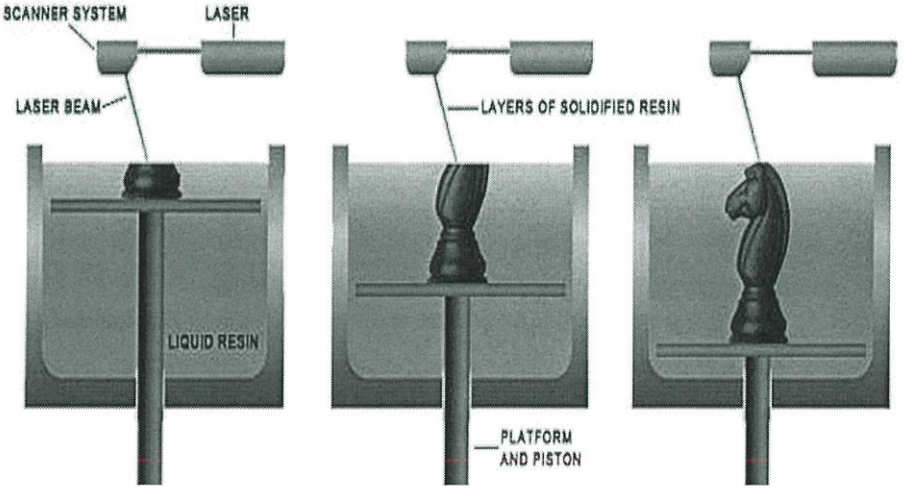
รูปที่ 2.28 ภาพจาก 3D Material

การพิมพ์แบบ FDM ใช้ได้กับวัสดุหลายประเภท ส่วนมากจะจำกัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Filament (เส้นพลาสติก) ไว้ที่ 1.75 มม. และ 3 มม. ที่นิยมใช้กันจะเป็น PLA และ ABS สำหรับเครื่องพิมพ์แบบ FDM ที่ค่อนข้างเป็นที่นิยมคือ Makerbot ซึ่งปัจจุบันออกมาเป็นรุ่นที่ห้าแล้ว ในภาพนี้คือ Makerbot Replicator 2 เครื่องพิมพ์ขนาดตั้งโต๊ะ



รูปที่ 2.29 Makerbot Replicator 2 เครื่องพิมพ์ขนาดตั้งโต๊ะ

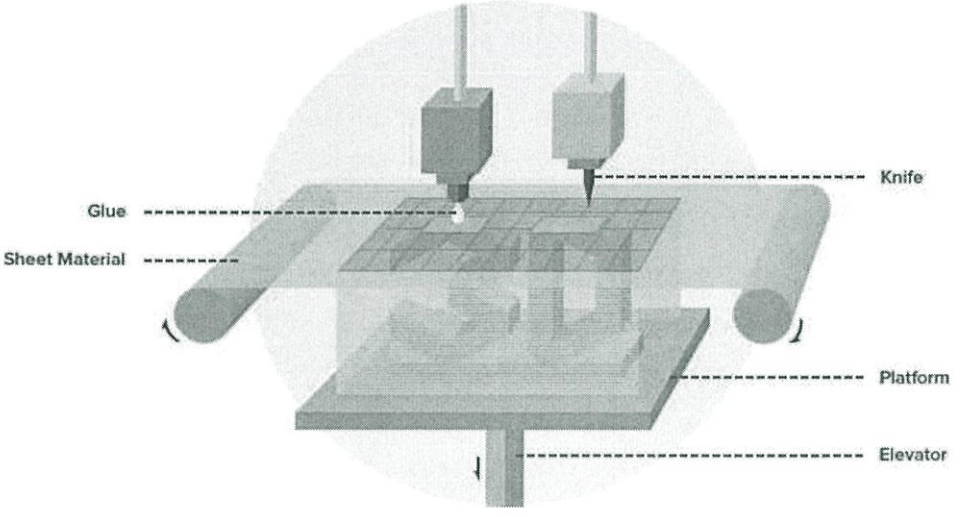
Stereolithography หรือ SLA เป็นกระบวนการพิมพ์แบบยิงลำแสงอุลตร้าไวโอเลตไปที่ผิวน้ำเรซิน น้ำเรซินจะแข็งตัว และเชื่อมต่อกับเรซินที่แข็งตัวในชั้นก่อนหน้า จุดเด่นของ SLA คือ ความเร็วในการผลิตที่สูงกว่า FDM อย่างมาก และยังได้ความละเอียดที่เหนือกว่า และได้งานที่ผิวเรียบกว่า (SLA พิมพ์ได้บางสุดชั้นละ 0.05 มม. = 50 ไมครอน ในขณะที่ FDM จะทำได้ราวๆ 100 ไมครอน) สามารถพิมพ์ได้ขนาดใหญ่กว่า เฉลี่ยอยู่ที่ 50x50x60 ซม. แต่ก็แลกกับตัวเครื่องพิมพ์ที่ราคาแพงกว่ามาก พิมพ์ได้เฉพาะกับน้ำเรซินเท่านั้น และตัวน้ำเรซินเองก็แพงพอตัว เทียบกับเส้นพลาสติกแล้วแพงกว่าประมาณ 3-5 เท่า



รูปที่ 2.30 ภาพจาก 3D Material

อีกแบบที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น แต่ยังมีราคาสูงอยู่มากคือ Laminated Object Manufacturing (LOM) หรือการพิมพ์ด้วยการตัดแผ่นลามิเนต ซึ่งจะใช้เลเซอร์ หรือมีดตัดแผ่นลามิ

เนตบนแท่นหมุน และเชื่อมระหว่างเลเยอร์ด้วยกาว จุดเด่นของการพิมพ์แบบ LOM คือความเร็ว และพื้นผิวงานที่ใกล้เคียงผิวไม้ เหมาะสำหรับการทำโมเดล แต่ความละเอียดของงานจะด้อยลงไป จึงต้องมีการเก็บงานที่ดีด้วย การพิมพ์แบบ LOM นั้นใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติเป็นหลัก (กระดาษ ไม้ และโลหะ) ทำให้ไม่มีความอันตรายกับมนุษย์ ในขณะเดียวกันต้นทุนของวัตถุดิบก็ถูกเช่นกัน



รูปที่ 2.31 ภาพจาก THRE3D

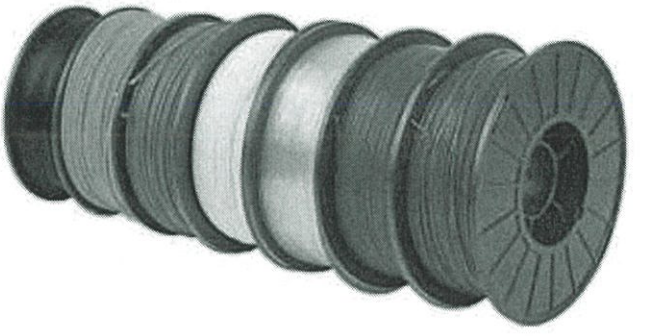
2.7 วัสดุอะไรบ้างที่ใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติได้

วัสดุที่นำมาใช้พิมพ์เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเป็นอันดับต้นๆ แม้ว่าเครื่องพิมพ์สามมิติในปัจจุบันจะพิมพ์กับวัสดุได้ครอบจักรวาล ตั้งแต่พลาสติก เซรามิก โลหะ กระดาษ คอนกรีต ยาง หรือแม้แต่ของกินอย่างช็อกโกแลต และชีสก็ถูกพิมพ์ไปแล้ว แต่ถ้าพูดถึงวัสดุที่นิยมนำมาใช้พิมพ์กับเครื่องพิมพ์แบบ FDM คงหนีไม่พ้น PLA และ ABS ที่แทบทุกเครื่องพิมพ์รองรับการพิมพ์ด้วยวัสดุสองชนิดนี้อยู่แล้ว ในวงการจะเรียกวัสดุที่ใช้พิมพ์ว่า Filament (เส้นพลาสติก)

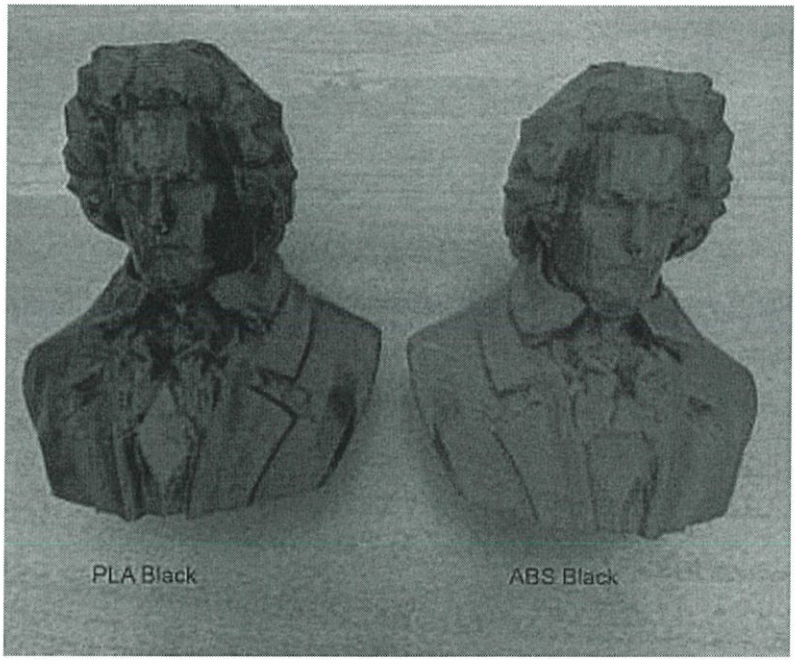
Polylactic Acid หรือ PLA เป็นพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ ผลิตขึ้นมาจากพืช อย่าง ข้าวโพด มันสำปะหลัง หรืออ้อย โดยใช้กระบวนการบดพืชให้ละเอียด ย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ หมักจนออกมาเป็นกรดแลคติก ท้ายที่สุดคือการกลั่นให้ได้โครงสร้างออกมาเป็นโพลิเมอร์

PLA จัดเป็นวัสดุที่เหมาะแก่การนำมาพิมพ์สามมิติมาก ใช้ความร้อนน้อยกว่าพลาสติกชนิดอื่นที่ 180-220 องศาเซลเซียส ไม่จำเป็นต้องใช้แท่นความร้อนในการพิมพ์ มีความแข็งแรง ไม่เกิดการยกตัว และใช้งานได้กับเครื่องพิมพ์หลายประเภทกว่าวัสดุประเภทอื่นๆวัสดุที่นิยมนำมาพิมพ์อีกอย่างคือ Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) เป็นพลาสติกที่ใช้กันมากในปัจจุบัน ตัว ABS เป็นเทอร์โมพลาสติกที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสไตรีน อะคริโลไนไตรล์ และโพลิบิวทาไดอีน ซึ่งผู้ผลิตแต่ละรายจะใช้สัดส่วนของโมโนเมอร์ทั้งสามต่างกันไปเมื่อเทียบกับ PLA แล้ว ABS นั้นให้ผิวหน้าของการพิมพ์ที่คุณภาพสูงกว่า และมีความยืดหยุ่นเหนือกว่า แต่ในการพิมพ์ก็ต้องใช้ความร้อนสูงกว่า (มากกว่า 230 องศาเซลเซียส) จำเป็นต้องมีแท่นความร้อนเพื่อให้พลาสติกเกาะตัว และอาจเกิดการยกตัวของแบบทำให้รูปทรงคลาดเคลื่อน หรือพังไปเลยในบางกรณี

นอกจาก PLA และ ABS แล้ว เครื่องพิมพ์แบบ FDM ยังสามารถใช้งานกับ Filament แบบอื่นๆ ได้ อีกทั้งแบบยืดหยุ่นได้ที่ผสมยางเข้าไป และแบบละลายได้ สำหรับการพิมพ์ที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น (ตัวอย่าง) ซึ่งจำเป็นต้องใช้งานร่วมกับเครื่องพิมพ์แบบหลายหัวฉีดอีกด้วย

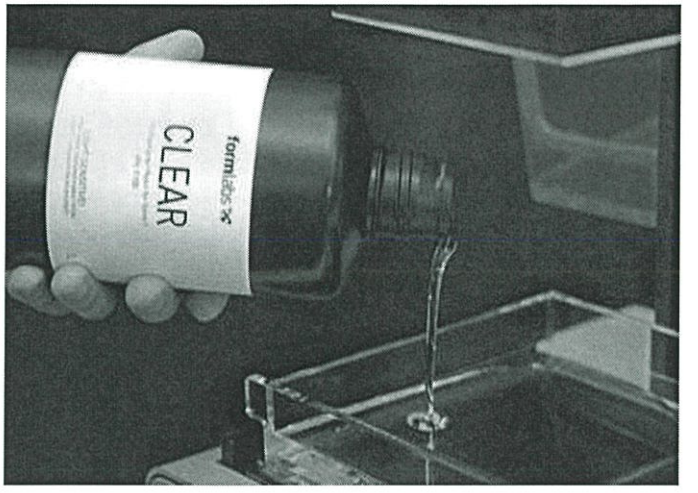


รูปที่ 2.32 ภาพตัวอย่างของเส้นพลาสติก PLA และ ABS รูปร่างภายนอกไม่ต่างกัน

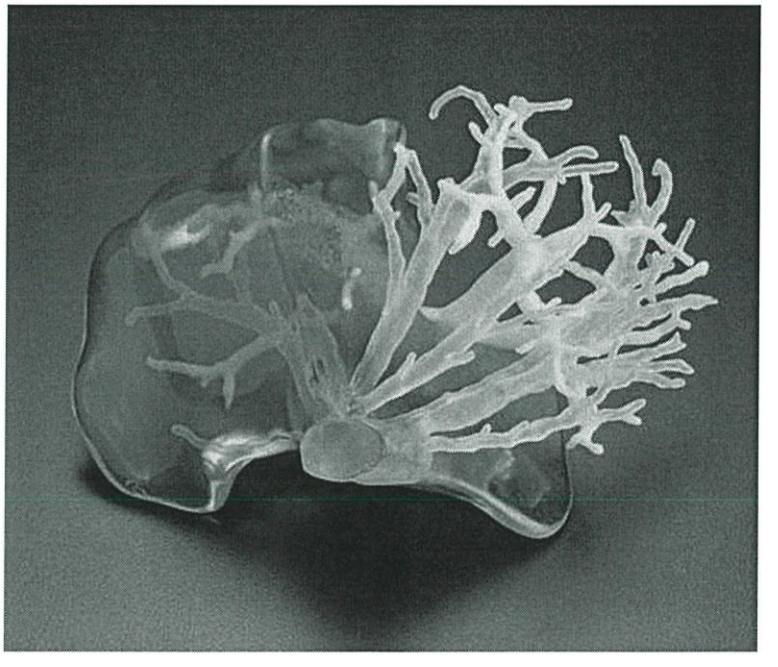


รูปที่ 2.33 ภาพงานพิมพ์จากเส้นพลาสติกทั้งสอง ซ้าย PLA ขวา ABS - ภาพจาก CubeX 3D

Photopolymer Resin หรือน้ำเรซิน วัสดุหลัก และหนึ่งเดียวสำหรับการพิมพ์แบบ SLA ลักษณะเป็นของเหลวเหมือนกับที่ใช้ในการหล่อโมเดลทั่วไป แต่ในการพิมพ์สามมิติจะใช้การฉายรังสีอุลตร้าไวโอเลตแทน การใช้น้ำเรซิ่นกับการพิมพ์สามมิติจะต่างกับการพิมพ์แบบฉีดพอสมควรตรงที่ตัวงานจะขึ้นรูปในสภาพแวดล้อมที่มีของเหลวล้อมรอบ โครงสร้างของซัพพอร์ต (ชิ้นส่วนที่ทำให้ตัวแบบคงรูป) จึงไม่จำเป็นต้องแข็งแรงเหมือนการพิมพ์แบบ FDM โดยทั่วไปจะเป็นเส้นตรงเชื่อมกับฐานและตัวแบบ ในขณะเดียวกันสามารถใช้พิมพ์งานที่ซับซ้อนได้โดยที่ไม่ต้องใช้ filament แบบละลายได้มาเป็นตัวช่วยอีกด้วย ข้อควรระวังคือห้ามให้น้ำเรซิน และตัวแบบสัมผัสกับแสงแดดโดยตรงเป็นเวลานาน เพราะจะทำให้แข็งตัว



รูปที่ 2.34 น้ำเรซินแบบใส สำหรับใช้กับเครื่อง The Form 1



รูปที่ 2.35 ตัวอย่างงานที่พิมพ์สามมิติด้วยน้ำเรซิน

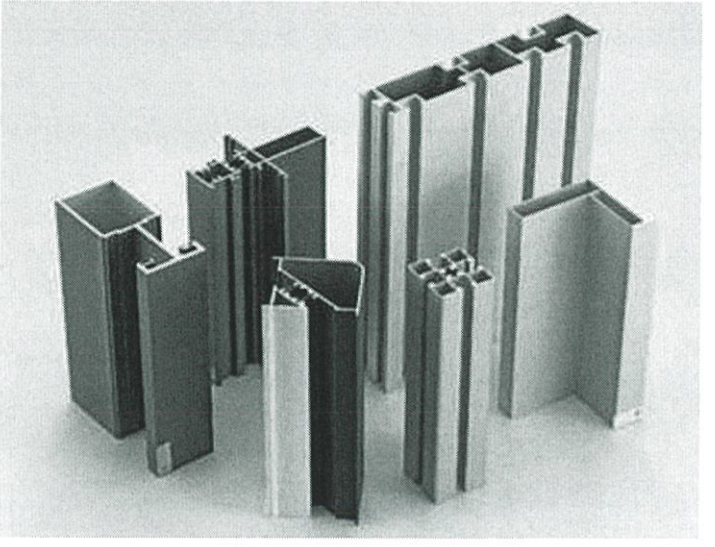
2.8 อลูมิเนียม อัลลอยด์(Aluminum alloy)

อลูมิเนียม (Aluminium) ถือเป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากทั้งในภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือน สำหรับภาคอุตสาหกรรมใช้ในการผลิตอลูมิเนียมผสม และผลิตภัณฑ์อลูมิเนียม ส่วนภาคครัวเรือนมีใช้มากในการก่อสร้าง และตกแต่งบ้าน ทดแทนไม้ และเหล็ก เนื่องจากเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติคงทนต่อการหัก ความร้อน การกัดกร่อน น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการสะท้อน

แสง และความร้อนได้ดี มักใช้ในงานก่อสร้าง งานตกแต่ง เช่น การทำประตู หน้าต่าง ฝ้า ราวกั้น และโครงสร้างต่างๆ

2.8.1 คุณสมบัติอลูมิเนียม

อลูมิเนียมมีจุดหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับภาระน้ำหนักได้สูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสี่ยงต่อรอยร้าว และการแตกหัก ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะการนำมาผสมกับโลหะอื่นๆแล้วจะทำให้คุณสมบัติต่างๆเพิ่มมากขึ้น เช่น จุกหลอมเหลวของอลูมิเนียมผสมจะอยู่ที่ 1140-1205 องศาเซลเซียส จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร นอกจากนั้น ยังมีคุณสมบัติทางเคมีของอะลูมิเนียมในลักษณะต่างๆ ได้แก่



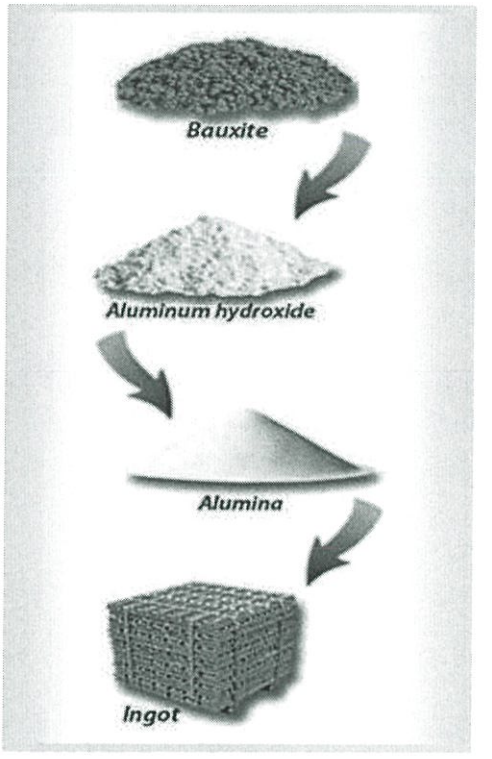
รูปที่ 2.36 อลูมิเนียม

1. เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ เรียกว่า อลูมิเนียมออกไซด์ เคลือบบนชั้นผิวอลูมิเนียมป้องกันการเกิดปฏิกิริยาอื่นๆได้ดี
2. การทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนจะทำให้เกิดไนไตรด์ที่อุณหภูมิสูง
3. ไม่ทำปฏิกิริยากับกำมะถัน
4. เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ไฮโดรเจนจะแทรกซึมเข้าสู่ชั้นในของอลูมิเนียม จึงจำเป็นต้องกำจัดออก
5. สามารถทนต่อกรดอนินทรีย์เข้มข้นได้ปานกลาง
6. ทนต่อปฏิกิริยาของด่างได้เล็กน้อย สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นด่างเข้มข้น
7. เกิดปฏิกิริยากับเกลือได้ ทำให้เกิดการกัดกร่อน

2.8.2 การผลิตอลูมิเนียม

อะลูมิเนียมถูกผลิตเริ่มต้นจากอุตสาหกรรมต้นน้ำในเหมืองแร่ผลิตแร่บอกไซด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง อัดตัวแน่น มีสีเหลืองออกสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลแดง แต่อาจพบในลักษณะสีอื่น เช่น สีขาว สีน้ำตาล ซึ่งมีการผลิตในต่างประเทศด้วยการนำแร่บอกไซด์มาถลุงจนได้อลูมิน่าบริสุทธิ์ และนำอลูมิน่าเข้าหลอมเป็นแท่งจนได้แท่งอลูมิเนียมบริสุทธิ์กลายเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็น

ผลิตภัณฑ์อื่นๆ สำหรับเศษอลูมิเนียมเก่าสามารถนำมาหลอมเป็นแท่งอลูมิเนียมนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบใหม่ได้



รูปที่ 2.37 การแปรรูปอลูมิเนียม

การผลิตอลูมิเนียมบริสุทธิ์ด้วยการแยกสกัดออกจากอลูมิน่าจะใช้กระบวนการถลุงด้วยไฟฟ้าในเตาหลอมไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยโลหะอลูมิเนียมบริสุทธิ์จะแยกตัวออกจากอลูมิน่าลงสู่ด้านล่างของเตาหลอม และไหลออกจากเตาหลอมด้วยวิธีกาลักน้ำ

2.8.3 ชนิดของอลูมิเนียม

แบ่งตามการผลิต

1. อลูมิเนียมบริสุทธิ์ เป็นอลูมิเนียมที่ได้จากการถลุงแร่หรือการหลอมให้มีความบริสุทธิ์ 99.00% และมีธาตุอื่นเจือปนเพียง 1% เท่านั้น เป็นอลูมิเนียมที่มีความเหนียวสูง สามมารถขึ้นรูปได้ดี

2. อลูมิเนียมผสม เป็นอลูมิเนียมที่ได้จากการหลอมร่วมกับโลหะชนิดอื่นตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป ได้แก่ ทองแดง แมกนีเซียม แมงกานีส โครเมียม ซิลิกอน นิเกิล ดีบุก สังกะสี เป็นต้น เพื่อเป็นโลหะผสมให้มีคุณสมบัติทนต่อแรงดึงสูงแบ่งตามเกรดอลูมิเนียม

การแบ่งเกรดอลูมิเนียม มีการแบ่งเกรดจากสมาคมอลูมิเนียมแห่งสหรัฐอเมริกา โดยใช้หลักเกณฑ์ของส่วนผสมเป็นเกณฑ์ด้วยเลข 4 หลัก สำหรับใช้แทนเป็นสัญลักษณ์เกรดอลูมิเนียมขึ้น รูปสัญลักษณ์คือ Al ความหนาแน่น 2.7 กก./ดม3. จุดหลอมเหลว 658 องศาเซลเซียส
ความเค้นแรงดึงของอลูมิเนียมหล่อ 9-12Kp/mm2 (9-12 กก./ตร.มม.)
ความเค้นแรงดึงของอลูมิเนียมอบเหนียว 7Kp/mm2(7 กก./ตร.มม.)
ความเค้นแรงดึงของอลูมิเนียมรีดแข็ง 13-20 Kp/mm2(13-20 กก./ตร.มม.) อัตรายืดตัว 3-35%

2.8.4 สัญลักษณ์แสดงกลุ่มอลูมิเนียมขึ้นรูป

1xxx หมายถึง อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.00%

2xxx หมายถึง ทองแดง (Copper, Cu)

3xxx หมายถึง แมงกานีส (Manganese, Mn)

4xxx หมายถึง ซิลิกอน (Silicon, Si)

5xxx หมายถึง แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)

6xxx หมายถึง แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) และซิลิกอน (Silicon, Si)

7xxx หมายถึง สังกะสี (Zinc, Zn)

8xxx หมายถึง ธาตุอื่นๆ เช่น นิเกิล (Nickel, Ni), ไททาเนียม (Titanium, Ti), โครเมียม (Chromium, Cr), บิสมัท (Bismuth, Bi) และตะกั่ว (Lead, Pb)

