สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องบริหารข้อเท้า

Continues Passive Motion (CPM)

T119183

กนกสุดา	เกรียงนรงค์เดช
ณัฐศักดิ์	หาญวนิชกุล
ธีระพงษ์	มุลศรีสุข
นคร	เจริญวสุรัตน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119183
วัน,เดือน,ปี - 6 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continues Passive Motion for Ankle (CPM)

KANOKSUDA KRIENGNARONGDACH

NUTTASAK HARNVANICHKUL

TEERAPONG MUNSRISUK

NAKORN CHAROENWASUIAT

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONIC ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องบริหารข้อเท้า

CONTINUES PASSIVE MOTION

ผู้จัดทำ	นางสาว กนกสุดา	เกรียงนรงค์เดช	50010009
	นาย ณัฐศักดิ์	หาญวนิชกุล	50010517
	นาย ธีระพงษ์	มุลศรีสุข	50010718
	นาย นคร	เจริญวสุรัตน์	50010724

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. สุมิตร พนาอุดมทรัพย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบริหารข้อเท้า

โดย

นางสาวกนกสุดา	เกรียงนรงค์เดช	50010009
นายณัฐศักดิ์	หาญวนิชกุล	50010517
นายธีระพงษ์	มูลศรีสุข	50010718
นายนคร	เจริญวสุรัตน์	50010724

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุมิตร พนาอุดมทรัพย์

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการสร้างและออกแบบเครื่องบริหารข้อเท้าโดยทำการดัดแปลงจากเครื่องที่ใช้ในต่างประเทศ เครื่องบริหารข้อเท้านี้ได้ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ ควบคุมโดยไมโครคอนโทลเลอร์ โครงสร้างประกอบด้วย ตัวเครื่องบริหารข้อเท้า รีโมทคอนโทรล มอเตอร์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เซนเซอร์โพเทนชิโอมิเตอร์วัดระยะการหมุน และวงจรอิเล็กทรอนิคส์ที่เกี่ยวข้อง จุดมุ่งหมายของโครงงานชิ้นนี้คือ เป็นต้นแบบของการพัฒนาเครื่องบริหารข้อเท้าต่อไปในอนาคตเพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง เพื่อเพิ่มโอกาสให้กับคนที่ขาดแคลนทุนทรัพย์ให้ได้ใช้เครื่องที่มีคุณภาพและราคาถูก

ขั้นตอนการดำเนินงาน เริ่มจากการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องการกายภาพบำบัดข้อเท้า จากนั้นศึกษาหาข้อมูลเรื่องเครื่องบริหารข้อเท้า และนำไปสู่การออกแบบและสร้างอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรม โซลิด เวิร์ค ช่วยในการออกแบบโครงสร้างของตัวเครื่อง ศึกษาเรื่องวัสดุที่จะมาทำตัวเครื่อง ม:อเตอร์ในการหมุน เซนเซอร์ที่จะใช้ในการวัดมุมโดยได้ใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ และการทำงานของวงจรอิเล็คทรอนิคส์ต่างๆ แล้วจึงทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องบริหารข้อเท้า โดยที่จะสามารถควบคุมการทำงานได้จากรีโมทคอนโทรล

สุดท้ายได้ทำการทดลองจากบุคคลทั่วไป และได้ทำแบบสอบถามความคิดเห็น เกี่ยวกับอุปกรณ์นี้สามารถใช้ได้จริงหรือไม่ และเพื่อนำไปสู่การพัฒนาในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTINUES PASSIVE MOTION

By

Ms.Kanoksuda	Kriengnarongdach	50010009
Mr.Nuttask	Harnvanichkul	50010517
Mr.Teerapong	Munsrisuk	50010718
Mr.Nakorn	Charoenwasuiat	50010724

Advisor

Asst. Prof. Sumit PanaUdomsup

Academic Year 2010

ABSTRACT

This Thesis is about creating and designing the continuous passive motion by adapting from the overseas models. This continuous passive motion uses an automatic controlling system which is controlled by a microcontroller. The machine is composed of structure, a remote control, motor for rotate, sensor potentiometer for measuring angle, and other related electronic circuits. The purpose of this project is to decrease the budget in manufacture and increase the opportunities of experiencing greater but cheaper ankle machines for the underprivileged.

The procedure started from doing a research in physical therapy and then about the ankle machines which led to designing and creating the machine by using Solid Works program. Also, studying about materials for the machine, motor for rotate, sensor potentiometer for measuring angle, electronic circuits other and then used the C language writing the software to control the working system of the ankle machine which you can choose how fast you want the machine to work by using the remote control.

Lastly, there were trials and questionnaires about the ankle machine among individuals. The results show that the ankle machine can be developed in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

จากการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับคำปรึกษาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากท่านอาจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำสิ่งที่มีประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์เป็นอย่างดีมา โดยตลอดผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวเกรียงนรงค์เดช ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในปริญญานิพนธ์นี้ และให้ความช่วยเหลือในด้านอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวหาญวนิชกุล ที่ได้ ช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์ต่างๆ และงบประมาณในการทำ

ขอขอบพระคุณ นายอนุรักษ์ สีดา นศ.ปริญญาโท คณะครุศาสตร์วิศวกรรม ที่ให้คำปรึกษาในส่วนของการเขียนโปรแกรม, ความรู้ด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่มาทำการทดลอง ทำแบบสอบถาม และให้กำลังใจสนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ ถามไถ่ความคืบหน้าของโครงงานอยู่เสมอและสุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ จึงทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

นางสาวกนกสุดา	เกรียงนรงค์เดช	50010009
นายณัฐศักดิ์	หาญวนิชกุล	50010517
นายธีระพงษ์	มุลศรีสุข	50010718
นายนคร	เจริญวสุรัตน์	50010724

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำ	2
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ลักษณะทั่วไปของการบริหารข้อเท้า	3
2.1.1 กายวิภาคของข้อเท้า	3
2.1.2 Ankle joint	4
2.1.3 การเคลื่อนไหวของเท้า	5
2.2 ระบบควบคุม	6
2.2.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิดหรือระบบควบคุมแบบไม่ป้อนกลับ (Open-loop Control Systems, Non feedback Control Systems)	6
2.2.2 ระบบควบคุมแบบวงปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed-loop Control Systems, Feedback Control Systems)	7
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	13
2.4 Analog to Digital Conversion (ADC)	14
2.5 มอเตอร์ไฟฟ้าเบื้องต้น	16
2.5.1 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า	17
2.5.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 20
2.6.1 การทำงานของวงจร 20
2.6.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ 20
2.7 ระบบเซนเซอร์ 21
2.7.1 โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer or Potentiometric) 22
2.8 LCD 24
2.9 สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย 26
บทที่ 3 หลักการออกแบบและขั้นตอนการทำงาน 28
3.1 ขั้นตอนการทำงานและการออกแบบ 28
3.2 แนวคิดการออกแบบตัวเครื่อง 29
3.2.1 การออกแบบโครงสร้าง 29
3.2.2 การออกแบบระบบควบคุม 36
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม 37
3.3.1 บอร์ดขับมอเตอร์ดีซี แบบ H-Bridge รุ่น SE-HB40-1 37
3.3.2 บอร์ดควบคุม Microcomtroller PIC18F8722 38
3.4 โครงสร้างการทำงานของเครื่องบริหารข้อเท้า (CPM) 40
บทที่ 4 การทดลอง 43
4.1 การทดลองเปลี่ยนแปลงของโพเทนทิออมิเตอร์และADC 43
4.2 การทดลองความเร็วมอเตอร์ 45
4.3 การทดลองเวลาการทำงานของตัวเครื่องเทียบกับน้ำหนักคนที่ต่างกัน 46
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ 49
5.1 สรุปผลการทดลอง 49
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข 50
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง 52

ภาคผนวก 54

ภาคผนวก 1 โปรแกรมการใช้งาน ผ 1-1

ภาคผนวก 2 แบบสอบถาม ผ 2-1

ภาคผนวก 3 ท่าการบริหาร ผ 3-1

ภาคผนวก 4 คู่มือการใช้เครื่องบริหาร (CPM) ผ 4-1

ภาคผนวก 5 ประวัติและที่มาของ Continuous Passive Motion ผ 5-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 รูปเครื่องบริหารข้อเท้าที่มีขายในปัจจุบัน	2
2.1 รูปกายวิภาคของข้อเท้า	3
2.2 รูปกายวิภาคของข้อเท้า	4
2.3 Movement of ankle foot	4
2.4 พื้นฐานระบบควบคุม	6
2.5 ระบบควบคุมวงเปิด	7
2.6 ระบบควบคุมป้อนกลับ	8
2.7 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่ผู้ควบคุมกำหนด	8
2.8 ค่าสัญญาณเอาท์พุท	8
2.9 แผนผังของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	9
2.10 ตัวอย่างของระบบ servo ที่เป็น dc carrier system	11
2.11 ระบบ servo ที่เป็น ac carrier system	11
2.12 แสดงถึงการทำงานของระบบควบคุมที่มีการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ	12
2.13 แสดงแผนผังของระบบควบคุมแบบดิจิตอล	12
2.14 Block Diagram ADC	15
2.15 มอเตอร์ไฟฟ้า	16
2.16 รูปแสดงการทำงานของมอเตอร์	17
2.17 ส่วนประกอบต่างๆของมอเตอร์	18
2.18 H-bridges	20
2.19 pulse width modulation	21
2.20 โครงสร้างโพเทนชิโอมิเตอร์	22
2.21 ชนิดของโพเทนชิโอมิเตอร์	23
2.22 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย	27
3.1 ภาพรวมของเครื่องบริหารข้อเท้า (CPM)	28
3.2 หน้าแปลนมอเตอร์	29
3.3 กล่อง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ฝาปิดกล่อง 30
3.5 แทนรับท่อนขา 31
3.6 แขนหลัก 31
3.7 ฐานรับน้ำหนัก 32
3.8 แทนรับเท้า 32
3.9 รองเท้ารับเท้า 33
3.10 ตัวล็อครองเท้ารับเท้า 33
3.11 รูปที่ประกอบสำเร็จ 34
3.12 เฟืองขับสายพาน 35
3.13 เฟืองตัวหนอน 35
3.14 มอเตอร์ที่ทำการเลือกใช้ 36
3.15 บอร์ด H-Bridge รุ่น SE-HB40-1 37
3.16 โครงการต่อบอร์ด 37
3.17 บอร์ดควบคุม Microcontroller PIC18F8722 38
Flows chart ที่ 3.1 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม 40
4.1 รูปการทดลองการเปลี่ยนแปลงของ ADC 43
4.2 โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลADC 44
4.3 การทดลองความเร็วมอเตอร์ 45
4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วเทียบกับเวลา 46
4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาการทำงานที่ความเร็วต่างกันกับน้ำหนักที่ต่างกัน 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การเปลี่ยนแปลงของโพเทนทิออมิเตอร์ และ ADC	44
4.2 การทดลองความมอเตอร์	45
5.1 ผลแบบทดสอบ	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. กล่าวนำ

การศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ เป็นการศึกษาและประยุกต์ทฤษฎีต่างๆ ที่ได้เรียนรู้มาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถที่จะควบคุม ออกแบบโครงสร้างให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพเป็นไปตามข้อกำหนดได้ ดังนั้นจึงทำการออกแบบโครงสร้าง ออกแบบวงจร และเขียนโปรแกรมเพื่อจะควบคุมอุปกรณ์ ต่างๆ รวมถึงการที่ศึกษาเรื่องของการเคลื่อนที่ในระบบเชิงกล การควบคุมมอเตอร์ด้วยการเขียนโปรแกรม และการวัดค่าและการแปลงสัญญาณต่างๆ แล้วนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้จริงซึ่งล้วนเป็นสิ่งที่สามารถทำและศึกษาได้ในสาขาวิชานี้ ในต่างประเทศและประเทศไทยก็มีผู้ผลิตเครื่องบริหารหรือเครื่องกายภาพบำบัดต่างๆไว้อย่างมากมาย

ในโครงงานชิ้นนี้ได้เลือกที่จะศึกษาและทำชิ้นงานเกี่ยวกับเครื่องบริหารข้อเท้าในชื่อของ Continuous Passive Motion For Ankle (CPM) เป็นการศึกษาและประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรมและทางด้านการแพทย์ เพื่อเป็นการหาแนวทางในการทำกายภาพบำบัดข้อเท้า สำหรับ ผู้ป่วยข้อเท้าไม่ดีหรือ ไม่มีแรงในการยืนหรือเดิน เพื่อเป็นการลดรายจ่าย และเพิ่มความสะดวกสบายในการทำกายภาพบำบัด จึงทำให้ผู้วิจัยคิดออกแบบและสร้างเครื่องกายภาพบำบัดข้อเท้า มาใช้ทดแทนเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจากที่ได้ทดลองเครื่อง กายภาพบำบัดส่วนใหญ่ผู้ป่วยที่มีอาการบาดเจ็บอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับข้อเท้า ซึ่งเครื่องกายภาพบำบัดจะสามารถช่วยให้ผู้ป่วยหายจากอาการเจ็บได้เร็วขึ้น และกลับมาเดินได้เป็นปกติ เร็ว กว่าผู้ป่วยที่ไม่ได้รับการกายภาพบำบัด เครื่องกายภาพบำบัดนี้สามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยที่หัวเข่าหรือข้อเท้าบาดเจ็บเนื่องจากการประสบอุบัติเหตุที่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ โดยไม่ต้องลุกเดินทำกายภาพบำบัดเพราะลุกเดินอาจเกิดอาการบาดเจ็บมากขึ้น และเครื่องกายภาพบำบัดนี้สามารถช่วยผู้ป่วยให้ฟื้นจากการเจ็บของข้อเท้า ได้ในระยะเวลาสั้นลงกว่าผู้ป่วยที่นอนอยู่บนเตียงเฉยๆ

โดยการนำโครงสร้างที่เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงราคาถูกมาใช้ และการนำวงจรต่างๆ มาประยุกต์ใช้ แล้วได้เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานในการเคลื่อนที่โดยใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ และแสดงค่าเพื่อแสดงถึงค่าความเร็ว หรือองศาที่ต้องปรับที่ต้องงอในการเคลื่อนที่ของข้อเท้าโดย ขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่า ต้องการบริหารด้วยองศาแบบไหน ซึ่งจะให้ผลที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 รูปเครื่องบริหารข้อเท้าที่มีขายในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำ

1. สามารถช่วยในการลดต้นทุนในการผลิตได้ โดยไม่จำเป็นต้องไปสั่งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพงมาก
2. สามารถสร้างโอกาสให้กับคนที่ขาดแคลนหรือกำลังทุนทรัพย์น้อยได้ใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพแต่ราคาถูก
3. รู้จักการใช้โปรแกรมในการออกแบบโครงสร้างของเครื่องบริหารข้อเท้า (CPM)
4. ทำการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่
5. ทำการศึกษาและค้นคว้าการเขียนโปรแกรมในการควบคุมมอเตอร์ได้
6. สามารถนำเครื่องบริหารข้อเท้า (CPM) ไปใช้ได้จริงในอนาคต

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน

การศึกษาเครื่องบริหารข้อเท้านั้น เป็นการศึกษาเกี่ยวกับ ระบบเชิงกลทางแมคคานิกส์กับทางด้านการแพทย์ เนื่องจากจะต้องทำการค้นคว้าข้อมูลด้านกายภาพข้อเท้า ขนาดของข้อเท้ามาประยุกต์ใช้กับระบบทางด้านวิศวกรรม จึงได้ค้นคว้าข้อมูลและทำการศึกษาก่อนที่จะทำการออกแบบโครงสร้าง และค้นหาวัสดุที่มีคุณภาพดีราคาถูก ได้ทำการตรวจสอบหาจากแหล่งข้อมูลต่างๆ จากร้านค้าและทางอินเตอร์เน็ต หลังจากนั้น ก็ทำการค้นคว้าหาวงจรและวิธีในการควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนของข้อเท้า และวิธีการวัดค่าของการแสดงผลของความเร็วในการหมุน จึงได้ทำการศึกษาการเขียนโปรแกรมของไมโครคอลโทลเลอร์ เพื่อที่จะแสดงผลออกมาทางด้านหน้าจอดิจิตอล

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเครื่องบริหารข้อเท้า (CPM) ที่มีขายอยู่นั้นมีราคาสูง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และต้องสั่งทำวัสดุต่างๆ ซึ่งเป็นวัสดุเฉพาะ ซึ่งมีราคาสูงมาก เราจึงต้องหาวัสดุที่มีขายในท้องตลาดที่หาง่ายและมีราคาถูก มาทดแทนเพื่อลดต้นทุนในการผลิต

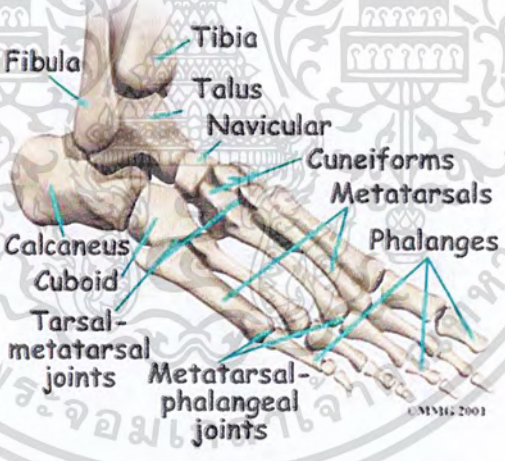
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้กล่าวในบทที่ 1 ก่อนที่จะมีการออกแบบสร้างชิ้นงานนั้นจะต้องมีการคำนึกถึงหลักการต่างๆในการออกแบบ ทั้งทางด้านความแข็งแรง ประโยชน์ในการใช้งาน และความสะดวกสบายในการใช้งาน ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีการคิด และการออกแบบเพื่อให้ได้รูปแบบตามที่ต้องการ โดยมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน หลังจากนั้นเริ่มด้วยการจัดหา และออกแบบโครงสร้าง รวมถึงการศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการควบคุมการการทำงาน และสุดท้ายคือการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมด

2.1 ลักษณะทั่วไปของการบริหารข้อเท้า

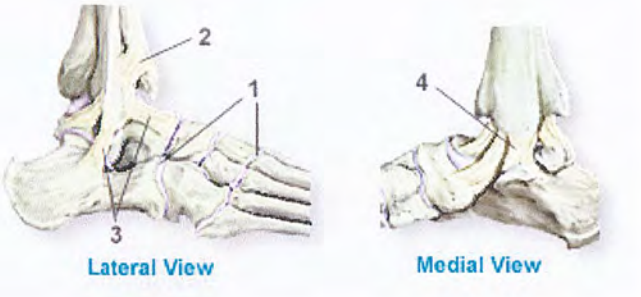
2.1.1 กายวิภาคของข้อเท้า



รูปที่ 2.1 รูปกายวิภาคของข้อเท้า

เท้าเป็นอวัยวะที่รับน้ำหนักของร่างกายและมีความสำคัญในการเดิน ประกอบด้วยกระดูก 26 ชิ้น เรียงตัวสลับซ้อนกันเป็นรูปโค้ง ซึ่งสามารถแบบกระดูกออกได้เป็น 3 ส่วน คือ กระดูกเท้าส่วนหลังที่เรียกว่า rearfoot จะอยู่ล่างต่อกระดูก tibia อันได้แก่กระดูก talus และกระดูก calcaneus กระดูกเท้าส่วนกลางเรียกว่า midfoot ประกอบด้วยกระดูก navicular กระดูก cuneiform 3 ชิ้น และกระดูก cuboid ส่วนกระดูกเท้าส่วนหน้าที่เรียกว่า forefoot จะประกอบด้วยกระดูก metatarsal 5 ชิ้น และกระดูกนิ้วเท้า 14 ชิ้น

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

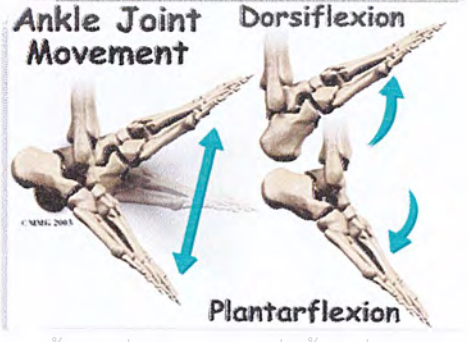


รูปที่ 2.2 รูปกายวิภาคของข้อเท้า

2.1.2 Ankle joint

ข้อเท้าเป็นข้อต่อที่ประกอบด้วยกระดูก distal tibial fibular และ talus :ซึ่งจะเชื่อมต่อกันเป็นข้อต่อต่างๆเหล่านี้

1. **Proximal tibiofibular joint** จัดเป็น synovial joint ชนิด plane types จะสามารถเคลื่อนไหวได้เล็กน้อยเท่านั้น
2. **Distal tibiofibular joint** จัดเป็น fibrous joint เป็นข้อต่อระหว่างส่วนนูนด้านในของข้อต่อ distal fibular และ ส่วนเว้า fibular notch ของกระดูก tibia โดยมี ligament ที่สำคัญที่อยู่รอบๆ ข้อต่อคือ interosseous ligament ซึ่งเป็น ligament ที่แข็งแรงที่สุดระหว่างส่วนปลายของ tibia และ fibular จะช่วยยึดกระดูกทั้ง 2 ชิ้นไว้
3. **Talocrural joint (joint of mortise หรือ ankle joint)** เป็นข้อต่อที่มีความสำคัญของข้อเท้ามาก ประกอบด้วย Ligament ที่สำคัญคือ
4. **Medial collateral ligament (deltoid ligament หรือ triangular ligament)** มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม มีหน้าที่จำกัด eversion
5. **Lateral collateral ligament** มีหน้าที่จำกัด inversion เป็น ligament ที่เกิดการบาดเจ็บที่เรียกว่าข้อเท้าแพลง (ankle sprain) ได้บ่อยที่สุด เมื่อมี inversion มากเกินไป



รูปที่ 2.3 Movement of ankle foot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การเคลื่อนไหวของเท้า สามารถเคลื่อนไหวได้รอบแกน 3 แกน ได้แก่

1. **Dorsiflexion/Plantarflexion** เป็นการเคลื่อนไหวโดยกระดกปลายเท้าขึ้น (dorsiflexion) และถีบปลายเท้าลง(plantarflexion) ใน sagittal plane รอบ coronal axis
2. **Inversion/Eversion** เป็นการเคลื่อนไหวโดยบิดปลายเท้าเข้าด้านใน (inversion) และบิดปลายเท้าด้านนอก ใน frontal plane รอบ sagittal axis
3. **Pronation-supination** เป็นการเคลื่อนไหวในหลายๆ plane รอบ oblique axis เรียกว่า Triplanar motion ซึ่ง Pronation จะเป็นการเคลื่อนไหวร่วมกันระหว่าง dorsiflexion abduction และ eversion Supination จะเป็นการเคลื่อนไหวร่วมกันระหว่าง Plantarflexion adduction และ inversion

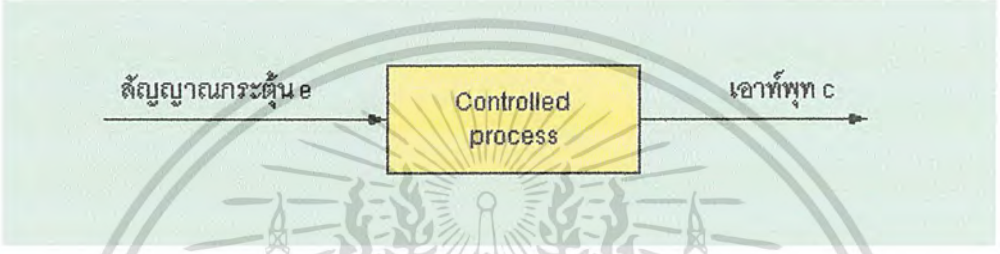
ข้อเท้าสามารถเคลื่อนไหวได้โดยการงอขึ้น (Dorsiflexion) หรือเหยียดลง (Plantarflexion) และข้อต่อของฝ่าเท้ายังทำให้หมุนฝ่าเท้าเข้า (Inversion) และหมุนฝ่าเท้าออก (Eversion) ได้ พังผืดที่เชื่อมระหว่างตาตุ่มนอกเป็นพังผืดที่บางและไม่แข็งแรง จึงแพลงหรือฉีกได้ง่าย พังผืดที่ตาตุ่มด้านในแข็งแรงมาก แต่ถ้าเกิดการฉีกขาดอาจส่งผลให้กระดูกข้อเท้าหักตามด้วย การแพลงที่ข้อเท้าด้านใน จึงต้องระมัดระวังมาก อย่างไรก็ตาม ข้อเท้าแพลงเป็นการบาดเจ็บที่พบบ่อย เนื่องจากข้อเท้าซึ่งมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับข้อสะโพกและข้อเข่าต้องรับน้ำหนัก และแรงกระทบกระแทกเท่ากันหรือมากกว่าข้อที่กล่าวมาทั้ง 2 ข้อ การป้องกันข้อเท้า โดยใส่ปลอกหุ้มข้อเท้า (Ankle support) จึงมีความจำเป็นสำหรับนักกีฬาที่ต้องวิ่งกระโดดหรือเตะลูกบอล ข้อเท้ามีลักษณะเช่นเดียวกับข้อมือ ไม่มีกล้ามเนื้อห่อหุ้มอยู่รอบๆ จึงต้องพึ่งรองเท้าที่หุ้มข้อเท้าได้มิดชิดและพยุงข้อเท้าได้ดี รองเท้าที่ดีสามารถลดการบาดเจ็บของข้อเท้าได้ดีมากทีเดียว และการออกกำลังกายในส่วนของข้อเท้าเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเราต้องทำให้กล้ามเนื้อบริเวณข้อเท้าเกิดความแข็งแรงเพื่อช่วยในการรับน้ำหนักบริเวณข้อเท้าและสามารถป้องกันการบาดเจ็บได้อีกด้วย