9xxx หมายถึง ยังไม่มีใช้หลักที่หนึ่ง เป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุดในการแสดงหมวดหมู่ของโลหะผสมใน 8 กลุ่ม ดังรายละเอียดในขั้นต้น เช่น 1xxx แทนหมวดโลหะอลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.00 โดยน้ำหนัก หลักที่สอง เป็นตัวเลขที่ใช้กำกับโลหะอลูมิเนียมที่มีการผสมโลหะอื่นให้มีปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น 2024 ที่ประกอบด้วย 4.5Cu, 1.5Mg, 0.5Si และ0.1Cr เมื่อเปลี่ยนเป็น 2218 จะประกอบด้วย 4.0Cu, 2.0Ni, 1.5Mg และ0.2Si ซึ่งเป็นการผสม Ni แทนCr หลักที่สาม และสี่ เป็นตัวเลขที่แสดงชนิดย่อยของโลหะผสมที่เป็นชนิดเดียวกัน แต่แสดงส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น 2014 ที่ประกอบด้วย 4.4Cu, 0.8Si, 0.8Mn และ0.4Mg เมื่อเปลี่ยนเป็น 2017 จะประกอบด้วย 4.0Cu, 0.8Si, 0.5Mn และ0.1Cr อลูมิเนียมบริสุทธิ์ (มากกว่า 99.00%) เป็นอลูมิเนียมทางการค้า มักพบในช่วงความบริสุทธิ์ที่ 99.30%-99.70% เหมาะสำหรับนำมาใช้งานในด้านตัวนำไฟฟ้า และแผ่นสะท้อนแสง เป็นต้น

2.8.5 เกรดอลูมิเนียม ประเภท 1xxx

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้มีเหล็ก และซิลิคอนเป็นธาตุหลัก (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350, อื่นๆ) ซึ่งเป็นประเภทที่ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี, สภาพการนำความร้อน และนำไฟฟ้าสูง, คุณสมบัติทางกลต่ำ และใช้งานได้ดี สามารถเพิ่มความแข็งระดับปานกลางได้โดยอาจได้รับจากกระบวนการเพิ่มความเครียด

อลูมิเนียมผสมทองแดง (2xxx) เป็นอลูมิเนียมที่ผสมทองแดง โดยพบว่า ทองแดงสามารถละลายได้ในอลูมิเนียมสูงสุดที่ 5.65% ที่อุณหภูมิ 548 องศาเซลเซียส และจะละลายได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จนเหลือประมาณ 0.5% ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านความร้อน

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201.0; 203.0; 206.0; 224.0; 242.0; อื่นๆ) ต้องการกระบวนการอบร้อนเพื่อให้ได้คุณสมบัติสูงสุด ในสภาวะกระบวนการอบร้อนนี้ ค่าคุณสมบัติทางกลจะคล้ายกัน หรือบางทีอาจสูงกว่าในบรรดาเหล็กคาร์บอนต่ำ และในบางชนิดการทำกระบวนการอบร้อนซ้ำ จะทำให้สามารถเพิ่มคุณสมบัติทางกลได้ การอบร้อนนี้จะเพิ่มค่าจุดคราก แต่จะทำให้เสียสภาพการยืดตัว ซึ่งจะทำให้ค่าต้านทานแรงดึงไม่ดี

อลูมิเนียมอัลลอยด์ประเภท 2xxx ไม่ใช่ตัวต้านทานการกัดกร่อนที่ดีเหมือนกับอลูมิเนียมอัลลอยด์ประเภทอื่น และภายใต้สภาวะการดัดกร่อนแบบบางๆอาจจะทำให้เกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนได้ เกรดอลูมิเนียมประเภท 2xxx จะมีประโยชน์ต่อส่วนที่ต้องการความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงสุด 150°C (300°F) แต่ยกเว้นเกรด 2219 อลูมิเนียมอัลลอยด์เกรดนี้มีขีดจำกัดในการเชื่อม

แต่อัลลอยด์บางชนิดในประเภทนี้จะมีรูปแบบการแปรรูปที่ดีเยี่ยม ส่วนอลูมิเนียมเกรด 2021 เป็นเกรดที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการใช้ผลิตอากาศยาน

อลูมิเนียมผสมแมงกานีส (3xxx) เป็นอลูมิเนียมที่ผสมแร่แมงกานีส โดยหากเพิ่มแร่แมงกานีสที่ 1.2% จะทำให้เป็นโลหะผสมที่มีความแข็งแรงพอควร เหมาะสำหรับใช้งานในด้านโครงสร้างต่างๆเกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (3003, 3004, 3105, 383.0; 385.0; A360; 390.0) โดยปกติแล้วจะไม่สามารถใช้การอบร้อนได้ แต่มีค่าความแข็งแกร่งมากกว่าประเภท 1xxx อยู่ 20% เพราะว่าข้อจำกัดของปริมาณแม็กนีเซียม (สูงสุดที่ 1.5%) ที่สามารถเพิ่มเข้าไปในอลูมิเนียมได้ ซึ่งแม็กนีเซียมจะถูกใช้เป็นธาตุหลักในอัลลอยด์บางชนิดเท่านั้น

อลูมิเนียมผสมซิลิกอน (4xxx) มักพบเป็นอลูมิเนียมที่ผสมด้วยซิลิกอนพร้อมกับแร่อื่นๆ แต่มีอัตราส่วนน้อยกว่า เช่น ซิลิกอน 11.0-13.5% ทองแดง 0.5-1.3% สังกะสี 0.5% เหล็ก 1% แมกนีเซียม 0.8-1.3% และนิเกิล 0.5-1.3% เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้งานประเภทที่ทนความร้อน เช่น กระบอกสูบ ลูกสูบ ก้านสูบ ห้องเครื่อง เป็นต้นเกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (4032, 4043, 4145, 4643, อื่นๆ) มีซิลิคอนเป็นธาตุหลัก ซึ่งสามารถเพิ่มได้ในปริมาณที่เพียงพอ (สูงสุด 12%) ที่จะทำให้เกิดการลดช่วงการหลอมเหลว ด้วยเหตุนี้ อลูมิเนียม-ซิลิคอนอัลลอยด์จึงถูกใช้ทำเป็นลวดเชื่อมและใช้ในการเชื่อมประสานอลูมิเนียม ในช่วงการหลอมเหลวต่ำ แทนการใช้โลหะ อลูมิเนียมอัลลอยด์ที่บรรจุซิลิคอนมากพอจะทำให้เห็นเป็นสีเทาดำเหมือนถ่าน เมื่อเสร็จสิ้นการอโนดิกออกไซด์ (Anodic Oxide) จะถูกนำไปใช้ และด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่ต้องการสำหรับการใช้งานด้านสถาปัตยกรรม

อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม (5xxx) เป็นอลูมิเนียมที่ผสมแร่แมกนีเซียม แต่พบน้อยมากในอัตราส่วนผสมของแมกนีเซียมมากๆ ส่วนมากมักใช้ผสมร่วมกับแร่อื่นๆ เนื่องจากมีความสามารถในการละลาย และหลอมรวมกับอลูมิเนียมได้ไม่ดี หากใช้เป็นส่วนผสมมากจะทำให้วัสดุแข็ง และเปราะหักง่าย ธาตุหลักของอัลลอยด์ประเภทนี้คือ แม็กนีเซียม เมื่อถูกใช้เป็นธาตุหลัก หรือใช้ร่วมกับแมงกานีส จะทำให้มีค่าความแข็งแกร่งปานกลาง และสามารถทำการชุบแข็งได้ แม็กนีเซียมจะส่งผลมากกว่าแมงกานีสในเรื่องของความแข็ง (แมกนีเซียม 0.8% เท่ากับ แมงกานีส 1.25%) และยังสามารถเพิ่มได้ในปริมาณมากอีกด้วย อลูมิเนียมอัลลอยด์ในประเภทนี้ (5005, 5052, 5083, 5086, อื่นๆ) ใช้ในงานเชื่อมได้ดี และต้านทานการกัดกร่อนจากน้ำได้ดี แต่อย่างไรก็ตามการผลิตจะจำกัดอยู่ที่การขึ้นรูปเย็น และใช้อุณหภูมิในการดำเนินงานที่ 150°F สำหรับแมกนีเซียมอลูมิเนียมอัลลอยด์เพื่อหลีกเลี่ยงความอ่อนแอที่เกิดจากการแตกร้าวเนื่องจากการกัดกร่อนภายใต้แรงเค้น (Stress-Corrosion Cracking)

อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมกับซิลิกอน (6xxx) มักเป็นอลูมิเนียมผสมที่มีสัดส่วนของแมกนีเซียม และซิลิกอนในอัตราส่วนน้อย โดยทั่วไปผสมแมกนีเซียม 0.6-1.2% ซิลิกอน 0.4-1.3% นอกจากนี้อาจมีการผสมโครเมียมหรือทองแดงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงด้วยอลูมิเนียมอัลลอยด์ในประเภท 6xxx คือ (6061, 6063) ประกอบไปด้วยซิลิคอน และแม็กนีเซียม ในปริมาณที่มากพอในการขึ้นรูป Magnesium Silicide (Mg2Si) ซึ่งทำให้สามารถทำกระบวนการอบร้อนได้ แต่ก็มีความแข็งไม่เท่ากับประเภท 2xxx และ 7xxx โดยประเภท 6xxx นี้จะสามารถทำการขึ้นรูปได้ดี, เชื่อมง่าย, แปรรูปง่าย และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ด้วยความแข็งแกร่งปานกลาง เกรดอลูมิเนียมในประเภทที่สามารถทำการ Heat-Treatable ได้นี้อาจจะขึ้นรูปในแบบ T4 temper (แก้ปัญหาการอบร้อนได้ แต่ไม่สามารถเร่งการอบร้อนได้) และเพิ่มความแข็งหลังจากการขึ้นรูปแบบคุณสมบัติ T6 โดยการเร่งการอบร้อน

อลูมิเนียมผสมสังกะสี (7xxx) มักเป็นอลูมิเนียมผสมที่มีสัดส่วนของสังกะสีหรืออาจผสมแร่อื่นๆร่วมด้วยเล็กน้อย เช่น แมกนีเซียม กลุ่มอลูมิเนียมนี้มักประยุกต์ใช้ในด้านความทนทานแข็งแรงสูง เช่น ยานอาวกาศ โครงสร้างขนาดใหญ่ เป็นต้นสังกะสีประมาณ 1 ถึง 8% เป็นธาตุหลักในประเภท 7xxx อลูมิเนียมอัลลอยด์ (7075, 7050, 7049, 710.0, 711.0, อื่นๆ) และเมื่อทำการรวมกับแม็กนีเซียมในปริมาณเล็กน้อย ผลที่ได้คือจะมีค่าความแข็งแกร่งตั้งแต่ระดับปานกลางจนถึงสูงมาก ส่วนธาตุอื่นๆเช่น ทองแดง และโครเมียม ก็ถูกเพิ่มเข้าไปในปริมาณเล็กน้อยเหมือนกัน อัลลอยด์ประเภท 7xxx ถูกใช้ทำเป็นโครงสร้างลำตัวของอุปกรณ์มือถือ และชิ้นส่วนที่มีความเค้นสูง อลูมิเนียมอัลลอยด์ความแข็งแกร่งสูง 7xxx จะแสดงการลดความต้านทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากการกัดกร่อนภายใต้แรงเค้น (Stress-Corrosion Cracking) และถูกใช้ใน temper ที่มีอายุเกินมาเล็กน้อย เพื่อให้ได้การรวมกันของความแข็งแกร่ง, ความต้านทานการกัดกร่อน และค่าความต้านทานการแตกหัก

อลูมิเนียมผสมแร่อื่นๆ (8xxx) เป็นอลูมิเนียมผสมที่ใช้แร่ผสมชนิดอื่นนอกเหนือจากข้างต้น เช่น นิเกิล, ไททาเนียม, โครเมียม, บิสมัท และตะกั่ว ประเภท 8xxx (8006; 8111; 8079; 850.0; 851.0; 852.0) สงวนไว้สำหรับการผสมกับธาตุอื่นๆ นอกเหนือจากที่ใช้สำหรับประเภท 2xxx ถึง 7xxx เหล็ก และนิกเกิลถูกใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง โดยไม่มีการสูญเสียสภาพการนำไฟฟ้า และถูกใช้อย่างแพร่หลายเช่นอัลลอยด์ตัวนำ 8017 อลูมินัม-ลิเทียม อัลลอยด์ 8090 มีความแข็งแรง และความแข็งสูงเป็นพิเศษ เพราะถูกพัฒนาให้ใช้กับงานอากาศยาน และอลูมิเนียมอัลลอยด์ในประเภท 8000 สอดคล้องกับของระบบ Unified Numbering A98XXX

2.9 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง

2.9.1 หลักการทำงานของมอเตอร์

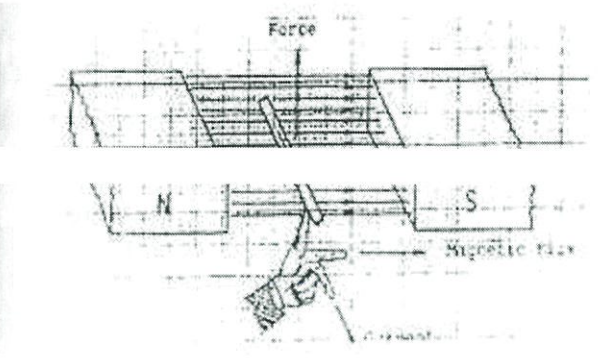
เมื่อมีกระแสไหลในขดลวดตัวนำที่พันอยู่บนแกนอาร์เมเจอร์ จะเกิดสันแรงแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำ และทำปฏิกิริยากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นบนตัวนำทำให้อาร์เมเจอร์หมุนไปได้ขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลและวางอยู่บนแกนของอาร์เมเจอร์ โดยวางห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ *r*กำหนดให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดที่ปลาย A และไหลออกที่ปลาย B จากคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ตัดผ่านซึ่งกันและกัน ดังนั้นปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีจำนวนมากที่ด้านบนของปลาย A จึงทำให้เกิดแรง F1 กดตัวนำ A ลงด้านล่างและขณะเดียวกันที่ปลาย B นั้น เส้นแรงแม่เหล็กจะมีปริมาณมากที่ด้านหน้าทำให้เกิดแรง F2 ดันให้ตัวนำ B เคลื่อนที่ด้านบนของแรง F1 และ F2 นี้เองทำให้อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ไปได้ดังนั้นการทำงานของมอเตอร์จึงขึ้นอยู่กับหลักการที่ว่า เมื่อเอาตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปวางในสนามแม่เหล็ก มันจึงพยายามทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ คุณสมบัติทั่วไปและคุณสมบัติทางเทคนิค

2.9.2 คุณสมบัติทั่วไป

เป็นคุณสมบัติประจำตัวของมอเตอร์ ไฟฟ้าแต่ละประเภทที่ควรจะทราบอย่างกว้าง ๆ โดยมิได้เจาะลึกเข้าไปในเนื้อหาเชิงวิชาการแต่อย่างใด ได้แก่ ลักษณะโครงสร้าง ลักษณะงาน ลักษณะของวงจรเช่นคุณสมบัติ ของมอเตอร์อนุกรม คือ ลักษณะโครงสร้าง ประกอบด้วยลวดหนาม แม่เหล็กที่มีความต้านทานต่ำมาก (พันด้วยลวดทองแดงเส้นใหญ่น้อยรอบแกนขั้วแม่เหล็ก) ต่อเป็นอนุกรมกับอาร์เมเจอร์และต่อโดยตรงกับแรงดันเมน ลักษณะวงจร A1 – A2 เป็นอาร์เมเจอร์ต่อเป็นอนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็กชุดอนุกรม D1 – D2 และต่อโดยตรงกับสายเมน L+, L- และลักษณะสนามแม่เหล็กทำให้ความเร็วสูงเมื่อโหลดลง จึงเป็นมอเตอร์ที่หมุนไม่คงที่ความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามโหลดจะเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้เป็นมอเตอร์สตาร์ทเครื่องพ่นน้ำคุณสมบัติทางเทคนิคเป็นคุณสมบัติประจำเครื่องกลไฟฟ้าแต่ละประเภทเช่นเดียวกัน ที่ให้รายละเอียดซึ่งเจาะลึกเข้าไปในเชิงวิชาการ สามารถทดสอบและวัดด้วยเครื่องวัดได้ด้วยวิธีทดลองในห้องปฏิบัติการทดลอง ส่วนใหญ่จะแสดงด้วยกราฟเพื่อแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าหนึ่งกับอีกค่าหนึ่ง เช่น สมรรถในการกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงด้วย “กราฟแม่เหล็กอิ่มตัว (Saturation หรือ Magnetization curve)” สมรรถนะในการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงด้วย External Characteristic ส่วนคุณสมบัติทางเทคนิคของมอเตอร์จะแสดงด้วย Performance Curve ซึ่งได้แก่ สมรรถนะในการหมุนขับโหลด (Speed load Curves หรือ Speed/load Characteristic) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสมอเตอร์ (n = ความเร็วรอบให้อยู่บนแกน Y หรือ Ordinate และ Ia = กระแสอาร์เมเจอร์ให้อยู่บนแกน X หรือ abscissae) หรืออาจให้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ(n เป็น ordinate หรือ แกน Y) กับทอร์ค หรือกำลังที่หมุนขับงาน (T= ทอร์ด, P=กำลังวัตต์หรือกิโลวัตต์ ให้อยู่บนแกน x หรือ abscissae) จุดประสงค์เพื่อต้องการแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่หมุนขับโหลดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงไป

2.9.3 กฎมือซ้ายสำหรับมอเตอร์

เนื่องจากมีความสัมพันธ์อย่างแน่นอนเกิดขึ้นระหว่าทิศทางของสนามแม่เหล็ก ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในตัวนำและทิศทางที่ตัวนำเคลื่อนที่ซึ่งมีความสัมพันธ์ของปริมาณเหล่านี้ให้ตั้งเป็นกฎมอเตอร์ขึ้น ซึ่งกฎนี้ได้นำไปใช้แบบเดียวกันกับกฎมือขวาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแต่เพียงใช้มือซ้ายแทนเท่านั้น กฎนี้ ได้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1 และได้กล่าวไว้ดังนี้คือ กลางหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลาง ให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยใช้นิ้วชี้ ชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก (Magnotic flux = B) นิ้วกลางชี้ไปตามทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า (Current = I) แล้วหัวแม่มือจะบอกทิศทางของการเคลื่อนที่ของตัวนำ (Force = F)แรงที่เกิดขึ้นในตัวนำการกระทำของแรงที่เกิดขึ้นเป็นตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในขณะที่มันวางอยู่ในสนามแม่เหล็กจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก ความยาวของตัวนำและค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำสามารถหาได้จากสมการF = BILเมื่อ F = แรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำหนึ่งตัว หน่วย นิวตันB = ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก หน่วย Wb/m2I = กระแสที่ไหลในตัวนำ หน่วย แอมแปร์ (A)L = ความยาวของตัวนำ หน่วย เมตร (m)



รูปที่ 2.38 ความสัมพันธ์ระหว่าทิศทางของสนามแม่เหล็ก ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในตัวนำและทิศทางที่ตัวนำเคลื่อนที่

แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อขดลวดตัวนำหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก มันจะติดกับเส้นแรงแม่เหล็กแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหนี่ยวขึ้นในขดลวด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางขัดขวางกับแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ จึงเรียกว่า "แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน" (Back e.m.f) ซึ่งมันจะเกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์เสมอ ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีผลต่อการใช้งานจริง ๆ ในอาร์เมเจอร์จึงมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้ลบด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับจึงเขียนสมการได้ดังนี้

Vt = Ia + Ebหรือ IaRa = Vt – Eb เมื่อ Eb = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ต้านกลับ หน่วยโวลท์ (V)Vt = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ หน่วยโวลท์ (V) Ia = กระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ หน่วยแอมแปร์ (A)Ra = ความต้านทานของขดลวดในอาร์เมเจอร์ หน่วยโอห์ม

สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าของมอเตอร์จากวงจรสามารถเขียนเป็นสมการได้คือVt = Eb + IaRaเมื่อ Vt = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ หน่วยโวลท์ (V)Eb = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ต้านกลับ หน่วยโวลท์ (V)IaRa = แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมในอาร์เมเจอร์ หน่วยโวลท์ (V)กำลังที่เกิดขึ้นในมอเตอร์จากสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าของมอเตอร์Vt = Eb + IaRaนำเอาค่า Ia คูณตลอดเพื่อหา Power จะได้คือVt Ia = Ia Eb+ Ia2Raจะได้ Vt Ia = กำลังงานจ่ายให้กับมอเตอร์ หน่วยวัตต์ (W)Eb Ia = กำลังงานที่เกิดขึ้นจากอาร์เมเจอร์ หน่วยวัตต์ (W)Ia2Ra = กำลังงานการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์ หน่วยวัตต์ (W)

2.9.4 ชนิดของมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดดังนี้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี มอเตอร์ (A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกได้ดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น3 ชนิดได้แก่

1.1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing Phase) สปลิทเฟส มอเตอร์(Split-Phase motor)

- คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)
- รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion-type motor)
- ยูนิเวอร์แวซลมอเตอร์ (Universal motor)

- เช็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)

1.2 มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์ (A.C.Two phas Motor)

1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่าทีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase Motor)

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่าดี.ซี มอเอตร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

- มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
- มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

2.9.5 ประเภทของมอเตอร์

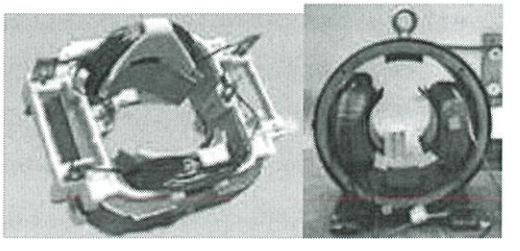
- มอเตอร์กระแสตรง
- มอเตอร์กระแสสลับ

2.9.6 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จึงควรรู้จัก อุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

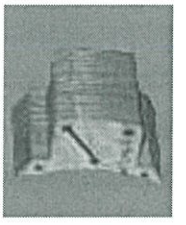
2.9.6.1 เฟรม หรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด



รูปที่ 2.39 ภาพขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก

2.9.6.2 ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์

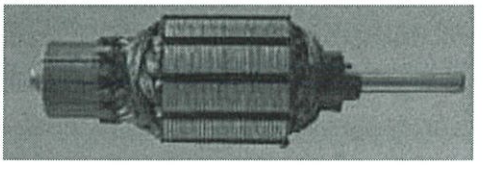
เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์ฐ์มีกำลังหมุน (Torque)



รูปที่ 2.40 แกนขั้ว (Pole Core)

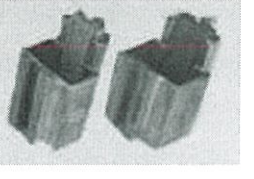
2.9.6.3 ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบๆแกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

2.9.6.4 แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอามาเจอร์ (Armature Croe) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้



รูปที่ 2.41 แกนเพลา (Shaft)

2.9.6.5 แปรงถ่าน ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าในซองแปรงมีสปิงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแส และส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์ กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก คือถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร ์ให้ลวดอาร์มาเจอร์เกดแรงบิดทำให้มอเตอร์หมุนได้



รูปที่ 2.42 แปรงถ่าน

2.9.7 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะ แปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรง แม่เหล็ก จะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลาและแกนเพลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming'left hand rule)

2.9.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ หมายถึง มอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือขดลวดในสเตเตอรีและส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวทที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบ ๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรปิดหรือขดลวดกรงกระรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่จองสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดจะพลังงานกลสามารถนำไปขับภาระที่ต้องการหมุนได้

2.9.9 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ มอเตอร์อะซิงโครนัส และมอเตอร์ซิงโครนัส ซึ่งที่กล่าวในบทนี้จะเป็นมอเตอร์อะซิงโครนัส ที่เรียกว่ามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ซึ่งจะมีขนาดตั้งแต่เล็ก ๆไปจนถึงขนาดหลายร้อยแรงม้า มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ชนิด 1 เฟสและชนิดที่เป็นมอเตอร์ 3 เฟส มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำนั้นส่วนมากแล้วจะหมุนด้วยความเร็วคงที่แต่ก็มีบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ เช่น มอเตอร์สลิปริงหรือมอเตอร์ชนิดขดลวดพัน ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ โรเตอร์ไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าโดยตรงแต่จะได้จากการเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงเรียกว่ามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. มอเตอร์ชนิดกรงกระรอก ซึ่งมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ 1 เฟสและชนิดที่เป็น 3 เฟส
2. มอเตอร์ชนิดขดลวดพันหรือชนิดวาวนด์หรือมอเตอร์สลิปริง ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส

โดยทั่วไป มอเตอร์ทุกประเภทจะมีส่วนประกอบหลัก หรือส่วนประกอบเบื้องต้นคล้ายกันคือสเตเตอร์หรือตัวที่อยู่กับที่และโรเตอร์หรือตัวหมุน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของรายละเอียดของส่วนประกอบปลีกย่อยอื่นๆ

2.9.10 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1. สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator) จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งจะประกอบด้วยโครงของมอเตอร์ แกนเหล็กสเตเตอร์ และขดลวด

2. โครงมอเตอร์ (Frame or Yoke) จะทำด้วยเหล็กหล่อทรงกระบอกกลวง ฐานส่วนล่างจะเป็นขาตั้ง มีกล่องสำหรับต่อสายไฟอยู่ด้านบนหรือด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 2 โครงจะทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับที่ผิวด้านนอกของโครงมอเตอร์ จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นครีบ เพื่อช่วยในการระบายความร้อน

ในกรณีที่เป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก ๆ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อ แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว ซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีขนาดเล็กกะทัดรัดมากขึ้น แต่ถ้าใช้เหล็กหล่อก็จะให้มีขาดใหญ่ นำหนักมาก

นอกจากนี้แล้วโครงของมอเตอร์ยังอาจทำด้วยเหล็กหล่อเหนียวม้วนเป็นแผ่นม้วนรูปทรงกระบอก แล้วเชื่อมติดกันให้มีความแข็งแรง เช่น มอเตอร์สปลิตเฟส เป็นต้น

3. แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ มีลักษณะกลม เจาะตรงกลางและเซาะร่องภายในโดยรอบ แผ่นเหล็กชนิดนี้เรียกว่า ลามิเนท ซึ่งจะถูกเคลือบด้วย ซิลิกอน เหล็กแต่ละแผ่นจะมีความหนาประมาณ 0.025 นิ้ว

4. ขดลวด (Stator Winding) จะมีลักษณะป็นเส้นลวดทองแดงเคลือบฉนวนที่เรียกว่า อีนาเมล (Enamel) พันอยู่ในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์ตามรูปแบบต่าง ๆ ของการพันมอเตอร์

5. โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor) มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะมีโรเตอร์ 2 ชนิด คือ โรเตอร์แบบกรงกระรอกและโรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ ซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้คือ แกนเหล็ก โรเตอร์ ขดลวด ใบพัด และเพลา ดังจะไดกล่าวรายละเอียดต่อไป

6. โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) จะประกอบด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ ที่เรียกว่าแผ่นเหล็กลามิเนท ซึ่งจะเป็นแผ่นเหล็กชนิดเดียวกันกับสเตเตอร์ มีลักษณะเป็นแผ่นกลม ๆ เซาะร่องผิวภายนอกเป็นร่องโดยรอบ ตรงกลางจะเจาะรูสำหรับสวมเพลา และจะเจาะรูรอบ ๆ รูตรงกลางที่สวมเพลาทั้งนี้เพื่อช่วยให้ในการระบายความร้อน และยังทำให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบาลง เมื่อนำแผ่นเหล็กไปสวมเข้ากับแกนเพลาแล้วจะได้เป็นแกนเหล็กโรเตอร์ หลังจากนั้นก็จะใช้แท่งตัวทองแดงหรือแท่งอะลูมิเนียมหล่ออัดเข้าไปในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปวางทั้งสองด้านด้วย วงแหวนตัวนำทั้งนี้เพื่อให้ขดลวดครบวงจรไฟฟ้าหรืออาจนำแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปในแบบพิมพ์แล้วฉีดอะลูมิเนียมเหลวเข้าไปในร่อง ก็จะได้อะลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่องจนเต็มและจะได้ขดลวดตัวนำแบบกรงกระรอกฝังอยู่ในแกนเหล็ก

ขดลวดในโรเตอร์นั้นจะเป็นลักษณะของตัวนำที่เป็นแท่งซึ่งอาจใช้ทองแดง หรืออะลูมิเนียมประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะคล้ายกรงนกหรือกรงกระรอก

7. โรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ (Wound Rotor) โรเตอร์ชนิดนี้จะมีส่วนประกอบคล้าย ๆ กับโรเตอร์แบบกรงกระรอก คือ มีแกนเหล็กที่เป็นแผ่นลามิเนทอัดเข้าด้วยกันแล้วสวมเข้าที่เพลา แต่จะแตกต่างกันตรงที่ขดลวด จะเป็นเส้นลวดชนิดที่หุ้มด้วยน้ำยาฉนวนอีนา

เมลพันลงไปในร่องสล็อตของโรเตอร์จำนวน 3 ชุด ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับที่พันบนสเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟสแล้วต่อวงจรขดลวดเป็นแบบสตาร์ โดยนำปลายทั้ง 3 ที่เหลือต่อเข้ากับวงแหวนตัวนำ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถต่อวงจรของขดลวดของโรเตอร์เข้ากับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ที่อยู่ภายนอกตัวมอเตอร์ เพื่อการปรับค่าความต้านทานของโรเตอร์ ซึ่งจะสามารถควบคุมความเร็วของโรเตอร์ได้

8. ฝาครอบ (End Plate) ส่วนมากจะทำด้วยเหล็กหล่อ เจาะรูตรงกลางและคว้านเป็นรูกลมใหญ่เพื่อัดแบริ่งหรือตลับลูกปืนรองรับแกนเพลาของโรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1

9. ฝาครอบใบพัด (Fan End Plate) จะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กเหนียวขึ้นรูปให้มีขนาดสวมฝาครอบได้พอดี มีรูเจาะเพื่อระบายอากาศ และยึดติดกับฝาครอบด้านที่มีใบพัด ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟสและมอเตอร์ 1 เฟสขนาดใหญ่

10. ใบพัด (Fan) จะทำด้วยเหล็กหล่อ มีลักษณะเท่ากันทุกครีบเท่ากันทุกครีบ จะสวมยึดอยู่บนเพลาด้านตรงข้ามกันกับเพลางาน ใบพัดนี้จะช่วยในการระบายอากาศและความร้อนได้มากทีเดียวใบพัดนี้ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟสและมอเตอร์ 1 เฟสขนาดย่อยถึงขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับฝาครอบใบพัด

11. สลักเกลียว (Bolt) จะทำด้วยเหล็กเหนียวจะมีลักษณะเป็นเกลียวตลอด ถ้าเป็นมอเตอร์ 3 เฟส จะประกอบด้วยสลักเกลียว 8 ตัว ทำหน้าที่ยึดฝาครอบให้ติดกับโครง ถ้าเป็นมอเตอร์ 1 เฟสขนาดเล็ก เช่น มอเตอร์สปลิตเฟสจะเป็นสลักเกลียวยาวตลอดความยาวของตัวมอเตอร์ ทำเกลียวเฉพาะด้านปลายและมีน็อตขันยึดไว้ ดังนั้นจึงมีเพียง 4 ตัว

2.9.11 บทสรุป

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ จะมี 2ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. มอเตอร์อะซิงโครนัส (Asynchronous motor)

2. มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous motor) ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ประเภทที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำ

โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมี 2 ประเภท คือ

1. โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นตัวนำหลายตัวประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แล้วลัดวงจรหัวท้ายด้วยวงแหวนตัวนำ

2. โรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ (Wound rotor) จะมีลักษณะเป็นขดลวดพันในร่องสล็อตของโรเตอร์จำนวน 3 ชุด ขดลวดด้านปลายต่อเข้าด้วยกันเป็นแบบสตาร์ ด้านต้นต่อเข้ากับวงแหวนลื่นหรือสลิปริง (Slip ring)

ส่วนประกอบทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ จะประกอบด้วย

1. สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator) มีลักษณะเป็นแผ่นลามิเนทประกอบเข้าด้วยกันเป็นแกนเหล็ก มีร่องเอาไว้สำหรับพันขดลวดเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสนามแม่เหล็กและเป็นวงจรปม่เหล็ก

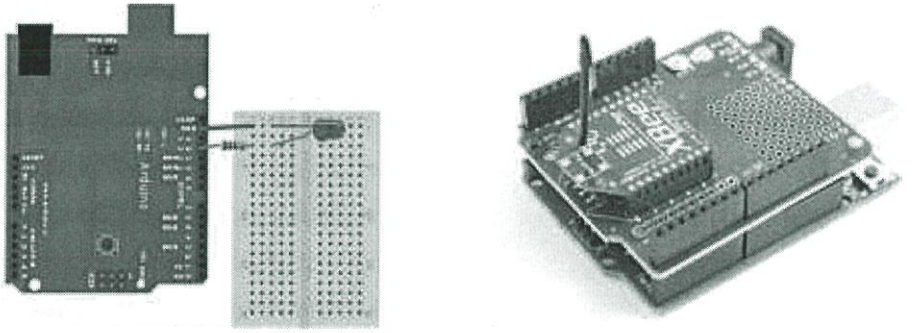
2. โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor) มีลักษณธเป็นแกนเหล็กทรงกระบอกจะหมุนอยู่ในช่องสเตเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่กำเนิดกำลังกลเพื่อส่งไปขับโหลด

3. ฝาครอบทั้ง 2 ด้าน (End Plate) จะมีหน้าที่ยึดโรเตอร์ให้หมุนอยู่ในช่องของ สเตเตอร์อย่างสมดุล

2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน่ หรือ อาดุยโน่) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Sourceคือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ 1) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างรูปที่ 2) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

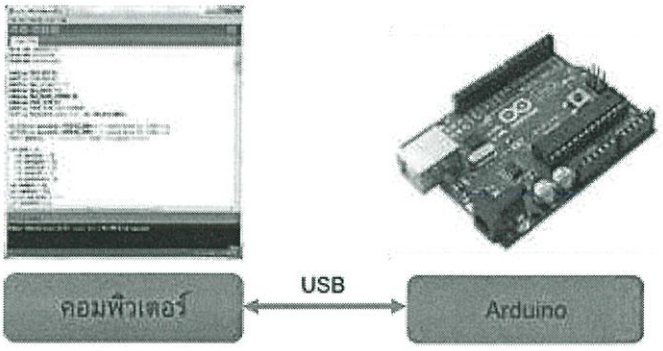


รูปที่ 2.43 บอร์ด Arduino

จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

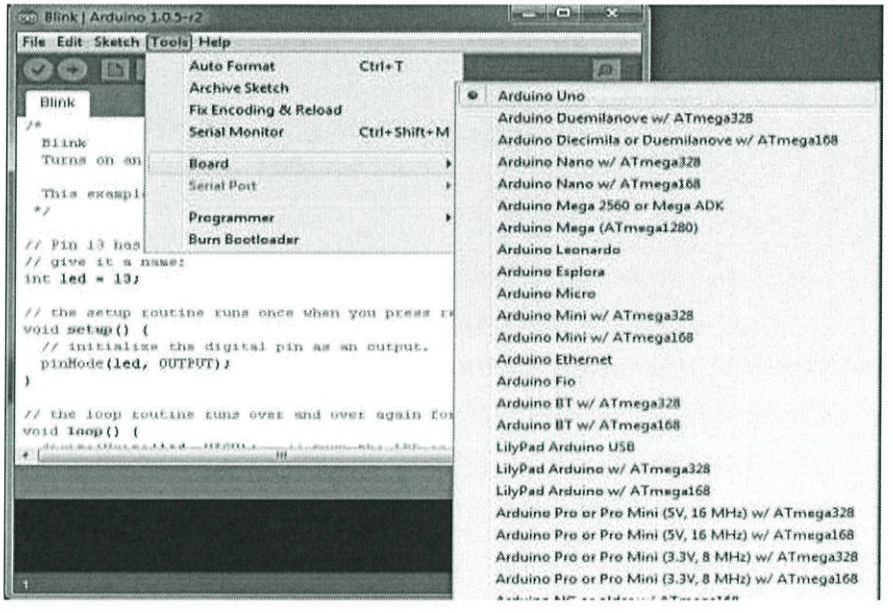
- ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง
- Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
- ราคาไม่แพง
- Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2.10.1 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

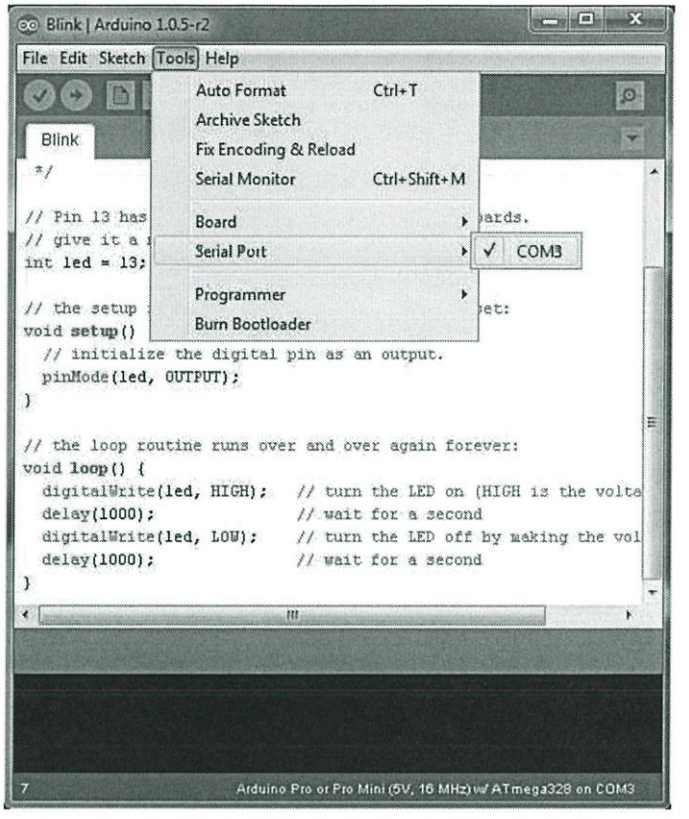


รูปที่ 2.44 การควบคุม Arduino

2.10.1.1 เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software หลังจากที่เขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port

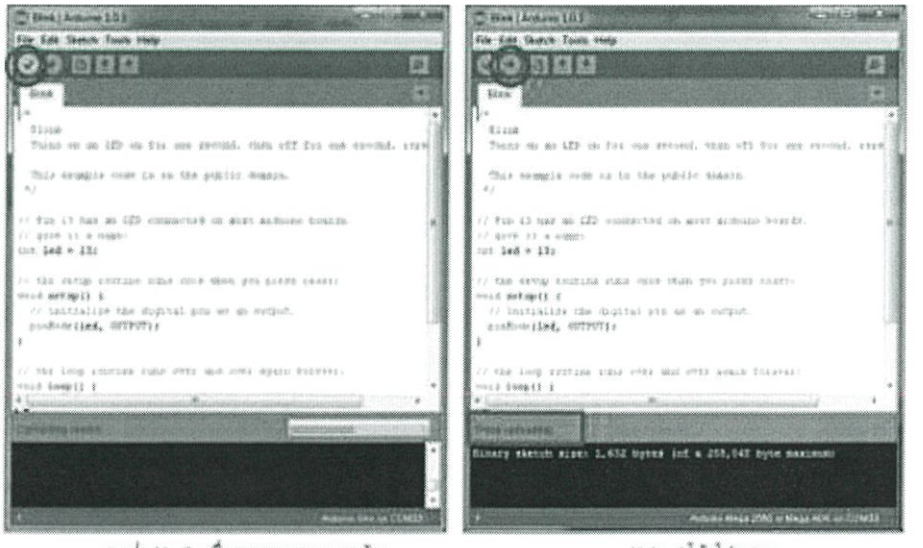


รูปที่ 2.45 เลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ Upload



รูปที่ 2.46 Comport ของบอร์ด

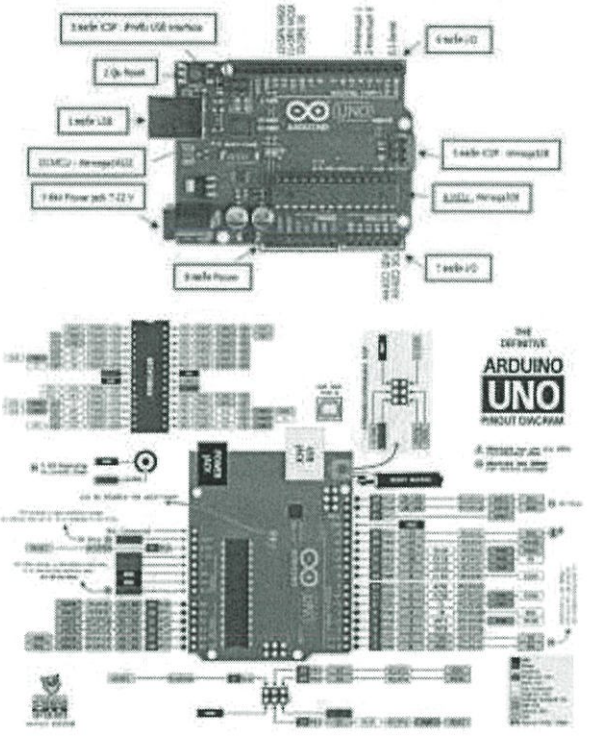
กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduinoผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และ Compile โค้ดโปรแกรม

Upload โค้ดโปรแกรม

รูปที่ 2.47 ขาต่างๆของ Arduino UNO R3



รูปที่ 2.48 Schmetic ของ Arduino

1. USBPort: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออับโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด

2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

4. I/OPort:Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM

5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader

6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino

7. I/OPort: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0-A5

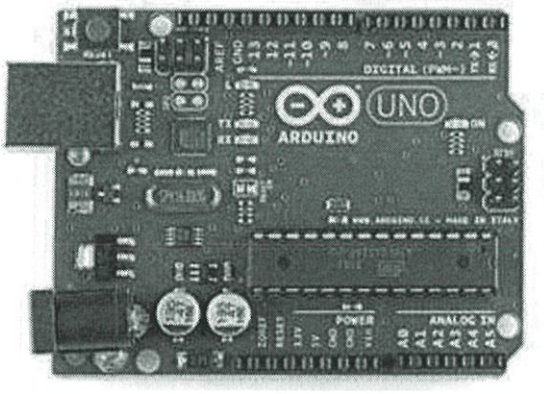
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin

9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่านAtmega16U

2.10.2 ข้อมูล Arduino Board ซึ่งมีดังนี้

2.10.2.1 Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจคและ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย



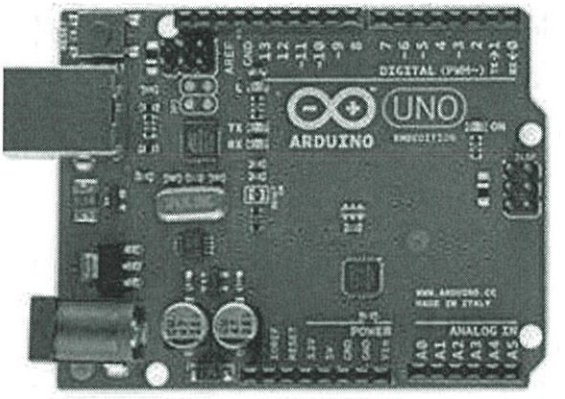
รูปที่ 2.49 Arduino Uno

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Booloader
พื้นที่แรม	2KB

พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6x53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม

2.10.2.2 Arduino Uno SMD เป็นบอร์ดที่มีคุณสมบัติและการทำงานเหมือนกับบอร์ด Arduino UNO R3 ทุกประการ แต่จะแตกต่างกับที่Package ของ MCU ซึ่งบอร์ดนี้จะมี MCU ที่เป็น Package SMD ติดกับบอร์ดเลย (Arduino UNO R3 มี MCU ที่เป็น Package DIP)



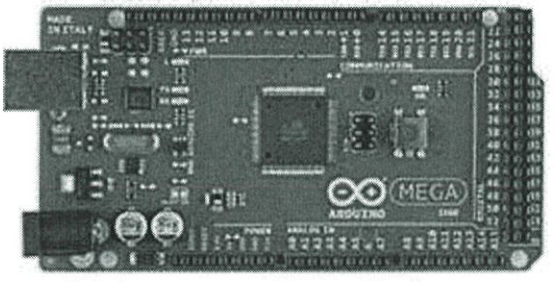
รูปที่ 2.50 Arduino Uno R3

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Booloader

พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6x53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม

2.10.2.3 Arduino Mega 2560 R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้ I/O มากกว่า Arduino Uno R3 เช่น งานที่ต้องการรับสัญญาณจาก Sensor หรือควบคุมมอเตอร์ Servo หลายๆ ตัว ทำให้ Pin I/O ของบอร์ด Arduino Uno R3 ไม่สามารถรองรับได้ ทั้งนี้บอร์ด Mega 2560 R3 ยังมีความหน่วยความจำแบบ Flash มากกว่า Arduino Uno R3 ทำให้สามารถเขียนโค้ดโปรแกรมเข้าไปได้มากกว่า ในความเร็วของ MCU ที่เท่ากัน



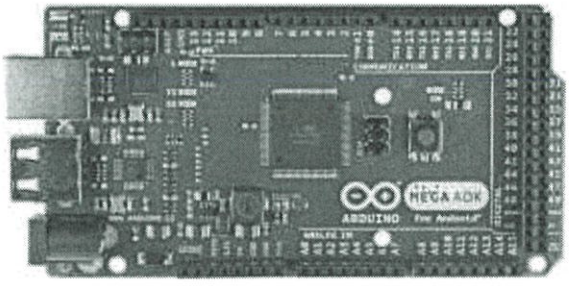
รูปที่ 2.51 Arduino Mega 2560 R3

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega2560
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 15 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	16 พอร์ต
กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	40mA
กระแสไปที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	256KB แต่ 8KB ถูกใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	8KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	4KB

ความถี่คริสตัล	16MHz

2.10.2.4 Arduino Mega ADK เป็นบอร์ดที่ออกแบบมาให้บอร์ด Mega 2560 R3 สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ Android Deviceผ่านพอร์ตUSB Host ของบอร์ดได้



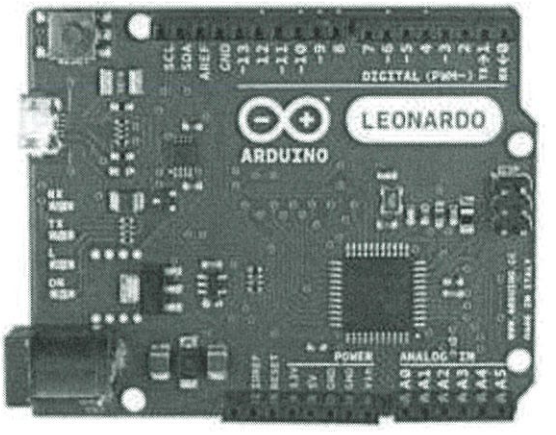
รูปที่ 2.52 Arduino Mega ADK

2.10.2.5 Arduino Leonardo ใช้ชิปไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ ATmaega2560 มีชิปไอซี USB Host เบอร์ MAX3421e มาให้บนบอร์ด ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือแอนดรอยผ่าน OTG มีพอร์ตดิจิตอลอินพุตเอาต์พุตจำนวน 54 พอร์ต มีอนาล็อกอินพุตมาให้ 16 พอร์ต ทำงานที่ความถี่ 16MHz บอร์ด Arduino MEGA ADK จะแตกต่างกับบอร์ด Arduino Duo ตรงที่ชิปบนบอร์ดนั้นฉลาดไม่เท่า และใช้ความถี่ต่ำกว่า ดังนั้นจึงไม่เหมาะจะนำไปใช้กับงานคำนวณ แต่เหมาะสำหรับงานที่ใช้การเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือแอนดรอยมากกว่า

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega2560
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 15 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	16 พอร์ต
กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	40mA
กระแสไปที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	256KB แต่ 8KB ถูกใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	8KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	4KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	101.52x53.3 mm
น้ำหนัก	36 กรัม

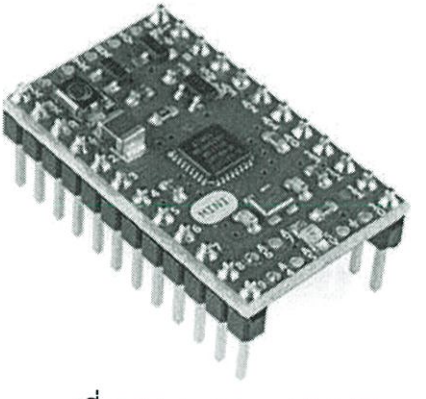
ข้อควรระวัง: เนื่องจาก MCU เป็นคนละเบอร์กับ Arduino Uno R3 อาจจะทำให้บอร์ด Shield บางตัวหรือ Library ใช้ร่วมกันกับบอร์ดArduino Leonardo ไม่ได้ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องตรวจสอบก่อนใช้งาน



รูปที่ 2.53 Arduino Leonardo

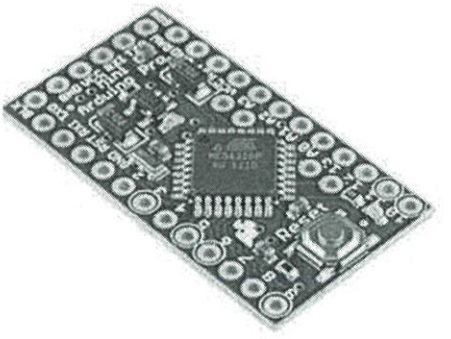
2.10.2.6 Arduino Mini 05 เป็นบอร์ด Arduino ขนาดเล็กที่ใช้ MCU เบอร์ ATmega328 เบอร์เดียวกับบอร์ด Arduino UNO R3

ข้อแตกต่าง: บอร์ด Arduino Mini 05 จะไม่มีพอร์ต USB มาให้ ผู้ใช้งานต้องต่อกับบอร์ด USB to Serial Converter เพิ่มเมื่อต้องการโปรแกรมบอร์ด