ข้อต่อที่ดี คือ ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้ตามแนวและทิศทางของโครงสร้างของข้อต่อนั้น และการเคลื่อนไหวจะลดน้อยลงเมื่ออายุมากขึ้น การออกกำลังกายจึงควรคำนึงถึงความรุนแรงของกีฬาหรือท่าการออกกำลังกายชนิดนั้น และไม่ควรแข่นขันกันระหว่างวัยที่แตกต่างกันมาก และเมื่อเกิดการบาดเจ็บของข้อต่อใดข้อต่อหนึ่ง สิ่งที่ดีที่สุด คือการพักข้อต่อนั้นชั่วคราว เอาไม้หรือเฝือกดามไว้ หรือจะร่วมกับการประคบเย็นเพื่อลดการอักเสบของข้อต่อที่เกิดการบาดเจ็บ จนกว่าข้อต่อนั้นจะสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบควบคุม

ในปัจจุบันนี้ระบบควบคุมอัตโนมัติได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมากมายนัก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดในชีวิตประจำวันได้แก่ระบบควบคุมในเครื่องปรับอากาศซึ่งจะคอยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ ในอุตสาหกรรมได้มีการนำระบบควบคุมอัตโนมัติ ไปใช้ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์, ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอื่นๆ อีกมากมาย เทคโนโลยีทางด้านอวกาศและการผลิตอาวุธยุทโธปกรณ์ก็ได้มีการนำระบบควบคุมไปใช้ในระบบนำวิถี, ระบบควบคุมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เป็นต้น



รูปที่ 2.4 พื้นฐานระบบควบคุม

รูปที่ 2.4 แสดงถึงโครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุม โดยผลลัพธ์ที่ออกทางเอาท์พุท (แทนโดยตัวแปร c) จะถูกควบคุมโดยสัญญาณกระตุ้น e ผ่านทางองค์ประกอบต่างๆ ซึ่งอยู่ภายใน controlled process ในการควบคุมพวงมาลัยของรถยนต์ สัญญาณกระตุ้น e ได้แก่ ตำแหน่งของพวงมาลัย ส่วนตัวแปรเอาท์พุท c ได้แก่ ทิศทางของล้อหน้า ในส่วนของ controlled process จะประกอบด้วยกลไกต่างๆ ของพวงมาลัย เช่น การทดเฟือง และรวมถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของล้อด้วย

2.2.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิดหรือระบบควบคุมแบบไม่ป้อนกลับ (Open-loop Control Systems, Non feedback Control Systems)

ระบบควบคุมพื้นฐานที่กล่าวถึงในหัวข้อที่แล้วเป็นระบบควบคุมแบบวงเปิด ในระบบควบคุมแบบวงเปิดนี้การควบคุมส่วนใหญ่ต้องอาศัยการคาดคะเนและการตัดสินใจของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องโดยเตาผิง ถ้าเตาผิงที่ใช้มีเพียงอุปกรณ์ตั้งเวลาเปิด-ปิดเท่านั้น ผู้ใช้หรือผู้ควบคุมจะต้องคาดคะเนและตั้งเวลาในการเปิดเตาผิงที่นานพอเหมาะเพื่อให้อุณหภูมิห้องอยู่ในระดับที่ต้องการ แต่การควบคุมโดยมนุษย์เช่นนี้ดูจะไม่แม่นยำและน่าเชื่อถือนัก เนื่องจากผู้ควบคุมไม่สามารถรู้ถึงคุณสมบัติเฉพาะในการสร้างความร้อนของเตาผิงนี้ อีกทั้งยังมีปัจจัยต่างๆ จากภายนอก เช่น อุณหภูมิภายนอกห้องที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในห้อง จะเห็นได้ว่าระบบควบคุมแบบวงเปิดนี้ ไม่สามารถปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงของระบบอันเนื่องมาจากปัจจัยจากภายนอกได้

เครื่องซักผ้าอัตโนมัติเป็นระบบที่มีการควบคุมแบบวงเปิดเนื่องจากผู้ควบคุมที่เป็นมนุษย์จะเป็นผู้กำหนดเวลาที่ใช้ในการซักผ้า ซึ่งจริงๆ แล้วเครื่องซักผ้าอัตโนมัติที่แท้จริงควรจะมีระบบตรวจสอบความสะอาดของผ้าตลอดเวลาที่ซัก เมื่อผ้ามีความสะอาดถึงระดับที่ต้องการแล้วเครื่องซักผ้าก็ควรจะหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ

รูปที่ 2.5 ระบบควบคุมวงเปิด

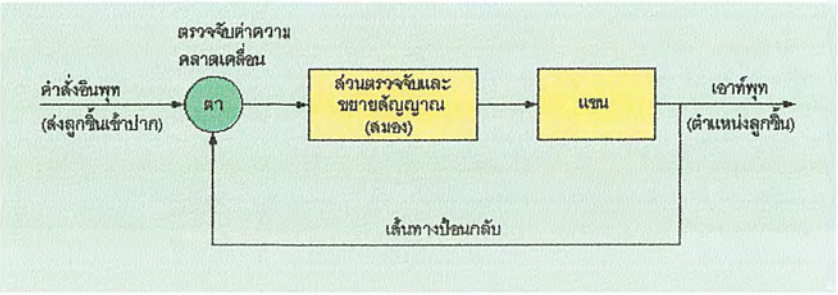
แผนผังของระบบควบคุมแบบวงเปิดสามารถเขียนได้อีกแบบหนึ่งดังรูปที่ 2.5 โดยสัญญาณอินพุทหรือสัญญาณสั่งการ r ส่งผ่าน controller ออกมาเป็นสัญญาณกระตุ้น e เพื่อสั่งให้ controlled process ขับเอาท์พุท c ที่ต้องการออกมา

2.2.2 ระบบควบคุมแบบวงปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed-loop Control Systems, Feedback Control Systems)

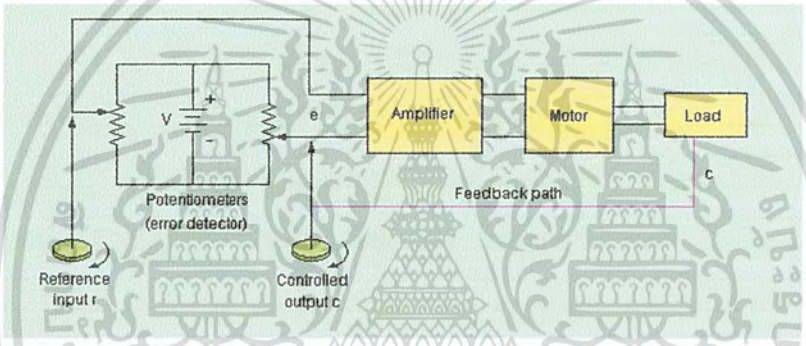
จากหัวข้อที่แล้ว จะเห็นว่าเมื่อปัจจัยภายนอกมามีอิทธิพลต่อระบบ จะทำให้ผู้ควบคุมไม่สามารถควบคุมเอาท์พุทให้เป็นไปตามต้องการได้ ในหัวข้อนี้ได้แก้ไขโดยการส่งสัญญาณเอาท์พุท c(t) ป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสั่งการหรือสัญญาณอ้างอิง r จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณเอาท์พุทกับสัญญาณอ้างอิงทางด้านอินพุท เพื่อนำไปสร้างสัญญาณกระตุ้น e และส่งต่อไปแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อน (error) ของเอาท์พุทให้น้อยลง ระบบที่กล่าวมานี้เรียกว่าระบบควบคุมแบบป้อนกลับ กิจกรรมส่วนใหญ่ที่มนุษย์ปฏิบัติในชีวิตประจำวัน นั้นเป็นตัวอย่างหนึ่งของระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ซับซ้อน เช่น ในการใช้ตะเกียบคีบลูกชิ้นเข้าปาก สมองของมนุษย์จะสั่งการให้แขนข้างที่ถือตะเกียบนำลูกชิ้นเข้าปาก ตำแหน่งของลูกชิ้นที่เป็นเอาท์พุทจะถูกป้อนกลับมายังตาของมนุษย์เพื่อเปรียบเทียบระยะทางระหว่างลูกชิ้นกับปาก ในที่นี้สัญญาณอ้างอิง r คือตำแหน่งของปาก ส่วนสัญญาณเอาท์พุท c คือตำแหน่งของลูกชิ้น ถ้าระยะทางยังมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ สมองก็จะยังคงสั่งให้แขนเคลื่อนที่ต่อไปเพื่อให้ลูกชิ้นเข้าใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปากมากยิ่งขึ้น จนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ก็จะสั่งให้แขนหยุด รูปที่ 2.6 แสดงถึงแผนผังของระบบควบคุมแบบป้อนกลับในการใช้ตะเกียบคีบลูกชิ้นเข้าปาก

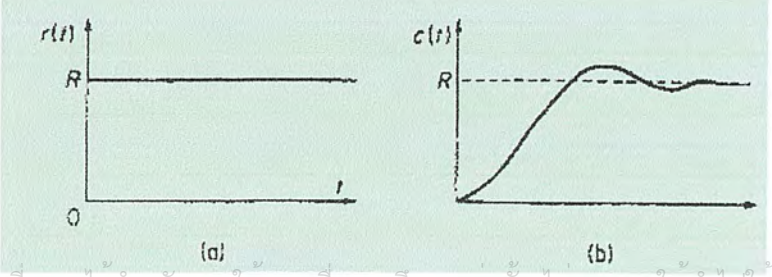


รูปที่ 2.6 ระบบควบคุมป้อนกลับ



รูปที่ 2.7 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่ผู้ควบคุมกำหนด

รูปที่ 2.7 เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่ผู้ควบคุมกำหนด ในระบบนี้จะใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ตรวจจับค่าความคลาดเคลื่อน ระหว่างตำแหน่งของมอเตอร์จริงๆ ที่เป็นเอาท์พุท และตำแหน่งของมอเตอร์ที่กำหนดโดยผู้ควบคุม ซึ่งเป็นสัญญาณอินพุทอ้างอิง ค่าความคลาดเคลื่อนจะเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า e (t) แล้วนำไปขยายแรงดันเพื่อขับมอเตอร์ให้หมุนไปยังทิศทางที่ทำให้ตำแหน่งของมอเตอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

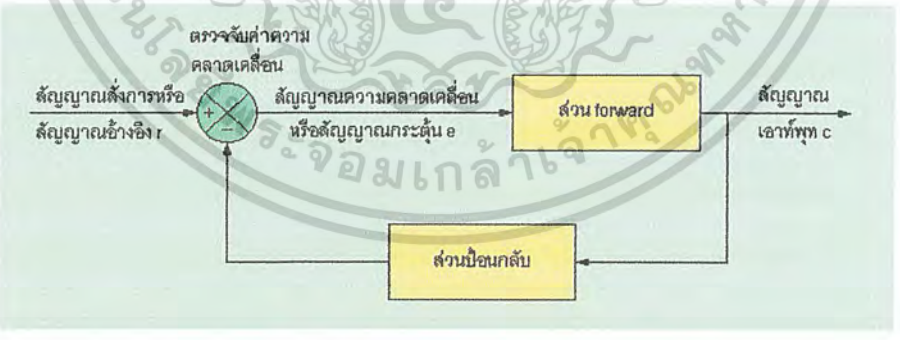
รูปที่ 2.8 ค่าสัญญาณเอาท์พุท

เมื่อลองให้สัญญาณอินพุท R(t) เปลี่ยนค่าจากศูนย์ไปเป็น R ในทันทีทันใดดังรูปที่ 2.8(a) ค่าสัญญาณเอาท์พุทจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.8(b) เนื่องมาจากความเฉื่อยทางกลและทางไฟฟ้าจะทำให้ตำแหน่งของเอาท์พุทไม่เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด แต่จะค่อยๆ วิ่งเข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนดโดยอินพุท และอาจจะมีการแกว่งไปมารอบๆ ตำแหน่งที่กำหนดโดยอินพุท การแกว่งนี้จะค่อยๆ ลดน้อยถอยลงจนกระทั่งเอาท์พุทอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดโดยอินพุทอย่างคงที่คืออยู่ใน steady state

สิ่งที่ต้องระวังในระบบควบคุมแบบป้อนกลับคือความไม่เสถียรของระบบ ถ้าหากสัญญาณ E (t) ถูกขยายมากเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดการแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณเอาท์พุทแบบ "overcorrect" และเอาท์พุทจะแกว่งในลักษณะที่ลู่ออกโดยไม่มีขอบเขต แต่ถ้าสัญญาณ e(t) ถูกขยายน้อยเกินไปก็จะทำให้เอาท์พุทมีค่าไม่ตรงกับค่าที่กำหนดโดยอินพุท เมื่อเอาท์พุทเข้าสู่ steady state ดังนั้นผู้ออกแบบระบบควบคุมแบบป้อนกลับจึงต้องหาจุดที่เหมาะสมระหว่างปัจจัยสองอย่างคือ ความเที่ยงตรง และความเสถียร ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้แปรผกผันกัน

1. ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

จากหลักการพื้นฐานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับสามารถกล่าวได้ว่า ระบบควบคุมแบบป้อนกลับประกอบด้วยเส้นทางหรือวงรอบของสัญญาณป้อนกลับ ซึ่งเป็นสัญญาณเอาท์พุท c ตั้งแต่หนึ่งวงรอบขึ้นไป แล้วนำสัญญาณป้อนกลับนี้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสั่งการหรือสัญญาณอ้างอิง r จะได้ผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองเป็น e = r – c เพื่อนำไปควบคุมสัญญาณเอาท์พุท c ให้มีค่าตามที่กำหนดโดยสัญญาณอ้างอิง r



รูปที่ 2.9 แผนผังของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

รูปที่ 2.9 ระบบควบคุมนี้ประกอบด้วยส่วน forward (forward path), ส่วนป้อนกลับ (feedback path) และส่วนตรวจจับค่าความคลาดเคลื่อน (error-sensing device) ส่วนตรวจจับค่าความคลาดเคลื่อนนี้จะเปรียบเทียบค่าสัญญาณอินพุทอ้างอิงกับค่าสัญญาณเอาท์พุทจริงๆ หรือค่าที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณเอาท์พุท แล้วส่งสัญญาณที่เกิดจากผลต่างของสัญญาณทั้งสองนี้ออกไป

เอกสาร... ไม่... ...ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

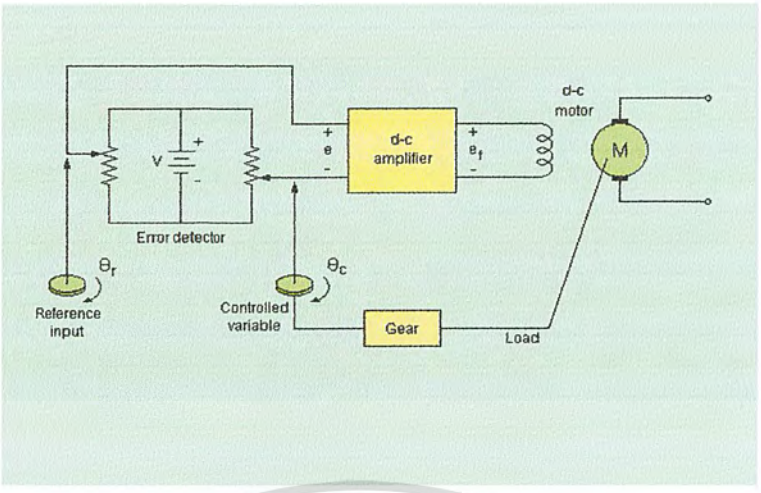
ถ้าพิจารณาในแง่วิธีการในการวิเคราะห์และออกแบบระบบแล้ว ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิด คือ ระบบควบคุมป้อนกลับแบบเชิงเส้น และระบบควบคุมป้อนกลับแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัติแล้วระบบที่เป็นเชิงเส้นจะไม่มีอยู่จริงเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของระบบทุกระบบจะเป็นเชิงเส้นในขอบเขตหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นระบบแบบเชิงเส้นจึงเป็นเพียงระบบที่สมมุติขึ้นมาเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และออกแบบเท่านั้น ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะมีขอบเขตการทำงานที่เป็นเชิงเส้นของระดับสัญญาณกระตุ้น e ซึ่งสามารถนำมาใช้ในแบบจำลองแบบเชิงเส้นได้ เมื่อระดับสัญญาณกระตุ้น e อยู่นอกขอบเขตที่เป็นเชิงเส้นนี้ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับก็จะเข้าสู่สภาวะที่ไม่เป็นเชิงเส้น แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของลักษณะสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในระบบ ก็จะสามารถแบ่งชนิดของระบบควบคุมแบบป้อนกลับได้เป็นระบบที่มีสัญญาณต่อเนื่อง (continuous-data system) และ ระบบที่มีสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (discrete-data system) หรือระบบที่มีการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ (sampled-data system)

2.1 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับชนิดที่มีสัญญาณต่อเนื่อง (Continuous-data Feedback Control System)

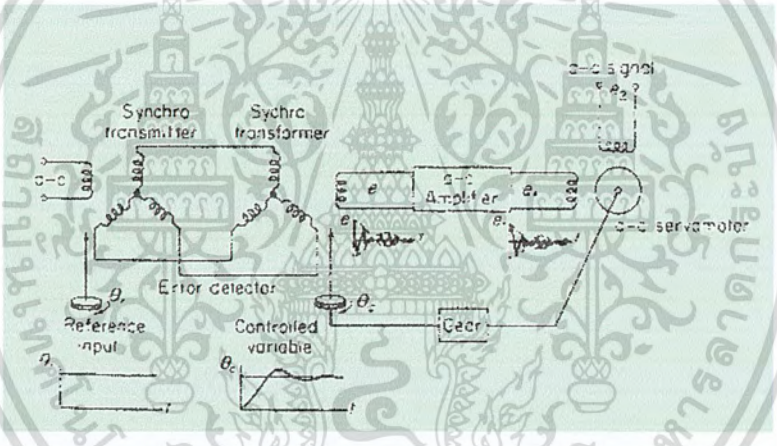
ระบบนี้เป็นระบบที่สัญญาณต่างๆ ภายในระบบเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง เมื่อตัวแปรของฟังก์ชันเป็นเวลา t ถ้าสัญญาณแบบต่อเนื่องในระบบนี้อยู่ในลักษณะที่ถูก modulated จะเรียกระบบนี้ว่า ระบบ a-c carrier system แต่ถ้าสัญญาณอยู่ในลักษณะที่เป็น unmodulated ก็จะเป็นระบบ dc carrier system รูปที่ 2.10 เป็นตัวอย่างของระบบ servo ที่เป็น dc carrier system จะสังเกตเห็นว่าสัญญาณต่างๆ ในระบบเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ และอยู่ในลักษณะที่ unmodulated รูปที่ 2.11 เป็นแผนผังของระบบ servo ที่เป็น ac carrier system สัญญาณที่เกิดขึ้นจริงๆ ในระบบควบคุมนี้จะปรากฏในลักษณะที่เป็นเปลือกที่ห่อหุ้มสัญญาณพาหะอีกชั้นหนึ่ง อุปกรณ์ที่เรียกว่า synchro ทั้งสองตัวทำหน้าที่เป็น modulator ซึ่งทำหน้าที่ modulate สัญญาณอินพุทอ้างอิง r และสัญญาณป้อนกลับ c ส่วนมอเตอร์ทำหน้าที่เป็น demodulator ซึ่งแปลงสัญญาณให้กลับมาอยู่ในลักษณะที่ unmodulated

ในทางปฏิบัติจริงๆ จะไม่ใช้ระบบที่เป็น dc หรือ ac เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่จะรวมส่วนประกอบทั้งสองแบบเข้าด้วยกันโดยใช้ modulator และ demodulator เพื่อแปลงสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างของระบบ servo ที่เป็น dc carrier system

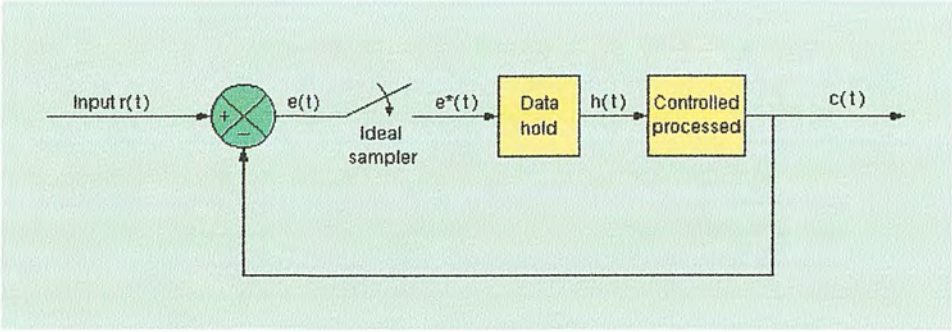


รูปที่ 2.11 ระบบ servo ที่เป็น ac carrier system

2.2 ระบบควบคุมที่มีการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ และระบบควบคุมที่มีสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (Sampled-data and Discrete-data Control System)

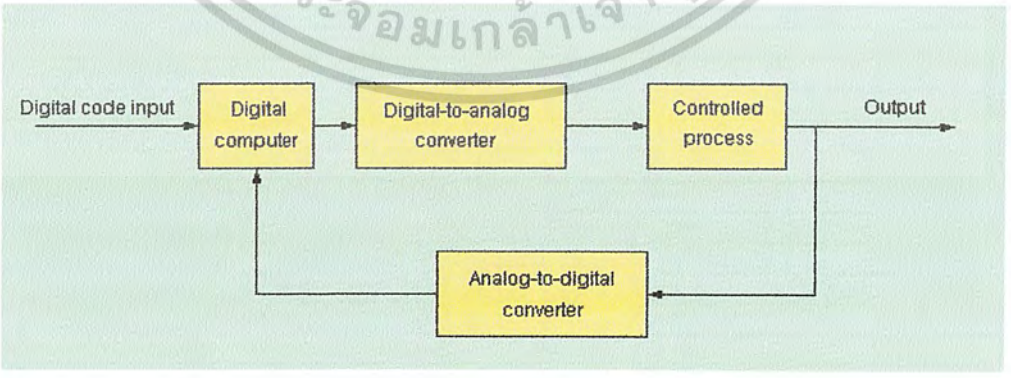
ระบบควบคุมที่มีการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ และระบบควบคุมแบบสัญญาณดิจิตอลจะมีสัญญาณที่อยู่ในลักษณะของขบวนของพัลส์หรือรหัสที่เป็นเชิงตัวเลข โดยปกติระบบที่มีการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ จะหมายถึง ระบบที่มีสัญญาณในลักษณะของขบวนของพัลส์ ส่วนระบบควบคุมแบบสัญญาณดิจิตอล จะหมายถึง ระบบที่มีคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแบบดิจิตอลเป็นส่วนประกอบ ในที่นี้ระบบควบคุมที่มีสัญญาณไม่ต่อเนื่องจะมีความหมายครอบคลุมถึงทั้งระบบแบบสุ่มตัวอย่างของสัญญาณและระบบแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงถึงการทำงานของระบบควบคุมที่มีการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ

ระบบที่มีสัญญาณไม่ต่อเนื่องจะตรวจจับสัญญาณเข้ามาในลักษณะของพัลส์ โดยแต่ละพัลส์จะใช้เวลาเพียงช่วงสั้นๆ เท่านั้น ดังนั้นระบบจะไม่ได้รับข้อมูลของสัญญาณในช่วงเวลาที่อยู่ระหว่างพัลส์ที่อยู่ติดกันเลย รูปที่ 2.12 แสดงถึงการทำงานของระบบควบคุมที่มีการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ สัญญาณอินพุท r(t) ที่เป็นสัญญาณแบบต่อเนื่องถูกส่งเข้าระบบ และเปรียบเทียบกับสัญญาณป้อนกลับ c(t) ที่เป็นสัญญาณแบบต่อเนื่องเช่นกัน จะได้สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน e(t) ที่ต่อเนื่อง และส่งต่อไปเพื่อสุ่มตัวอย่างสัญญาณโดยอุปกรณ์สุ่มตัวอย่าง (sampler) ได้สัญญาณที่เป็นขบวนของพัลส์ โดยปกติอุปกรณ์สุ่มตัวอย่างจะสุ่มตัวอย่างสัญญาณในอัตราที่คงที่ แต่ในบางกรณีการสุ่มตัวอย่างอาจจะอยู่ในลักษณะที่เป็น periodic, cyclic, multirate, skip-rate, random, และ pulse-width modulated



รูปที่ 2.13 แสดงแผนผังของระบบควบคุมแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 แสดงแผนผังของระบบควบคุมแบบดิจิตอล ในระบบนี้จำเป็นต้องมีตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิตอล และตัวแปลงสัญญาณจากดิจิตอลกลับมาเป็นอนาล็อก เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลข้อมูลและส่งผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลที่เป็นดิจิตอลเท่านั้น