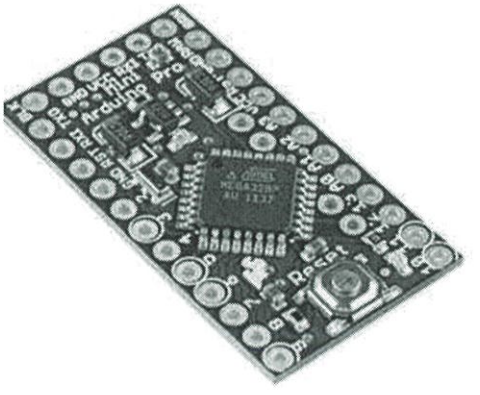
รูปที่ 2.54 Arduino Mini 05

2.10.2.7 Arduino Pro Mini 328 3.3V เป็นบอร์ด Arduino ขนาดเล็ก ที่ใช้ MCU เบอร์ ATmega328 ซึ่งจะคล้ายกับบอร์ด Arduino Mini05 แต่บนบอร์ดจะมี Regulator 3.3 V ชุดเดียวเท่านั้น ระดับแรงดันไฟที่ขา I/O คือ 3.3V



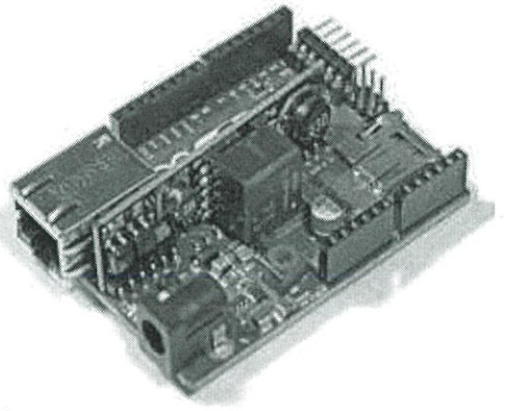
รูปที่ 2.55 Arduino Pro Mini

2.10.2.8 Arduino Pro Mini 328 5V เป็นบอร์ด Arduino ขนาดเล็ก ที่ใช้ MCU เบอร์ ATmega328 เช่นเดียวกับบอร์ด Arduino Mini 05 แต่บนบอร์ดจะมี Regulator 5V ชุดเดียวเท่านั้น ระดับแรงดันไฟที่ขา I/O คือ 5V



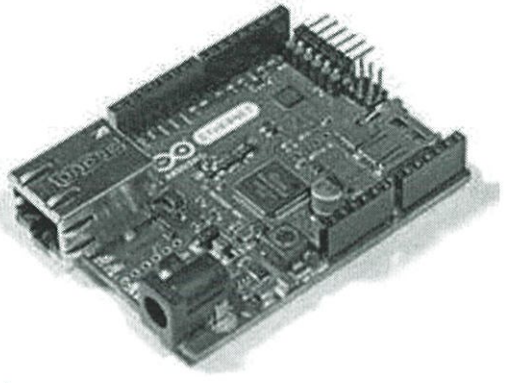
รูปที่ 2.56 Arduino Pro Mini 328

2.10.2.9 Arduino Ethernet with PoE module เป็นบอร์ด Arduino ที่ใช้ MCU เบอร์เดียวกับ Arduino Uno SMD ในบอร์ดมีชิปEthernet และช่องสำหรับเสียบ SD Card รวมทั้งโมดูล POE ทำให้บอร์ดนี้สามารถใช้แหล่งจ่ายไฟจากสาย LAN ได้โดยตรง โดยไม่ต้องต่อ Adapter เพิ่ม แต่บอร์ด Arduino Ethernet with PoE module นี้จะไม่มีพอร์ต USB ทำให้เวลาโปรแกรมต้องต่อบอร์ด USB to Serial Converter เพิ่มเติม



รูปที่ 2.57 Arduino Ethernet with PoE module

2.10.2.10 Arduino Ethernet without PoE module บอร์ดนี้จะตัดโมดูล POE ออกไป ต้องใช้ไฟจากพอร์ต Power Jack เท่านั้น คุณสมบัติอื่นๆ จะเหมือนกับบอร์ด Arduino Ethernet with PoE module

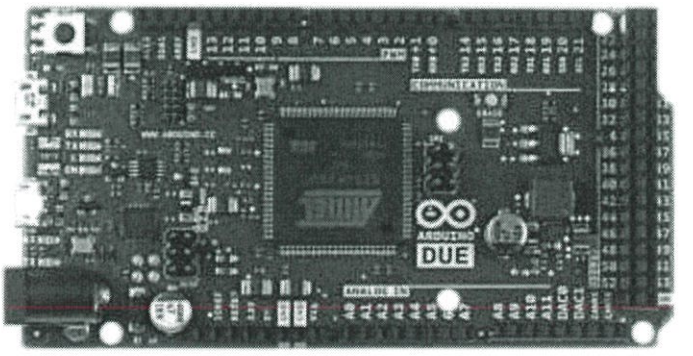


รูปที่ 2.58 Arduino Ethernet with PoE module

2.10.2.11 Arduino Due Duo เป็นภาษาอิตาลี แปลว่า สอง เป็นรุ่นที่เพิ่มพอร์ตให้มากขึ้น เป็น 54 พอร์ตดิจิตอลอินพุตเอาต์พุต และ 12 พอร์ตอนาล็อกอินพุต 2 พอร์ตอนาล็อกเอาต์พุต เพิ่มพื้นที่โปรแกรมเป็น 512KB สามารถใช้งานพื้นที่ได้เต็มไม่มี Bootloader เนื่องจากสามารถใช้กับพอร์ต USB ได้โดยตรง มีขนาดบอร์ด 101.52x53.3mm สามารถใช้ Shields ของ Arduino Uno ได้ แต่บางตัวจำเป็นต้องแก้ขาให้ถูกต้อง จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าบอร์ดได้เปลี่ยนมาใช้ชิปไอซีแบบ SMD จึงไม่นิยมนำมาใช้ในแบบ Standalone แต่นิยมนำมาใช้ในงานที่จำเป็นต้องพื้นที่โปรแกรมมากขึ้น ทำงานที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น บอร์ด Arduino Duo ใช้ชิปไอซีเบอร์ AT91SAM3X8E ซึ่งเป็นชิปไอซีที่ใช้เทคโนโลยี ARM Core สถาปัตยกรรม 32 บิต เร่งความถี่คริสตอลขึ้นไปสูงถึง 84Mhz จึงทำให้สามารถงานด้านการคำนวน หรือการประมวลผลอัลกอริทึมได้เร็วกว่า Arduino Uno มาก แต่เนื่องจากชิปไอซีทำงานที่แรงดัน 3.3V ดังนั้นการนำไปใช้งานกับเซ็นเซอร์ควรระวังไม่ให้แรงดัน 5V ไหลเข้าบอร์ด ควรใช้วงจรแบ่งแรงดันเพื่อช่วยให้ลอจิกลดแรงดันลงมาให้เหมาะสม

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	AT91SAM3X8E
ใช้แรงดันไฟฟ้า	3.3V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 16V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 12 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	2 พอร์ต
กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	130mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	800mA
กระแสไปที่จ่ายได้ในพอร์ต 5V	800mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	512KB พื้นที่โปรแกรม
พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	96KB
ความถี่คริสตัล	84MHz
ขนาด	101.52x53.3 mm
น้ำหนัก	36 กรัม



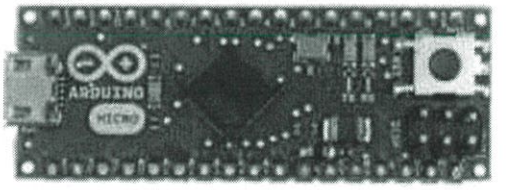
รูปที่ 2.59 Arduino Due Duo

2.10.2.12 Arduino Micro บอร์ด Arduino Micro ออกแบบให้มีขนาดที่เล็ก และทันสมัย กว่าบอร์ด Arduino Mini หรือ Arduino Nano เนื่องจากบนบอร์ดใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์

เบอร์ ATmega32u4 ซึ่งมาพอร์ต USB สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง และมีดิจิตอลอินพุตเอาต์พุตมากถึง 20 พอร์ต มีพื้นที่เก็บโปรแกรมขนาด 32KB แต่ต้องใช้พื้นที่สำหรับ Bootloader ไป 4KB มีขนาดเพียง 48x18mm เนื่องจากบอร์ดใช้ชิปไอซีตัวเดียวกับ Arduino Leonardo ทำให้สามารถทำให้บอร์ดจำลองตัวเองเป็นเมาส์หรือคีย์บอร์ดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้

ข้อมูลเฉพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega32u4
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	20 พอร์ต (มี 7 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	12 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไปที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 4KB ใช้โดย Booloader
พื้นที่แรม	2.5KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	48x18 mm
น้ำหนัก	13 กรัม

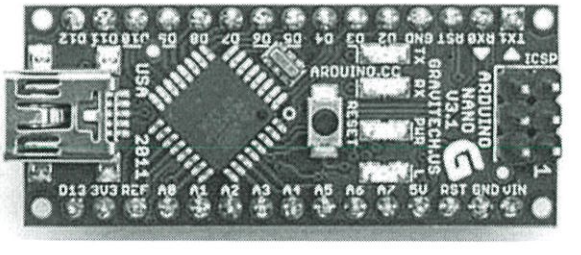


รูปที่ 2.60 Arduino Micro

2.10.2.13 Arduino Nano บอร์ด Arduino Nano ออกแบบมาให้มีขนาดเล็ก และใช้กับงานทั่วๆไป ใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ ATmega168 หรือเบอร์ ATmega328 (มีรุ่น 2.3 กับ 3 ตอนซื้อต้องเช็คดีๆก่อน) โปรแกรมผ่านโปรโตคอล UART มีชิปUSB to UART มาให้ ใช้ Mini USB เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ มีพอร์ตดิจิตอลอินพุตเอาต์พุต 14 พอร์ต มีพอร์ตอนาล็อกอินพุต 8 พอร์ต บนบอร์ดยังมีเรกกูเลเตอร์ สามารถจ่ายไฟได้ตั้งแต่ 7 – 12V เพื่อให้บอร์ดทำงานได้ (จ่ายไฟที่ขา VIN) กรณีมีแหล่งจ่ายไฟ 5V อยู่แล้วก็จ่ายเข้าได้เลยที่ขา 5V

ข้อมูลจำเพาะ

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega168 หรือ ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไปที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	16KB หรือ 32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Booloader
พื้นที่แรม	1 หรือ 2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	512B หรือ 1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	45x18 mm
น้ำหนัก	5 กรัม



รูปที่ 2.61 Arduino Nano

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของบอร์ด Arduino แต่ละรุ่น

	Processor					Input / Output							Power				Connectivity				
	Family	SRAM	FLASH	EEPROM	Clock	Digital I/O	Analog In	ADC Bits	PWM	UART	Analog Out	DAC Bits	VCC	Vin Range	5V	3V3	USB - Serial	I2C	Ethernet	USB-Host	SD Card
Arduino UNO R3	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino UNO SMD	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino Mega 2560 R3	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino Mega ADK	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	MAX3421E	No	No
Arduino Leonardo	ATmega32U4	2.5k	32k	1k	16MHz	20	12	10	7	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	Built-in	1	No	No	No
Arduino Mini 05	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	8	10	6	1	N/A	N/A	5V	7V-9V	Yes	No	N/A	1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 - 3.3V	ATmega328	2k	32k	1k	8MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	3.3V	5V-12V	No	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 – 5V	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7V-12V	Yes	No	N/A	1	No	No	No
Arduino Ethernet with PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	9-18V	Yes	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino Ethernet without PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	9-18V	Yes	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino DUE	SAM3X8E	96kb	512k	N/A	84MHz	70	12	12	12	4	2	12	3.3V	7-12V	No	VC C	Built-in	2	No	Yes	No

จากตารางจะเห็นได้ว่า เนื่องจากบอร์ด Arduino UNO R3 เป็นรุ่นที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ทำให้ Library และบอร์ด Shield ส่วนใหญ่จะรองรับกับบอร์ดรุ่นนี้

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการทำงานและการออกแบบ

1. ศึกษา, รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงาน
2. ฝึกใช้ซอฟแวร์สำหรับการออกแบบ
3. ออกแบบชิ้นงาน
4. สร้างโมเดลชิ้นงานด้วยเครื่องพิม3มิติ
5. ศึกษาเพิ่มเติม เกี่ยวกับ มอเตอร์, สายพาน, วัสดุอลูมิเนียมและการขึ้นรูป
6. ขึ้นรูปชิ้นงานจริงด้วยวัสดุอลูมิเนียม
7. ติดตั้งมอเตอร์, อุปกรณ์รับแรงกระแทก และ ส่วนควบคุมต่างๆ
8. เขียนโค๊ดควบคุมการเคลื่อนไหวด้วย microcontroller
9. ทดลองใช้และปรับปรุงชิ้นงาน
10. เขียนรูปเล่มงานวิจัย

3.2 ศึกษาข้อมูลจากแหล่งความรู้

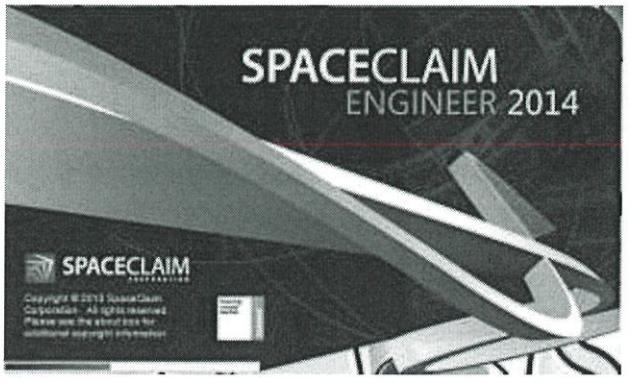
การออกแบบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างนี้ ได้มีการหาข้อมูลจากหลายแหล่งความรู้ โดยส่วนมากจะเป็นข้อมูลของทางต่างประเทศ เนื่องจากยังเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ โดยหาข้อมูลจากบทความ วิจัย คลิปวิดีโอ เว็บไซต์ผู้ผลิต รวมไปถึง ภาพยนตร์เพื่อหาแรงบันดาลใจ

3.3 การออกแบบโดยใช้ซอฟแวร์คอมพิวเตอร์

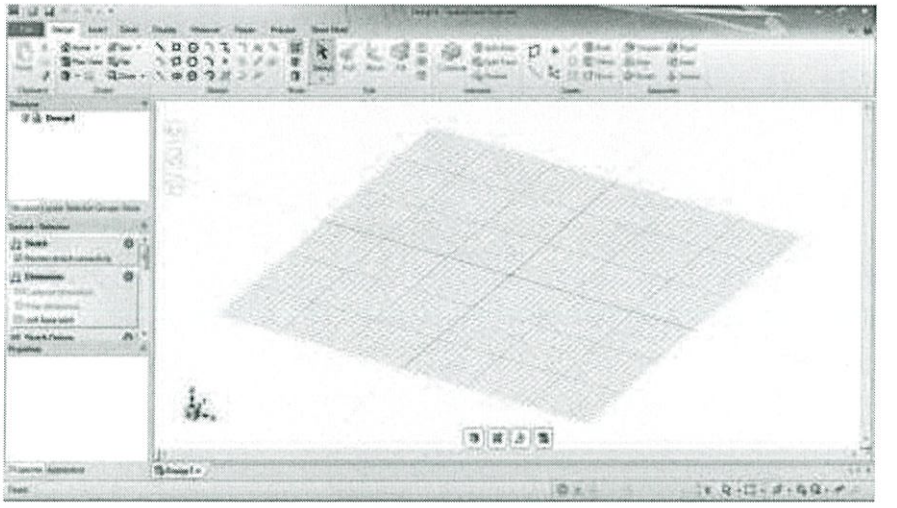
ในการออกแบบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างนี้ทางเราจำเป็นที่จะต้องนำซอฟแวร์คอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ โดยสร้างเป็นแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ กำหนดอัตราส่วนและรูปแบบที่ต้องการ โดยมีซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ Spaceclaim และ FlashPrint

3.3.1 SpaceClaim 2014

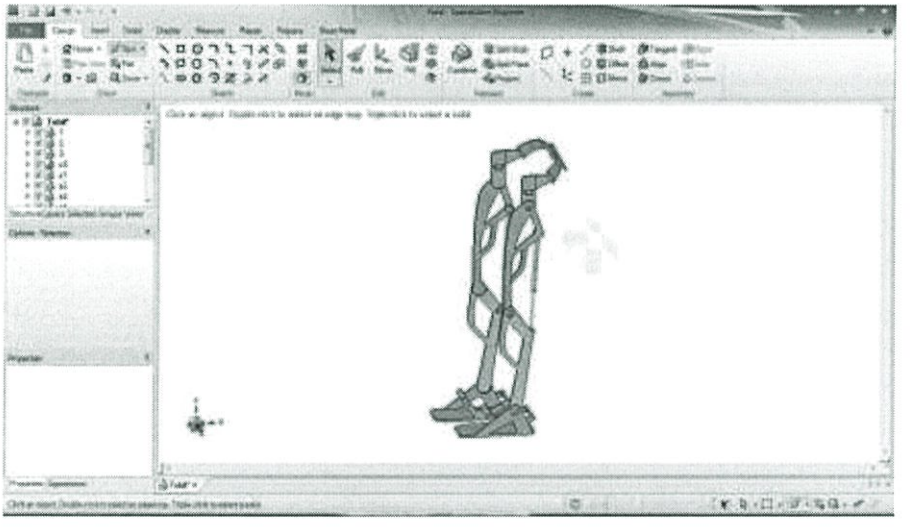
SpaceClaim เป็นซอฟแวร์สำหรับออกแบบงานสามมิติ โดยสามารถออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างทุกชิ้น ผ่านทางโปรแกรมนี้



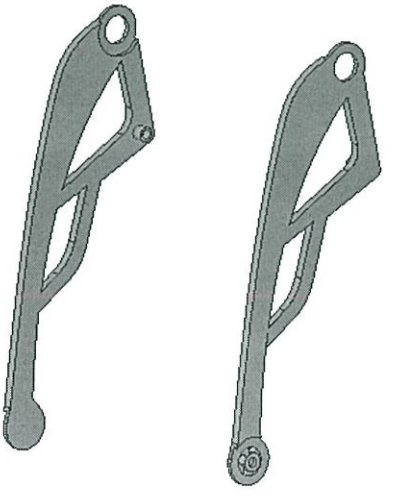
รูปที่ 3.1 โปรแกรม SPACECLAIM 2014



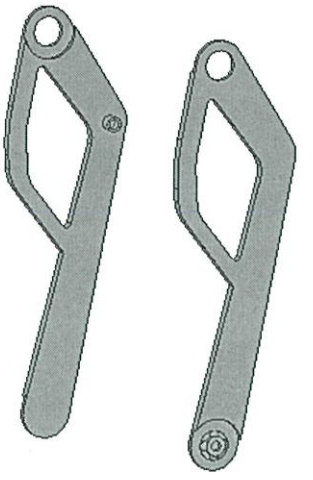
รูปที่ 3.2 หน้าต่างของโปรแกรม SPACECLAIM 2014



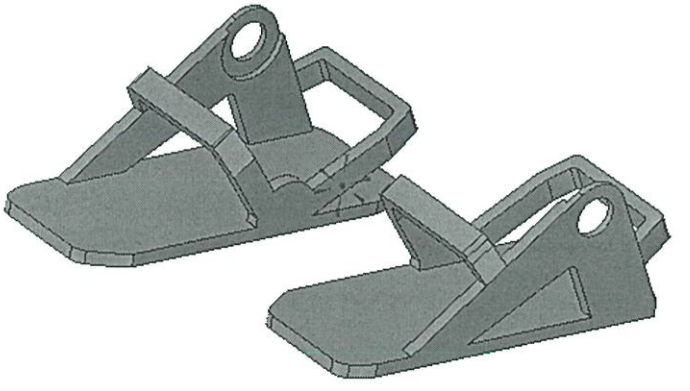
รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014



รูปที่ 3.4 การออกแบบชิ้นส่วนต้นขาด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014

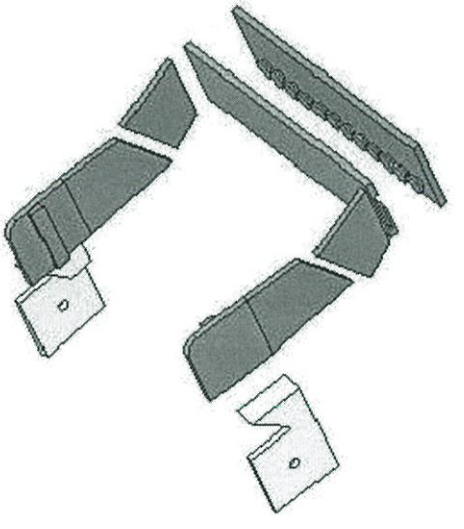


รูปที่ 3.5 การออกแบบส่วนหน้าแข้งด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014

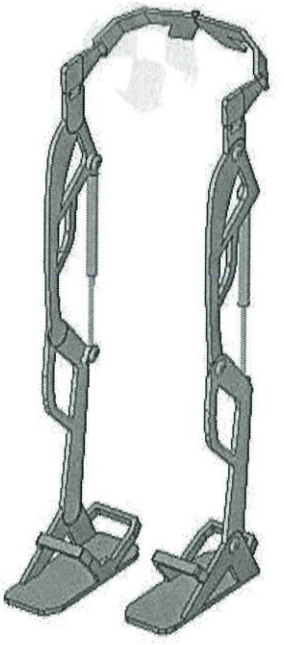


รูปที่ 3.6 การออกแบบส่วนเท้าด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014

รูปที่ 3.7 การออกแบบส่วนรับแรงกระแทกด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014



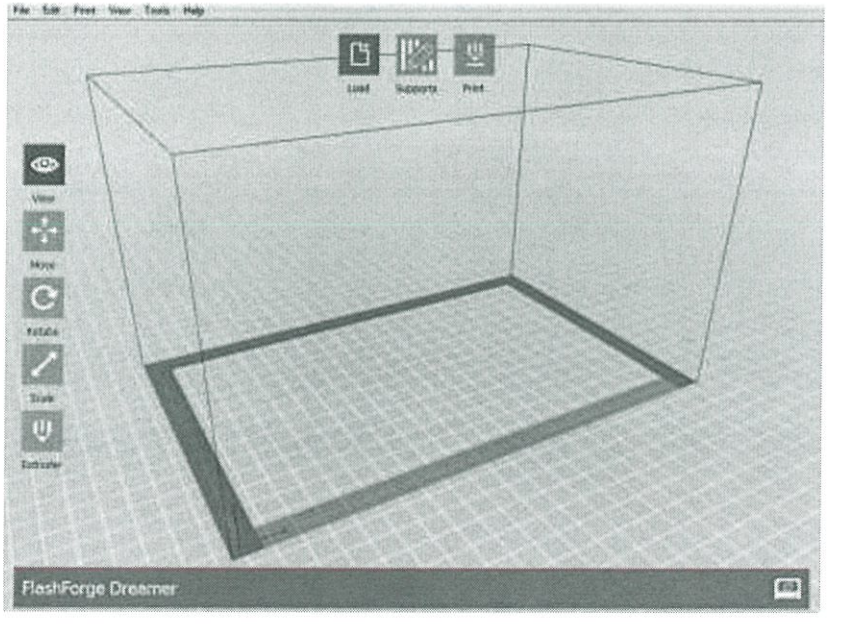
รูปที่ 3.8 การออกแบบสะโพกด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014



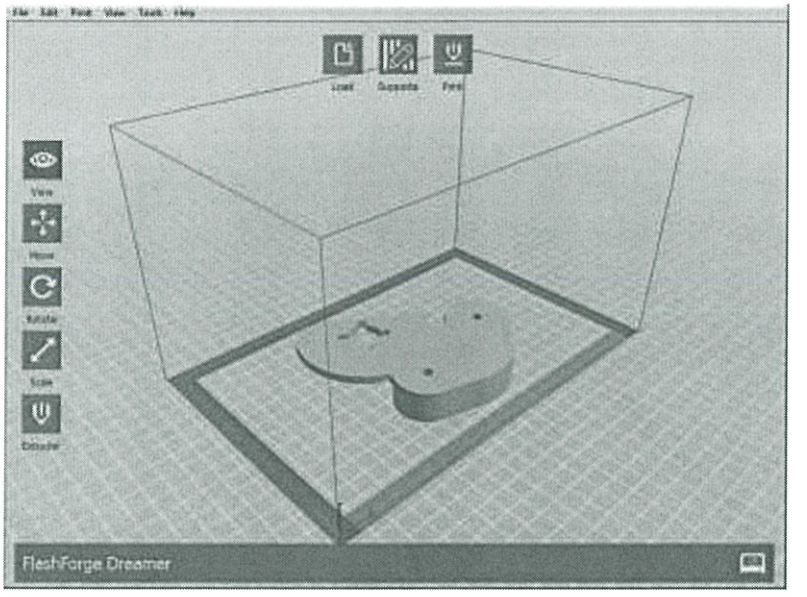
รูปที่ 3.9 การออกแบบส่วนประกอบโดยรวมด้วยโปรแกรม SPACECLAIM 2014

3.3.2 FlashPrint

FlashPrint เป็นโปรแกรมสำหรับจำลองชิ้นงานสามมิติ เพื่อตรวจสอบและปรับคุณสมบัติต่างๆ ให้เหมาะสมกับ ชนิดของวัสดุที่ต้องการปริ้นสามมิติ ก่อนจะเซฟเป็นไฟล์ .g เพื่อนำไปปริ้นต่อไป