เอาท์พุทของอุปกรณ์สุ่มตัวอย่างจะเป็นขบวนของพัลส์ โดยที่แอมพลิจูดของแต่ละพัลส์จะเท่ากับแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุทที่ตรงกับช่วงเวลาที่อยู่ในช่วงความกว้างของพัลส์นั้น แต่การวิเคราะห์ระบบที่สุ่มตัวอย่างสัญญาณ โดยมีความกว้างของพัลส์นั้น จะต้องอาศัยกระบวนการที่ซับซ้อน ดังนั้นถ้าเอาท์พุทของอุปกรณ์สุ่มตัวอย่างมีความกว้างของพัลส์น้อยมาก เมื่อเทียบกับค่า time constant ของส่วนของระบบที่มีสัญญาณต่อเนื่องและเมื่อเทียบกับช่วงเวลาระหว่างการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้ง ก็จะสามารถแทนที่ขบวนของพัลส์ด้วยขบวนของอิมพัลส์ และในการวิเคราะห์ระบบ ก็จะสามารถแทนที่อุปกรณ์สุ่มตัวอย่างด้วยอุปกรณ์สุ่มตัวอย่าง ในอุดมคติ (ideal sampler) ซึ่งมีเอาท์พุทเป็นขบวนของอิมพัลส์ได้

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือ ข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆ ไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟเป็นต้น

3. ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

4. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้น ส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

2.4 Analog to Digital Conversion (ADC)

Analog to Digital Conversation (ADC) คือระบบการแปลงสัญญาณ อนาล็อก ให้เป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งจะค่าเท่ากับสัญญาณอนาล็อก นั้นๆ

Resolution คือการเปลี่ยนแปลงค่าที่น้อยที่สุดของแรงดันที่สามารถตรวจจับได้โดยระบบจะถูกแสดงเป็นดิจิตอล และถูกแสดงเป็น Digital code ซึ่ง resolution คือจำนวนของ digital code ทั้งหมด

$$\text{Resolution} = n \text{ bit}$$

Quantization Level คือ ค่าระดับทั้งหมดของจำนวนค่า Analog

$$\text{Quantization Level} = 2^n$$

Quantization Step คือจำนวนขั้นระหว่าง Quantization Level ทั้งหมด

$$\text{Quantization Step} = 2^n - 1$$

$$\text{Voltage Resolution} = (\text{Full Scale Voltage})/(2^{n-1})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sampling rate เป็นปริมาณที่มักจะถูกใช้กับ Analog to Digital Conversion ซึ่ง Sampling rate เป็นจำนวนของเวลาต่อวินาทีที่สัญญาณ Analog ถูกเปลี่ยนเป็น Digital Code สำหรับค่าที่น้อยที่สุดของ Sampling rate ที่น้อยที่สุดนี้เรียกว่า Nyquist sampling rate

ถ้า Sampling frequency น้อยกว่าสองเท่าของความถี่ค่า Analog ที่แปลงจาก digital จะเกิด Aliasing error ขึ้น Aliasing error จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของของสัญญาณที่มีความถี่สูง เนื่องจากตัว Spectral ของสัญญาณที่ถูก Sampling ซึ่ง Aliasing error เป็นปรากฏการที่มีสาเหตุมาจากส่วนประกอบของความถี่ที่เกิดขึ้นจากสัญญาณ Sampling จะถูกสอดแทรกจากความถี่ ของสัญญาณที่ถูก Sampling เราสามารถที่จะหลีกเลี่ยง Aliasing error ได้โดยการใช้ความถี่ Sampling ที่น้อยกว่า 2 เท่า Analog frequency ที่สูงสุด

วิธีการใช้งานกับ microcontroller

การแปลงอนาลอกไปเป็นดิจิตอล ใช้สำหรับการอ่านค่าแรงดัน มีตัวอย่างการใช้งานง่ายคือ อ่านค่าแรงดันจาก R-Potentiometer ใช้ ADC 8 bit จะได้ค่า 0-255

1. #device adc=8 // head

setup ใช้ vref+/- จาก VSS และ VDD โดยใช้ช่อง AN0

1. setup_adc_ports(ANALOG_AN0_TO_AN2|VSS_VDD);

2.setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL|ADC_TAD_MUL_0);

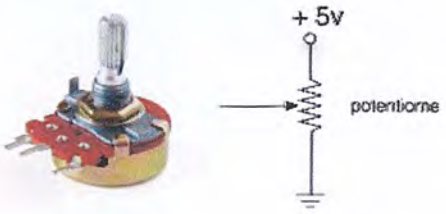
สำหรับคำสั่งโปรแกรม ใช้ set_adc_channel(x) ; สำหรับการเลือกช่องที่จะอ่าน และอ่านโดยใช้คำสั่ง read_adc(); ตัวอย่าง:

1.set_adc_channel(0); // อ่านค่าจาก AN0

2.value=read_adc(); // อ่านค่า

3.voltage=value*5/255; //แรงดันที่อ่านได้จะเป็น 0-5 volt

ประยุกต์ใช้งานกับ potentiometer (ตัวต้านทานปรับค่าได้)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14 potentiometer (ตัวต้านทานปรับค่าได้)

ต่อขา เข้ากับ AN0 อ่านค่าเป็น +/- 150 องศา

1set_adc_channel(0); // อ่านค่าจาก AN0

2value=read_adc(); // อ่านค่า

3angle=(value-512)*150/512;

ส่วนแรงดันค่าอื่นๆสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{สมการ ที่ 2.1} \quad >>> \quad V_{in} = \frac{5}{2^8 - 1} * D_i$$

เมื่อ D_i คือ ค่าเลขฐานสิบของ Digital Output ของ ADC

2.5 มอเตอร์ไฟฟ้าเบื้องต้น

เราจะพบว่าชีวิตประจำวัน การใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้หลายสิ่งหลายอย่างเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว การเคลื่อนที่ เช่น พัดลม เครื่องซักผ้า เครื่องปั่นผลไม้ เครื่องผสมอาหาร เครื่องคั้นน้ำผลไม้ และเครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น เมื่อมองเข้าไปภายในอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้เหล่านั้น มีสิ่งหนึ่งที่นำมาใช้งานเหมือนกันและมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องใช้เหมือนกัน สิ่งที่สำคัญสิ่งนั้นคือ มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้า (Electormechanical Energy) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) ในรูปของการหมุนเคลื่อนที่มีประโยชน์ในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ถูกนำไปร่วมใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าถึงประมาณ 80-90% ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) แสดงดังรูป

รูปที่ 2.15 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้ามีโครงสร้างเบื้องต้นที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแม่เหล็กถาวร และส่วนของขดลวดตัวนำ ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอาศัยสนามแม่เหล็ก 2 ชุดที่เกิดขึ้น ได้แก่ สนามแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

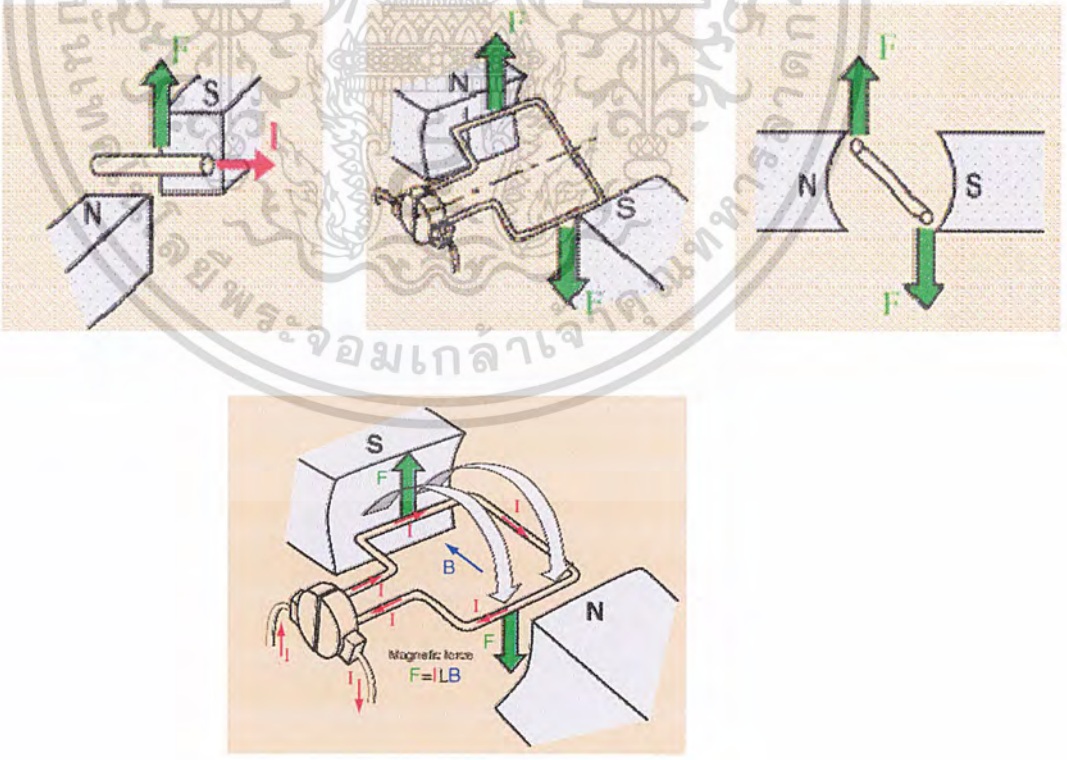
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวนำ ส่งผลให้เกิดการผลักดันกันขึ้นของสนามแม่เหล็กทั้งสองทำให้ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ ที่วางอยู่กลางแม่เหล็กถาวรเกิดการหมุนเคลื่อนที่ไปได้ การหมุนเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำ และทิศทางการเคลื่อนที่

2.5.1 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Source) เป็นมอเตอร์แบบเบื้องต้นที่ถูกผลิตมาใช้งาน และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Source) มอเตอร์ชนิดนี้ถูกพัฒนามาจากมอเตอร์กระแสตรง เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย แม่เหล็กถาวร 2 ขั้ววางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำ ขดลวดตำนำจะได้รับแรงดันไฟตรงป้อนให้ในการทำงาน ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก 2 ชุด มีขั้วแม่เหล็กเหมือนกันวางใกล้กัน เกิดแรงผลักดันทำให้ขดลวดตัวนำหมุนเคลื่อนที่ได้ การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 รูปแสดงการทำงานของมอเตอร์

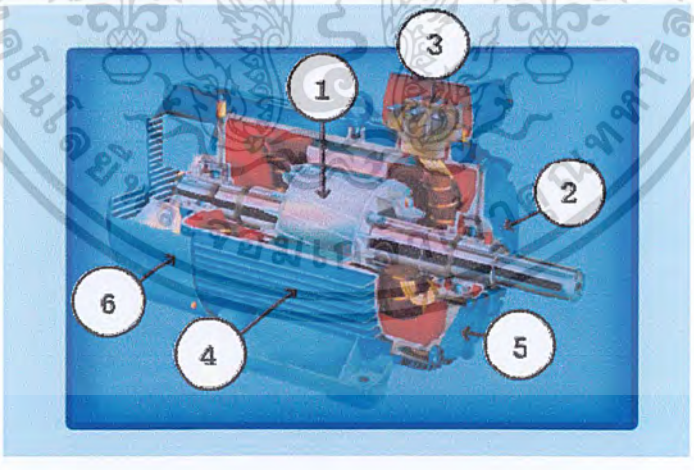
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

119183

จากรูปที่ 2.16 เป็นการทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงดันไฟตรงจ่ายผ่านแปรงถ่านไปคอมมิวเตเตอร์ ผ่านไปให้ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา ทางด้านซ้ายมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวาเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ๆ เกิดอำนาจแม่เหล็กผลักดันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์ เปลี่ยนไปในอีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ๆ อีกครั้ง ทำให้อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลักให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน

2.5.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตมาใช้งาน มีโครงสร้างและส่วนประกอบคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีส่วนประกอบที่สำคัญเหมือนกัน มีรูปร่างลักษณะภายนอกคล้ายกัน แตกต่างกันตรงการนำไปใช้งาน โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้เกิดไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟตรงออกมา ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนเกิดพลังกลขึ้นมา ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบต่างๆของมอเตอร์

1.) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือ ขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวร ขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอาบน้ำยาฉนวน สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) คือแกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไฟไหลวน (Edy Current) ที่จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุด แทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

3.) โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือ ส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

4.) อาร์เมเจอร์ (Armature) คือส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเซาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาบน้ำยาฉนวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่ และมีลิ่มไฟเบอร์อัดแน่นขัดขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมอเจอร์ผลักดันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

5.) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แต่ละแท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica) อาร์เมเจอร์คอมมิวเตเตอร์ ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมอร์

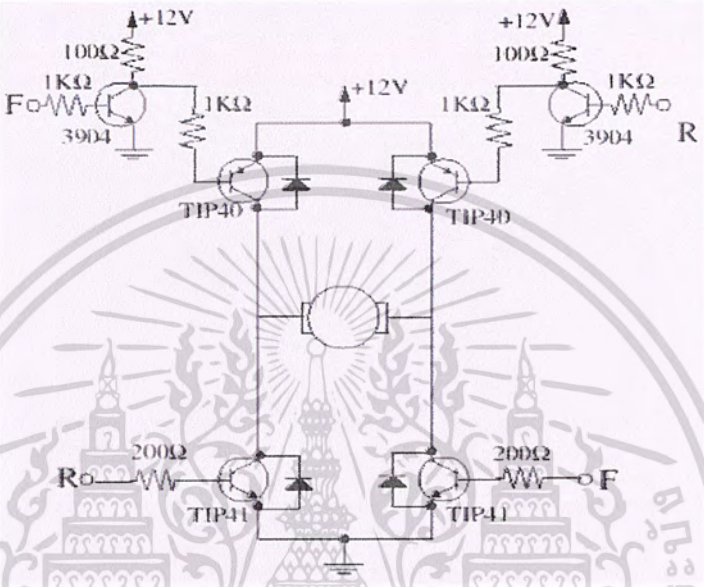
6.) แปรงถ่าน (Brush) คือตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายจ่ายผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์

โดยในส่วนการทำงานของมอเตอร์นั้นเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) เนื่องจากมอเตอร์กระแสตรงมีขนาดเล็ก ง่ายต่อการควบคุม ราคาถูก และยังง่ายต่อการดูแลรักษาด้วย ในการทำงานของ DC motor หรือมอเตอร์กระแสตรง ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าคงที่มาขับมอเตอร์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

เราสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้ โดยการใช้วงจรที่เรียกว่า H-bridges ซึ่งวงจรจะมีลักษณะดังภาพข้างล่าง



รูปที่ 2.18 H-bridges

2.6.1 การทำงานของวงจร

- ทรานซิสเตอร์สองตัวจะ on ส่วนอีกสองตัวจะ off เพื่อควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา
- เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา สามารถทำได้โดยการสลับการทำงานของทรานซิสเตอร์ให้มีสถานะตรงข้ามกับกรณีการหมุนตามเข็มนาฬิกา

อย่างไรก็ตาม ได้มีการออกแบบวงจร H-bridges ให้รวมในชิปเพียงตัวเดียว เช่น SN754410 ซึ่งเราสามารถนำ 8051 มาควบคุมได้โดยตรง เนื่องจากใน SN754410 จะมีส่วนของวงจรขยายสองภาครวมอยู่ในชิปอยู่แล้ว

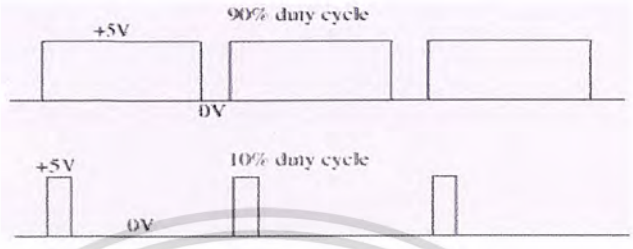
2.6.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์

วงจรที่ได้กล่าวมาข้างต้นไม่สามารถควบคุมให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วต่าง ๆ กันได้ ดังนั้นเมื่อต้องการให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วต่าง ๆ กันจึงต้องมีการเพิ่มวงจรควบคุมเข้าไป เช่น pulse width modulation ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงาน

1. pulse width modulation จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยมออกมา ซึ่งจะมี duty cycle ต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับความเร็วที่ต้องการควบคุม ดังตัวอย่างในภาพข้างล่าง



รูปที่ 2.19 pulse width modulation

2. คาบเวลาของสัญญาณควรจะอยู่ในระดับมิลลิวินาที (millisecond) หรือความถี่อยู่ในระดับกิโลเฮิร์ต อีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงคือ การควบคุมโดยใช้โปรแกรมผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้วิธีการการควบคุมโดยใช้การโปรแกรมผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์

2.7 ระบบเซนเซอร์

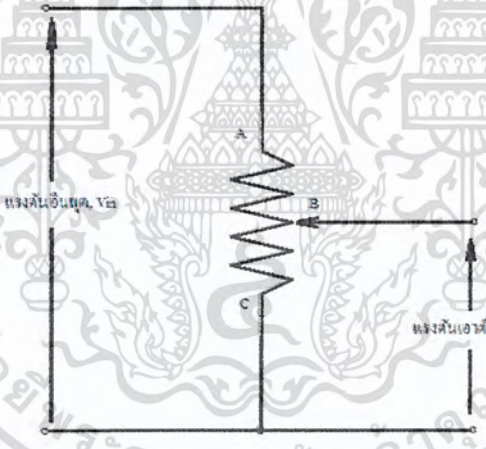
เซนเซอร์ คือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ หรือปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ แสง เสียง แรงทางกล (force) ความดันบรรยากาศ (pressure) ระยะขจัด (displacement) ความเร็ว (speed) อัตราเร่ง (acceleration) ระดับของเหลว (liquid level) หรือกระทั่งอัตราการไหล (flow rate) เป็นต้น จากนั้นจะทำหน้าที่เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณออก หรือปริมาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดในอีกรูปแบบหนึ่ง ที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้

ในส่วนการตรวจวัดและตรวจจับปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ นั้น มักถูกกำหนดตามความต้องการของอุตสาหกรรมการผลิตในการที่จะตรวจสอบ ควบคุมค่ากระบวนการ ตลอดจนนำตัวแปลทางฟิสิกส์เหล่านั้นไปใช้งาน ดังนั้นเงื่อนไขซึ่งเป็นปัจจัยในการเลือกเซนเซอร์ใช้งานจึงขึ้นอยู่กลับธรรมชาติของปริมาณทางฟิสิกส์ที่จะทำการวัดและควบคุมค่าเป็นสำคัญ รวมไปถึงราคา ความน่าเชื่อถือ ตลอดจนคุณภาพของข้อมูลที่ทำการวัด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยสำคัญอื่นที่ควรพิจารณาอีก อาทิเช่น ความเหมาะสมของเซนเซอร์ที่จะนำไปใช้งานในสภาพนั้นๆ ตัวอย่างเช่น เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ถูกออกแบบให้ใช้งานในบ้านพักอาศัยทั่วไปจะมีความแตกต่างและไม่สามารถนำไปใช้แทนเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ใช้ในโรงงานผลิตสารเคมีได้ เป็นต้น

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการแสวงหาผลประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer or Potentiometric)

โพเทนชิโอมิเตอร์ เป็นตัวตานทานทางไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีสามขั้วและสามารถปรับค่าได้ โดยโครงสร้างทั่งไปของโพเทนชิโอมิเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.20 ประกอบด้วยหน้าสัมผัส (sliding contact) ที่สามารถเลื่อนขึ้นหรือลงผ่านตามความยาวของลวดความต้านทานได้ โดยหน้าสัมผัสหรือบางครั้งนิยมเรียกว่า "ไวเปอร์ (wiper)" นี้จะถูกต่อเชื่อมกับแท่งวัดซึ่งต่ออยู่กับวัตถุที่ต้องการตรวจสอบระยะขจัด ทั่วไปแล้วรูปแบบของหน้าสัมผัสของโพเทนชิโอมิเตอร์มักมีการออกแบบแตกต่างกันออกไปซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยละเงื่อนไขในการนำไปประยุกต์ใช้งาน แต่ไม่ว่าจะมีรูปแบบแบบไหน วัสดุที่นำมาใช้ในการทำหน้าสัมผัสมักนิยมทำมาจากโลหะทองแดงผสมเสียเป็นส่วนมาก ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า โลหะทองแดงผสมมีความยืดหยุ่นตัวสูงจึงทำให้นำไปขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย รวมทั้งยังมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดีอีกด้วย ส่วนลวดตัวต้านทานของโพเทนชิโอมิเตอร์นั้นนิยมทำมาจากลวดนิเกิลหรือลวดแพลทินัม นำมาพันรอบแกนที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้า



รูปที่ 2.20 โครงสร้างโพเทนชิโอมิเตอร์

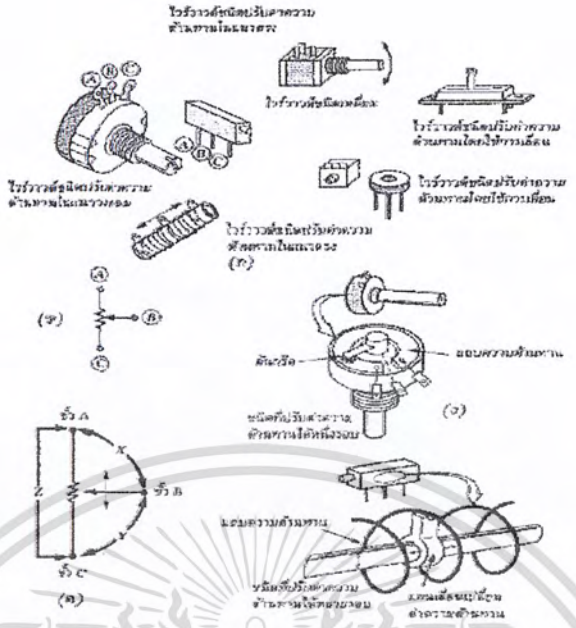
ชนิดของโพเทนชิโอมิเตอร์

1.1 โพเทนชิโอมิเตอร์แบบเชิงเส้น (linear potentiometer) ใช้ในการวัดระยะทางที่เป็นเส้นตรง

1.2 โพเทนชิโอมิเตอร์แบบเชิงมุม (rotary potentiometer) ใช้สำหรับวัดระยะในลักษณะการหมุน

1.3 โพเทนชิโอมิเตอร์แบบไวร์วาวด์หมุนได้ประมาณ 300 รอบ/นาที โพเทนชิโอมิเตอร์แบบต่อเนื่อง อาจจะหมุนได้ถึง 2,000 รอบ/นาที

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ชนิดของโพเทนชิโอมิเตอร์

1. ความละเอียด (Resolution) ของโพเทนชิโอมิเตอร์ คือ การเปลี่ยนแปลงความต้านทานค่าน้อยที่สุด เมื่อแขนโพเทนชิโอมิเตอร์เคลื่อนที่จากขดลวดช่วงหนึ่งไปยังอีกช่วงหนึ่ง

$$Resolution = \frac{full\ scale\ displacement}{Number\ of\ turn\ of\ wire}$$

2. การปรับสภาพสัญญาณ สัญญาณรบกวนของโพเทนชิโอมิเตอร์จะเกิดจาก วัสดุที่ใช้ทำ พบว่า ค่ารบกวนดังกล่าวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิและกระแสของตัวมัน ดังนั้นเพื่อให้มีค่ารบกวนน้อยที่สุดจึงต้องรักษาแรงเคลื่อนที่จ่ายให้มีค่าต่ำสุด

โดยการตรวจจับสัญญาณนั้นจะใช้ โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer or Potentiometric) ต่อผ่านเฟืองขับสายผ่าน ส่วนที่เฟืองอีกตัวจะต่อกับแกนของแท่นรับเท้า เมื่อมอเตอร์หมุน โพเทนชิโอมิเตอร์ก็จะหมุนตามก็จะใช้ค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงมาเข้าคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการควบคุมองศาที่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 LCD

2.8.1 จอ LCD คืออะไร

เทคโนโลยีมอนิเตอร์ LCD ย่อมาจาก Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นจอแสดงผลแบบ (Digital) โดยภาพที่ปรากฏขึ้นเกิดจากแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากหลอดไฟด้านหลังของจอภาพ (Black Light) ผ่านชั้นกรองแสง (Polarized filter) แล้ววิ่งไปยัง คริสตัลเหลวที่เรียงตัวด้วยกัน 3 เซลล์คือ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน กลายเป็นพิกเซล (Pixel) ที่สว่างสดใสเกิดขึ้น

เทคโนโลยีที่พัฒนามาใช้กับ LCD นั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. Passive Matrix หรือที่เรียกว่า Super-Twisted Nematic (STN) เป็นเทคโนโลยีแบบเก่าที่ให้ความคมชัดและความสว่างน้อยกว่า ใช้ในจอโทรศัพท์มือถือทั่วไปหรือจอ Palm ขาวดำ เป็นส่วนใหญ่
2. Active Matrix หรือที่เรียกว่า Thin Film Transistors (TFT) สามารถแสดงภาพได้คมชัดและสว่างกว่าแบบแรก ใช้ในจอมอนิเตอร์หรือโน๊ตบุ๊ก

เทคโนโลยีมอนิเตอร์แบบ LCD มีจุดเด่นหลายประการคือ

- ขนาดเล็กกะทัดรัด และน้ำหนักเบา คือ ด้วยการทำงานที่ไม่ต้องอาศัยปืนยิงอิเล็กตรอนจึงช่วยให้ด้านลึกของจอภาพมีขนาดสั้นกว่ามอนิเตอร์แบบ CDT ถึง 3 เท่า และด้วยรูปร่างที่แบนราบทางด้านหน้าและด้านหลัง ในบางรุ่นจึงมีอุปกรณ์เสริมพิเศษสำหรับติดฝาผนังช่วยให้ประหยัดพื้นที่มากยิ่งขึ้น
- พื้นที่การแสดงผลเต็มพื้นที่ คือ จากเทคโนโลยีพื้นฐานในการออกแบบ ทำให้จอมอนิเตอร์แบบ LCD สามารถแสดงผลได้เต็มพื้นที่เมื่อเปรียบเทียบกับแบบ CDT ขนาด 17 นิ้วเท่ากัน พื้นที่แสดงผลที่กว้างที่สุดจะอยู่ที่ 15 นิ้วกว่าๆ เท่านั้น
- ให้ภาพที่คมชัด มีรายละเอียดสูง และมีสัดส่วนที่ถูกต้อง เนื่องจากมอนิเตอร์มีความแบนราบจริง
- ช่วยถนอมสายตาและมีอัตราการแผ่รังสีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพต่ำมาก
- ประหยัดพลังงานไฟฟ้า คือ ด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่าจอ CDT ถึง 60 เปอร์เซ็นต์
- ความสามารถในการรองรับอินพุต (Input) ได้หลายๆแบบพร้อมกัน เนื่องด้วยมอนิเตอร์แบบ LCD สามารถรับสัญญาณจากแหล่งสัญญาณดิจิตอลอื่นๆได้ เช่น โทรทัศน์หรือเครื่องเล่นดีวีดีและบางรุ่นสามารถทำภาพซ้อนจากหลายแหล่งข้อมูลได้ จึงทำให้จอมอนิเตอร์แบบ LCD เป็นได้ทั้งเครื่องรับโทรทัศน์และจอมอนิเตอร์ในเวลาเดียวกัน โดยไม่จำเป็นต้องซื้อมอนิเตอร์หลายๆตัวมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 ประเภทของจอภาพแบบ LCD

จอภาพแบบ LCD ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบ Passive Matrix หรือ DSTN และแบบ Active Matrix หรือ TFT จอภาพ LCD ประเภท Passive Matrix มีใช้มานานแล้ว ซึ่งจอภาพแบบนี้จะนิยมใช้เป็นหน้าปัดนาฬิกา รวมถึงจอแสดงผลของ โทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นเก่าๆ ด้วยส่วนแบบ Active Matrix จะมีคุณภาพในการแสดงผลที่ดีกว่าและก็มีราคาแพงกว่า แบบ Passive Matrix จึงนิยมใช้ในการแสดงผลที่ต้องการคุณภาพสูง เช่น ทำจอภาพสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือจอภาพโฆษณาขนาดใหญ่ที่ติดตั้งตามอาคารสูงๆ เป็นต้น

- ประเภท Passive Matrix หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า DSTN จอภาพ LCD แบบนี้จะมีการนำทรานซิสเตอร์เข้ามาช่วยในการทำงานบางส่วน เพื่อให้การแสดงผลทำได้ดีกว่าจอภาพ LCD ในรุ่นแรกๆ แต่อย่างไรก็ตามจอภาพประเภท DSTN นี้ก็ยังให้คุณภาพของการแสดงผลไม่ดีนัก เพราะการควบคุมการทำงานในแต่ละจุดของจอภาพยังทำได้ช้า ดังนั้น เมื่อเราใช้จอภาพแบบนี้เล่นเกมหรือดูภาพยนตร์ จอภาพจะไม่สามารถแสดงผลได้ทันกับความเร็วของภาพ ในปัจจุบันจึงไม่เป็นที่นิยมใช้กันแล้ว
- ประเภท Active Matrix หรือที่มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแบบ TFT เพราะจอภาพ LCD แบบนี้จะนำทรานซิสเตอร์แบบ Thin-Film มาใช้ควบคุมการแสดงผลในแต่ละจุดบนจอภาพ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมดีกว่าแบบ Passive Matrix มาก แต่ข้อเสียก็คือ การออกแบบที่ซับซ้อนมากขึ้นเพราะถ้าเราจะออกแบบ จอภาพ LCD แบบ Active Matrix ให้แสดงผลที่ความละเอียด 1,024x768x3 เพราะแต่ละจุดประกอบด้วยตัวควบคุมแม่สีแสง 3 สี ก็คือ ต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 3 ตัวใน 1 จุด อีกทั้งการออกแบบก็ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เพราะถ้ามีทรานซิสเตอร์เสียเพียงตัวเดียวจะส่งผลให้จุดบนจอภาพแสดงสีเพี้ยนหรือไม่ก็เป็นจุดดำมืดไปทันที

2.9 สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไปสลับโวลต์สูง ให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเลคทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (Linear Power Supply) ถึงแม้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบ จะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกัน แต่สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะต้องการใช้หม้อแปลงที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น อีกทั้งสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตเราอย่างมาก เครื่องใช้อิเลคทรอนิกส์ขนาดเล็กซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังสูงแต่มีขนาดเล็ก เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องโทรสาร และ โทรทัศน์ จำเป็นจะต้องใช้สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย แนวโน้มการนำสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายมาใช้ในเครื่องใช้อิเลคทรอนิกส์ทุกประเภทจึงเป็นไปได้สูง การศึกษาหลักการทำงานและการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานอิเลคทรอนิกส์ทุกประเภท

2.9.1 สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น

ข้อได้เปรียบของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น คือ ประสิทธิภาพที่สูง ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบากว่าแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำจึงมีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก ขณะใช้งานจะมีแรงดันและกระแสผ่านตัวหม้อแปลงตลอดเวลา กำลังงานสูญเสียที่เกิดจากหม้อแปลงจึงมีค่าสูง การคงค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นส่วนมากจะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรมที่เอาต์พุตเพื่อจ่ายกระแสและคงค่าแรงดัน กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะมีค่าสูงและต้องใช้แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งกินเนื้อที่ เมื่อเพาเวอร์ซัพพลายต้องจ่ายกำลังงานสูงๆ จะทำให้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ปกติแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะมีประสิทธิภาพประมาณ 30% หรืออาจทำได้สูงถึง 50% ในบางกรณี ซึ่งนับได้ว่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งมีประสิทธิภาพในช่วง 65% - 80%

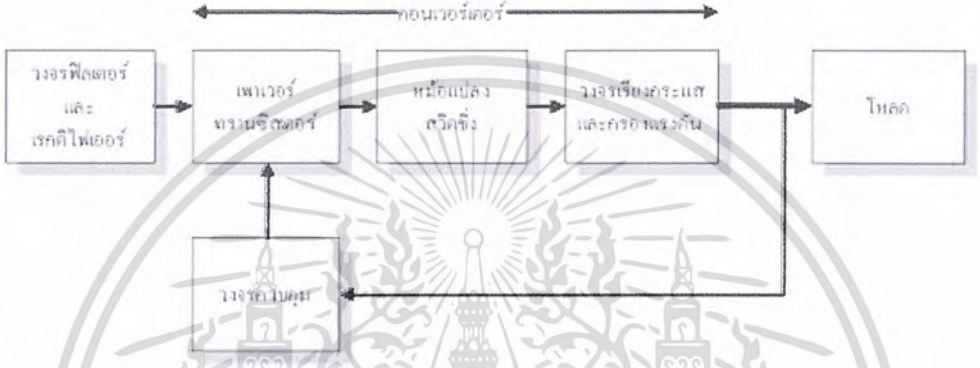
สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายมีช่วงเวลาโคลสต์อัพประมาณ 20x10-3 ถึง 50x10-3 วินาที ในขณะที่แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะทำได้เพียงประมาณ 2x10-3 วินาที ซึ่งมีผลต่อการจัดหาแหล่งจ่ายไฟสำรองเพื่อป้องกันการหยุดทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้กับเพาเวอร์ซัพพลายเมื่อเกิดการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ รวมทั้งสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายสามารถทำงานได้ในช่วงแรงดันอินพุตค่อนข้างกว้างจึงยังคงสามารถทำงานได้เมื่อเกิดกรณีแรงดันไฟตกอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะมีเสถียรภาพในการทำงานที่ต่ำกว่า และก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น รวมทั้งสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายยังมีความซับซ้อนของวงจรมากกว่าและมีราคาสูง ที่กำลังงานต่ำๆ แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะประหยัดกว่าและให้ผลดีเท่าเทียมกัน ดังนั้นสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจึงมักนิยมใช้กันในงานที่ต้องการกำลังงานตั้งแต่ 20 วัตต์ ขึ้นไปเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 หลักการทำงานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไปมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน และไม่ซับซ้อนมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.22 หัวใจสำคัญของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากทำหน้าที่ทั้งลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันเอาต์พุตด้วย องค์ประกอบต่างๆ ทำงานตามลำดับดังนี้



รูป 2.22 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

แรงดันไฟสลับค่าสูงจะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI ฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและแปลงเป็นไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำงานเป็นเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยการตัดต่อแรงดันเป็นช่วงๆ ที่ความถี่ประมาณ 20-200 KHz จากนั้นจะผ่านไปยังหม้อแปลงสวิตชิ่งเพื่อลดแรงดันลง เอาต์พุตของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแส และกรองแรงดันให้เรียบ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้

สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าและมีน้ำหนักเบากว่าเพาเวอร์ซัพพลายเชิงเส้น สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายทำงานโดยแปลงแรงดันไฟสลับความถี่ต่ำจากอินพุตให้เป็นไฟตรง จากนั้นจึงเปลี่ยนกลับไปเป็นไฟสลับ (พัลส์) ที่ความถี่สูง แล้วส่งผ่านหม้อแปลงเพื่อลดแรงดันลง และผ่านวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันเพื่อให้ได้ไฟตรงอีกครั้งหนึ่ง สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ คือ วงจรฟิลเตอร์ และเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟสลับเป็นไฟตรง คอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟตรงเป็นไฟสลับความถี่สูง และแปลงกลับเป็นไฟตรงโวลต์ต่ำ และวงจรควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการออกแบบและขั้นตอนการทำงาน

ก่อนที่จะมีการออกแบบสร้างชิ้นงานนั้นจะต้องมีการคำนึกถึงหลักการต่างๆในการออกแบบ ทั้งทางด้านความแข็งแรง ประโยชน์ในการงาน และความสะดวกสบายในการใช้งาน ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีการคิด และการออกแบบเพื่อให้ได้แบบที่ต้องการ โดยมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน หลังนั้นจะเริ่มด้วยการออกแบบโครงสร้าง และศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการควบคุมการ และสุดท้ายคือการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม

3.1 ขั้นตอนการทำงานและการออกแบบ มีดังนี้

1.ทำการหาข้อมูลด้านกายภาพข้อเท้า ขนาดของข้อเท้า มาประยุกต์ใช้กับระบบทางด้านวิศวกรรม

2.ศึกษาอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการควบคุม

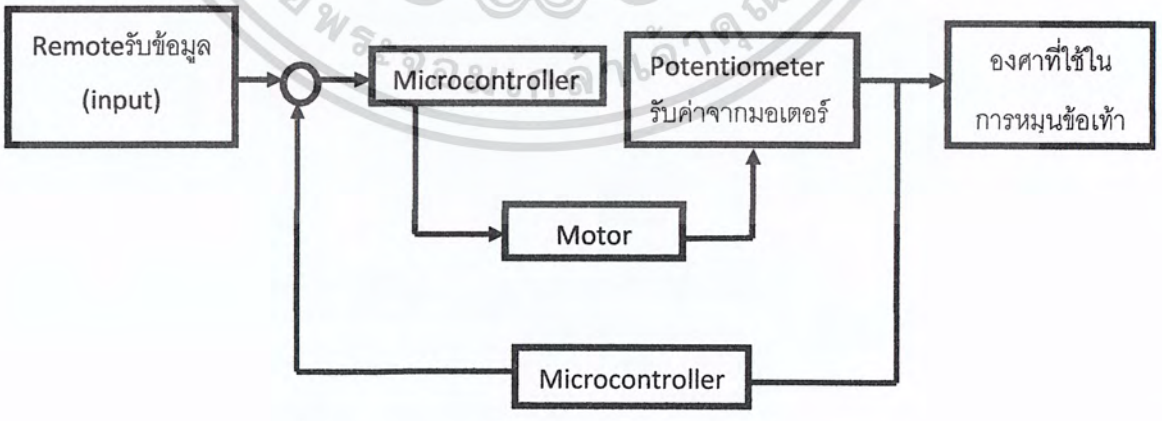
3.ศึกษาวิธีการควบคุม

4.ออกแบบโครงสร้างที่จะใช้งาน

5.ตรวจสอบระบบที่ใช้งาน

6.นำไปทดสอบกับผู้สนใจและเก็บข้อมูลเพื่อนำไปปรับปรุง

หลักการทำงานในภาพรวมของเครื่องบริหารข้อเท้า(CPM) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของเครื่องบริหารข้อเท้า (CPM)

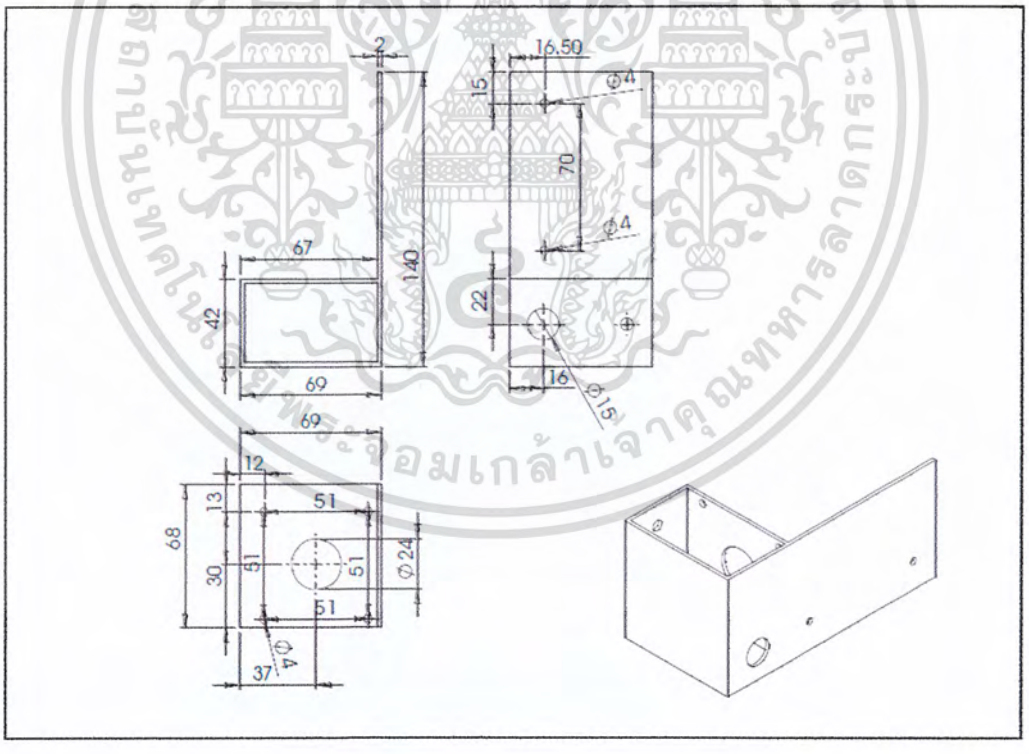
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แนวคิดการออกแบบตัวเครื่อง

การออกแบบนี้ใช้แนวคิดจากเครื่องกายภาพบำบัดที่มีขายอยู่ในปัจจุบันเป็นแนวคิดหลัก แล้วนำมาปรับแต่งเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิตตามแนวคิด โดยแบบที่นำมานั้นมีข้อดีตรงที่สามารถปรับแต่งให้จัดว่างได้หลายลักษณะตามความสะดวกของผู้ใช้งาน แต่ก็มีข้อเสียตรงที่จะรับน้ำหนักในบางจุดได้ไม่ดี โดยในการออกแบบนี้สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

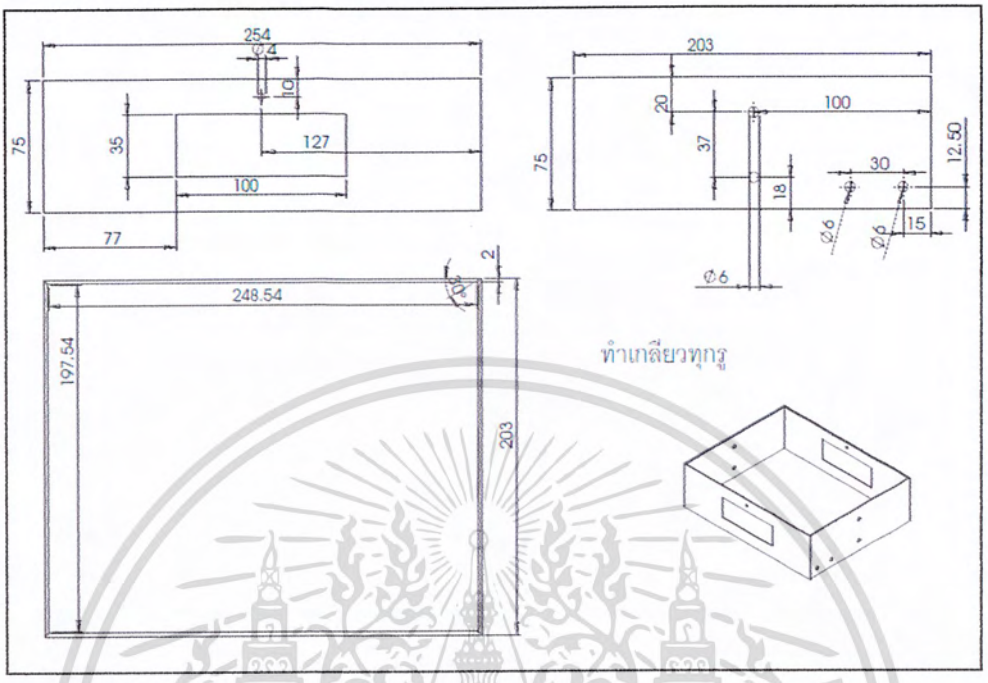
3.2.1 การออกแบบโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างนั้นได้ใช้โปรแกรม Solid Works เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบเพื่อสามารถมองเห็นภาพที่ต้องการได้อย่างชัดเจน และสามารถตรวจสอบการกระทำของแรงหรือน้ำหนักบนชิ้นงานนั้นๆได้อีกด้วย โครงสร้างหลักนั้นทำจากสแตนเลส เพราะเนื่องจากการใช้งานทางการแพทย์นั้นนิยมใช้มากกว่า เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความสวยงามและมีความคงทน อีกทั้งง่ายต่อการดูแลรักษา โดยประกอบด้วยวัสดุและอุปกรณ์ดังนี้