รูปที่ 3.10 หน้าต่างของโปรแกรม Flash Print



รูปที่ 3.11 แสดงการแปลงไฟล์ชิ้นงานเป็นไฟล์ .g ด้วยโปรแกรม FlashPrint

3.4 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ เราได้ใช้พลาสติกชนิด PLA สำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่องปริ้นสามมิติในการสร้างแบบจำลองก่อนขึ้นรูปชิ้นงานจริง จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานจริงด้วยอลูมิเนียมความหนา 3 มิลลิเมตร โดยมีส่วนประกอบทั้งหมด 4 ส่วน ไดแก่ ชิ้นโครงอลูมิเนียม มอเตอร์ อุปกรณ์รับแรงกระแทก และ ชุดควบคุม

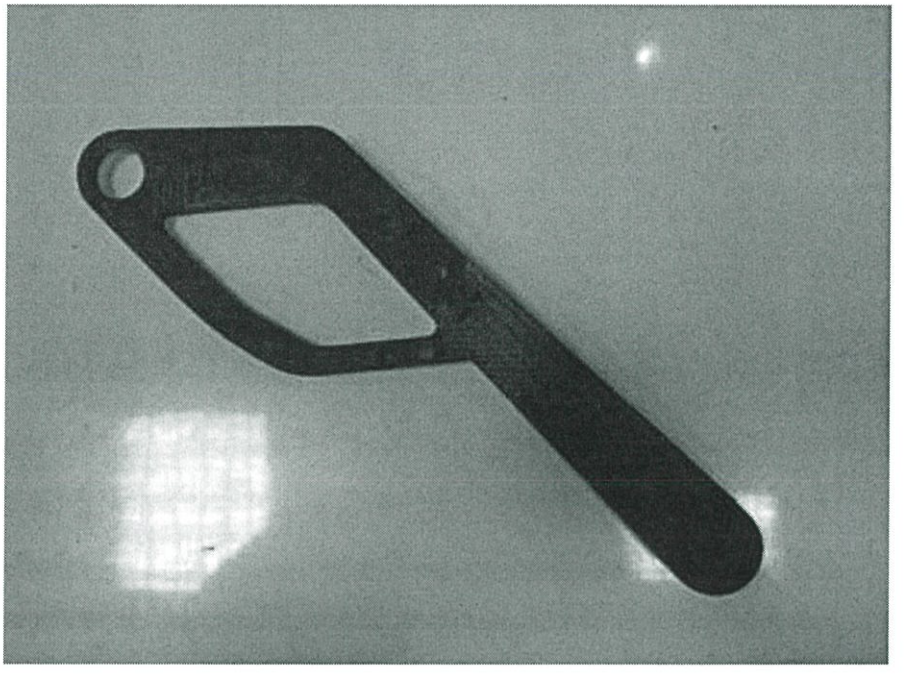
3.4.1 พลาสติก PLA

รูปที่ 3.12 พลาสติก PLA สีดำ

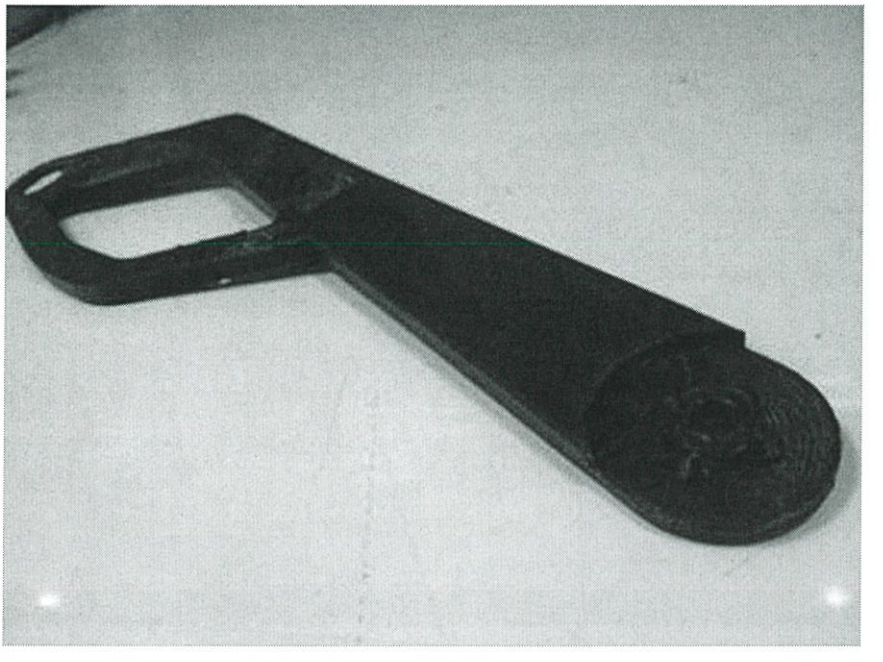
PLA หรือ Polylactic-acid เป็นพลาสติกได้มาจากส่วนผสม วัตถุทางธรรมชาติ เช่น ส่วนประกอบข้าวโพด หรือ ธัญญาพืช (หากเคยเรียน Bio ที่โรงเรียน Lactic acid จะอยู่ในน้ำนม) PLA เป็นThermoplastic เช่นกัน คือ หากถูกความร้อนสามารถหลอมละลายเปลี่ยนรูปร่างต่างๆได้

เนื่องจากเป็นวัสดุที่เกิดจากผลผลิตธรรมชาติ จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียก็ย่อยสลายได้ง่ายเช่นเดียวกัน

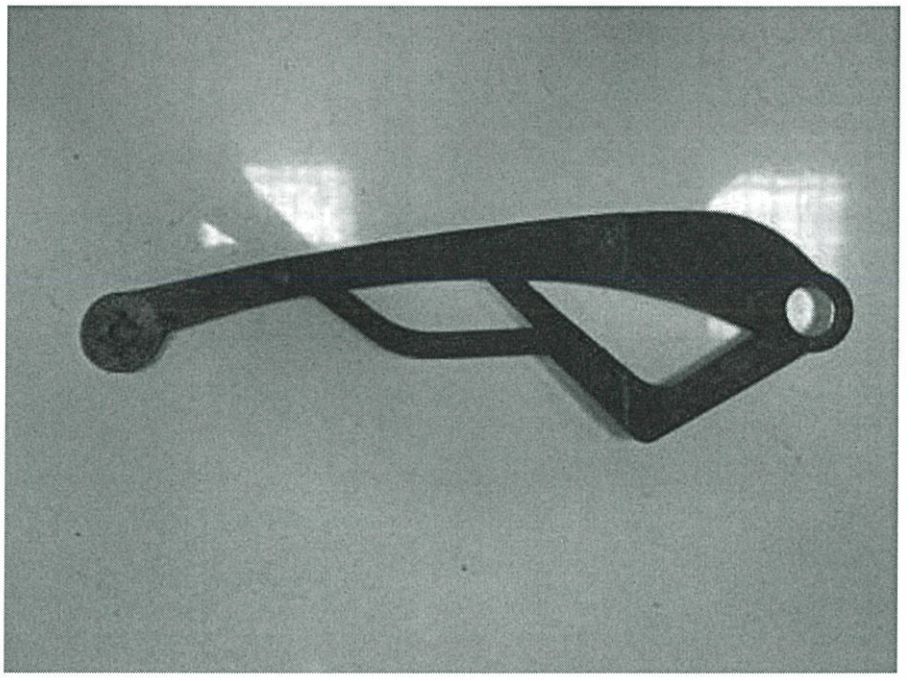
1 ชิ้นงานที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ



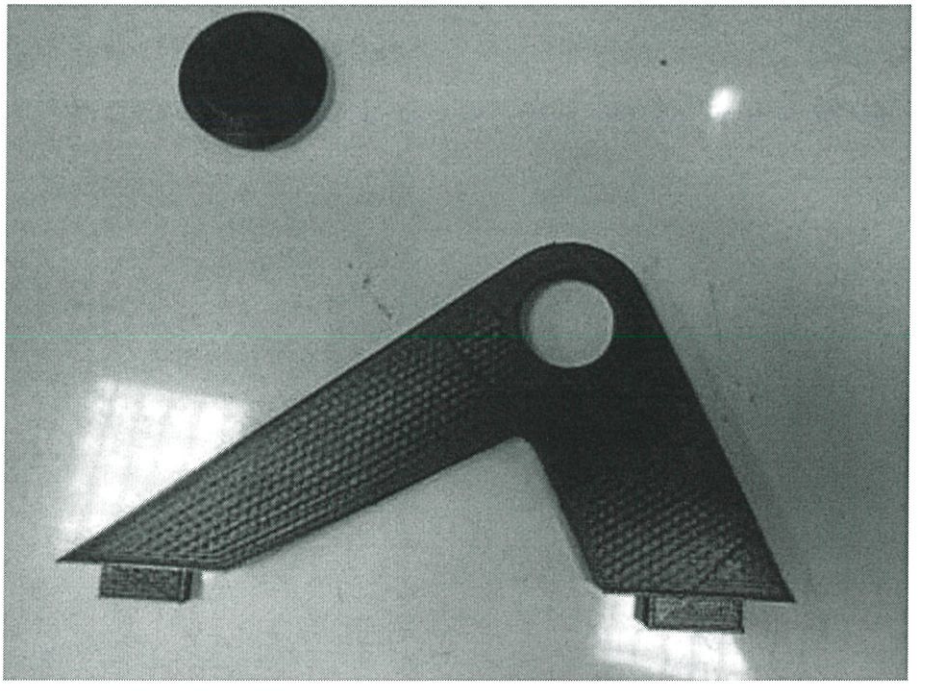
รูปที่ 3.13 ชิ้นส่วนหน้าแข้งทำจากพลาสติก PLA



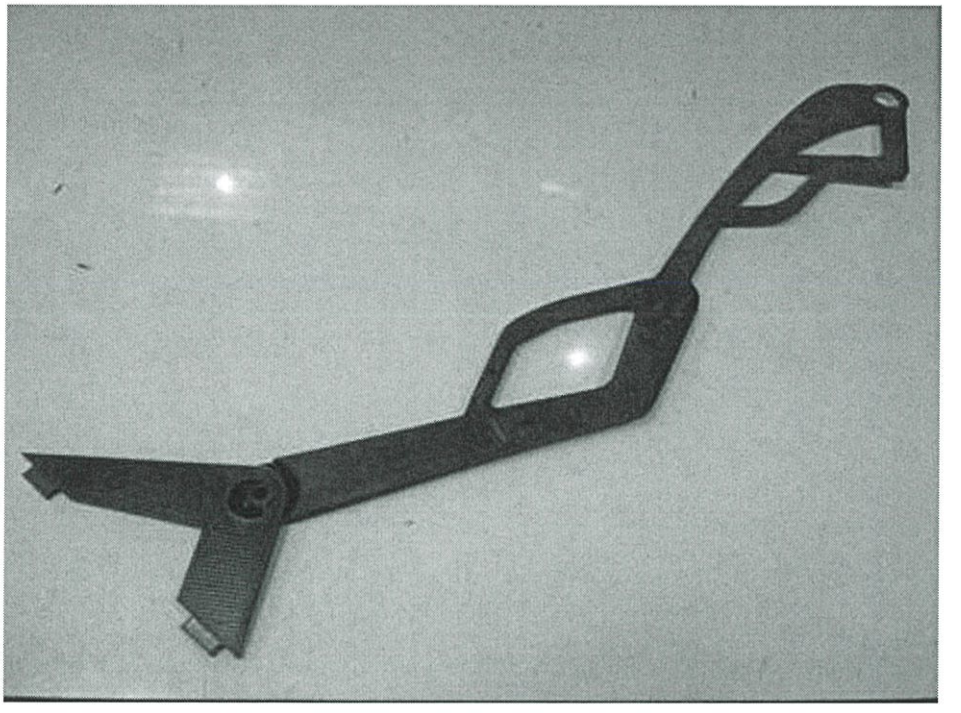
รูปที่ 3.14 ชิ้นส่วนหน้าแข้ง (อีกมุม) ทำจากพลาสติก PLA



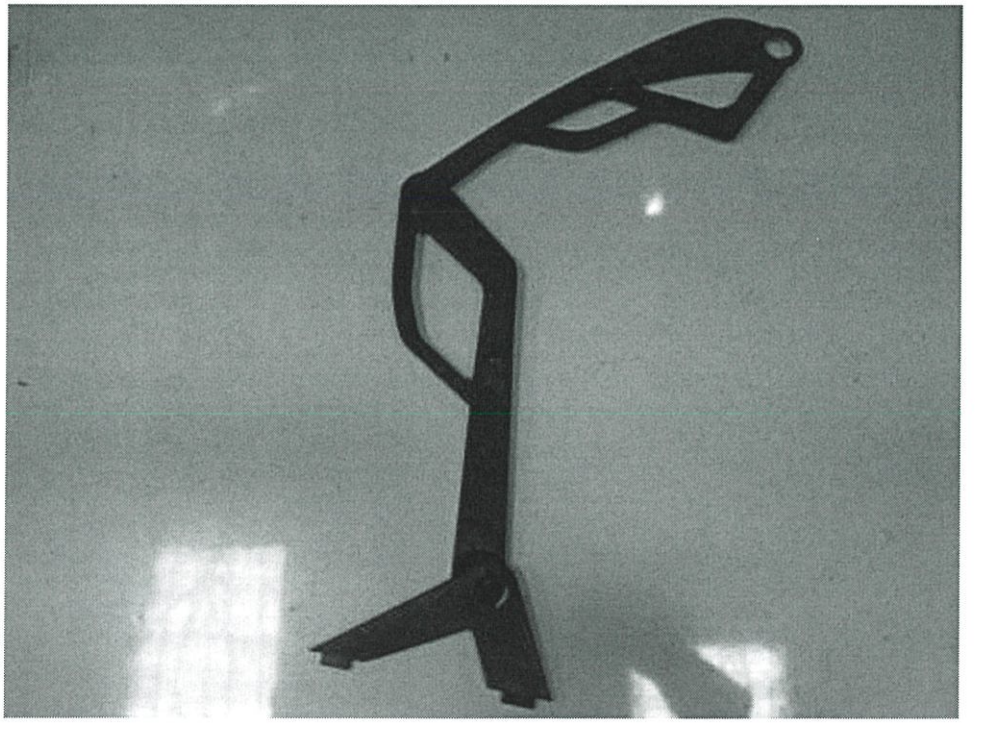
รูปที่ 3.15 ชิ้นส่วนหน้าแข้งทำจากพลาสติก PLA



รูปที่ 3.16 ชิ้นส่วนข้อเท้าทำจากพลาสติก PLA

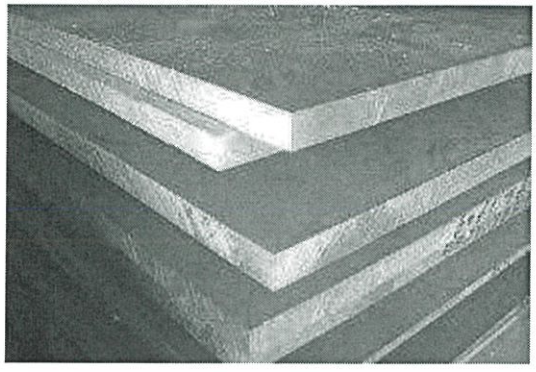


รูปที่ 3.17 ชิ้นงานข้างซ้ายทำจากพลาสติก PLA



รูปที่ 3.18 ชิ้นส่วนชิ้นงานข้างซ้าย(อีกมุม)ทำจากพลาสติก PLA

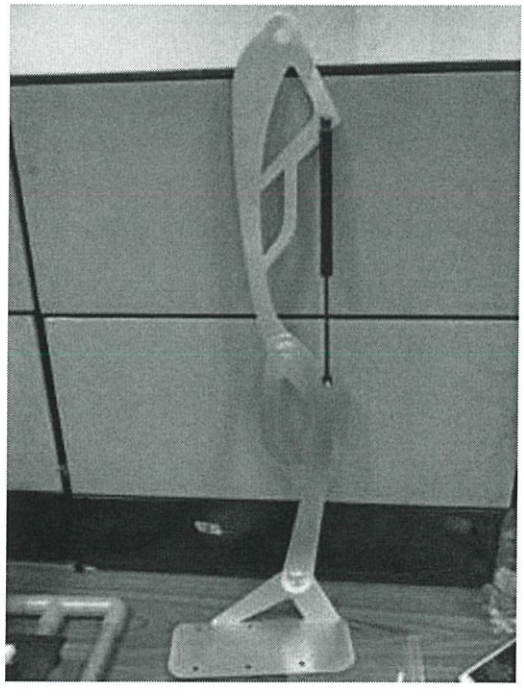
3.4.2 อลูมิเนียม เกรด6



รูปที่ 3.19 เกรดอลูมิเนียม ประเภท 6xxx

อลูมิเนียมอัลลอยด์ในประเภท 6xxx คือ (6061, 6063) ประกอบไปด้วยซิลิคอน และแม็กนีเซียม ในปริมาณที่มากพอในการขึ้นรูป magnesium silicide (Mg2Si) ซึ่งทำให้สามารถทำกระบวนการอบร้อนได้ โดยประเภท 6xxx นี้จะสามารถทำการขึ้นรูปได้ดี, เชื่อมง่าย, แปรรูปง่าย และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ด้วยความแข็งแกร่งปานกลาง

1 ชิ้นงานจริงที่ทำจากอลูมิเนียม



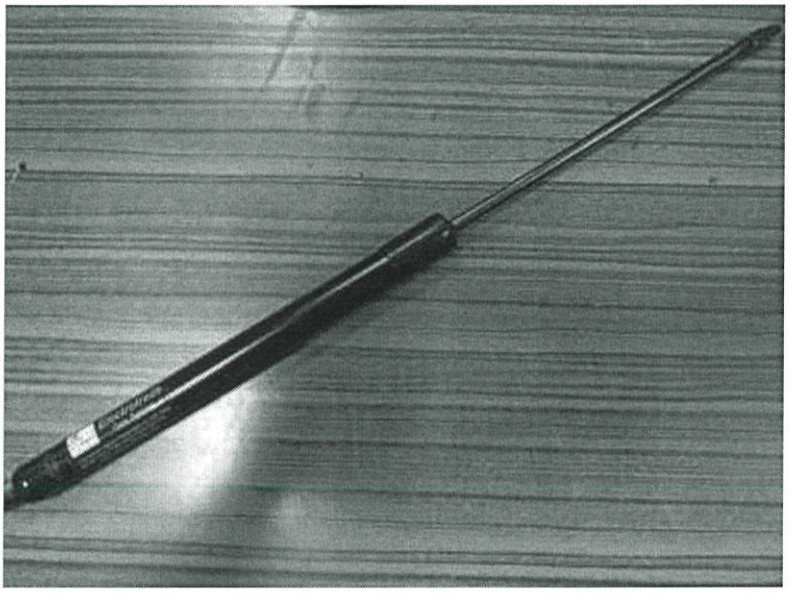
รูปที่ 3.20 ชิ้นงานข้างขวาทำจากอลูมิเนียม

3.4.3 มอเตอร์ zytd 555

รูปที่ 3.21 มอเตอร์ zytd 555

มอเตอร์รหัส zytd 555 เป็นมอเตอร์ DC ขนาด 12V มีจำนวนรอบอยู่ที่ 10 รอบต่อวินาที สามารถรับแรงบิดได้ 15 Kg.Cm

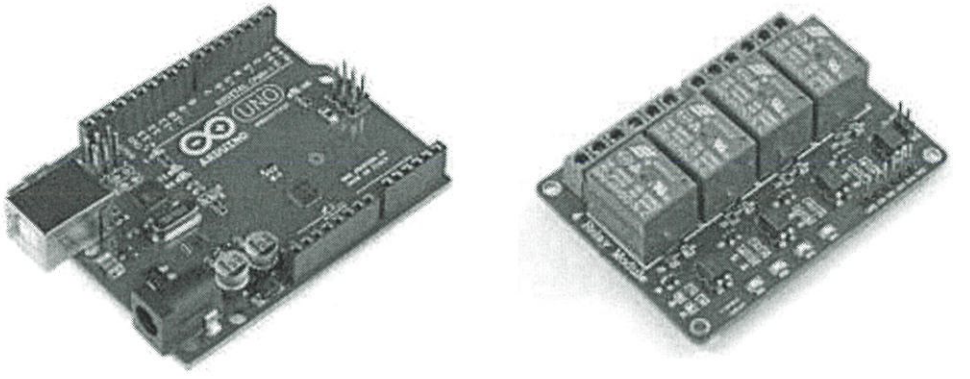
3.4.4 อุปกรณ์รับแรงกระแทก



รูปที่ 3.22 อุปกรณ์รับแรงกระแทก

ในส่วนนี้ได้ใช้โช๊คอัพแบบแก๊ส เพื่อนำมาช่วยรับแรงจากน้ำหนักตัวขณะนั่งหรือยืน โช๊คอัพแบบแก๊สมีข้อดีคือ มีความเสถียร เมื่อใช้เป็นเวลานานประสิทธิภาพจะไม่ลดลง ซึ่งต่างจากโช๊คอัพน้ำมันที่หากใช้เป็นเวลานาน กระบอกโช๊คจะมีอุณหภูมิสูง และเกิดฟองอากาศขึ้นภายในกระบอก ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง

3.4.5 ชุดควบคุม Arduino board and Relay module

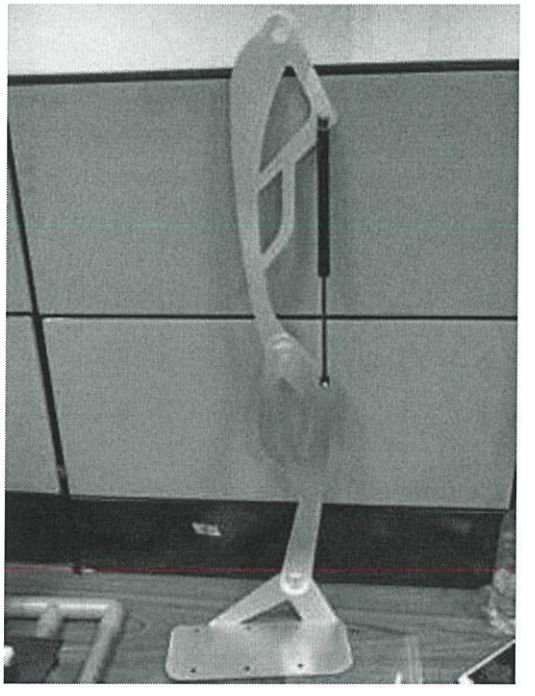


รูปที่ 3.23 ชุดควบคุมมอเตอร์

สำหรับการควบคุมมอเตอร์ทั้งสองตัวนั้น เราได้เลือกใช้ microcontroller ชื่อว่า Arduino ประกอบกับโมดูลมอเตอร์ เรียกว่า Relay Module เนื่องจากใช้งานได้ง่ายและมีความคุ้นเคยมาก่อนหน้าแล้ว

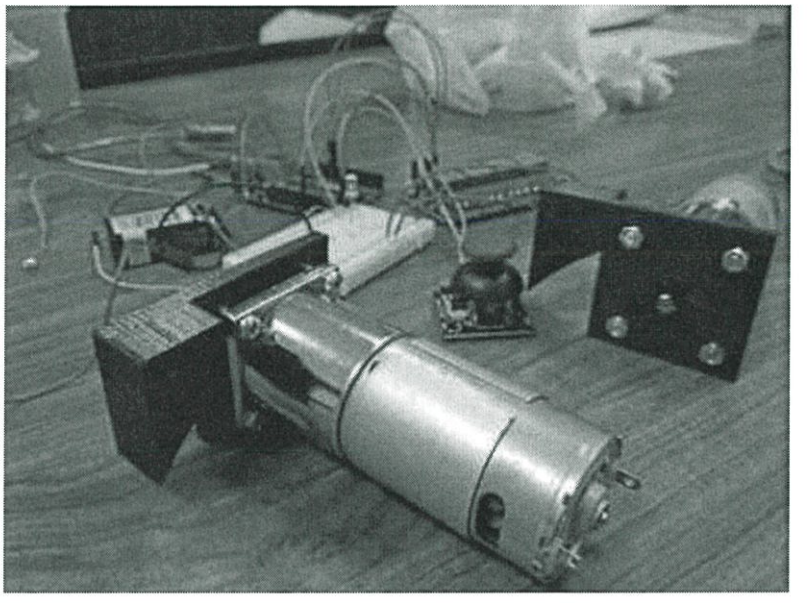
3.5 ขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน

3.5.1 ทำการสั่งตัดอลูมิเนียมด้วยเลเซอร์ จากนั้นนำมาประกอบเข้ากับ โช๊คอัพ



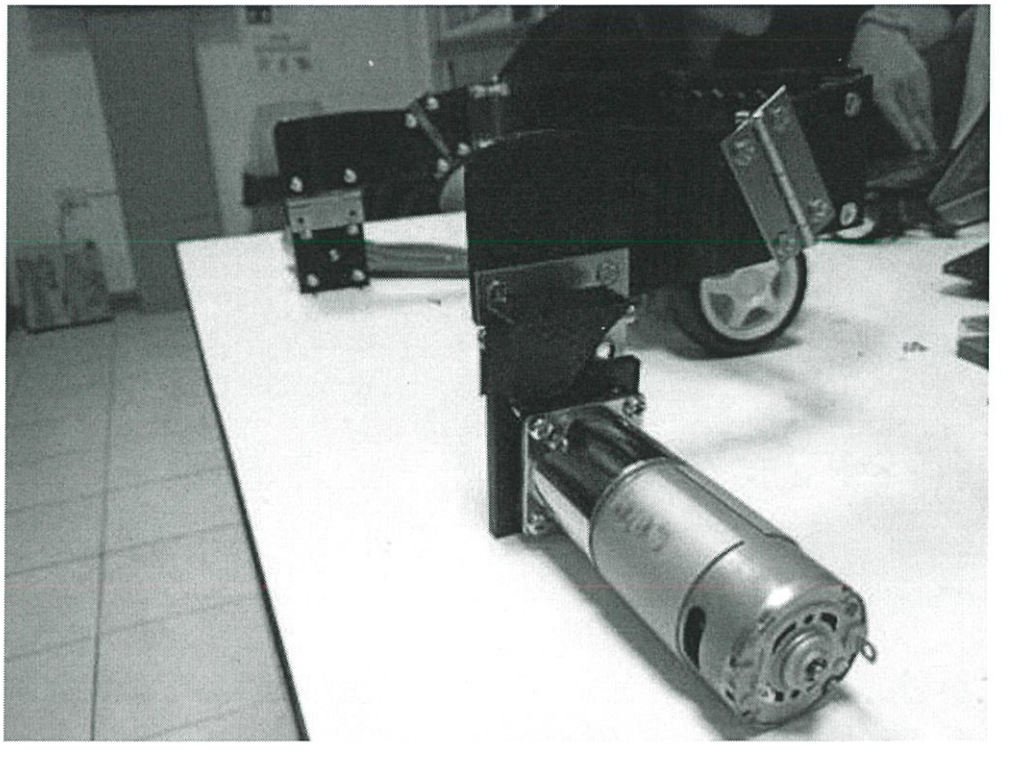
รูปที่ 3.24 ชิ้นส่วนข้างขวาทำจากอลูมิเนียม

3.5.2 นำมอเตอร์ zytd 555 มาประกอบเข้ากับพลาสติกที่ดีไซน์ไว้

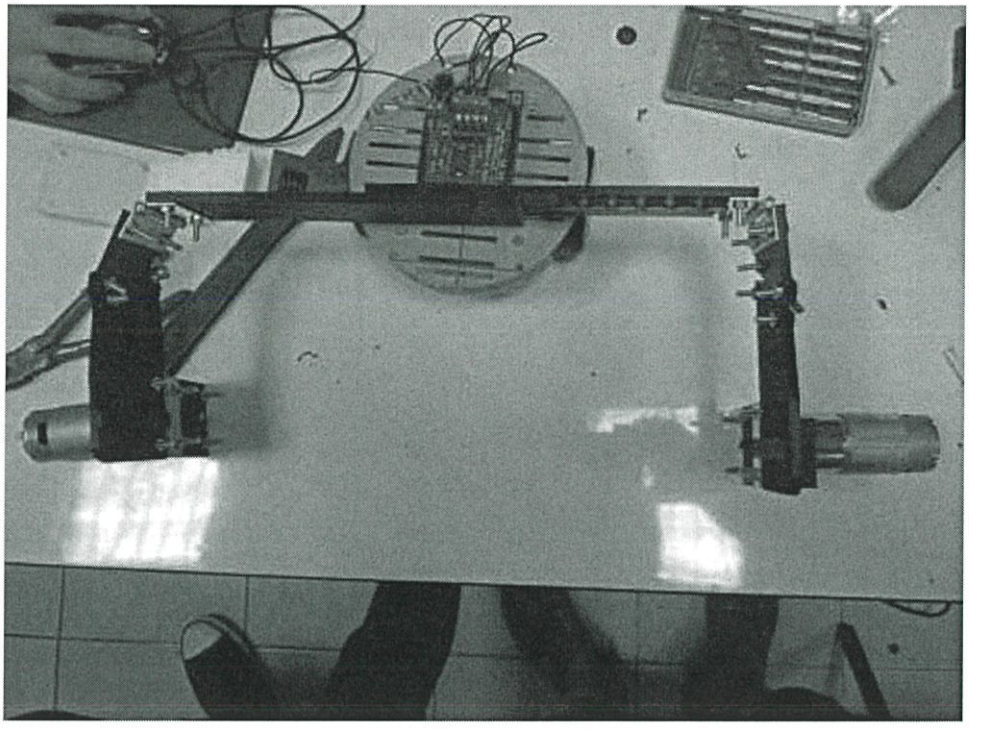


รูปที่ 3.25 มอเตอร์ zytd 555

3.5.3 เชื่อมมอเตอร์เข้ากับส่วนสะโพกที่ทำจากพลาสติก โดยมีการดีไซน์ให้มำงานร่วมกันกับบานพับ และสามารถปรับขนาดให้เข้ากับเอวได้

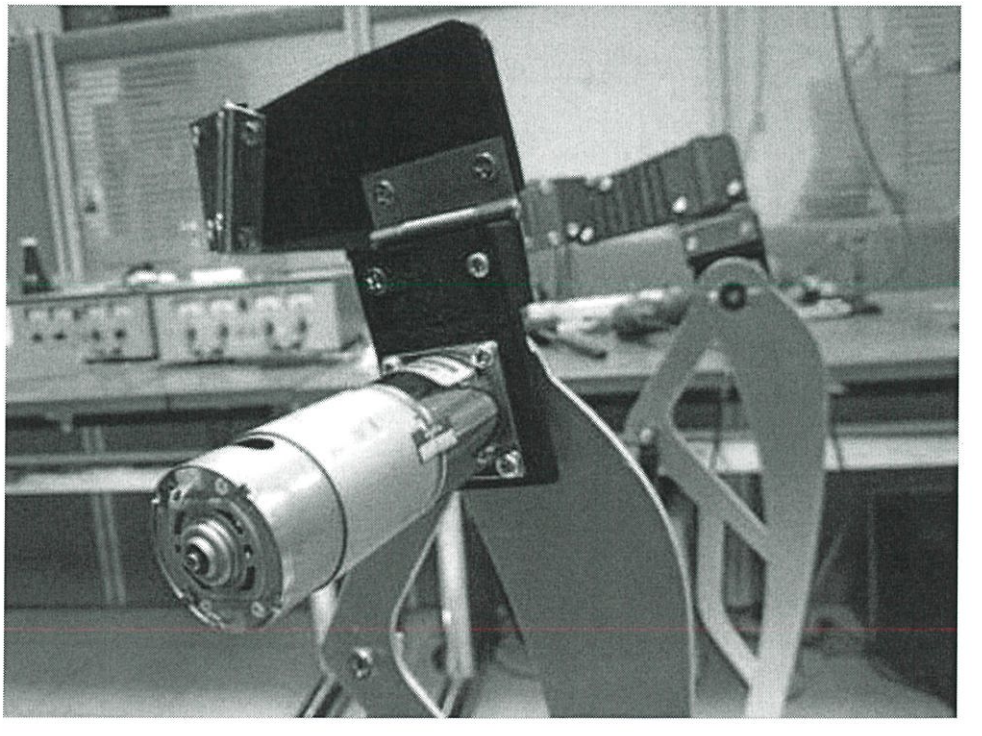


รูปที่ 3.26 มอเตอร์ และสะโพก



รูปที่ 3.27 มอเตอร์และสะโพก(อีกมุม)

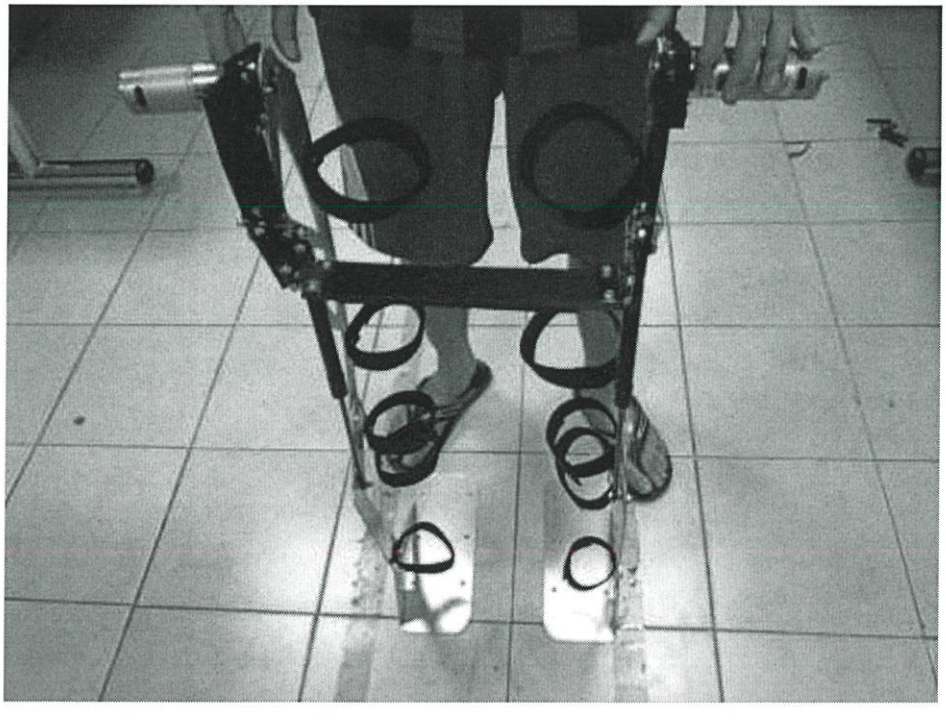
3.5.4 เชื่อมส่วนสะโพกกเข้ากับส่วนขา



รูปที่ 3.28 มอเตอร์ สะโพก บอดี้อลูมิเนียม

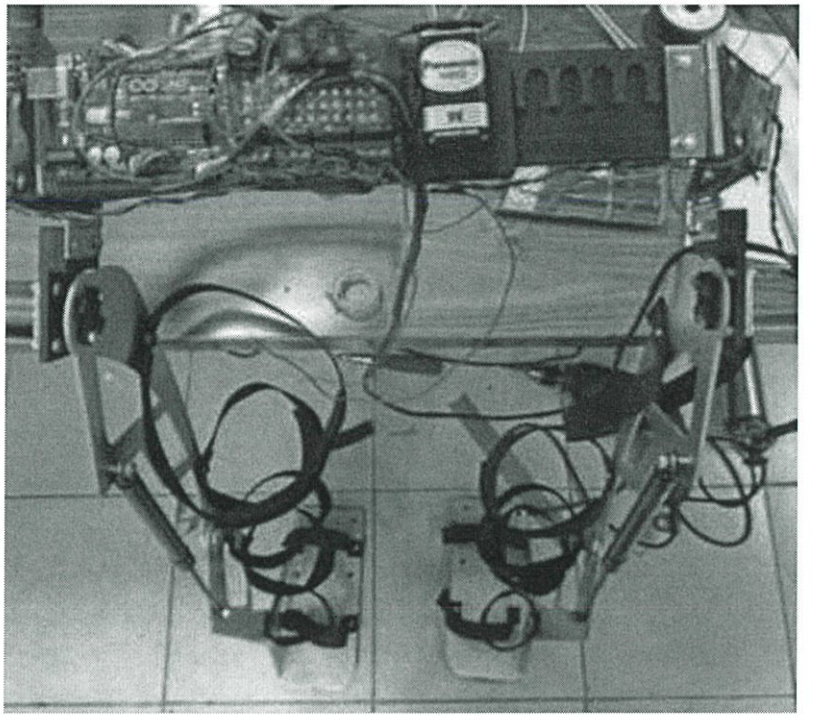
รูปที่ 3.29 ชิ้นงานเต็มตัว

3.5.5 ติด วาโก้เทปเพื่อให้สามารถยึดกับส่วนของร่างกายได้



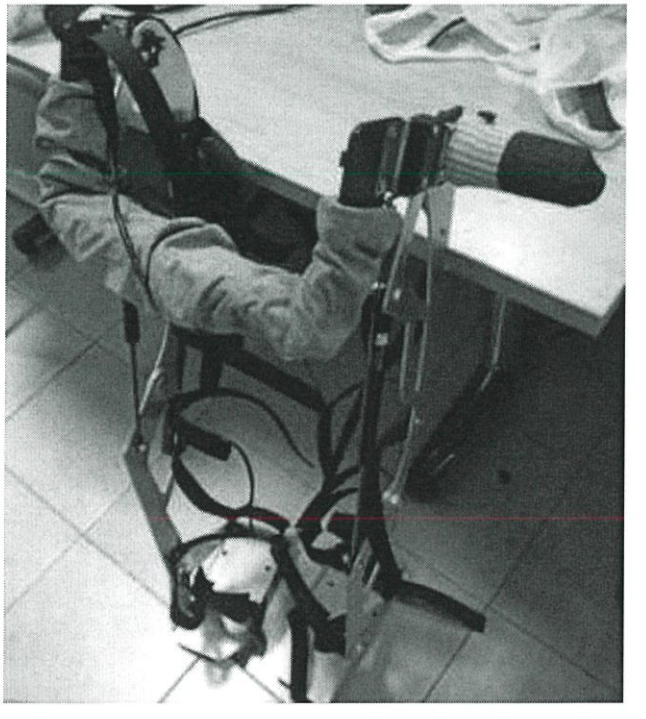
รูปที่ 3.30 ชิ้นงานและวาโก้เทป

3.5.6 ติดส่วนควบคุมเข้ากับด้านหลัง



รูปที่ 3.31 ชิ้นงานและส่วนควบคุม

3.5.7 หุ้มสายไฟด้วยผ้าเพื่อให้ดูน่าใช้มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.32 ชิ้นงานทั้งหมด

3.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนดำเนินงาน	เดือน								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษา,รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงาน	✓								
ฝึกใช้ซอฟแวร์สำหรับการออกแบบ	✓								
ออกแบบชิ้นงาน		✓	✓						
สร้างโมเดลชิ้นงานด้วยเครื่องพิม3มิติ			✓	✓					
ศึกษาเพิ่มเติม เกี่ยวกับ มอเตอร์, สายพาน, วัสดุอลูมิเนียมและการขึ้นรูป				✓	✓				
ขึ้นรูปชิ้นงานจริงด้วยวัสดุอลูมิเนียม						✓	✓	✓	
ติดตั้งมอเตอร์,อุบกรณ์รับแรงกระแทก และ ส่วนควบคุมต่างๆ						✓	✓	✓	
เขียนโค๊ดควบคุมการเคลื่อนไหวด้วย microcontroller							✓	✓	✓
ทดลองใช้และปรับปรุงชิ้นงาน							✓	✓	✓
เขียนรูปเล่มงานวิจัย								✓	✓

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

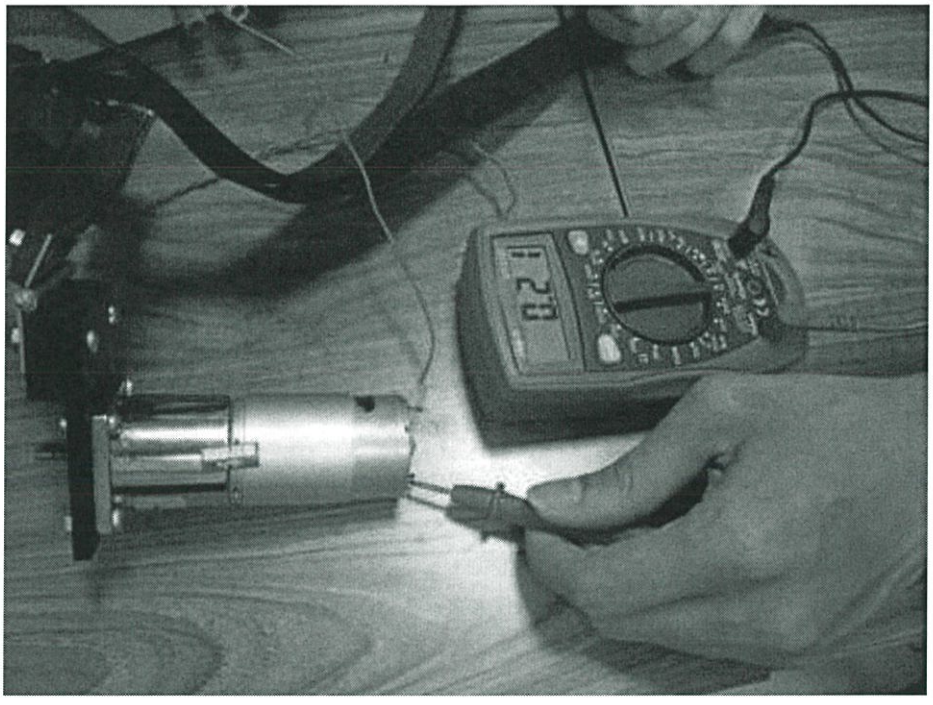
4.1 ผลการทดลอง

แบ่งออกเป็นสองตอนดังนี้

1. การวัดความสามารถในการกินกระแสของมอเตอร์
2. แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

4.1.1 วัดการกินกระแสของมอเตอร์ขณะที่ไม่มีโหลด

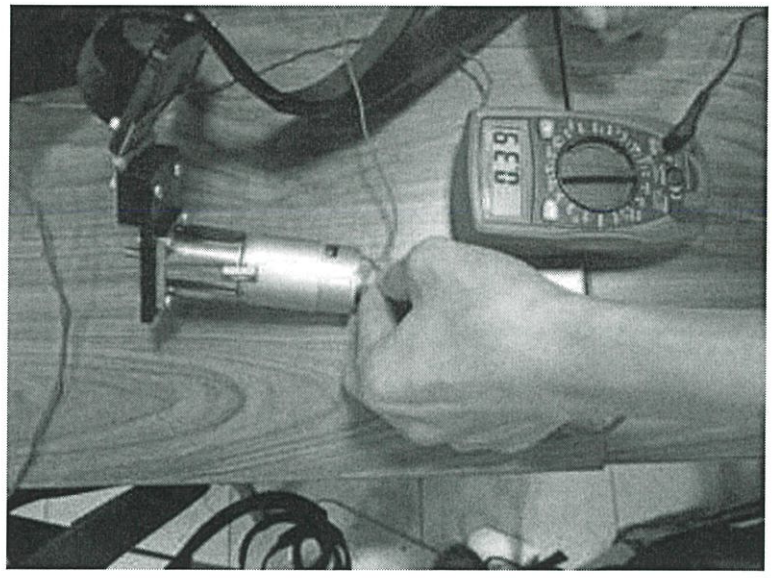
4.1.1.1 ค่าการกินกระแสต่ำสุด (Minimum Current)



รูปที่ 4.1 วัดการกินกระแสต่ำสุดเมื่อไม่มีโหลด

ทำการป้อนกระแสเข้าไป 0.5 แอมแปร์ เมื่อไม่ใส่โหลดโดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่า ค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ คือ 0.228 แอมแปร์

4.1.1.2 ค่าการกินกระแสสูงสุด (maximum current)

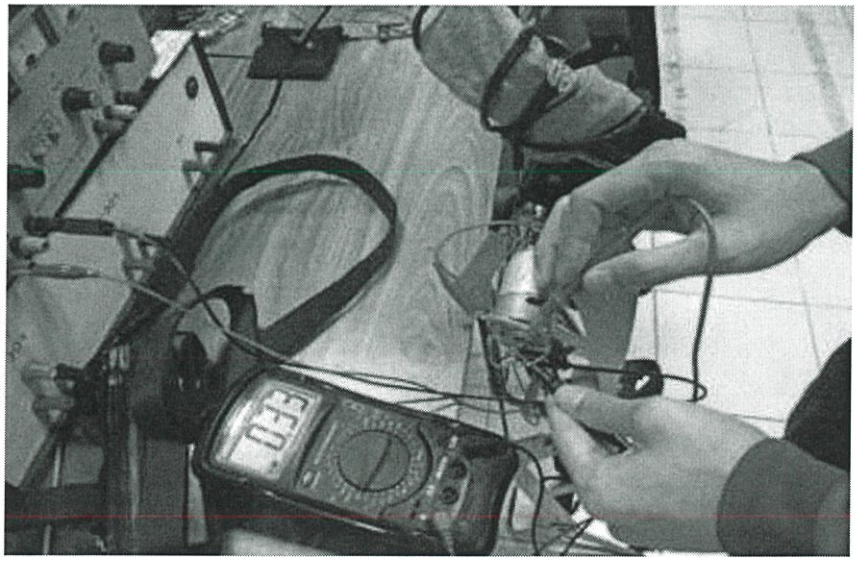


รูปที่ 4.2 วัดการกินกระแสสูงสุด ขณะไม่มีโหลด

ทำการป้อนกระแสเข้าไป 0.5 แอมแปร์ โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่าเมื่อใส่โหลดมากที่สุดที่รับได้จนมอเตอร์หมุนต่อไปไม่ได้(ประมาน 10 กิโลกรัม) ค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ คือ 0.378 แอมแปร์

4.1.2 การวัดการกินกระแสขณะที่มีโหลด

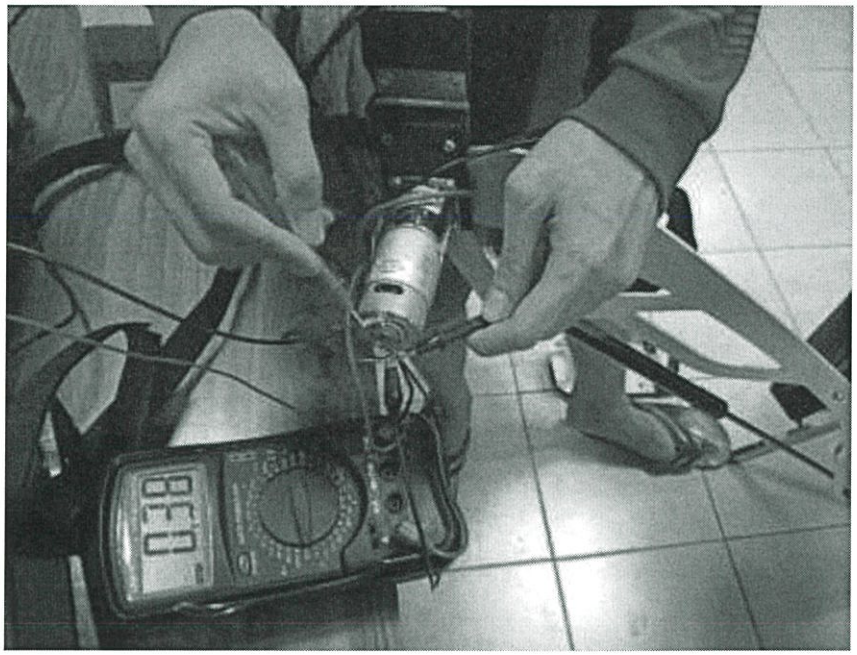
4.1.2.1 ค่าการกินกระแสต่ำสุด (minimum current)



รูปที่ 4.3 วัดค่าการกินกระแสต่ำสุด ขณะมีโหลด

ทำการป้อนกระแสเข้าไป 0.5 แอมแปร์ เมื่อใส่โหลดโดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่าค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ คือ 0.290 แอมแปร์

4.1.2.2 ค่าการกินกระแสสูงสุด (maximum current)

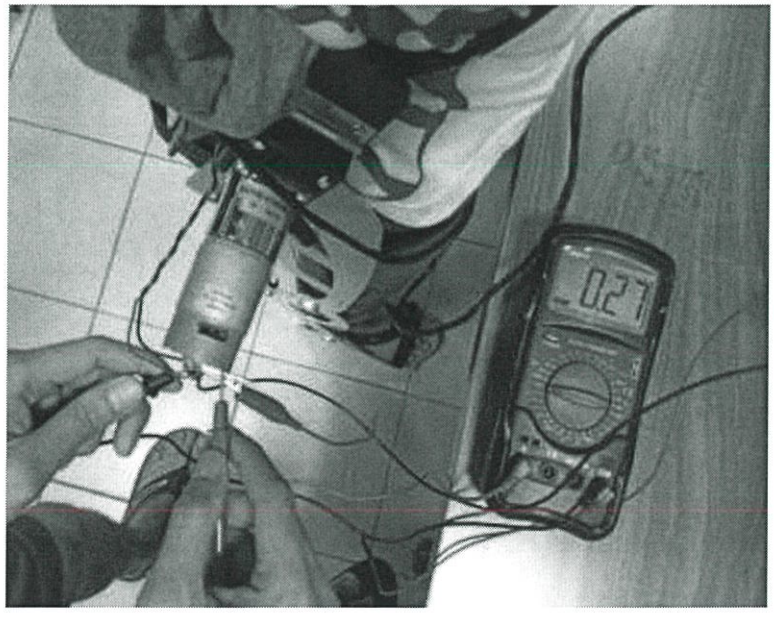


รูปที่ 4.4 วัดค่าการกินกระแสสูงสุดขณะมีโหลด

ทำการป้อนกระแสเข้าไป 0.5 แอมแปร์ โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่าเมื่อใส่โหลดมากที่สุดที่รับได้จนมอเตอร์หมุนต่อไปไม่ได้ ค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ คือ 0.374 แอมแปร์