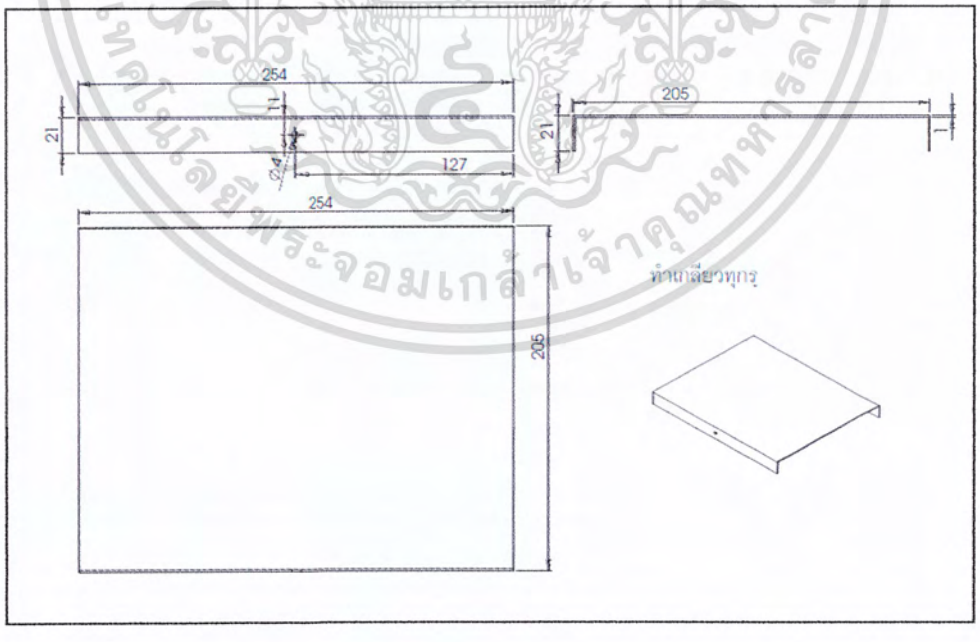


รูปที่ 3.2 หน้าแปนมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

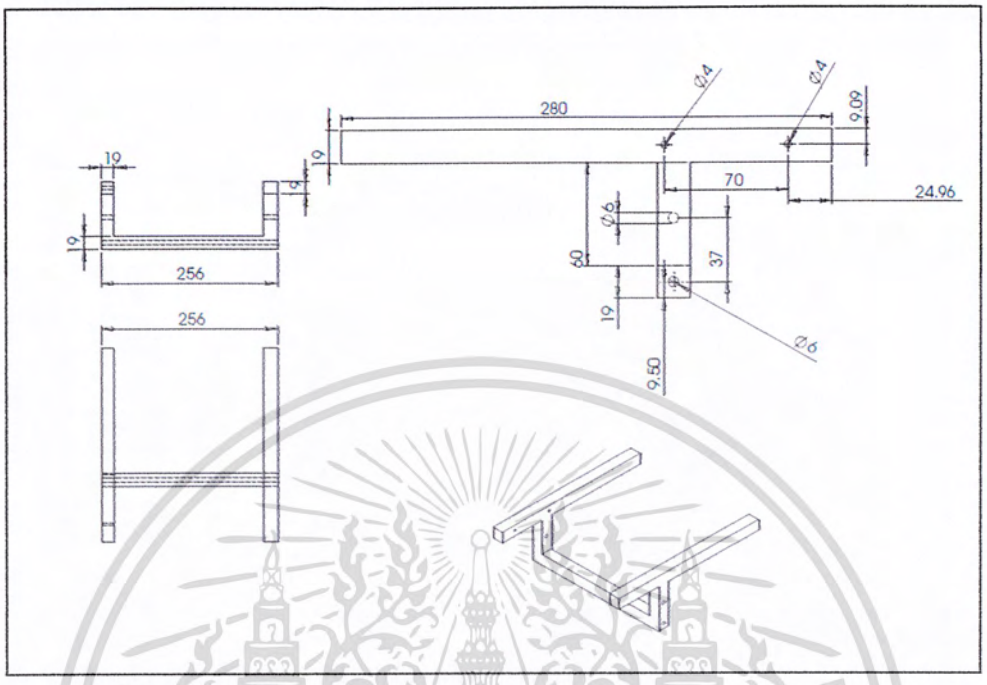


รูปที่ 3.3 กล่อง

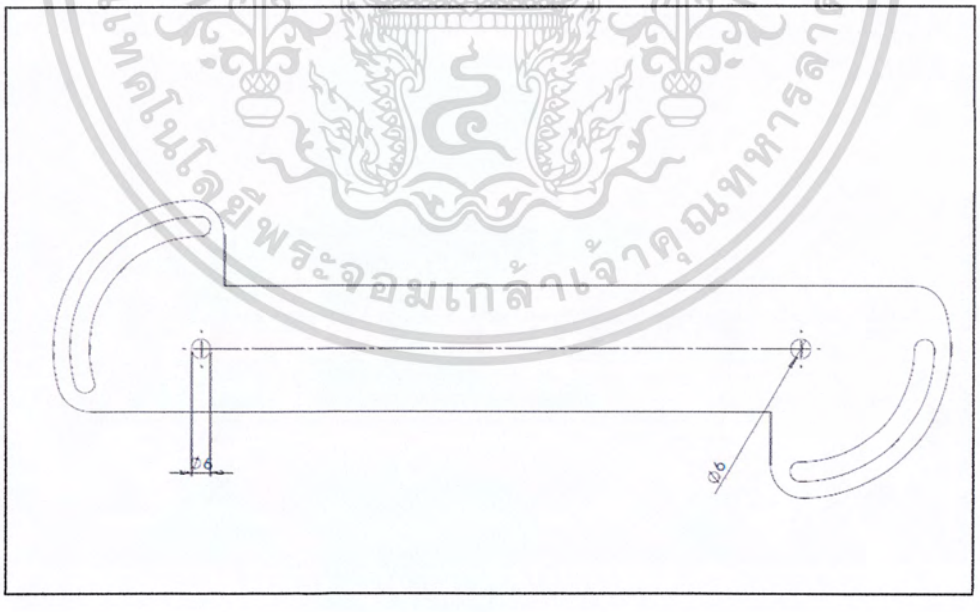


รูปที่ 3.4 ฝาปิดกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

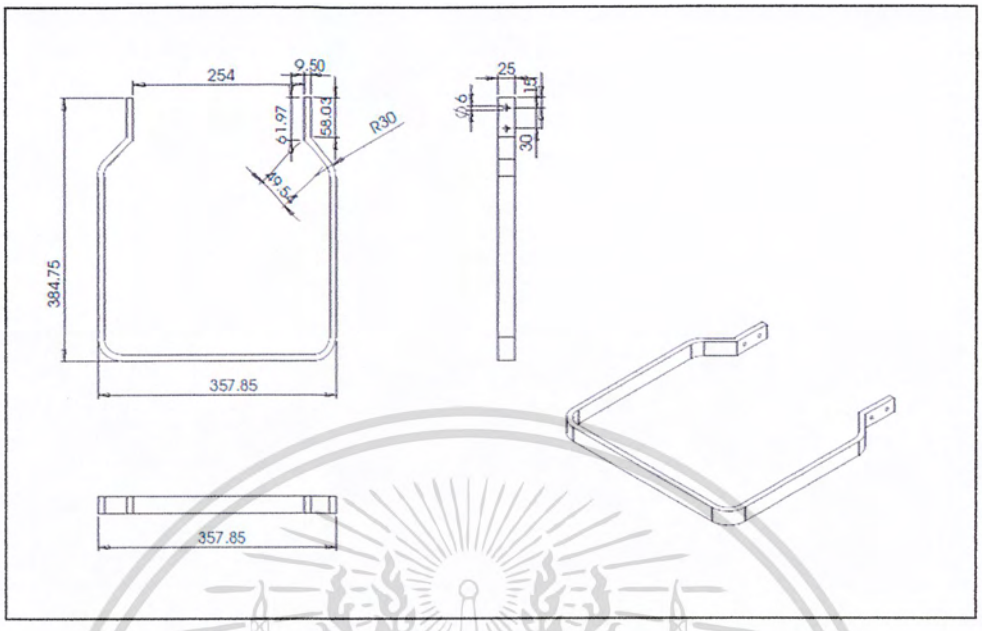


รูปที่ 3.5 แทนรับท่อนขา

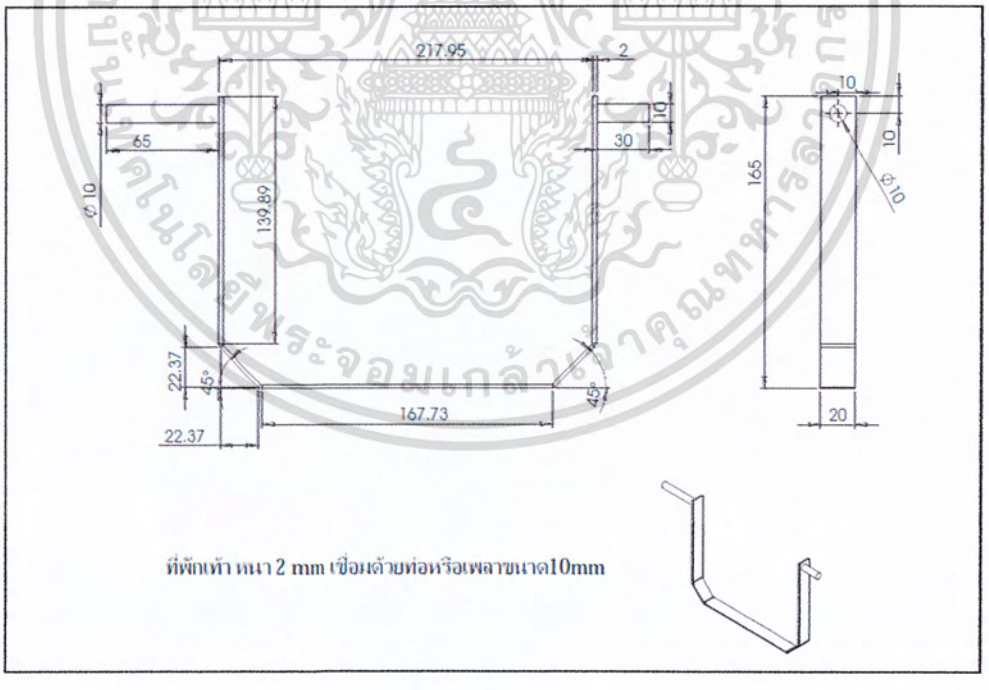


รูปที่ 3.6 แขนหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

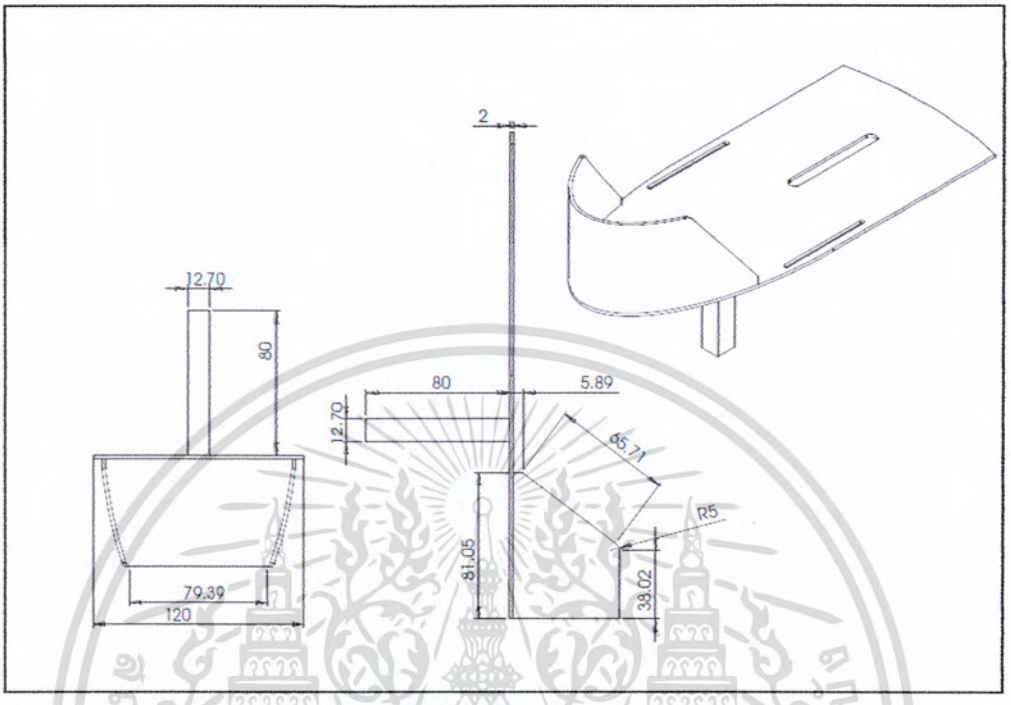


รูปที่ 3.7 ฐานรับน้ำหนัก

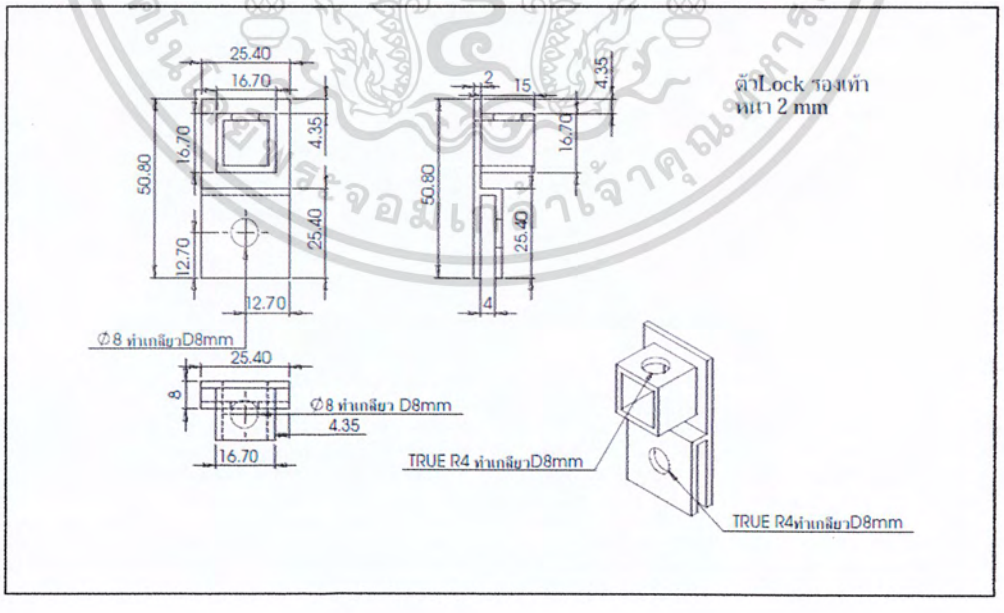


รูปที่ 3.8 แท่นรับเท้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

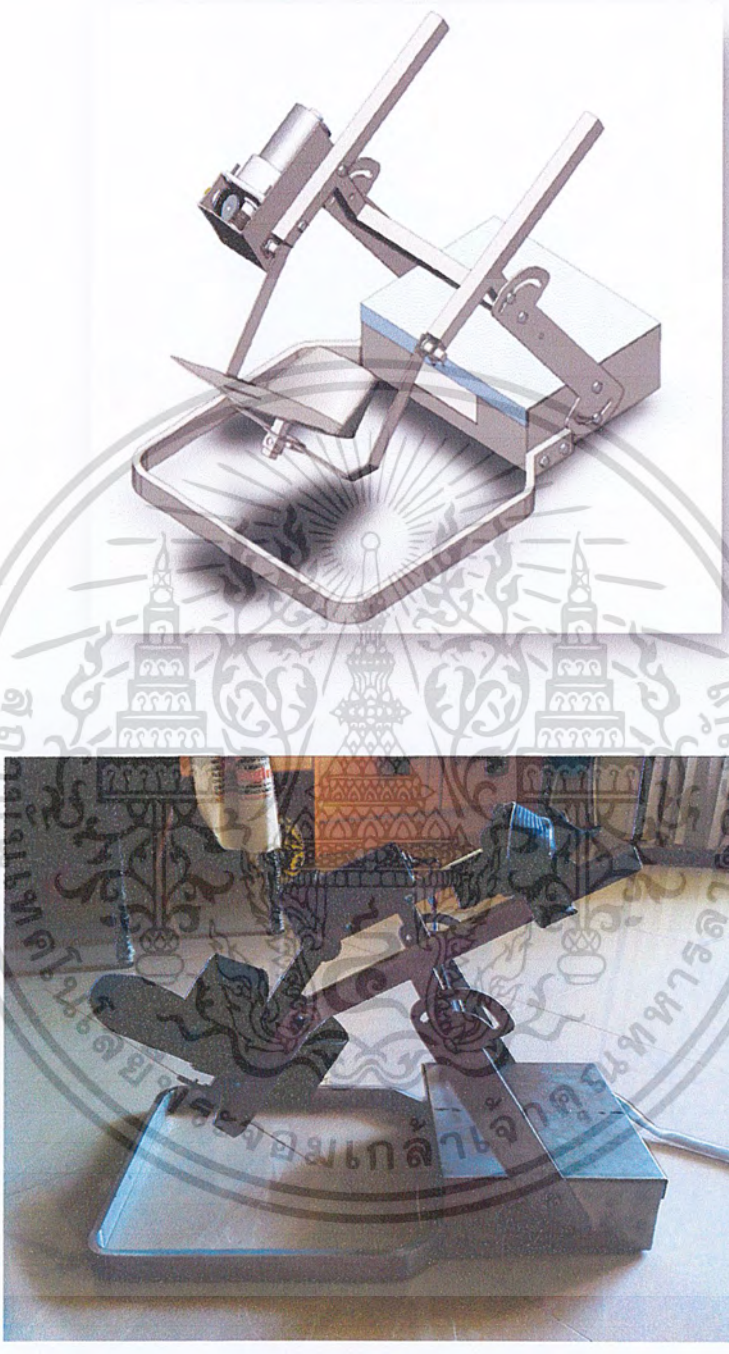


รูปที่ 3.9 รองเท้ารับเท้า



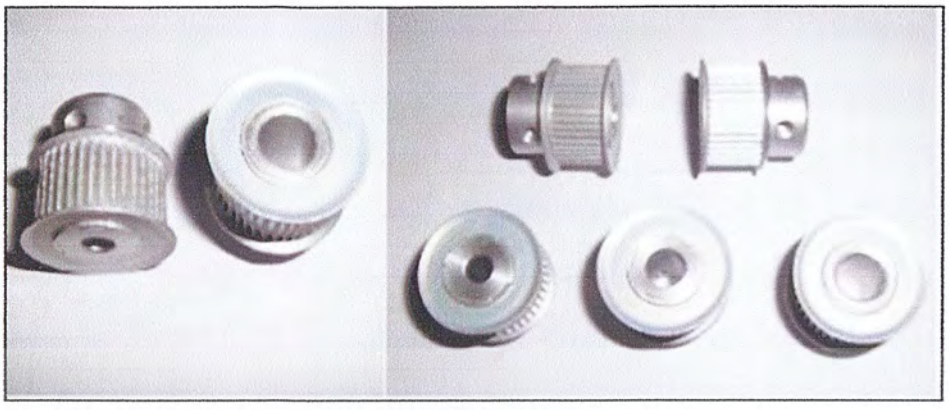
รูปที่ 3.10 ตัวล็อครองเท้ารับเท้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

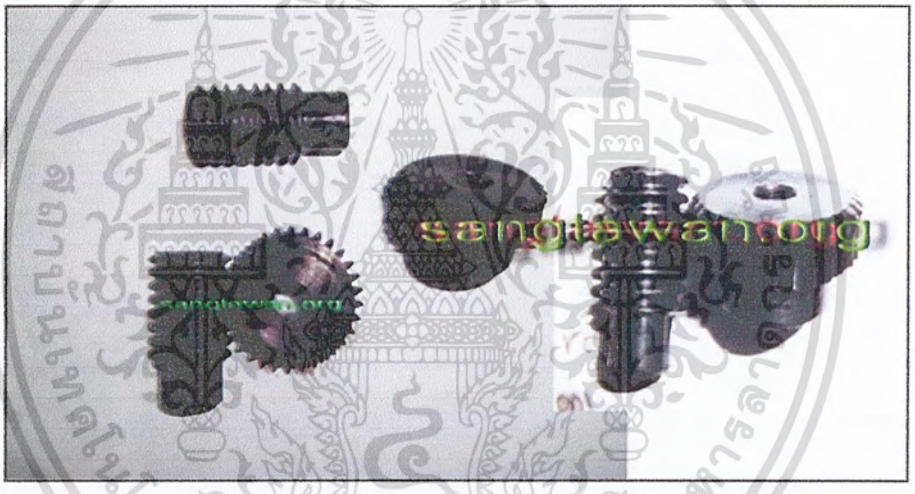


รูปที่ 3.11 รูปที่ประกอบสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 เฟืองขับสายพาน

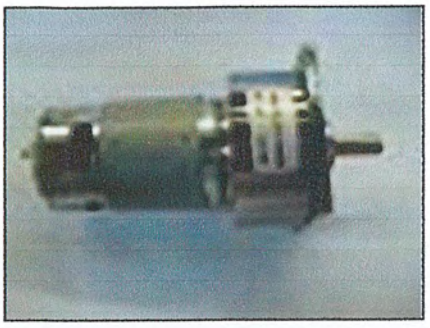


รูปที่ 3.13 เฟืองตัวหนอน

หน้าที่การใช้งานของเฟืองหนอน เฟืองหนอนประกอบด้วยเกลียวหนอนเพื่อให้เฟืองหนอนส่งกำลังไป เฟืองหนอนเป็นการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุมกัน 90 องศา เป็นการส่งกำลังจากความเร็วรอบสูงให้มาเป็นความเร็วรอบต่ำ

เฟืองตัวหนอนจำนวนมากมีคุณสมบัติที่น่าสนใจที่ตั้งเกียร์อื่น ๆ ไม่ได้ : หนอนสามารถเปิดเกียร์ แต่เกียร์ไม่สามารถเปิดหนอน หมายถึงว่า ตัวที่เป็นเฟืองหนอนสามารถหมุนตัวเกียร์ได้ แต่ตัวเกียร์ไม่สามารถหมุนเพื่อให้เฟืองหนอนหมุนได้ เนื่องจากมุมในหนอนเป็นตื้นเพื่อที่ว่าเมื่อเกียร์พยายามที่จะหมุนมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 มอเตอร์ที่ทำการเลือกใช้

จากรูปเป็น ดีซี มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องบริหารข้อเท้า โดยมีความเร็วอยู่ที่ *150* รอบต่อนาที

3.2.2 การออกแบบระบบควบคุม

เมื่อเรามีการคิดโครงสร้างได้อย่างคร่าวๆแล้วเราก็จะ ทำการหามอเตอร์เพื่อมาใช้งาน จากขอบเขตของเรื่องน้ำหนักในการใช้งาน ที่มากที่สุดอยู่ที่ 15 กิโลกรัม โดยมีการคำนวณดังต่อไปนี้

กำหนดให้น้ำหนักที่เครื่องได้รับ $= 15kg$

กำหนดให้แกนที่รับเท้า $= 0.15\ m.$

$\therefore$ แรงที่เกิดขึ้น $=$ น้ำหนัก x ระยะทาง$(N \cdot m)$

$$\tau = N \times s$$

$$\therefore \tau = 15 \times 10 \times 0.15$$

$$\tau = 22.5\ N \cdot m$$

$\because$ แรงบิดที่ $Moter$ ต้องรับคือ $22.5\ N \cdot m$

จากนั้นเลือก $moter$ จากห้องตลาด ที่ $150\ rpm.$ และทดเฟืองเพื่อเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของมอเตอร์โดยใช้อัตราทด $1:30$ จาก $moter$ ตัวนี้ สามารถรับแรงบิดได้ $5\ N \cdot m$ แต่เมื่อเพิ่มการทดเฟืองเข้าไปทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นดังนี้

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{5}{T_2} = \frac{1}{30}$$

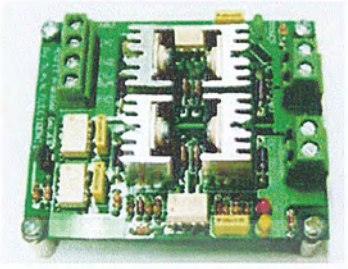
$$150 = T_2 \qquad N \cdot m$$

$\therefore$ **เมื่อทดเฟืองแล้วแรงบิดที่ได้คิดเป็น** $150\ N \cdot m$ **ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการ**

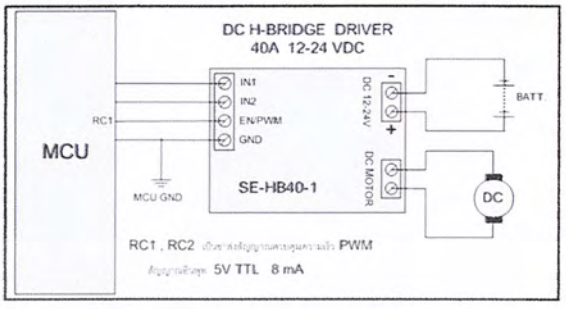
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

3.2.1 บอร์ดขับมอเตอร์ดีซี แบบ H-Bridge รุ่น SE-HB40-1



รูปที่ 3.15 บอร์ด H-Bridge รุ่น SE-HB40-1



รูปที่ 3.16 โครงการต่อบอร์ด

<u>รายละเอียดทางเทคนิค</u>

1. Output: Single motor driver

-Motor DC Supply 12-24 V 40A (Max.)

- Full-Complementary Power MOSFET Driver

With ultra-fast reverse recovery protection diodes

2. Input:

- Full Opto-isolated*input interface signals

- 5 V 8 mA TTL – Level

3. Driver Mode: independently with:

- ON – OFF Control

- Direction Control

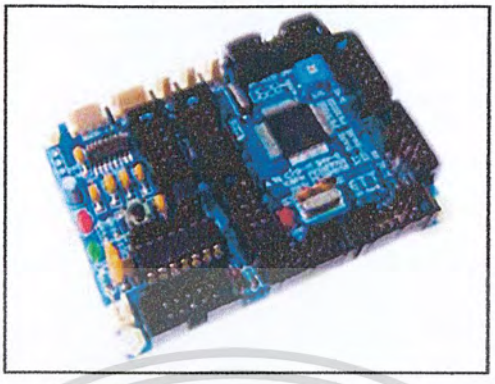
- Speed Control (PWM Driver)

4. PWM Frequency: 400 Hz – 1000 Hz (800 Hz Recommend)

EN/PWM	IN1	IN2	การทำงานของมอเตอร์
0V	X	X	Free Run Stop (หยุดเมื่อหมดแรงเฉื่อย)
5V	0V	5V	หมุนเดินหน้า
5V	5V	0V	หมุนกลับทาง
5V	5V	5V	Fast Stop หรือ Basic
5V	0V	0V	Fast Stop หรือ Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 บอร์ดควบคุม Microcomtroller PIC18F8722



รูปที่ 3.17 บอร์ดควบคุม Microcomtroller PIC18F8722

บอร์ด PIC รุ่นใหม่ที่ใช้เครื่องโปรแกรม ET-PGM PIC USB ของทาง อีทีที ที่ต่อกับ PORT USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ผ่านทางขั้วมาตรฐานของบริษัท Microchip ขั้ว RJ-11 (ICD2) โดยจะมี 2 รุ่น โครงสร้าง และวงจรจะเหมือนกันทั้ง 2 รุ่น แตกต่างกันเฉพาะในส่วนของ MCU คือ

ET-BASE PIC8722 คือ บอร์ด PIC รุ่นใหม่ที่ใช้กับเครื่องโปรแกรม ET-PGM PIC USB V1 หรือ V1 PLUS ที่ต่อกับ

PORT USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ พีซี ของทาง อีทีที ผ่านทางขั้วมาตรฐานของบริษัท MICROCHIP ขั้ว RJ-11 (ICD2)

ใช้เบอร์ PIC18F8722 เป็น MCU ประจำบอร์ด ออกแบบเป็น PCB ขนาด SIZE BASE สามารถนำไปใช้งานอิสระ

หรือใช้กับบอร์ด ET-BASIC I/O V1 ก็ได้

- ใช้ MCU เบอร์ PIC18F8722-I/P, ขนาด 80 PIN TQFP TYPE
- หน่วยความจำแบบ FLASH 128 KBYTE, RAM 3936 BYTE, EEPROM 1024BYTE
- A TO D ขนาด 10 BIT 16 CH

คุณสมบัติร่วมของทั้ง 2 รุ่นเป็นดังนี้

- RUN X' TAL ON BOARD 10MHz, สามารถตั้งให้ RUN ได้เร็วถึง 40MHz ได้ในตัว
- จำนวน I/O PORT ใช้งาน 70 BIT
- ขั้ว 10 PIN ET BUS I/O 7 ชุด
- 14 PIN LCD PORT แบบ CHARACTER TYPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

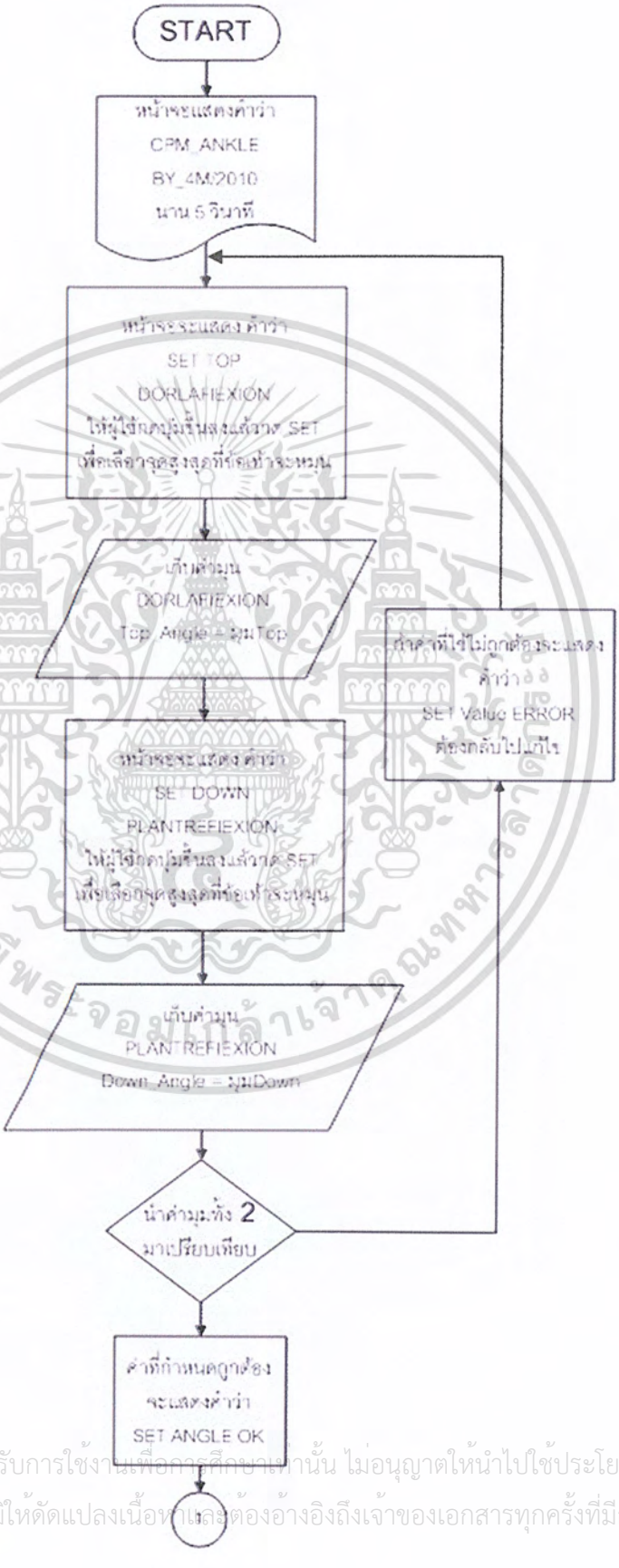
- RJ-11 (ICD2) ใช้ DOWNLOAD โปรแกรมเข้าตัว MCU ด้วยชุด ET-PGM PIC USB V1 หรือ V1 PLUS

พร้อม SW. เลือกการทำงาน

- RS232 PORT 2 ช่อง แบบขั้ว 4 PIN ETT (ICL3232 ON BOARD)
- TIMER / COUNTER, PWM, WATCH DOG
- POWER SUPPLY 5VDC สามารถใช้กับชุด POWER SUPPLY ของ ETT รุ่น ET-SWITCHING ADAPTER
- 5V/1.2A TYPE H
- ขนาด PCB 6.2 x 8.1 cm. มาตรฐาน ET-BASE SIZE

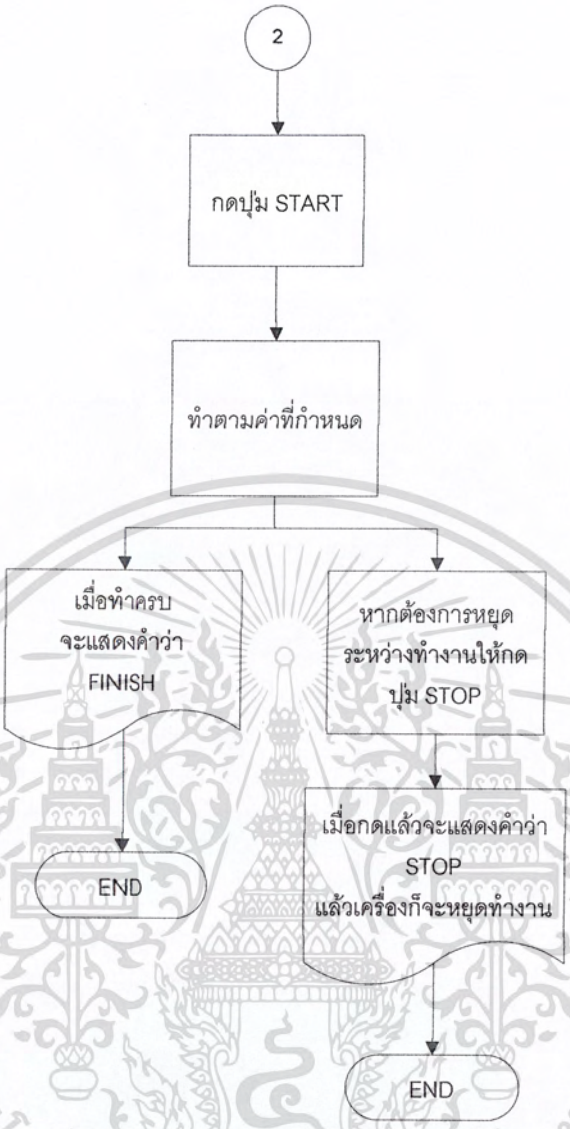
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โครงสร้างการทำงานของเครื่องบริหารข้อเท้า (CPM)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flows chart ที่ 3.1 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม

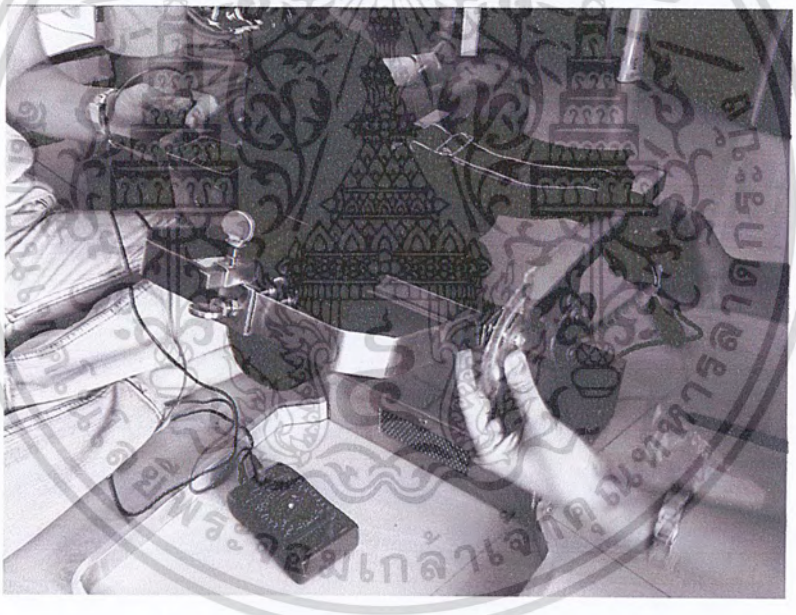
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 การทดลองเปลี่ยนแปลงของโพเทนทิออมิเตอร์และADC

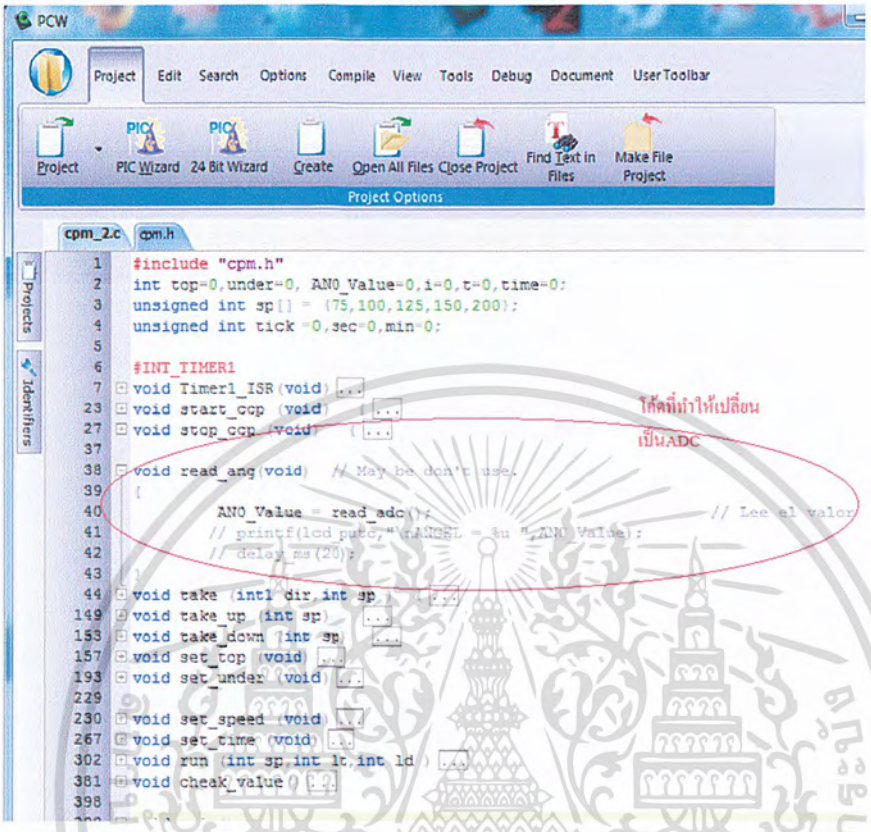
เครื่องนี้ได้มีการใช้โพเทนทิโอมิเตอร์ในการแปลงค่า เป็น ADC ดังนั้นการทดลองต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นว่าการใช้งานของ ADC นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และเป็นไปตามหลักการที่ได้ศึกษาไว้หรือไหม โดยได้ทำการวัดค่าแรงดันที่เกิดขึ้นจากโพเทนทิโอมิเตอร์ เมื่อทำการหมุนโพนเทนมิเตอร์ ก็จะเปรียบเสมือนการที่ข้อเท้าเราหมุน ในองศาต่างๆ จากนั้นทำการวัด และจดบันทึกค่า แล้วทำการคำนวนเปรียบเทียบโดยให้ สูตรในสมการที่ 2.1



รูปที่ 4.1 รูปการทดลองการเปลี่ยนแปลงของ ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งโปรแกรมที่ใช้งานนั้น ได้ใช้โปรแกรม PIC CCS ในการเขียนเพื่อควบคุม ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลADC

การทดลองเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของโพเทนทิออมิเตอร์และ ADC เมื่อทำการจดบันทึกแล้วดังตารางที่ 5.1

องศา	โอห์ม	ADC	V
120	589	170	3.30
110	560	157	3.04
100	504	152	2.78
90	434	131	2.65
80	285	128	2.38
70	166	118	2.10
60	106	100	1.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของโพเทนทิออมิเตอร์ และ ADC

จากการทดลองพบว่าค่า ADC ที่วัดได้เทียบกับค่าแรงดันอินพุต (V_{Input}) ของเซนเซอร์โพเทนทิออมิเตอร์เป็นไปตามทฤษฎีของ Analog to Digital Conversion (ADC) ในบทที่สองตามสมการที่ 2.1 ดังนั้นค่า ADC ที่ Micro Controller ส่งมาให้สามารถนำค่าไปใช้งานได้จริง

4.2 การทดลองความเร็วมอเตอร์

การทดลองเรื่องความเร็วของมอเตอร์โดยทำการทดลองคือ กำหนดจำนวนรอบของการหมุนขึ้นลงในองศาที่เท้ากันคือตั้งแต่ 60 องศา ถึง 120 องศา จำนวน 10 รอบ แล้วจับเวลาว่าการเคลื่อนที่ 10 รอบนั้นใช้เวลากี่นาที จากนั้นจึงทำการเทียบให้เป็นที่ 1 นาที ว่าที่ 1 นาทีจะได้จำนวนรอบการเคลื่อนกี่รอบ

รูปที่ 4.3 การทดลองความเร็วมอเตอร์

ซึ่งได้ผลการทดลองว่าค่า PWM มีผลต่อความเร็วของมอเตอร์ตามผลการทดลองดังต่อไปนี้

ค่าความเร็วมอเตอร์(PWM)	เวลาต่อการหมุน 10รอบ (วินาที)	จำนวนรอบต่อนาที (รอบ:นาที)
1(75)	93.02	6.45
2(100)	84.03	7.14
3(125)	82.98	7.23
4(150)	81.96	7.32
5(200)	75	8

ตารางที่ 4.2 การทดลองความมอเตอร์

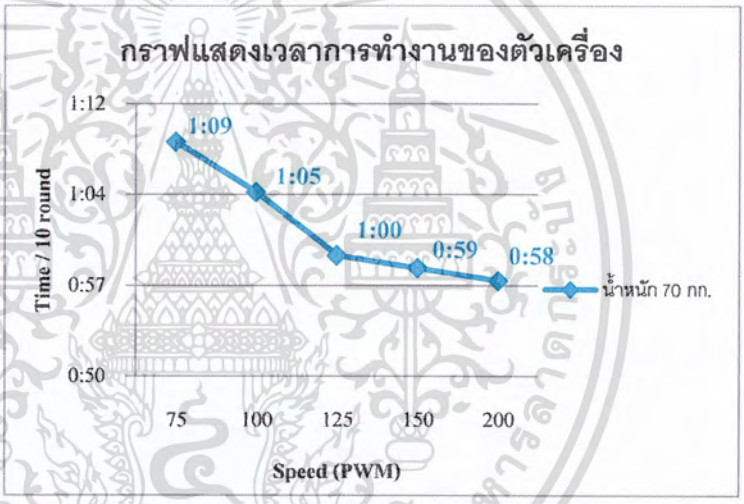
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าของ PWM เพิ่มขึ้นมีผลให้มอเตอร์เคลื่อนที่เร็วขึ้น รับโหลดได้มากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้เห็นถึงความแตกต่างของความเร็วมอเตอร์ แต่ในทางปฏิบัติการทำงานของตัวเครื่องนี้จะสิ้นสุดที่ตำแหน่งเริ่มต้น จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างจากจำนวนรอบของการบริหาร

4.3 การทดลองเวลาการทำงานของตัวเครื่องเทียบกับน้ำหนักคนที่ต่างกัน

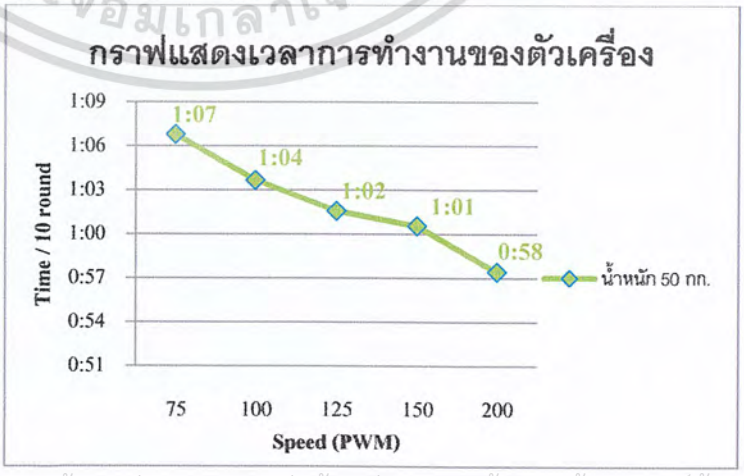
การทดลองนี้ทำเพื่อ แสดงให้เห็นถึงการแปลงเปลี่ยนของความเร็วที่มีผลต่อเวลา โดยมีน้ำหนักเป็นค่าคงที่ ซึ่งสมมติฐานคือ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นการทำงานของเครื่องจะใช้เวลาน้อยลง หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ความเร็วเดียวกันเวลาในการทำงานของเครื่องก็จะลดลงด้วยเช่นกัน

คนน้ำหนัก 70 กิโลกรัม	
time/10 round	Speed
1:09	75
1:05	100
1:00	125
0:59	150
0:58	200



(ก)

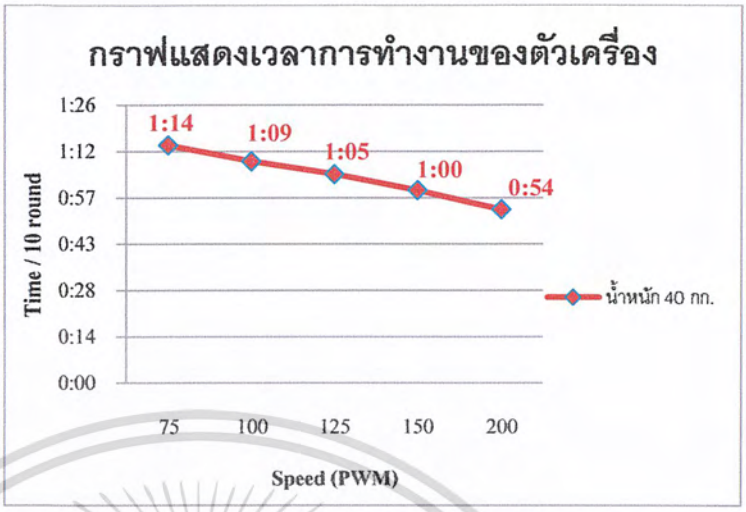
คนน้ำหนัก 50 กิโลกรัม	
time/10 round	Speed
1:07	75
1:04	100
1:02	125
1:01	150
0:58	200



(ข)

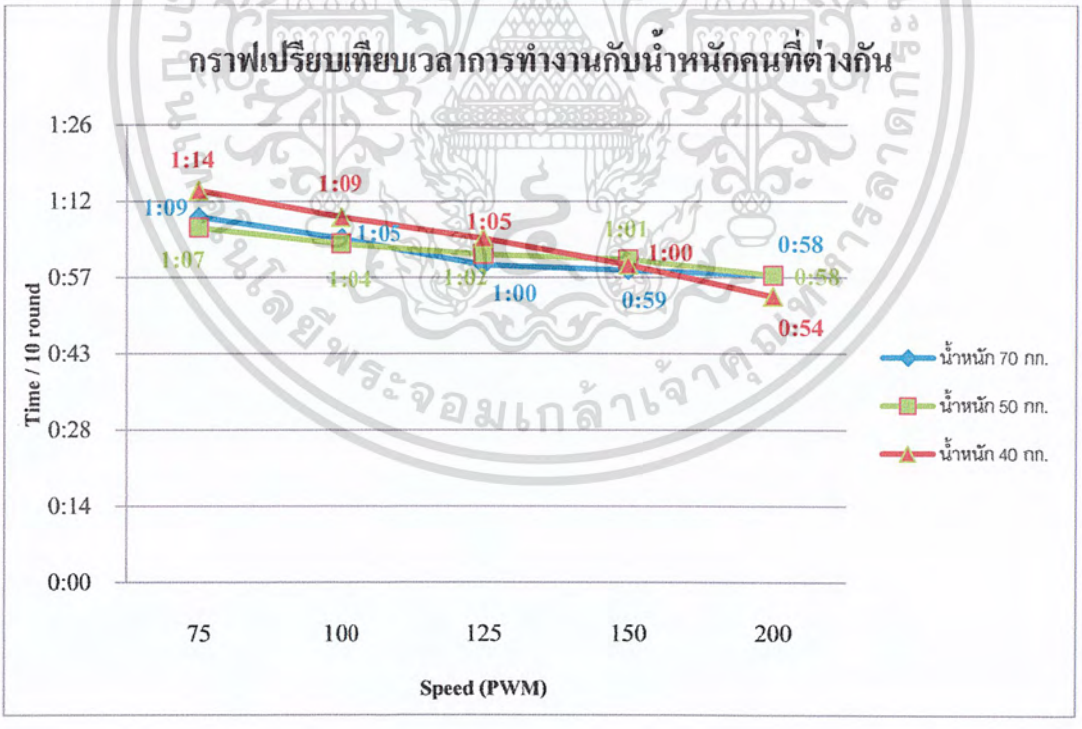
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนน้ำหนัก 40 กิโลกรัม	
time/10 round	Speed
1:14	75
1:09	100
1:05	125
1:00	150
0:54	200



(ค)

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วเทียบกับเวลา



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาการทำงานที่ความเร็วต่างกันกับน้ำหนักที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง โดยการใช้น้ำหนักที่แตกต่างกัน จำนวน 3 น้ำหนัก คือ 40 50 และ 70 กิโลกรัม ที่ความเร็วระดับต่างกัน พบว่า ในการเปรียบเทียบแต่ละน้ำหนักต่อความเร็ว จะเห็นว่ามีการแปรผันตรงกัน ดังแสดงใน รูปที่ 4.4 (ก) - 4.4 (ค) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความเร็วที่มากขึ้นจะทำให้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยลงเห็นได้จากกราฟ ซึ่งจะเห็นว่าเป็นไปตามสมมติฐานข้างต้นที่ว่า "เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นการทำงานของเครื่องจะใช้เวลาน้อยลง หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ความเร็วเดียวกันเวลาในการทำงานของเครื่องก็จะลดลงด้วยเช่นกัน"

แต่หากนำ ผลการทดลองของทั้ง 3 มาเปรียบเทียบกัน โดยใช้กราฟจะพบว่า ในแต่ละความเร็วของเครื่องบริหาร จะมีการเปลี่ยนแปลงของแต่ละช่วงเวลาต่างกันไม่มาก ถึงแม้ว่าน้ำหนักจะแตกต่างกันสังเกตได้จากรูปที 4.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องนี้สามารถรับน้ำหนักได้หลายระดับ แต่หากสังเกตการเปรียบเทียบของรูปที่ 4.4 (ก) กับ รูปที่ 4.4(ข) แล้ว จะพบว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ เนื่องจาก ผู้ทำการทดลองที่มีน้ำหนักมาก จะเกร็งข้อเท้าตามเครื่องจึงถือว่าเป็นการช่วยเครื่องไปในตัว ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีการใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าคนที่มีน้ำหนักน้อยกว่าดังแสดงในกราฟ จะเห็นได้ว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐาน แต่จากรูปที่ 4.4 (ข) และรูปที่ 4.4 (ค) มีการเปลี่ยนแปลของเวลาเป็นไปตามสมมติฐานเพราะว่า ผู้ทำการทดลอง ไม่ได้มีการเกร็งข้อเท้าหรือขาในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน จึงสามารถอธิบายได้ว่าการทดลองนี้เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง วงจรและมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ และขั้นตอนในการใช้งาน ที่ใช้ในการทดลองของเครื่องบริหารข้อเท้า โดยได้นำไปทำการทดสอบกับผู้ทดลองจำนวนหนึ่ง มีขั้นตอนดังนี้

1. นำเท้าของผู้ทดลองมาวางไว้กับตัวอุปกรณ์จากนั้นยึดให้เข้าที่
2. ทำการป้อนค่าเข้าไปในโปรแกรมตามขั้นตอนดังนี้
   2.1. ใส่ค่ามุมสูงสุดของข้อเท้าของผู้ทดลอง
   2.2. ใส่ค่ามุมต่ำสุดของข้อเท้าของผู้ทดลอง
   2.3. ใส่ค่าความเร็วที่ผู้ทดลองต้องการ
   2.4. ใส่ค่าเวลาในการทำงานของตัวอุปกรณ์
   2.5. รีโมทควบคุมจะทำการแสดงค่าต่างๆที่ผู้ทดลองได้ใส่ไว้ จากนั้นผู้ทดลองกดปุ่ม Start
3. รอให้อุปกรณ์ทำงานจนเสร็จสิ้น จากนั้นอุปกรณ์จะกลับไปที่หน้าตั้งค่าเริ่มต้น(ตั้งค่ามุมสูงสุด)

จากการทดลองกับผู้ทดลองจำนวน 20 คน

แบบสอบถามผลการทดลอง

1. เพศ หญิงจำนวน 4คน ชายจำนวน 16คน
2. อายุ 20-30 จำนวน 20 คน
3. วุฒิการศึกษา ปริญญาตรี จำนวน 20 คน
4. ประเภทผู้บริการ นักศึกษาปัจจุบัน จำนวน 20 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสอบถาม	ดีมาก (5)	ดี (4)	ปานกลาง (3)	พอใช้ (2)	ควรปรับปรุง (1)	เปอร์เซ็นต์ทั้งหมด
ความสะดวกในการใช้งานตัวเครื่อง	0	0	11	7	2	49%
ความปลอดภัยในการใช้งาน	0	6	8	4	2	58%
คุณประโยชน์ที่ได้รับ	2	9	8	1	0	72%
โปรแกรมก่อนการใช้งาน	1	2	4	10	3	48%
อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน (Remote)	1	5	10	3	1	62%
ความทนทานของเครื่องกล	2	5	4	8	1	59%

ตารางที่ 5.1 ผลแบบทดสอบ

ข้อเสนอแนะจากผู้ทดลอง

1. ความคงทนของอุปกรณ์น่าจะมีความแข็งแรงมากกว่านี้เพื่อไว้รับน้ำหนักคนที่มีน้ำหนักมาก
2. ก่อนทดลองใช้เวลาการเตรียมนานเกินไป
3. การใส่ขาเข้าไปในอุปกรณ์มีความลำบากเล็กน้อยทำให้เกินการเสียเวลา
4. ควรจะให้ใช้รีโมทให้ได้ง่ายกว่านี้หรือสามารถทำเพียงคนเดียวได้

จากการทดลองเครื่องบริหารข้อเท้า พบว่าในขณะที่ทำการทดลองอยู่นั้น มีผู้ทดลองบางคนที่อุปกรณ์ทำงานผ่านไปได้ด้วยดี และมีผู้ทดลองอีกจำนวนหนึ่งที่อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานต่อไปได้ เนื่องจากว่าตัวอุปกรณ์นั้นได้รับน้ำหนักมากเกินไป เมื่อเกิดโหลดที่มากเกินกว่าที่รับได้และข้อต่อของเฟืองไม่สามารถที่จะหมุนย้อนกลับได้ทำให้พบปัญหาเฟืองชำรุด

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาและทำโครงงานชิ้นนี้ในช่วงแรกเกิดปัญหาคือการออกแบบอุปกรณ์ไม่สามารถรับแรงได้ทุกขนาดเพราะว่างบประมาณในการซื้อวัสดุโครงสร้างมีขีดจำกัด ทำให้อุปกรณ์มีการรับน้ำหนักได้น้อย เฟืองทดในอุปกรณ์การเคลื่อน มีการชำรุดบ่อยเพราะทิศทางการวางของเฟืองและมอเตอร์นั้น ไม่สามารถหมุนย้อนกลับได้ด้วยเฟืองเกียร์ และการกำหนดค่าในการใช้ค่อนข้างที่จะใช้เวลา พอสมควรและต้องทำการใช้ค่าใหม่ทุกครั้งจึงทำให้ไม่ทราบข้อมูลในครั้งก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ และระยะสายไฟของรีโมทควบคุมค่อนข้างจำกัด เนื่องจากว่าการใช้สายไฟที่ยาวจะทำให้มีค่ารบกวนมาก ทำให้การแสดงผลที่ได้มีความผิดพลาดสูงหรือดูไม่ออกได้

ในส่วนของปัญหาที่พบ ยังไม่สามารถแก้ไขเนื่องจาก เงินทุนในการทำงานที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงทำให้สามารถพัฒนาแค่ได้บ้างส่วนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่านั้น

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

1. วางแกนมอเตอร์ในแนวแกนการเคลื่อนไหวของข้อเท้า เพื่อให้ทิศทางการหมุนของเฟืองส่งผลต่อมอเตอร์โดยตรง
2. ทำการเปลี่ยนเฟืองให้เป็นในลักษณะของเกียร์ทดส่งกำลัง เพื่อให้เฟืองสามารถหมุนไปกลับได้แล้วไม่ให้เกิดความชำรุดเสียหาย ต่อ เฟืองทดและมอเตอร์
3. ทำการเปลี่ยนสายไฟเป็นลักษณะที่ป้องกันสัญญาณรบกวน โดยที่สายไฟของรีโมทนั้นควรจะเป็นสายที่มีการป้องกันเกี่ยวกับสัญญาณรบกวน เพื่อที่จะทำให้สายไฟของรีโมทมีความยาวที่มากขึ้น เพื่อสะดวกในการใช้งาน
4. นำระบบคลัตซ์ หรือระบบคัปปิ้งแบบข้อต่อ มาใช้ร่วมกับการเคลื่อนที่ โดยระบบทั้ง 2 นี้ จะป้องกันการกระทำของแรงภายนอก ที่หมุนสวนทางกับแนวการเคลื่อนที่ เป็นการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ต่างๆ เสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับพิเศษ เมษายน 2552

[2] ประโยชน์ บุญสินสุข, " **เครื่องมือกายภาพบำบัด**" กรุงเทพฯ : เอส พี การพิมพ์. 2546

[3] รองศาสตราจารย์ ดร.รุ้งทิพย์ พันธุเมธากุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทกมล กมลรัตน์ 2550, **"การจัดการทางกายภาพบำบัด โดย ใช้เทคนิคการขยับเคลื่อนระบบประสาท Physical Therapy Management by Mobilization of the Nervous System"**. พิมพ์ครั้งที่ 1 ขอนแก่น: หจก. โรงพิมพ์ คลังนานาวิทยา

[4] รศ.ประโยชน์ บุญสินสุข, **นิตยสารหมอชาวบ้าน** เล่ม: 74, 07/2528

[5] ประจินพลังสันติกุล 2537, **"PIC Works Examples and C Source Code"** ฉบับ APPSOFTTECH. พิมพ์และจำหน่ายโดยบริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด

[6] ผศ. ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. **เซนเซอร์ และ ทรานสดิวเซอร์.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. 2551

[7] ศิริชัย คล่องการพานิช, **"เข้าใจไม่ยากกับการทำงานของสวิตชิ่งเรกูเลเตอร์"**, เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 160, มิถุนายน 2539

[8] สุวัฒน์ ดั่น, **"เทคนิคและการออกแบบสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย"**, เอนเทล ไทย, มิถุนายน 2538

[9] นพ.พนมกร ดิษฐสุวรรณ์. **ศัลยแพทย์กระดูกและข้อ. วิธีบริหาร เท้า ข้อเท้า และ ขา** 20/07/2553;http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=cmu2807&group=11

[10] [Online]. Search 20/07/2553; http://www.es.co.th/Schemetic/PDF/SE-HB40-1.PDF

[11] พงศ์ธวัช ชีพพิมลชัย อโณ โชติมณี.**สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายเบื้องต้น.** [Online]: Search 15/12/2553; http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/

[12] E - learning. **สัปดาห์ที่ 9 การควบคุมมอเตอร์.** [Online] : Search 04 /02 / 2554 ; http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric4/topweek9.htm

[13] นายปกรณ์ ศานติวัฒน์, นส.ปนัดดา แสงเทียนชัย. **Analog To Digital Converter** . คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2537. [Online]: Search 04/02/2554; http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/conversion/adc/

[14] นางสาวจตุพร ทองคงอ่วม,นายอานนท์ ศรีเจริญชัย.**ระบบควบคุมแบบ Feedback และการคำนวณ Stability.**คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2537. [Online]:Search 04/02/2554; http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/control/stability/

[15] Search 14/02/2554; http://www.iraprobot.com/?p=193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[16] Search 14/02/2554; http://www.sec.psu.ac.th/download/mculab/mcu_html/DC_motor.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 1.