4.1.3 การวัดการกินกระแสขณะที่สวมเครื่องช่วยพยุงส่วนล่าง

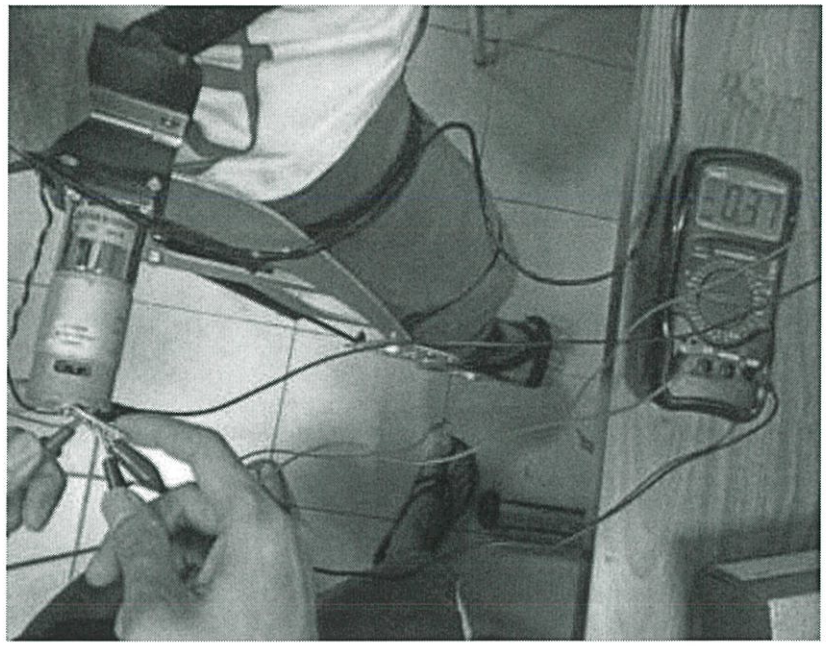
4.1.3.1 ค่าการกินกระแสต่ำสุด (minimum current)



รูปที่ 4.5 วัดค่าการกินกระแสต่ำสุด เมื่อใส่เครื่องพยุง

ทำการป้อนกระแสเข้าไป 0.5 แอมแปร์ เมื่อสวมเครื่องช่วยพยุงโดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่า ค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ คือ 0.274 แอมแปร์

4.1.3.2 ค่าการกินกระแสสูงสุด (maximum current)



รูปที่ 4.6 วัดค่าการกินกระแสสูงสุดเมื่อใส่เครื่องพยุง

ทำการป้อนกระแสเข้าไป 0.5 แอมแปร์ โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่าเมื่อใส่โหลดมากที่สุดที่รับได้จนมอเตอร์หมุนต่อไปไม่ได้ ค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ คือ 0.384 แอมแปร์

ตารางที่ 4.1 ค่าการใช้กระแสของมอเตอร์เมื่อไม่มีโหลด (กระแส 0.5 แอมป์ และแรงดัน 12 โวลต์)

Number	No Load	
	Min.current (mA)	Min.current (mA)
1	0.22	0.36
2	0.23	0.37
3	0.24	0.39
4	0.22	0.38
5	0.23	0.39
Average	0.228	0.378

ตารางที่ 4.2 ค่าการใช้กระแสของมอเตอร์เมื่อมีโหลด (กระแส 0.5 แอมป์ และแรงดัน 12 โวลต์)

Number	Load	
	Min.current (mA)	Min.current (mA)
1	0.27	0.39
2	0.25	0.37
3	0.29	0.38
4	0.27	0.37
5	0.26	0.39
Average	0.268	0.38

ตารางที่ 4.3 ค่าการใช้กระแสของมอเตอร์เมื่อมีโหลด (กระแส 0.5 แอมป์ และแรงดัน 12 โวลต์)

Number	Full Load	
	Min.current (mA)	Min.current (mA)
1	0.28	0.38
2	0.27	0.37
3	0.29	0.38
4	0.27	0.39
5	0.31	0.4
Average	0.284	0.384

4.1.4 การใช้งานแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้มีเสปค คือ 12 volt 2.3 AH / 20H ทดลองใช้งานต่อเนื่องได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 เวลานานที่สุดที่สามารถใช้ได้ (2.5 AH และ 12 H)

Number	Full Load
1	8
2	7
3	10
4	9
5	9
Average	8.6

****ผลการใช้งานได้ยาวนานเฉลี่ย 8 ชั่วโมง 36 นาที

4.1.5 แบบสอบถามความพึงพอใจ

โดยแบบสอบถามนี้จะเก็บจากกลุ่มตัวอย่างที่มีอายุ 20-30 ปีและมีส่วนสูงอยู่ในช่วง 165-175 เซนติเมตร แบ่งเป็น ชาย 5 คน หญิง 5 คน

รูปที่ 4.7 ผู้ทดลองคนที่ 1 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศชาย สูง 170 เซนติเมตร หนัก 70 กิโลกรัม ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในช่วงอวัยวะส่วนล่างได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้

แบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง (Lower Exoskeleton)

เพศ

ส่วนสูง

น้ำหนัก

ความประทับใจเมื่อแรกเห็น

การออกแบบ ความทันสมัย และนำไปใช้งาน

ความรู้สึกเมื่อสวมใส่

ความเหมาะสมกับสรีระ

ความแข็งแรงทนทาน

เมื่อใส่แล้วสามารถยืนได้นานขึ้นกว่าเดิมโดยไม่เมื่อย

ความรู้สึกผ่อนแรงเมื่อสวมใส่(ยืน)

ความสามารถในการช่วยเดิน

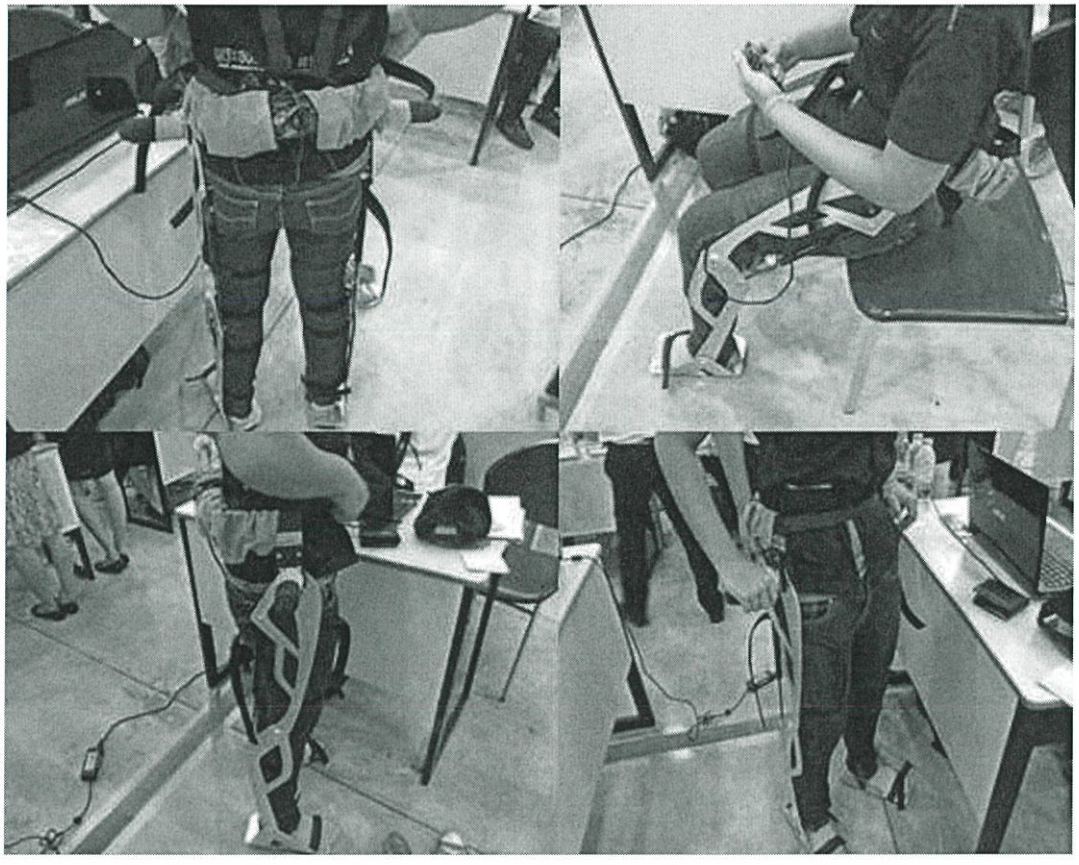
ความเหมาะสมสำหรับการทำกายภาพบำบัด

รูปที่ 4.8 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 1

รูปที่ 4.9 ผู้ทดลองคนที่ 2 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศชาย สูง 167 เซนติเมตร หนัก 63 กิโลกรัม ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในช่วงอวัยวะส่วนล่างได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้

รูปที่ 4.10 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 2



รูปที่ 4.11 ผู้ทดลองคนที่ 3 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศหญิง สูง 159 เซนติเมตร หนัก 55 กิโลกรัม ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในช่วงอวัยวะส่วนล่างได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้

แบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง (Lower Exoskeleton)

เพศ

- ชาย
- หญิง
- อื่นๆ

ส่วนสูง

น้ำหนัก

ความประทับใจเมื่อแรกเห็น

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

การออกแบบ ความทันสมัย และน่าใช้งาน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความรู้สึกเมื่อสวมใส่

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความเหมาะสมกับสรีระ

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความแข็งแรงทนทาน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

เมื่อใส่แล้วสามารถยืนได้นานขึ้นกว่าเดิมโดยไม่เมื่อย

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความรู้สึกผ่อนแรงเมื่อสวมใส่(ยืน)

	1	2	3	4	5	
น้อย						มาก

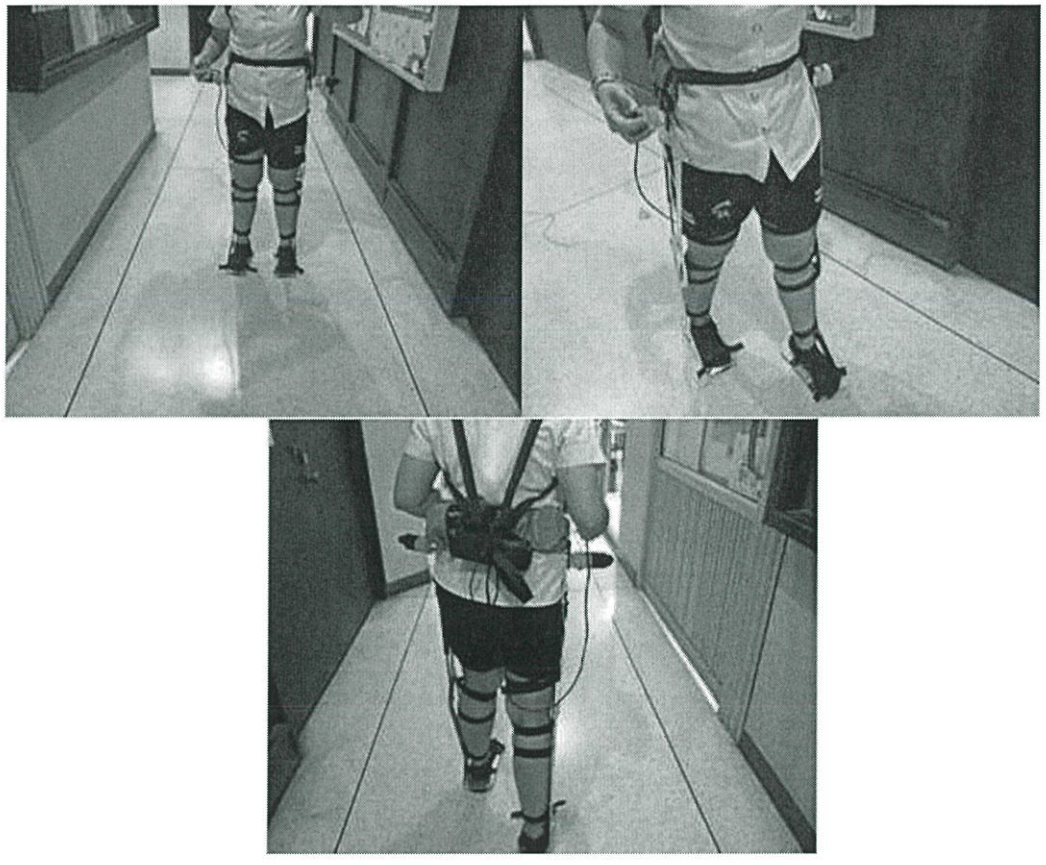
ความสามารถในการช่วยเดิน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความเหมาะสมสำหรับการทำกายภาพบำบัด

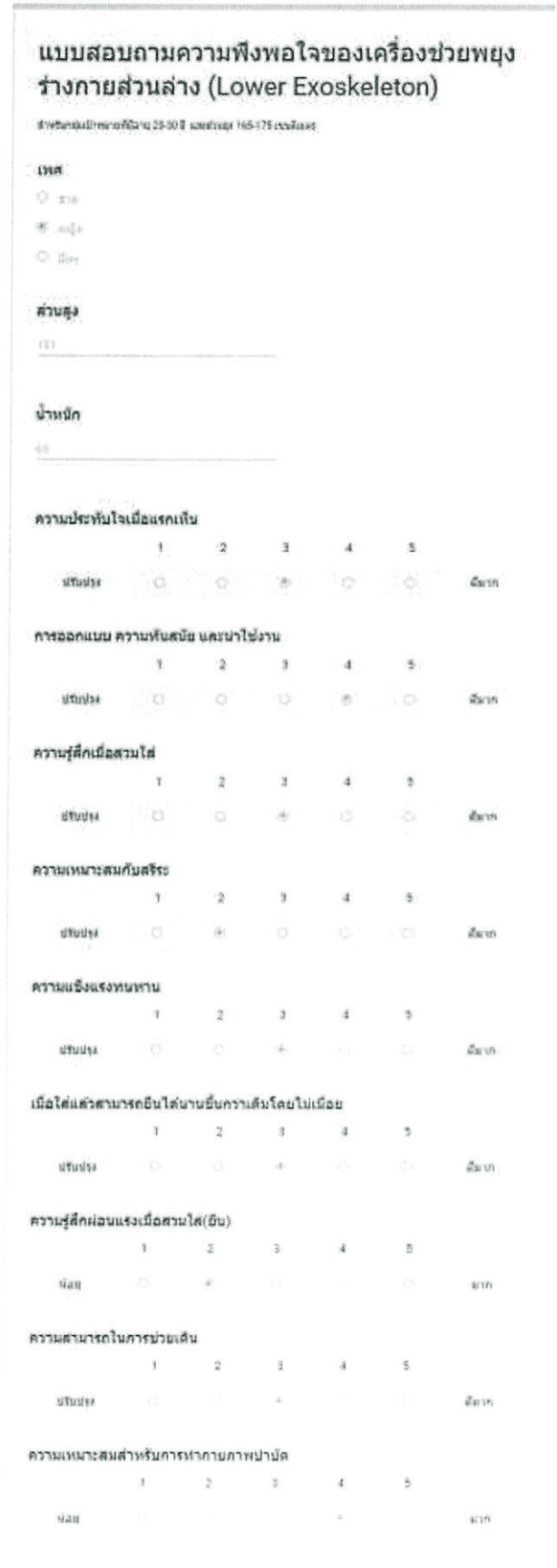
	1	2	3	4	5	
น้อย						มาก

รูปที่ 4.12 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 3



รูปที่ 4.13 ผู้ทดลองคนที่ 4 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศหญิง สูง 151 เซนติเมตร หนัก 63 กิโลกรัม ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในช่วงอวัยวะส่วนล่างได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้



แบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง (Lower Exoskeleton)

เพศ

ส่วนสูง

น้ำหนัก

ความประทับใจเมื่อแรกเห็น

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

การออกแบบ ความทันสมัย และน่าใช้งาน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	○	●	○	ดีมาก

ความรู้สึกเมื่อสวมใส่

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

ความเหมาะสมกับสรีระ

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	●	○	○	○	ดีมาก

ความแข็งแรงทนทาน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

เมื่อใส่แล้วสามารถยืนใส่นานยืนกรานเดินโดยไม่เมื่อย

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

ความรู้สึกผ่อนแรงเมื่อสวมใส่(ยืน)

	1	2	3	4	5	
น้อย	○	●	○	○	○	มาก

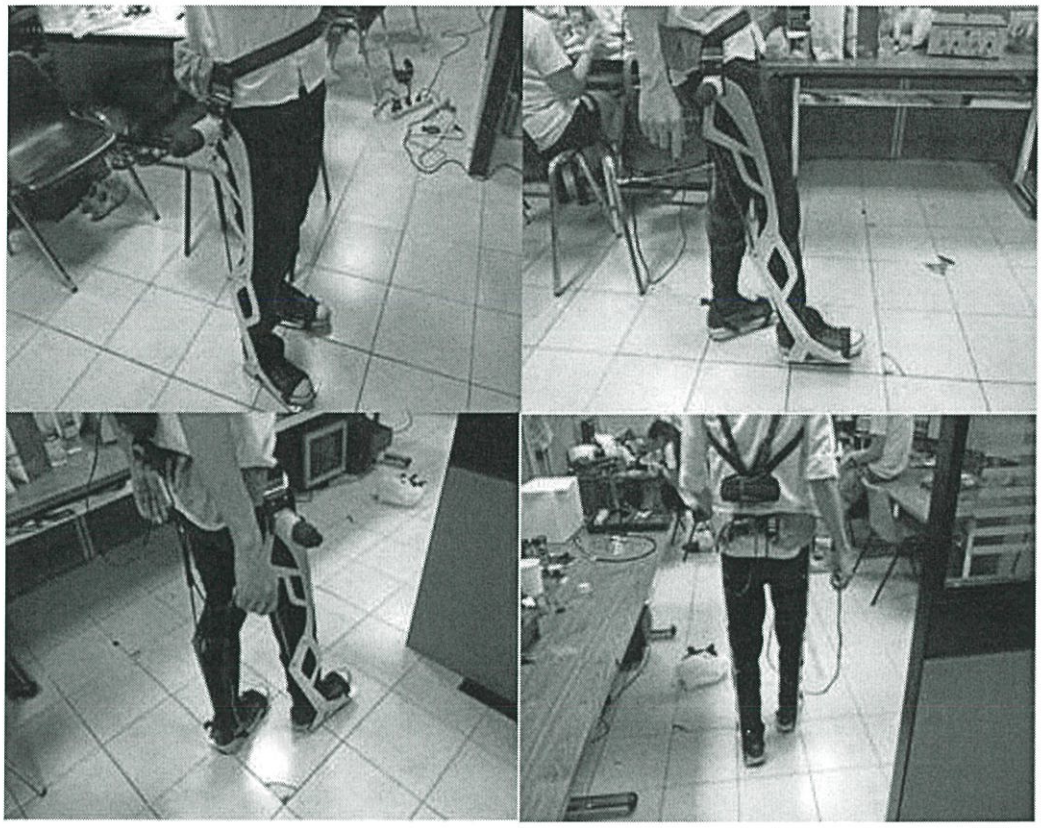
ความสามารถในการช่วยเดิน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

ความเหมาะสมสำหรับการทำกายภาพบำบัด

	1	2	3	4	5	
น้อย	○	○	○	●	○	มาก

รูปที่ 4.14 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 4



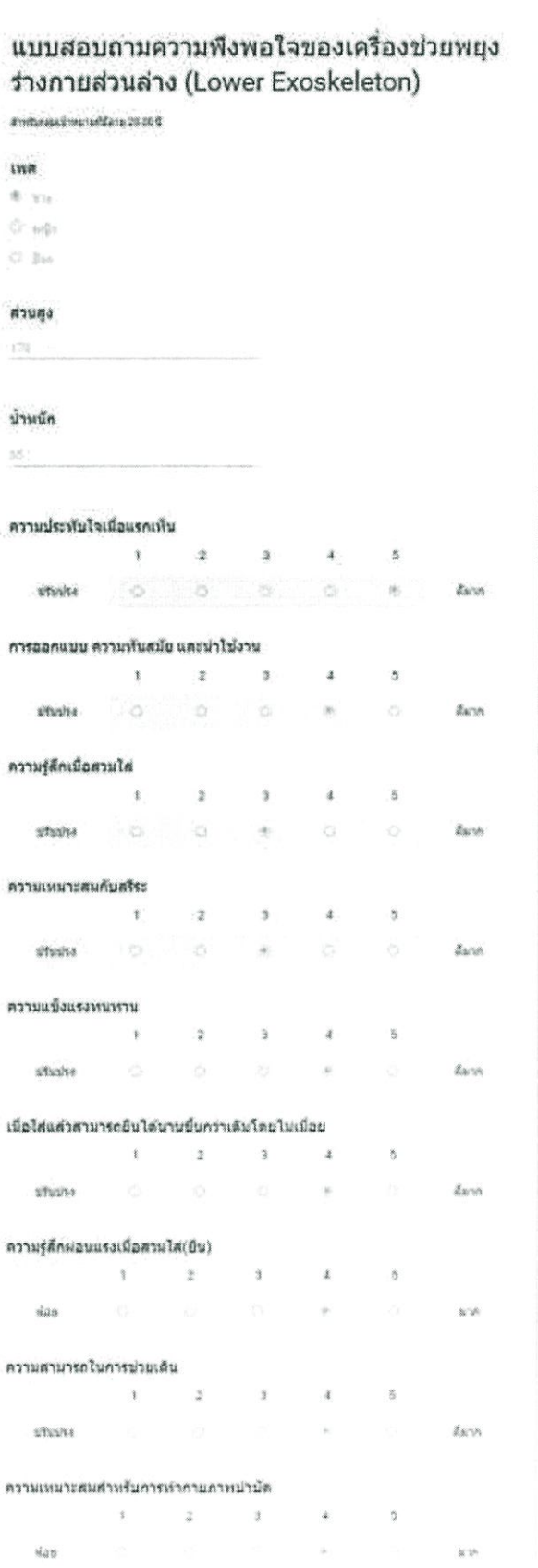
รูปที่ 4.15 ผู้ทดลองคนที่ 5 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศชาย สูง 170 เซนติเมตร หนัก 56 กิโลกรัม มีประวัติการเจ็บป่วยบริเวณเข่า ได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้

รูปที่ 4.16 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 5

รูปที่ 4.17 ผู้ทดลองคนที่ 6 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศชาย สูง 170 เซนติเมตร หนัก 65 กิโลกรัม ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในช่วงอวัยวะส่วนล่างได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้



แบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง (Lower Exoskeleton)

เพศ

ส่วนสูง

น้ำหนัก

ความประทับใจเมื่อแรกเห็น

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

การออกแบบ ความทันสมัย และน่าใช้งาน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความรู้สึกเมื่อสวมใส่

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความเหมาะสมกับสรีระ

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความแข็งแรงทนทาน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

เมื่อใส่แล้วสามารถยืนได้นานขึ้นกว่าเดิมโดยไม่เมื่อย

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความรู้สึกผ่อนแรงเมื่อสวมใส่(ยืน)

	1	2	3	4	5	
น้อย						มาก

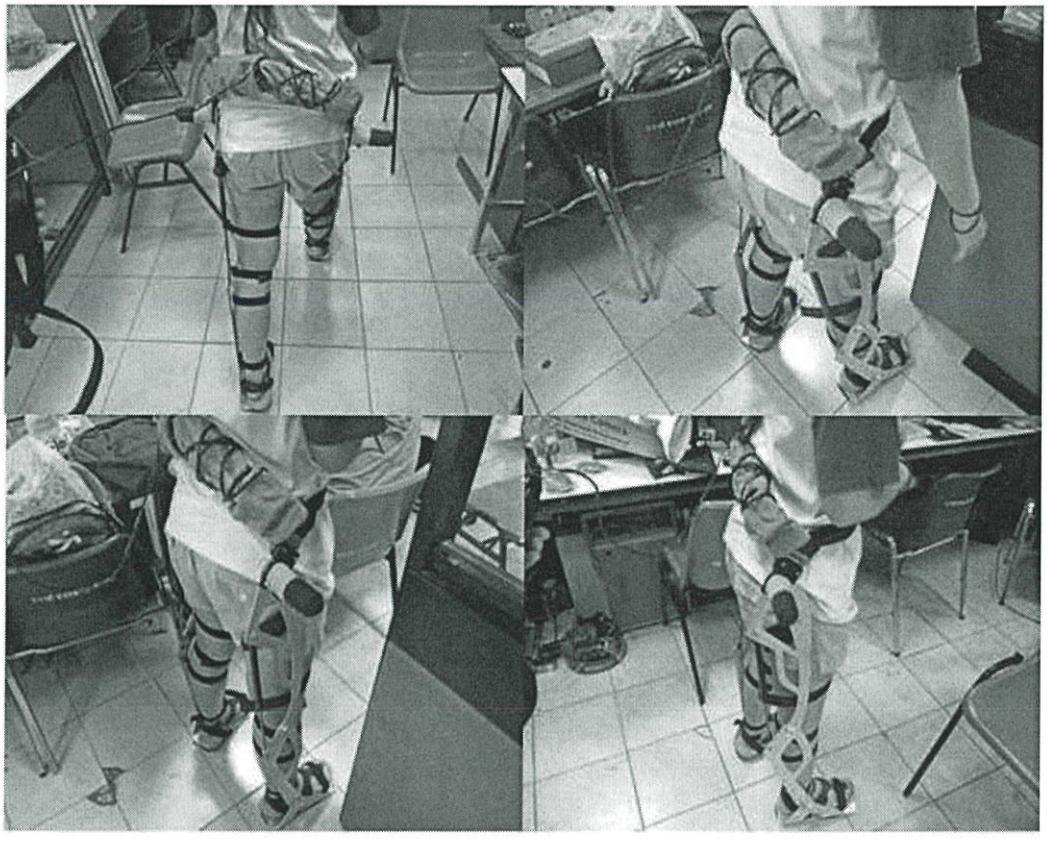
ความสามารถในการช่วยเดิน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง						ดีมาก