โปรแกรมการใช้งาน

<u>โค้ดควบคุมการทำงานเครื่องบริหารข้อเท้า(CPM)</u>

```
include <18F8722.h>
#include "lcd_for_base8722.c"
#FUSES NOWDT                    //No Watch Dog Timer
#FUSES HS                       //High speed Osc (> 4mhz for PCM/PCH)
                                (>10mhz for  PCD)
#FUSES NOPUT                    //No Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT                //Code not protected from reading
#FUSES NOBROWNOUT               //No brownout reset
#FUSES NOLVP                    //No low voltage prgming, B3(PIC16) or
                                B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOCPD                    //No EE protection
#FUSES NOWRT                    //Program memory not write protected
#FUSES NODEBUG                  //No Debug mode for ICD
#use delay(clock=40000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
////////////Variable/////////////
#define limit_up        210
#define limit_down      110
//####DEFINE###################
#define F_OSC           40000000        // x-tal define
#define MSEC_10         100
//##########MOTOR#############
#define MT_RB  PIN_C0
```

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define MT_RF          PIN_C3
#define MT_EN2         PIN_C1
//####Switch STRAT###################
#define enter          PIN_B7
#define start          PIN_B4
#define down    PIN_B5
#define speed   PIN_B6
#define timer   PIN_B1
#define up             PIN_B2
#define stop           PIN_B3
#define edit           PIN_B0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include "cpm.h"
int top=0,under=0, AN0_Value=0,i=0,t=0,time=0;
unsigned int sp[ ] = {75,100,150,200};                    //กำหนดค่าความเร็วต่างๆตามที่เรา
                                                          ต้องการ
unsigned int tick =0,sec=0,min=0;
#INT_TIMER1
void Timer1_ISR(void)                                     //ฟังก์ชันเปิดไทเมอร์1 นับเวลา นาที:
                                                          วินาที
{
tick++;
        if(tick>=5)
        {
            output_toggle(PIN_J0);
            tick=0;
            sec++;
            if(sec>59)
            {
                sec=0;
                min++;
            }
        }
}
void start_ccp (void)                                     //ฟังก์ชัน start_ccp เพื่อเปิดการทำงาน
                                                          ของ ccp
{
        setup_ccp2 (CCP_PWM);                             // Configure CCP1 as a PWM
        setup_timer_2 (T2_DIV_BY_16, 100, 1);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void stop_ccp (void)                    //ฟังก์ชัน stop_ccp เพื่อปิดการทำงาน
                                        ของ ccp
{
        setup_ccp2(CCP_OFF);            // Configure CCP1 as a PWM
        setup_timer_2 (T2_DISABLED, 100, 1);
        output_high (MT_EN2);           // set motor
        output_high (MT_RF);
        output_high (MT_RB);
        delay_ms (100);
        output_low (MT_EN2);            // set motor
}
void read_ang(void)                     // ฟังก์ชันอ่านADC
{
        AN0_Value = read_adc();         // Lee el valor
}
void take (int1 dir,int sp )            //ฟังก์ชันกำหนดค่า take เพื่อหมุน
                                        มอเตอร์
{
        if (dir)
        {
                output_low (MT_RF);     // set direction up
                set_pwm2_duty(sp);      //Mortor R
        }
        else
        {
                output_low (MT_RB);     // set direction down
                set_pwm2_duty(sp);      //Mortor R
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
AN0_Value = read_adc();
if(AN0_Value>=limit_up)                    //cheack limit up
{
        printf(lcd_putc,"\fNo rangeTop");
        printf(lcd_putc,"\nAng=%u ",AN0_Value);
        delay_ms(50);
        output_low (MT_RB);                // set direction down
        set_pwm2_duty(sp);                 //Mortor R
        start_ccp ();
        delay_ms (50);
        AN0_Value = read_adc();
        while(true)                        // Auto caribase
        {
            AN0_Value = read_adc();        // Lee el valor
            printf(lcd_putc,"\nAng=%u ",AN0_Value);
            delay_ms(50);
            if(AN0_Value<=(limit_up-5))    //Auto cheak caribase down
            {
                printf(lcd_putc,"\fDown_range");
                delay_ms(50);
                break;
            }
        }
        stop_ccp ();
        delay_ms(100);
}
if(AN0_Value<=limit_down)                  //cheack limit up
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
        printf(lcd_putc,"\fNo rangeDown");
        printf(lcd_putc,"\nAng=%u ",AN0_Value);
        delay_ms(50);
        output_low (MT_RF);                    // set direction Up
        set_pwm2_duty(sp);                     //Mortor R
        start_ccp ();
        delay_ms (50);
        AN0_Value = read_adc();
        while(true)                            // Auto caribase
        {
            AN0_Value = read_adc();            // Lee el valor
            printf(lcd_putc,"\nAng=%u ",AN0_Value);
            delay_ms(50);
            if(AN0_Value>=(limit_down+5)) //Auto cheak caribase down
            {
                printf(lcd_putc,"\fTop_range");
                delay_ms(50);
                break;
            }
        }
        stop_ccp ();
        delay_ms(100);
}
else
{
        start_ccp ();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay_ms (50);                          // delay for ccp use 50 up because
                                        torque enough
if (dir)                                // pass button
{
        while (true)
        {
                AN0_Value = read_adc();// Lee el valor
                printf(lcd_putc,"\nAng=%u ",AN0_Value);
                delay_ms(50);
                if (!input (up))
                {
                        delay_ms (10);
                        if (input (up)) continue;
                        break;
                }
        }
}
else
{
        while (true)
        {
                AN0_Value = read_adc(); // Lee el valor
                printf(lcd_putc,"\nAng=%u ",AN0_Value);
                delay_ms(50);
                if (!input (down))
                {
                        delay_ms (10);
                        if (input (down)) continue;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                    break;
                                }
                            }
                        }
                    }
                stop_ccp ();
                delay_ms(100);
}
void take_up (int sp)                                   //ฟังก์ชันให้มอเตอร์หมุนขึ้น
{
                take (1,sp);                            // send value1(is direction),sp(speed)
                                                        go to void take
}
void take_down (int sp)                                 //ฟังก์ชันให้มอเตอร์หมุนลง
{
                take (0,sp);
}
void set_top (void)                                     //ฟังก์ชันเซ็ตค่าADC ที่บนสุด
{
                printf(lcd_putc,"\f    Up & Down     ");
                delay_ms(100);
                while(true)
                {
                        if (!input (up))
                        {
                                delay_ms (10);
                                if (input (up)) continue;
                                take_up(25);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                }
                else if (!input (down))
                {
                        delay_ms (10);
                        if (input (down)) continue;
                        take_down(25);
                }
                else if (!input (enter))
                {
                        delay_ms(10);
                        if (input (enter)) continue;
                        printf(lcd_putc,"\f  SET_TOP_OK!  ");
                        delay_ms(200);
                        read_ang();
                        top = AN0_Value;
                        break;
                }
        }
}
void set_under (void)                                   //ฟังก์ชันเซ็ตค่าADC ที่ต่ำสุด
{
        printf(lcd_putc,"\f    Down & Up     ");
        delay_ms(100);
        while(true)
        {
                if (!input (up))
                {
                        delay_ms (10);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                if (input (up)) continue;
                take_up(25);
            }
            else if (!input (down))
            {
                delay_ms (10);
                if (input (down)) continue;
                take_down(25);
            }
            else if (!input (enter))
            {
                delay_ms(10);
                if (input (enter)) continue;
                printf(lcd_putc,"\f SET_UNDER_OK!");
                delay_ms(200);
                read_ang();
                under = AN0_Value;
                break;
            }
        }
}
void set_speed (void)                                   //ฟังก์ชันเซ็ตค่าความเร็วที่กำหนดไว้ที่
                                                        define
{
        printf(lcd_putc,"\f  Select_Speed");
        printf(lcd_putc,"\n Up or Down(1-5) ");
        delay_ms(100);
        while(true)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
        if(!input (up))
        {
                delay_ms(20);
                if(input(up))continue;
                i++;
                if(i>4){i=0;}
                printf(lcd_putc,"\f  Select_Speed");
                printf(lcd_putc,"\n  Speed = %u  ",i+1);
        }
        else if(!input (down))
        {
                delay_ms(20);
                if(input(down))continue;
                i--;
                if(i>4){i=4;}
                printf(lcd_putc,"\f  Select_Speed");
                printf(lcd_putc,"\n  Speed = %u  ",i+1);
                }
                else if (!input (enter))
                {
                        delay_ms(10);
                        if (input (enter)) continue;
                        printf(lcd_putc,"\f SET_SPEED_Ok!");
                        sp[i];
                        printf(lcd_putc,"\n Speed = %u ",sp[i]);
                        delay_ms(200);
                        break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    }
                }
            }
}
void set_time (void)                                    //ฟังก์ชันเซ็ตเวลาเป็นนาที นับได้ถึง
15 นาที
{
        printf(lcd_putc,"\f  SET_TIME");
        delay_ms(100);
        while(true)
        {
            if(!input (up))
            {
                delay_ms(20);
                if(input(up))continue;
                t++;
                if(t>15){t=0;}
                printf(lcd_putc,"\nTIME = %uMin  ",t);
            }
            else if(!input (down))
            {
                delay_ms(20);
                if(input(down))continue;
                t--;
                if(t>15){t=15;}
                printf(lcd_putc,"\nTIME = %uMin  ",t);
            }
            else if (!input (enter))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                {
                        delay_ms(10);
                        if (input (enter)) continue;
                        printf(lcd_putc,"\f SET_TIME_OK!");
                        time=t;
                        printf(lcd_putc,"\nTIME = %u ",time);
                        delay_ms(200);
                        break;
                }
        }
}
void run (int sp,int lt,int ld )                    //ฟังก์ชันrun เพื่อให้โปรแกรมทำงาน
                                                    ตามค่าต่างๆที่รับเข้ามา
{
        while(true)
        {
                if(min>=time)
                {
                        printf(lcd_putc,"\f    Finish");
                        delay_ms(1000);
                        break;
                }
                else if (!input (stop))
                {
                        delay_ms(10);
                        if (input (stop)) continue;
                        printf(lcd_putc,"\f   ! STOP !");
                        printf(lcd_putc,"\n   Back to Edit");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            delay_ms(500);
            setup_timer_1(T1_DISABLED);
            disable_interrupts(INT_TIMER1);
            stop_ccp ();
            delay_ms(100);
             sec=0;                              // clear value
            min=0;
            break;
}
else
{
            output_low (MT_RF);                 // set direction Up
            set_pwm2_duty(sp);                  //Mortor R
             start_ccp ();
            delay_ms (50);
            AN0_Value = read_adc();
            while(true)
            {
                  AN0_Value = read_adc();  // Lee el valor
                  printf(lcd_putc,"\fAng=%u ",AN0_Value);
                  printf(lcd_putc,"\nTIME:   %u:%u",min,sec);
                  delay_ms(50);
                  if(AN0_Value>=lt)
                  {
                        //  printf(lcd_putc,"\fTop_range");
                        //  printf(lcd_putc,"\n  = %u",ck);
                        //  delay_ms(50);
                        break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                }
            }
            stop_ccp ();
            delay_ms(100);                  // timer break before change
                                            direction
            output_low (MT_RB);             // set direction down
            set_pwm2_duty(sp);              //Mortor R
            start_ccp ();
            delay_ms (50);
            AN0_Value = read_adc();
            while(true)
            {
                AN0_Value = read_adc();// Lee el valor
                printf(lcd_putc,"\fAng=%u ",AN0_Value);
                printf(lcd_putc,"\nTIME:   %u:%u",min,sec);
                delay_ms(50);
                if(AN0_Value<=ld)
                {
                    break;
                }
            }
            stop_ccp ();
            delay_ms(100);
        }
    }
}
void main()
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int8 AN0_Value;
setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
setup_psp(PSP_DISABLED);
setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
enable_interrupts(GLOBAL);
setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,249,1);
output_high (MT_EN2);                          // set motor
output_high (MT_RF);                           // set motor
output_high (MT_RB);                           // set motor
setup_ccp2(CCP_PWM);
set_tris_c(0xe0);                              //1110 0000
set_tris_b(0xff);                              //1111 1111
set_tris_j(0x00);
lcd_init();
printf(lcd_putc,"\f   CPM_AKLE");
printf(lcd_putc,"\n  By_4M/2010");
delay_ms(1000);
output_low(PIN_J0);
set_adc_channel(0);                            // Chanal A0
delay_us(10);
AN0_Value = read_adc();
while (true)
{
        printf(lcd_putc,"\f   SET TOP\n");
        printf(lcd_putc," Doralflexion");
        delay_ms(500);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
set_top();
printf(lcd_putc,"\f Doralflexion\n");
printf(lcd_putc," Top_Angle=%u ",top);
delay_ms(500);
printf(lcd_putc,"\f   SET UNDER\n");
printf(lcd_putc," Plantareflexion");
delay_ms(500);
set_under();
printf(lcd_putc,"\fPlantareflexion\n");
printf(lcd_putc,"Under_Angle=%u ",under);
delay_ms(500);
set_speed();
set_time();
printf(lcd_putc,"\fANGLE %u - %u\n",top,under);
printf(lcd_putc,"Speed%u  TIME %u  ",i+1,time);
delay_ms(1000);
printf(lcd_putc,"\f  Ready_Pass");
printf(lcd_putc,"\n  ! START !");
delay_ms(500);
while(true)
{
        if (!input (start))
        {
                delay_ms(10);
                if (input (start)) continue;
                printf(lcd_putc,"\f run");
                enable_interrupts(INT_TIMER1);
                setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                set_timer1(0);
                                run(sp[i],top,under);
                                break;
                        }
                }
                sec=0;
                min=0;
                }
        }
}z
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 2

แบบสอบถาม

<u>แบบสอบถาม</u>

การใช้งานเครื่องบริหารข้อเท้า

1. เพศ ☐ หญิง ☐ ชาย

2. อายุ ☐ 20-30 ปี ☐ 31-40 ปี ☐ 41-50 ปี ☐ 51 ปีขึ้นไป

3. วุฒิการศึกษาสูงสุด ☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก

4. ประเภทผู้รับบริการ ☐ ผู้บริหาร ☐ อาจารย์ ☐ เจ้าหน้าที่ ☐ นักศึกษาปัจจุบัน
☐ ศิษย์เก่า ☐ ประชาชนทั่วไป

หัวข้อสอบถาม	*ดีมาก*	*ดี*	*ปานกลาง*	*พอใช้*	*ปรับปรุง*
ความสะดวกในการใช้งานตัวเครื่อง	☐	☐	☐	☐	☐
ความปลอดภัยในการใช้งาน	☐	☐	☐	☐	☐
คุณประโยชน์ที่ได้รับ	☐	☐	☐	☐	☐
โปรแกรมก่อนการใช้งาน	☐	☐	☐	☐	☐
อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน(Remote)	☐	☐	☐	☐	☐
ความทนทานของเครื่องกล	☐	☐	☐	☐	☐

ข้อเสนอแนะ .....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 3

ท่าการบริหาร

การตรวจความตึงระบบประสาทส่วนลำตัวและขา (Neural Tension Testing-Trunk and Lower Limb Tension Test)

การตรวจเพื่อหาความผิดปกติในการเคลื่อนไหวและความตึงตัวของเนื้อเยื่อประสาทในส่วนลำตัว และขามีชื่อเรียกเฉพาะคือ Trunk and Lower Limb neural tension tests(LLNTs) แต่ในปัจจุบันนิยมเรียกว่า trunk and lower limb neurodynamic test (TLNDTs) ซึ่งครอบคลุมคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเนื้อเยื่อประสาทร่วมกับอาการแสดงที่ผู้ป่วยมีความผิดปกติร่วมกันโดยสามารถเลือกใช้คำศัพท์นี้ได้ทั้ง 2 คำ โดยการตรวจนี้ควรทำการตรวจในผู้ป่วยที่มีความผิดปกติที่บริเวณลำตัวตั้งแต่บริเวณกระดูกสันหลังระดับอกลงมาจนถึงขาและเท้า อย่างไรก็ตามการเลือกตรวจร่างกายด้วยเทคนิค TLNDTs ไม่สามารถทำการตรวจได้ในผู้ป่วยทุกราย ดังนั้นนักกายภาพบำบัดต้องทราบข้อห้ามในการตรวจดังรายละเอียดต่อไปนี้

ข้อห้ามในการตรวจ trunk and lower limb neurodynamic test (TLNDTs)

1.ผู้ป่วยที่มีความไวในการถูกกระตุ้นให้เกิดอาการได้ง่าย (irritable disorders) นอกจากนี้ในผู้ป่วยมะเร็งที่เกิดกับระบบประสาทหรือกระดูกสันหลัง ผู้ป่วยติดเชื้อหรืออยู่ในระยะอักเสบเฉียบพลันก็จัดเป็นข้อห้ามในการตรวจเช่นเดียวกัน

2.ผู้ป่วยหมอนรองกระดูกสันหลังยื่นปลิ้นที่มีอาการยังไม่คงที่ (unstable disc herniation)

3.ผู้ป่วยที่แสดงอาการทางระบบประสาทในระยะเฉียบพลันหรือมีการเปลี่ยนแปลงทางระบบประสาทอย่างรวดเร็ว

4.ผู้ป่วยที่มีการบาดเจ็บต่อไขสันหลังและ/หรือผู้ป่วยที่มีอาการ cauda equine sign ซึ่งแสดงอาการที่สำคัญคือ มีปัญหาในการ

ควบคุมระบบขับถ่ายอุจจาระและปัสสาวะ ร่วมกับอาจมีการรับความรู้สึกบริเวณรอบๆ อุ้งเชิงกรานผิดไปจากปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีมาตรฐานที่นิยมใช้ในการตรวจ trunk and lower limb neurodynamic test (TLNDTs) มีดังนี้

1.การตรวจ passive neck flexion(PNF)

2.การตรวจ passive neck extension (PNE)

3.การตรวจ straight leg raise (SLR)

4.การตรวจ prone knee bend (PKB)

5.การตรวจSlump test

ในการตรวจแต่ละวิธีนั้นจะมีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่และแรงตึงตัวในเส้นประสาทแต่ละเส้นแตกต่างกันไป โดยจะได้กล่าวในรายละเอียดในแต่ละวิธีการตรวจ อย่างไรก็ตามในการตรวจทุกวิธีนักกายภาพบำบัดต้องบันทึกข้อมูลสำคัญ 4 ประการต่อไปนี้ร่วมด้วยทุกครั้ง

ข้อมูลที่ต้องบันทึกในการตรวจสอบ trunk and lower limb neurodynamic test (TLNDTs)

นักกายภาพบำบัดควรซักประวัติเพื่อหาข้อมูลของผู้ป่วย และบันทึกอาการที่ผู้ป่วยมาพบอย่างละเอียดและถูกต้อง รวมทั้งบันทึกอาการและอาการแสดงก่อนทำการตรวจร่วมด้วยโดยในขณะที่ทำการตรวจ trunk and lower limb neurodynamic test (TLNDTs) ต้องบันทึกสิ่งต่อไปนี้

1. อาการของผู้ป่วยในขณะตรวจ โดยบันทึกการเคลื่อนไหวและองศาการเคลื่อนไหว (ROM) ที่ทำให้ผู้ป่วยเริ่มเกิดอาการที่นำมาพบนักกายภาพบำบัด เช่น ปวด ชา หรือการรับความรู้สึกผิดไปจากปกติ และควรจดบันทึกตำแหน่งที่เกิดอาการนั้นๆร่วมด้วย

2. แรงต้านทานที่สัมผัสได้ขณะทำการเคลื่อนไหวให้ผู้ป่วย โดยสังเกตร่วมด้วยว่าแรงต้านทานนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นช้าๆ หรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเป็นสาเหตุให้ต้องหยุดทำการเคลื่อนไหวร่วมด้วยหรือไม่ ควรบันทึกการเคลื่อนไหวและองศาการเคลื่อนไหว (ROM) ร่วมด้วย

3. หากมีการเพิ่มหรือลดการตรวจที่ช่วยกระตุ้น (sensitizing maneuvers) ควรสังเกตอาการและแรงต้านทานที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการตรวจร่วมด้วย

4. ควรทำการตรวจเปรียบเทียบกันทั้ง 2 ข้าง โดยการเปรียบเทียบอาการของผู้ป่วยแรงต้านทานที่ได้สัมผัสได้ และ องศาการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจ Straigh leg raise (SLR)

ข้อบ่งชี้ในการตรวจ

การตรวจด้วยวิธี straight leg raise(SLR) นี้เป็นวิธีการตรวจที่เป็นที่รู้จักและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เป็นวิธีการตรวจมาตรฐานในผู้ป่วยที่มีปัญหากระดูกสันหลังระดับและ/หรือกระดูกสันหลังระดับเอวและ/หรือขา นอกจากนี้ในบางครั้งพบว่าการตรวจนี้ให้ผลบวกในผู้ป่วยที่มีปัญหาปวดศรีษะหรือมีปัญหาที่ข้อเท้าและเท้า รวมทั้งสามารถนำเทคนิคการตรวจนี้ไปใช้ร่วมกับการตรวจ upper limb neurodynamic tests ต่างๆ ร่วมด้วย

ท่าเริ่มต้น

ผู้ป่วยนอนหงาย ไม่หนุนหมอน แขนทั้งสองข้างวางอยู่ข้างลำตัวและขาทั้งสองข้างเหยียดตรง นักกายภาพบำบัด ยืนอยู่ข้างเตียงด้านเดียวกันกับขาข้างที่ต้องการตรวจ

วิธีการตรวจ

นักกายภาพบำบัดใช้มือข้างหนึ่งจับที่บริเวณด้านหลังต่อข้อเท้า ส่วนมืออีกข้างหนึ่งจับที่บริเวณด้านบนต่อข้อเข่าของผู้ป่วยเพื่อควบคุมให้ข้อเข่าอยู่ในท่าเหยียดตรงอบถามอาการเริ่มต้นของผู้ป่วย ต่อจากนั้นยกขาผู้ป่วยขึ้นในท่างอข้อสะโพกร่วมกับเหยียดเข่า ซักถามอาการและสังเกตแรงต้านทานที่สัมผัสได้ และต้องหยุดทำการเคลื่อนไหวทันทีหากผู้ป่วยแจ้งว่ามีอาการเช่นเดียวกับที่นำมาพบนักกายภาพบำบัด บันทึกองศาการเคลื่อนไหวทำการประเมินเปรียบเทียบกันกับข้างปกติ

การตอบสนองปกติ

องศาการเคลื่อนไหวของการงอข้อสะโพกอยู่ในช่วง 50-120 องศา โดยผู้ป่วยอาจจะมีอาการตึงที่บริเวณทางด้านหลังของต้นขา หลังข้อพับเข่า หรือน่องร่วมด้วยได้ โดยทั้งนี้ต้องไม่ใช่บริเวณที่ผู้ป่วยมีอาการผิดปกติ