ความเหมาะสมสำหรับการทำกายภาพบำบัด

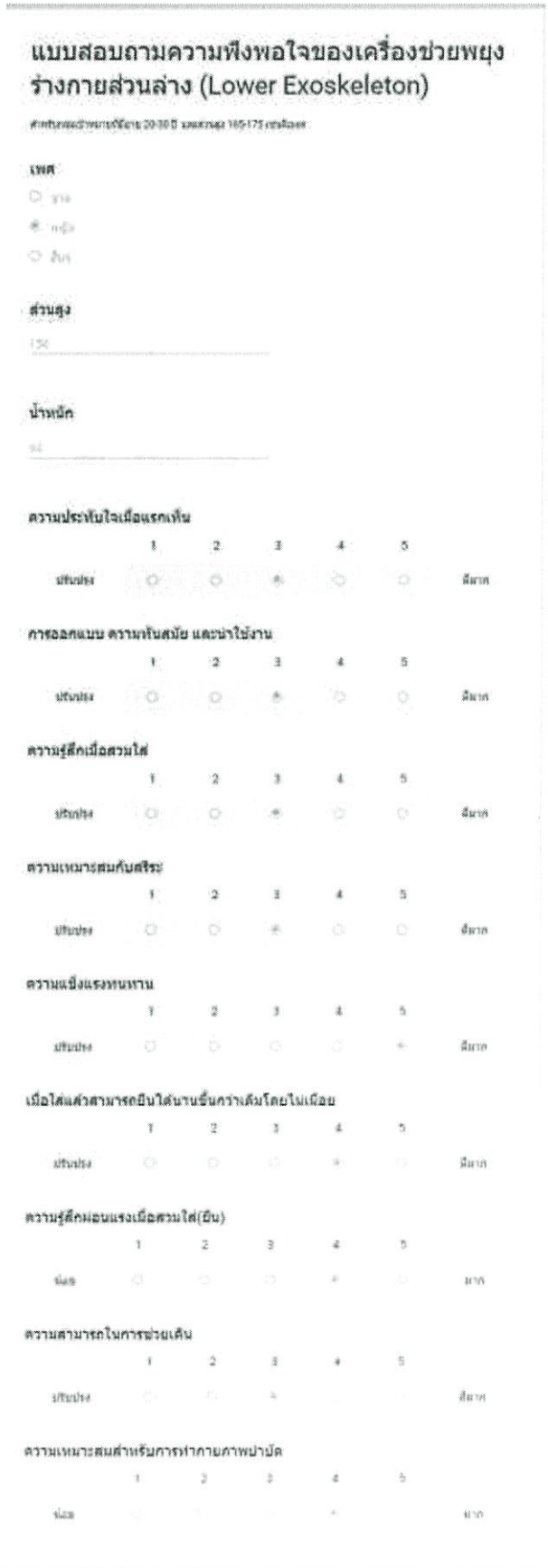
	1	2	3	4	5	
น้อย						มาก

รูปที่ 4.18 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 6



รูปที่ 4.19 ผู้ทดลองคนที่ 7 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศหญิง สูง 156 เซนติเมตร หนัก 60 กิโลกรัม ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในช่วงอวัยวะส่วนล่างได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้



แบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง (Lower Exoskeleton)

สำหรับผู้ชายอายุ 20-30 ปี ส่วนสูง 165-175 เซนติเมตร

เพศ

- ชาย
- หญิง
- อื่นๆ

ส่วนสูง

ระบุ

น้ำหนัก

ระบุ

ความประทับใจเมื่อแรกเห็น

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

การออกแบบ ความทันสมัย และน่าใช้งาน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

ความรู้สึกเมื่อสวมใส่

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

ความเหมาะสมกับสรีระ

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

ความแข็งแรงทนทาน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	○	○	●	ดีมาก

เมื่อใส่แล้วสามารถยืนได้นานขึ้นกว่าเดิมโดยไม่เมื่อย

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	○	●	○	ดีมาก

ความรู้สึกผ่อนแรงเมื่อสวมใส่(ยืน)

	1	2	3	4	5	
น้อย	○	○	○	●	○	มาก

ความสามารถในการช่วยเดิน

	1	2	3	4	5	
ปรับปรุง	○	○	●	○	○	ดีมาก

ความเหมาะสมสำหรับการทำกายภาพบำบัด

	1	2	3	4	5	
น้อย	○	○	○	●	○	มาก

รูปที่ 4.20 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 7

รูปที่ 4.21 ผู้ทดลองคนที่ 8 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศหญิง สูง 164 เซนติเมตร หนัก 53 กิโลกรัม ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในช่วงอวัยวะส่วนล่างได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้

แบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง (Lower Exoskeleton)

[illegible]

เพศ

[illegible]

ส่วนสูง

[illegible]

น้ำหนัก

[illegible]

ความประทับใจเมื่อแรกเห็น

	1	2	3	4	5	
[illegible]	○	○	◉	○	○	[illegible]

การออกแบบ ความทันสมัย และนำไปใช้งาน

	1	2	3	4	5	
[illegible]	○	○	◉	○	○	[illegible]

ความรู้สึกเมื่อสวมใส่

	1	2	3	4	5	
[illegible]	○	○	◉	○	○	[illegible]

ความเหมาะสมกับสรีระ

	1	2	3	4	5	
[illegible]	○	○	◉	○	○	[illegible]

ความแข็งแรงทนทาน

	1	2	3	4	5	
[illegible]	○	○	◉	○	○	[illegible]

เมื่อใส่แล้วสามารถยืนได้นานขึ้นกว่าเดิมโดยไม่เมื่อย

	1	2	3	4	5	
[illegible]	○	○	◉	○	○	[illegible]

ความรู้สึกผ่อนแรงเมื่อสวมใส่(ยืน)

	1	2	3	4	5	
[illegible]	○	○	◉	○	○	[illegible]

ความสามารถในการช่วยเดิน

	1	2	3	4	5	
[illegible]	○	○	○	◉	○	[illegible]

ความเหมาะสมสำหรับการทำกายภาพบำบัด

	1	2	3	4	5	
[illegible]	○	○	○	◉	○	[illegible]

รูปที่ 4.22 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 8

รูปที่ 4.23 ผู้ทดลองคนที่ 9 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศหญิง สูง 160 เซนติเมตร หนัก 54 กิโลกรัม ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในช่วงอวัยวะส่วนล่างได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้

แบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง (Lower Exoskeleton)

[illegible]

เพศ

[illegible]

ส่วนสูง

[illegible]

น้ำหนัก

[illegible]

ความประทับใจเมื่อแรกเห็น

	1	2	3	4	5	
[illegible]						[illegible]

การออกแบบ ความทันสมัย และนำไปใช้งาน

	1	2	3	4	5	
[illegible]						[illegible]

ความรู้สึกเมื่อสวมใส่

	1	2	3	4	5	
[illegible]						[illegible]

ความเหมาะสมกับสรีระ

	1	2	3	4	5	
[illegible]						[illegible]

ความแข็งแรงทนทาน

	1	2	3	4	5	
[illegible]						[illegible]

เมื่อใส่แล้วสามารถยืนใส่นานขึ้นกว่าเดิมโดยไม่เมื่อย

	1	2	3	4	5	
[illegible]						[illegible]

ความรู้สึกเอ่อแข่งเมื่อสวมใส่(ยืน)

	1	2	3	4	5	
[illegible]						[illegible]

ความสามารถในการช่วยเดิน

	1	2	3	4	5	
[illegible]						[illegible]

ความเหมาะสมสำหรับการทำกายภาพบำบัด

	1	2	3	4	5	
[illegible]						[illegible]

รูปที่ 4.24 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 9

รูปที่ 4.25 ผู้ทดลองคนที่ 10 ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง

นักศึกษาวิศวะกรรมศาสตร์ เพศชาย สูง 170 เซนติเมตร หนัก 65 กิโลกรัม ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในช่วงอวัยวะส่วนล่างได้ทำการทดสอบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างและได้ให้คะแนนไว้ดังนี้

แบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่าง (Lower Exoskeleton)

เพศ

ส่วนสูง

น้ำหนัก

ความประทับใจเมื่อแรกเห็น

การออกแบบ ความทันสมัย และน่าใช้งาน

ความรู้สึกเมื่อสวมใส่

ความเหมาะสมกับสรีระ

ความแข็งแรงทนทาน

เมื่อใส่แล้วสามารถยืนได้นานขึ้นกว่าเดิมโดยไม่เมื่อย

ความรู้สึกผ่อนแรงเมื่อสวมใส่(ยืน)

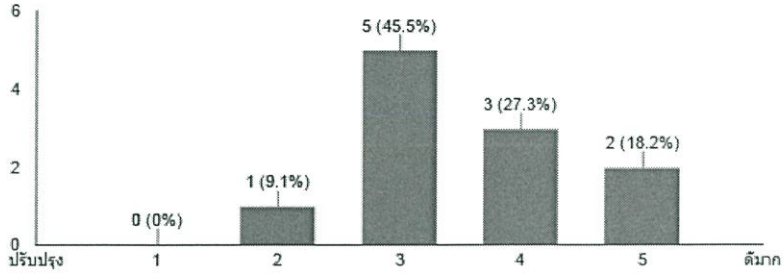
ความสามารถในการช่วยเดิน

ความเหมาะสมสำหรับการทำกายภาพบำบัด

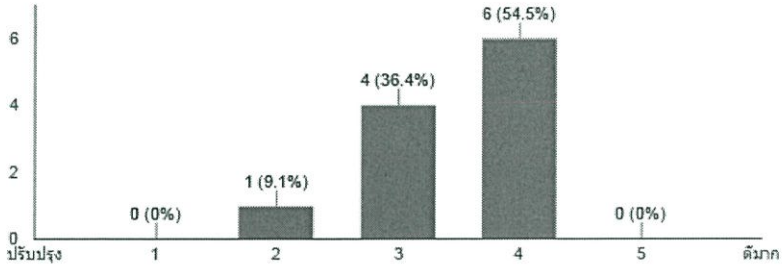
รูปที่ 4.26 ผลการประเมินของผู้ทดลองคนที่ 10

4.1.6 ผลสรุปแบบสอบถามความพึงพอใจ

ความประทับใจเมื่อแรกเห็น (11 responses)

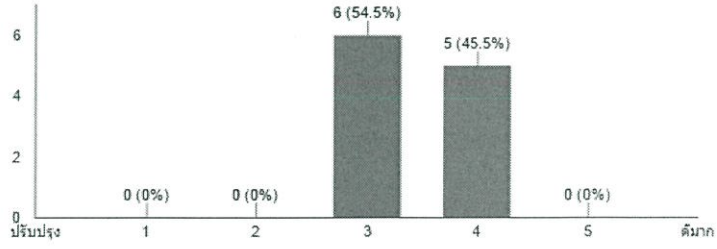


การออกแบบ ความทันสมัย และน่าใช้งาน (11 responses)

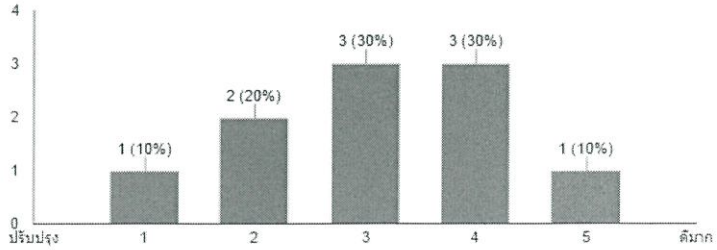


รูปที่ 4.27 ผลสรุปการประเมิน ข้อ 1,2

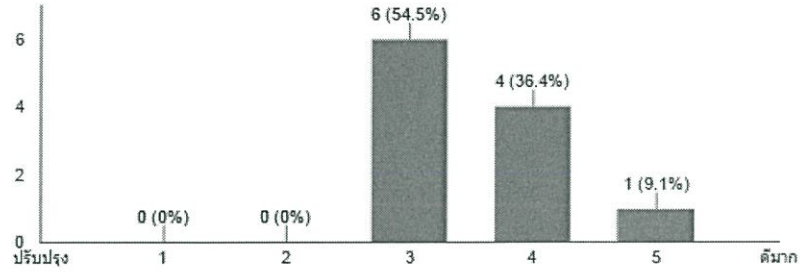
ความรู้สึกเมื่อสวมใส่ (11 responses)



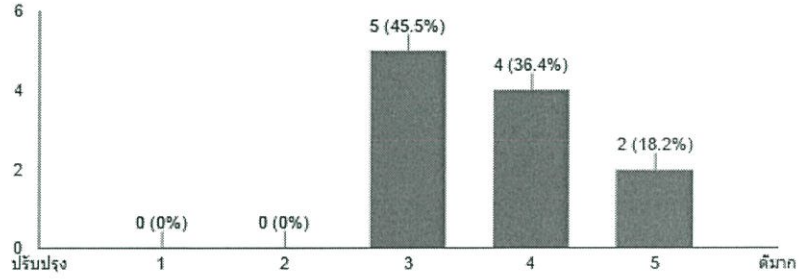
ความเหมาะสมกับสรีระ (10 responses)



ความแข็งแรงทนทาน (11 responses)

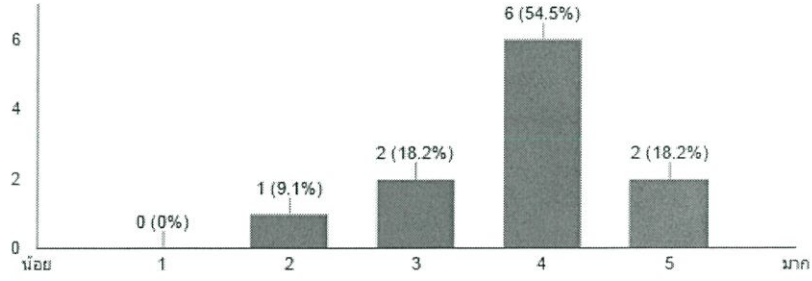


เมื่อใส่แล้วสามารถยืนได้นานขึ้นกว่าเดิมโดยไม่เมื่อย (11 responses)

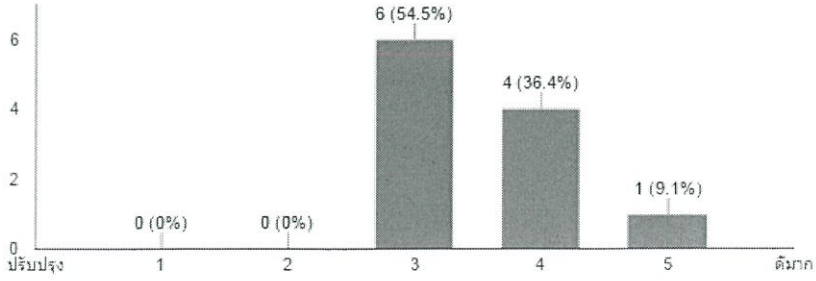


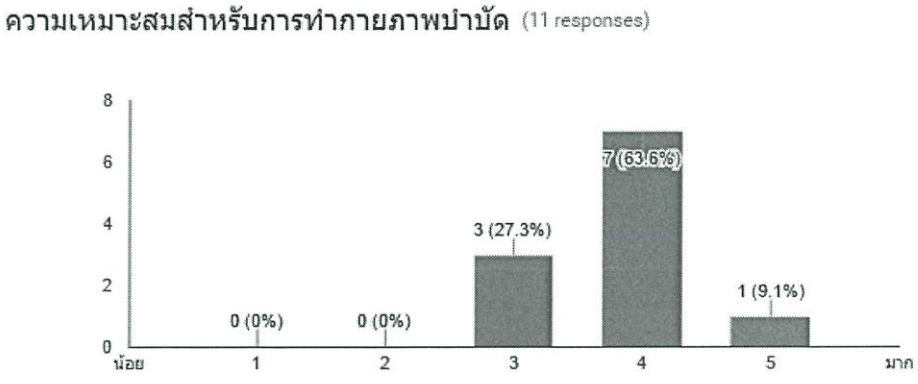
รูปที่ 4.28 ผลสรุปการประเมิน ข้อ 3,4,5,6

ความรู้สึกผ่อนแรงเมื่อสวมใส่(ยืน) (11 responses)



ความสามารถในการช่วยเดิน (11 responses)





รูปที่ 4.29 ผลสรุปการประเมิน ข้อ 7.8.9

บทที่5
การสรุปผลการทดลอง

5.1 การสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ได้ทำการออกแบบเครื่องช่วยพยุงร่างกายส่วนล่างด้วยซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ Spaceclaim โดยได้ออกแบบตั้งแต่ส่วนสะโพกลงมาจนถึงเท้า โดยมีการขับเคลื่อนด้วยระบบมอเตอร์ เมื่อออกแบบเสร็จได้ทำการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ซึ่งการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิตินี้ทำให้เพบว่าแบบแรกนั้นมีข้อบกพร่อง จึงมีการออกแบบใหม่อีกรอบ และทำการพิมพ์ขนาดเท่ากับขนาดจริง โดยโมเดลที่ได้เป็นชิ้นส่วนของข้างซ้าย จากนั้นนำมาปรับปรุงในส่วนของข้อต่อและการเคลื่อนไหวต่างๆ เมื่อได้ดีไซน์สุดท้ายแล้ว จึงทำการสั่งตัดอลูมิเนียม และนำมาประกอบเข้ากับ อุปกรณ์รับแรงกระแทก มอเตอร์ และชุดควบคุม จากนั้นทำการวัดค่าการกินกระแสมอเตอร์ ขณะไม่มีโหลด ได้ค่าการกินกระแสต่ำสุดเท่ากับ 0.228 แอมแปร์ และสูงสุดเท่ากับ 0.378 แอมแปร์ วัดค่าการกินกระแสมอเตอร์ขณะมีโหลด ได้ค่าการกินกระแสต่ำสุด เท่ากับ 0.290 แอมแปร์ และค่าการกินกระแสสูงสุดเท่ากับ 0.374 แอมแปร์ วัดค่าการกินกระแสเมื่อสวมใส่ ได้ค่าการกินกระแสต่ำสุด เท่ากับ 0.274 แอมแปร์ และค่าการกินกระแสสูงสุด เท่ากับ 0.384 แอมแปร์ จากนั้นทำแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ทดลองที่มีอายุ 20-30 ปี ได้คะแนนรวม 3.52 ผลสรุปในเกณฑ์พอใช้ถึงดี

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ปัญหาที่เกิดขึ้นและพบบ่อยมักเป็นปัญหาของเครื่องพิมพ์ที่ต้องเรียนรู้ การใช้งานมากและเสียเวลานานพอสมควร และชิ้นงานนั้นมีขนาดใหญ่เท่ากับขนาดจริงและเครื่องพิมพ์นั้นมีข้อจำกัดเรื่องขนาด จึงต้องมีการแบ่งชิ้นงานออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้สามารถพิมพ์ได้ ชิ้นงานจึงไม่มีความแข็งแรงเท่าที่ควร
2. การสั่งตัดอลูมิเนียมใช้เวลาค่อนข้างนาน มอเตอร์ที่ใช้ยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ
3. ชิ้นงานที่ทำขึ้นเป็นชิ้นงานต้นแบบที่ยังไม่สามารถนำไปใช้จริงได้ ดังนั้นการเคลื่อนไหวต่างๆและประสบการณ์การใช้งาน จึงยังไม่ดีเท่าที่ควร

เอกสารอ้างอิง

[1] Sunil K. Agrawal, Sai K. Banala, Kalyan Mankala, Vivek Sangwan, John P. Scholz, Vijaya, "**Exoskeletons for Gait Assistance and Training of the Motor-Impaired,**" Krishnamoorthy, Wei-Li Hsu

[2] Jiangcheng Chen, Xiaodong Zhang and Lei Zhu, "**Kinematics analysis and three-dimensional simulation of the rehabilitation lower extremity exoskeleton robot,**" School of Mechanical Engineering ,Xi'an Jiaotong University ,Xi'an, P.R. China

[3] Conor James Walsh, Daniel Paluska, Kenneth Pasch, William Grand, Andrew Valiente, Hugh Herr, "**Development of a lightweight, underactuated exoskeleton for load-carrying augmentation,**" Biomechatronics Group, MIT Media Lab, Massachusetts Institute of Technology Cambridge

[4] Conor James Walsh, "**Biomimetic Design of an Under-Actuated Leg Exoskeleton For Load-Carrying Augmentation,**" B.A.I, B.A. Mechanical and Manufacturing Engineering, Trinity College Dublin

[5] DAVID A. WINTER, "**Biomechanics and Motor Control of Human Movement,**" University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, vol. 4

[6] Blltz's blog, "**ตะลุยโลกเครื่องพิมพ์สามมิติ,**" https://www.blognone.com/node/55911, 2 May 2014

[7] myarduino, "**บทความ Arduino คืออะไร?,**" http://www.myarduino.net/article, 20 May 2015

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมของเครื่องช่วยพยุง

```
#define R 13
#define L 12
#define R2 11
#define L2 10
int JoyStick_X = 0;
int JoyStick_Y = 1;
//char test ;
void setup()
{

Serial.begin(9600);
pinMode(JoyStick_X, INPUT);
pinMode(JoyStick_Y, INPUT);
pinMode(R, OUTPUT);
pinMode(L, OUTPUT);
pinMode(R2, OUTPUT);
pinMode(L2, OUTPUT);
}
void loop()
{
  int x,y;
  x=analogRead(JoyStick_X);
  y=analogRead(JoyStick_Y);
  x=map(x, 0, 1023, -255, 255);
  y=map(y, 0, 1023, -255, 255);
if (y>100)
{
digitalWrite(R, HIGH),digitalWrite(R2, LOW);
digitalWrite(L, LOW),digitalWrite(L2, HIGH);
delay(500);
digitalWrite(R2, HIGH),digitalWrite(R, LOW);
digitalWrite(L2, LOW),digitalWrite(L, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(R, HIGH),digitalWrite(R2, LOW);
digitalWrite(L, LOW),digitalWrite(L2, HIGH);
delay(500);
digitalWrite(R, LOW),digitalWrite(R2, LOW);
digitalWrite(L, LOW),digitalWrite(L2, LOW);
```

```
}

 if(y<-100)
 {
  digitalWrite(R, HIGH),digitalWrite(R2, HIGH);
  digitalWrite(L, LOW),digitalWrite(L2, LOW);
  delay(600);
  digitalWrite(R, LOW),digitalWrite(R2, LOW);
  digitalWrite(L, LOW),digitalWrite(L2, LOW);
  delay(500);
  }
  if(x<-100)
 {
  digitalWrite(R, LOW),digitalWrite(R2, LOW);
  digitalWrite(L, HIGH),digitalWrite(L2, HIGH);
  delay(600);
  digitalWrite(R, LOW),digitalWrite(R2, LOW);
  digitalWrite(L, LOW),digitalWrite(L2, LOW);
  delay(500);
  }

}
-------------------------------------------------------------

#define R 13
#define L 12
#define R2 11
#define L2 10
int JoyStick_X = 0;
int JoyStick_Y = 1;
int i=0;

void setup()
{
Serial.begin(9600);
pinMode(JoyStick_X, INPUT);
pinMode(JoyStick_Y, INPUT);
pinMode(R, OUTPUT);
```

```
 pinMode(L, OUTPUT);
 pinMode(R2, OUTPUT);
 pinMode(L2, OUTPUT);
 }
 void loop()
 {
   int x,y;
   x=analogRead(JoyStick_X);
   y=analogRead(JoyStick_Y);
   x=map(x, 0, 1023, -255, 255);
   y=map(y, 0, 1023, -255, 255);
 if (x>100)
 {
 digitalWrite(R, HIGH);
 digitalWrite(L, LOW);
  delay(100);
 digitalWrite(R, HIGH);
 digitalWrite(L, HIGH);
 }
 if(x<-100)
 {
   digitalWrite(R, LOW);
   digitalWrite(L, HIGH);
   delay(100);
   digitalWrite(R, HIGH);
   digitalWrite(L, HIGH);
 }
 if (x>100)
 {
 digitalWrite(R, HIGH);
 digitalWrite(L, LOW);
  delay(100);
 digitalWrite(R, HIGH);
 digitalWrite(L, HIGH);
 }
 if(x<-100)
 {
   digitalWrite(R, LOW);
```

```
  digitalWrite(L, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(R, HIGH);
  digitalWrite(L, HIGH);
}
if (x>100)
{
digitalWrite(R, HIGH);
digitalWrite(L, LOW);
 delay(100);
digitalWrite(R, HIGH);
digitalWrite(L, HIGH);
}
if(x<-100)
{
  digitalWrite(R, LOW);
  digitalWrite(L, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(R, HIGH);
  digitalWrite(L, HIGH);
}
if (y>100)
{
digitalWrite(R2, HIGH);
digitalWrite(L2, LOW);
 delay(100);
digitalWrite(R2, HIGH);
digitalWrite(L2, HIGH);
}
if(y<-100)
{
  digitalWrite(R2, LOW);
  digitalWrite(L2, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(R2, HIGH);
  digitalWrite(L2, HIGH);
}
}
```