การแปลผลการตรวจ

แปลผลบวกหากผู้ป่วยถูกกระตุ้นให้เกิดอาการในบริเวณที่นำมาพบนักกายภาพบำบัดได้ และเมื่อมีการเพิ่มหรือลดการตรวจที่ช่วยกระตุ้น (sensitizing maneuvers) มีผลไปทำให้อาการผู้ป่วยเปลี่ยนแปลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 การตรวจ Straigth leg raise (SLR) ร่วมกับการกระดกข้อเท้าขึ้น (ankle dorsiflexion)

ข้อบ่งชี้ในการตรวจ

การตรวจ Straigth leg raise (SLR) ร่วมกับการกระดกข้อเท้าขึ้น (ankle dorsiflexion) นี้ เป็นวิธีการตรวจที่ใช้เพื่อวามสามารถในการเคลื่อนที่และความตึงตัวในแขนงของเส้นประสาททิปเบียล (tilial nerve) เป็นสำคัญ โดยเลือกตรวจในผู้ป่วยที่มีอาการผิดปกติบริเวณน่อง

ท่าเริ่มต้น

ผู้ป่วยนอนหงาย ไม่หนุนหมอน แขนทั้งสองข้างวางอยู่ข้างลำตัวและขาทั้งสองข้างเหยียดตรง นักกายภาพบำบัดยืนอยู่ข้างเตียงด้านเดียวกันกลับขาข้างที่ต้องการตรวจ

วิธีการตรวจ

นักกายภาพบำบัดใช้มือข้างหนึ่งจับที่บริเวณด้านหลังต่อข้อเท้า ส่วนมืออีกข้างหนึ่งจับที่บริเวณด้านบนต่อข้อเข่าของผู้ป่วยเพื่อควบคุมให้ข้อเข่าอยู่ในท่าเหยียดตรงสอบถามอาการเริ่มต้นของผู้ป่วย ต่อจากนั้นยกขาผู้ป่วยขึ้นในท่างอข้อสะโพกร่วมกับเหยียดเข่า ซักถามอาการและสังเกตแรงต้านทานที่สัมผัสได้ และต้องหยุดการเคลื่อนไหวทันทีหากผู้ป่วยแจ้งว่ามีอาการเช่นเดียวกับที่นำมาพบนักกายภาพ บันทึกองศาการเคลื่อนไหว ต่อจากนั้นนักกายภาพบำบัดค่อยๆ ลดองศาการงอข้อสะโพกลงจนกระทั่งอาการที่ผู้ป่วยมีนั้นกลับสู่ระดับปกติ นักกายภาพบำบัดเปลี่ยนมือที่จับอยู่ที่ข้อเข่ามาจับคร่อมหลังเท้า และกระดกข้อเท้าขึ้นให้ผู้ป่วย โดยให้ส่วนปลายแขนพยุงให้เข่าอยู่ในท่า

รูปที่ 3.1 แสดงการตรวจ Straigth leg raise (SLR) ร่วมกับการกระดกข้อเท้าขึ้น (ankle dorsiflexion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหยียดตรง (รูปที่ 3.1) ซักถามอาการและสังเกตแรงต้านทานที่สัมผัสได้ โดยต้องหยุดเคลื่อนไหวทันที หากผู้ป่วยแจ้งว่ามีอาการเช่นเดียวกับที่นำมาพบนักกายภาพ ทำการตรวจประเมินเปรียบเทียบกันกับข้างปกติ

การแปลผลการตรวจ

แปลผลบวกหากผู้ป่วยถูกกระตุ้นให้เกิดอาการในบริเวณที่นำมาพบนักกายภาพบำบัดได้ และเมื่อมีการเพิ่มหรือลดการตรวจที่ช่วยกระตุ้น (sensitizing maneuvers) มีผลไปทำให้อาการผู้ป่วยเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ป่วยรายนั้นน่าจะมีปัญหาในแขนงประสาททิบเบียล (tibial nerve) ร่วมด้วย

นอกจากนี้อาจทำการตรวจ straight leg raise (SLR) ร่วมกับการกระดกข้อเท้าขึ้น (ankle dorsiflexion) และการบิดเท้าหงายเข้าด้านใน (ankle inversion) ร่วมด้วยก็ได้ซึ่งในท่านี้มีผลไปยืดเส้นประสาทซูรัล (sural nerve) โดยวิธีการตรวจทำเช่นเดียวกันและเพิ่มการบิดเท้าหงายเข้าด้านใน (ankle inversion) ให้แก่ผู้ป่วยร่วมด้วย

2. การตรวจ straight leg raise (SLR) ร่วมกับการการกระดกข้อเท้าลง (ankle plantar flexion) และการบิดเท้าหงายเข้าด้านใน (inversion)

ข้อบ่งชี้ในการตรวจ

การตรวจ straight leg raise (SLR) ร่วมกับการการกระดกข้อเท้าลง (ankle plantar flexion) และการบิดเท้าหงายเข้าด้านใน (inversion) เป็นวิธีการตรวจที่ใช้เพื่อวามสามารถในการเคลื่อนที่และความตึงตัวในแขนงของเส้นประสาทคอมมันเพอโรเนียล (common peroneal nerve) โดยเฉพาะเส้นประสาทโพสทีเรียเพอโรเนียล (posterior tibial nerve) โดยนิยมเลือกตรวจในผู้ป่วยที่มีอาการผิดปกติบริเวณทางด้านนอกของน่องหรือปลายขา

ท่าเริ่มต้น

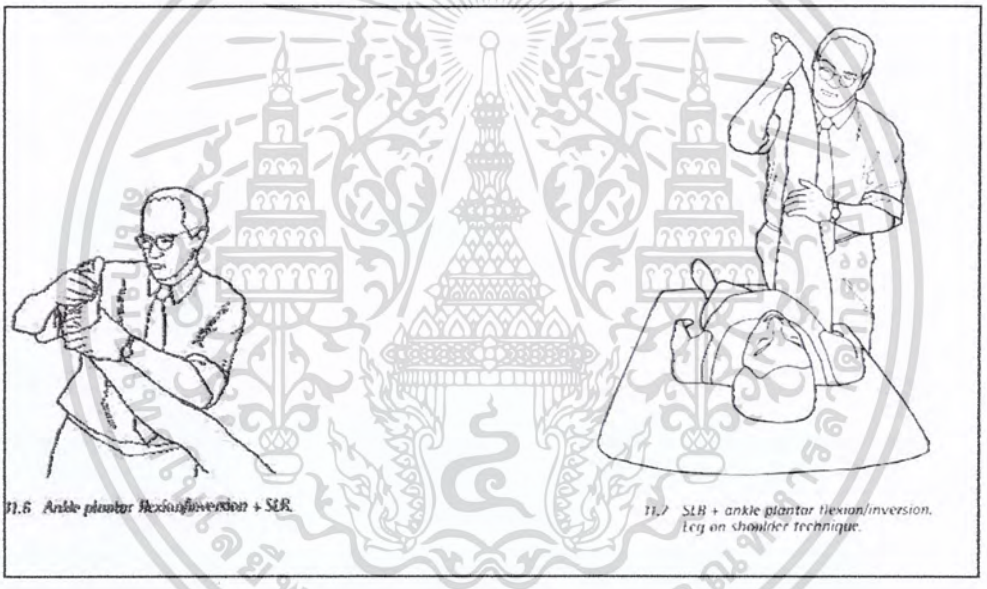
ผู้ป่วยนอนหงาย ไม่หนุนหมอน แขนทั้งสองข้างวางอยู่ข้างลำตัวและขาทั้งสองข้างเหยียดตรง นักกายภาพบำบัดยืนอยู่ข้างเตียงด้านเดียวกันกลับขาข้างที่ต้องการตรวจ

วิธีการตรวจ

นักกายภาพบำบัดใช้มือข้างหนึ่งจับที่บริเวณด้านหลังต่อข้อเท้า ส่วนมืออีกข้างหนึ่งจับที่บริเวณด้านบนต่อข้อเข่าของผู้ป่วยเพื่อควบคุมให้ข้อเข่าอยู่ในท่าเหยียดตรงสอบถามอาการเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผู้ป่วย ต่อจากนั้นยกขาผู้ป่วยขึ้นในท่างอข้อสะโพกร่วมกับเหยียดเข่า ซักถามอาการและสังเกตแรงต้านทานที่สัมผัสได้ และต้องหยุดการเคลื่อนไหวทันทีหากผู้ป่วยแจ้งว่ามีอาการเช่นเดียวกับที่นำมาพบนักกายภาพ บันทึกองศาการเคลื่อนไหว ต่อจากนั้นนักกายภาพบำบัดค่อยๆ ลดองศาการงอข้อสะโพกลงจนกระทั่งอาการที่ผู้ป่วยมีนั้นกลับสู่ระดับปกติ นักกายภาพบำบัดเปลี่ยนมือที่จับอยู่ที่ข้อเข่ามาจับที่ข้อเท้า โดยใช้ส่วนปลายแขนพยุงให้เข่าของผู้ป่วยอยู่ในท่าเหยียดตรง ส่วนมือข้างที่จับอยู่หลังข้อเท้า เลื่อนมาจับคร่อมหลังเท้าของผู้ป่วยเพื่อให้แรง กระดกข้อเท้าลง (ankle plantar flexion) และบิดเท้าหงายเข้าด้านใน (ankle inversion) ให้แก่ผู้ป่วย (รูปที่3.2) ซักถามอาการและสังเกตแรงต้านทานที่สัมผัสได้ และต้องหยุดการเคลื่อนไหวทันทีหากผู้ป่วยแจ้งว่ามีอาการเช่นเดียวกับที่นำมาพบนักกายภาพ ทำการตรวจประเมินเปรียบเทียบกันกับข้างปกติ



รูปที่ 3.2 แสดงการตรวจ straight leg raise (SLR) ร่วมกับการการกระดกข้อเท้าลง (ankle plantar flexion) และการบิดเท้าหงายเข้าด้านใน (inversion)

การแปลผลการตรวจ

แปลผลบวกหากผู้ป่วยถูกกระตุ้นให้เกิดอาการในบริเวณที่นำมาพบนักกายภาพบำบัดได้ และเมื่อมีการเพิ่มหรือลดการตรวจที่ช่วยกระตุ้น (sensitizing maneuvers) มีผลไปทำให้อาการผู้ป่วยเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ป่วยรายนั้นน่าจะมีปัญหาในแขนงประสาทคอมมันเพอโรเนียล (common peroneal nerve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 4

คู่มือการใช้เครื่องบริหาร (CPM)

คู่มือการใช้งาน

เครื่องบริหารข้อเท้า (CPM)

(CONTINOUS PASSIVE MOTION FOR AKLE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

คู่มือการให้งานนี้เป็นผู้ที่มีไว้เพื่อประกอบการใช้งานเครื่องบริหารข้อเท้า (CPM) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2553 เพื่อประโยชน์ต่อผู้ต้องการลองใช้งาน หรือผู้ที่ต้องการนำชิ้นงานไปทำการพัฒนาไป

ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สิ่งประดิษฐ์นี้จะช่วยให้ผู้ที่สนใจได้นำไปพัฒนาต่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อจะได้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาในวงการการแพทย์ต่อไป

คณะผู้ทำโดย

นางสาวกนกสุดา	เกรียงนรงค์เดช	50010009
นายณัฐศักดิ์	หาญวนิชกุล	50010517
นายธีระพงษ์	มุลศรีสุข	50010718
นายนคร	เจริญวสุรัตน์	50010724

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1.ข้อมูลจำเพาะของเครื่อง	4
2.โครงสร้างของเครื่อง	4
3. วิธีการในการติดตั้งเครื่องมือก่อนใช้งาน	5
4. ขั้นตอนการใช้งาน	5
5.การเก็บและดูแลรักษาเครื่อง	8
6. ข้อควรระวังและข้อแนะนำ	8

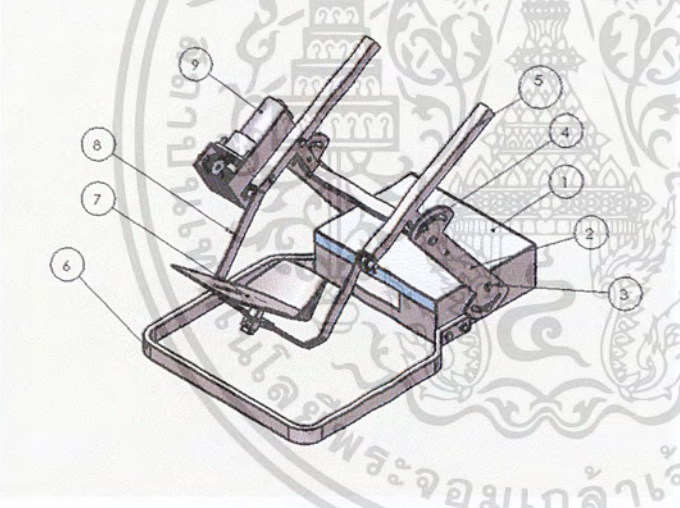
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำแนะนำในการใช้เครื่อง

1. ข้อมูลจำเพาะของเครื่อง

ไฟฟ้าที่ใช้	220V/50Hz
มอเตอร์ที่ใช้	12V/150 rpm
โครงสร้างทั่วไป	Stainless steel
หมุนได้ในช่วง	50องศา-120องศา
น้ำหนักเครื่องอยู่ที่	12 kg.
น้ำหนักของเท้าที่สามารถรับได้	0-10 kg.

2. โครงสร้างของเครื่อง



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของตัวเครื่อง

ส่วนประกอบ	
1	กล่องคอนโทรล
2	แขนรับ
3	น๊อตด้านล่าง
4	น๊อตด้านบน
5	แท่นรับขา
6	ฐาน
7	แผ่นรับฝ่าเท้า
8	แกนหมุนข้อเท้า
9	มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการในการติดตั้งเครื่องมือก่อนใช้งาน

3.1 จัดว่าเครื่องโดยการไขน๊อต 6 เหลี่ยมที่ตัวเครื่องด้านล่างแล้วยกตัวเครื่องขึ้นเพื่อจัดตำแหน่งตามต้องการ ตามรูปที่ 2.1 แล้วให้ไขน๊อตตัวเดิมให้แน่น

รูปที่ 3.1

3.2 ไขน๊อตในตำแหน่งด้านบนทั้ง 2 ตัวแล้วทำการจัดตำแหน่งในตำแน่งที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการว่างเท้าในท่าทางไหนก็สามารถจัดได้ ดังรูปที่ 1.2 แล้วไขน๊อตตัวเดิมให้แน่น จากนั้นลองนำนำเท้าของผู้ต้องการบริหารว่างดูว่าอยู่ในตำแหน่งที่พอใจหรือไม่

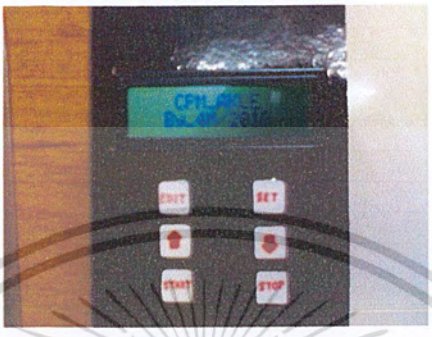
รูปที่3.2

3.3 นำเท้าว่างในตั้งแหน่งว่างเท้า แล้วเสียบปลั๊กเข้ากับไฟบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขั้นตอนการใช้งาน

4.1 เปิดสวิตซ์สีแดงที่หลังเครื่อง ที่จอLCD จะแสดงผลดังรูปที่ 4.1 รอสักครู่จะเข้าสู้ลำดับการกำหนดค่า



รูปที่ 4.1

4.2 เมื่อจอแสดงผลว่า SET TOP Doralflexion (รูปที่ 4.2)คือการให้กำหนดตำแหน่งสูงสุดโดยกดปุ่มลูกศรขึ้นที่รีโมท1ครั้ง ถ้าต้องการหยุดให้อีก 1 ครั้ง ถ้าสูงเกิดไปให้ลูกลงในลักษณะเดี่ยวกับลูกศรขึ้น

รูปที่ 4.2

4.3 เมื่อตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ให้กดปุ่ม SET ที่รีโมท เป็นการกำหนดค่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 จากนั้นจอจะแสดงผลว่า SET UNDER Plantareflexion (รูปที่ 4.3) คือการให้กำหนดตำแหน่งต่ำสุด โดยกดลูกศรลง 1 ครั้งที่ รีโมท และกดอีก 1 ครั้ง เพื่อหยุด หากต่ำเกิดไปก็สามารถกดลูกศรขึ้นได้ในลักษณะเดี่ยวกัน

รูปที่ 4.3

4.5 เมื่อตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ให้กดปุ่ม SET ที่รีโมท เป็นการกำหนดค่านั้น หากค่าทั้ง 2 ที่ SET ไว้นั้นถูกต้องแล้วจอ LCD จะสามารถดำเนินขั้นตอนต่อไปได้ แต่หากไม่ถูกต้องจะแสดงดังรปที่ 4.4 แล้วจะให้กำหนดไปกำหนดค่าใหม่ไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้

รูปที่ 4.4

4.6 เมื่อขั้นการกำหนดค่าถูกต้องแล้วจอ LCD จะแสดงว่า Select_Speed Up or Down(1-5) (รูปที่ 4.5) คือการให้กำหนดค่า ความเร็วในการใช้งาน ซึ่งมีให้เลือกตั้งแต่ 1-5 ระดับ โดยลำดับที่ 1 นั้นเป็นระดับต่ำสุด และลำดับที่ 5 เป็นระดับสูงสุด การเลือกนั้นให้กดปุ่มขึ้นหรือลงเพื่อเลือก 1-5 เมื่อได้ค่าที่ต้องการแล้วให้กด SET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5

4.7 ขั้นตอนต่อมาจอLCD จะแสดง SET_TIME Up & Down TIME (รูปที่ 4.6) คือการกำหนดค่าเวลาโดยกำหนดเป็นนาที ตั้งแต่ 1-15 นาที เมื่อเลือกได้แล้วให้กด SET

รูปที่ 4.6

4.8 เมื่อกำหนดทุกอย่างเสร็จแล้วเครื่องจะแสดงให้ผลของการกำหนดค่าทั้งหมดอีกครั้ง และขึ้นคำว่า Ready_Pass ! START ! (รูปที่ 4.7)เป็นการบอกว่าพร้อมที่จะทำงานแล้ว เมื่อกดปุ่ม START จากนั้นเครื่องจะทำงาน และเครื่องจะนับเวลาไปเรื่อยๆ จนจบเมื่อครบเวลา เครื่องจะเคลื่อนที่ลงมาที่ตำแหน่งต่ำสุด และจะแสดงคำว่า Finish !!! เป็นการเสร็จการบริหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7

4.9 หากต้องการหยุดเครื่องก่อนที่เวลาจะครบ สามารถกดปุ่มSTOP ที่รีโมทค้างไว้ จากนั้นเครื่องจะหยุดการทำงาน หรือกดสวิตซ์ด้านหลังได้ทันที แต่ถ้าจะต้องการเริ่มใหม่อีกครั้งจะต้องทำการกำหนดค่าทั้งหมดใหม่เท่านั้น

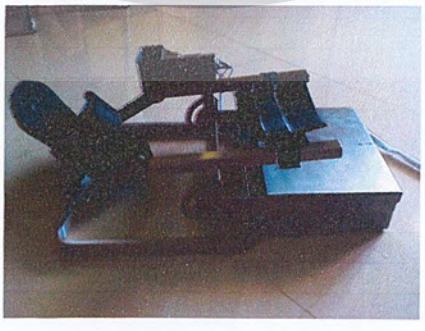
5. การเก็บและดูแลรักษาเครื่อง

5.1 เมื่อใช้เครื่องเสร็จแล้วทุกครั้งก่อนทำการเก็บให้ทำการจัดตำแหน่งของที่ว่างเท้าให้อยู่ในแนวเดียวกับแท่นรับเท้า เพื่อความสะดวกในการใช้งานต่อไป

5.2 ให้ไขน็อตด้านบนทั้ง 2 ตัวแล้วทำการยกแท่นรับขาขึ้น ดังรูปที่ 5.1 แล้วไขน็อตให้แน่น

รูปที่ 5.1

5.3 ต่อไปให้ไขน็อตด้านล่างทั้ง 2 ตัวแล้วเคลื่อนที่ลงดังรูปที่ 5.2 แล้วไขน็อตให้แน่น เป็นการเก็บเครื่องในขั้นตอนสุดท้าย



รูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ข้อควรระวังและข้อแนะนำ

6.1 ขนาดใช้งานไม่ควรขยับขาไปมา เพราะอาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องได้

6.2 หากมีการผิดพลาดหรือเหตุการณ์ที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายควรปิดเครื่องทันที

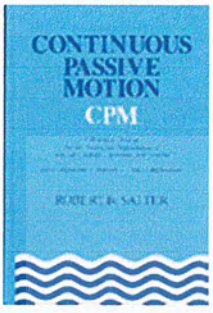
6.3 ในการรัดข้อเท้าควรรัดให้แน่นพอสมควรเพื่อกันการลื่นไล่ของเท้า

6.4 ควรว่างให้ไกลมือเด็กหรืออยู่ในการดูแลของผู้ปกครอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 5

ประวัติและที่มาของ Continuous Passive Motion



Engineering Aspects of the Design and Construction of Continuous Passive Motion Devices for Humans

By John Saringer, P Eng

BRIDGING THEORY WITH PRACTICE: PRACTICAL CONSIDERATIONS IN THE DESIGN OF CPM MACHINES

The continuous movement of a joint by external mechanical means poses so many unique challenges that ideal solutions are nonexistent. Every approach represents a compromise. Different emphasis of the design goals inevitably leads to a different approach to building a device. The net result is the broad array of continuous passive motion (CPM) machines designed and built by various hospitals and companies throughout the world.

Criteria usually considered in the design and construction of these machines are as follows.

- Adjustability to a wide range of patient sizes
- Comfort, particularly for long uninterrupted application
- Use in a variety of settings: in bed while sleeping, while ambulating during the day
- Durability
- Light weight
- Low cost
- Full anatomic range of motion capability
- Multi-axis motion capability
- Minimum loading of joints
- Precise and variable range of motion (ROM) control
- Speed control
- Safe and reliable operation
- Simple and straightforward operation
- Protection for unstable joints

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A variety of basic options are available to the designer and builder of CPM machines. Each selection results in a greater or lessor achievement of the above goals and a unique device results from every unique selection of options. With the passage of time the practical day-to-day experience with machines in use causes one or other approach to be favoured over others. Later-generation products then emerge looking more and more alike. There is also a significant creative and innovative element to the process that can not be ignored. The art of creative product design lies precisely in being able to find simple and creative solutions to constantly broaden and redefine the range of what is considered possible. The following discussion summarizes the current state of the art in CPM design with the options as now evident from the machines built to date.

SUPPORTING A LIMB: FREE LINKAGE OR MOTORIZED SPLINTS

There are essentially two ways in which a limb may be grasped for the purpose of flexing and extending a joint. The first is the approach taken by a physiotherapist when manipulating the limb manually. The limb is held and supported on both sides of the affected joint and pushed, pulled, and torqued to create the required movement. ROM is controlled subjectively and is usually limited to the amount of force the therapist deems safe to apply to the joint or by the range the patient is comfortable with. CPM devices that try to mimic this approach are called *free linkage machines*.

The second approach involves the use of a splint whereby the limb is cradled in a frame. This frame has adjustments to accommodate a range of limb sizes and is generally loosely bound to the limb to allow for some movement of the limb relative to the frame. The linkage is hinged at locations roughly coinciding with the joints of the body. The frame then resembles a splint with moving hinges. A motor drive acts on the frame to cause articulated back and forth movement of the hinges, and concurrently, similar movement of the joints. Devices employing this approach are called *motorized splints*.

Motorized splints are themselves further classified as either anatomic or nonanatomic. An *anatomic frame*, as the name suggests, is a frame that attempts to mimic the natural movement of the patient's joint with the hinge axes coinciding with the joint axes. The match is never very close due to the complex and variable nature of joints; nevertheless, when the attempt to achieve anatomic alignment has been made, the device is called anatomic.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A *nonanatomic motorized splint* consists of a frame where no real attempt is made to mimic anatomic movement. Hinge locations are often far removed from joint axes and the motion of the limb only roughly correlates with motions of the frame. This approach relies on relative motion between the limb and frame to constantly compensate for the misalignments.

All three of the above types of machines are available commercially and each offers significant advantages over the others under certain circumstances. The following table briefly summarizes how well each approach generally satisfies the criteria listed at the beginning of the chapter. A discussion follows.

	Free Linkage Machine	**Anatomic Mot. Splint**	**Nonanatomic Mot. Splint**
Patient size adjustability	Excellent	Poor	Fair
Longterm comfort	Excellent	Good	Fair
Versatility	Good	Poor	Poor
Light weight	Good	Poor	Fair
Range of motion	Poor	Excellent	Good
Multi axis motion	Good	Poor	Fair
Joint loading	Constant	Variable	Variable
Precise ROM control	Very poor	Excellent	Fair
Ease of use	Good	Fair	Good
Joint stability	Very poor	Good	Fair

Adjustment to a variety of patient sizes is most easily achieved with a free linkage machine where there is no splint to size to the limb. An anatomic splint is invariably the least adjustable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absence of multiple support points rubbing on a limb generally favours the free linkage approach for long-term comfort. Anatomic frames cause less rubbing, however, the nonanatomic device benefits from changing pressure points during the movement cycle.

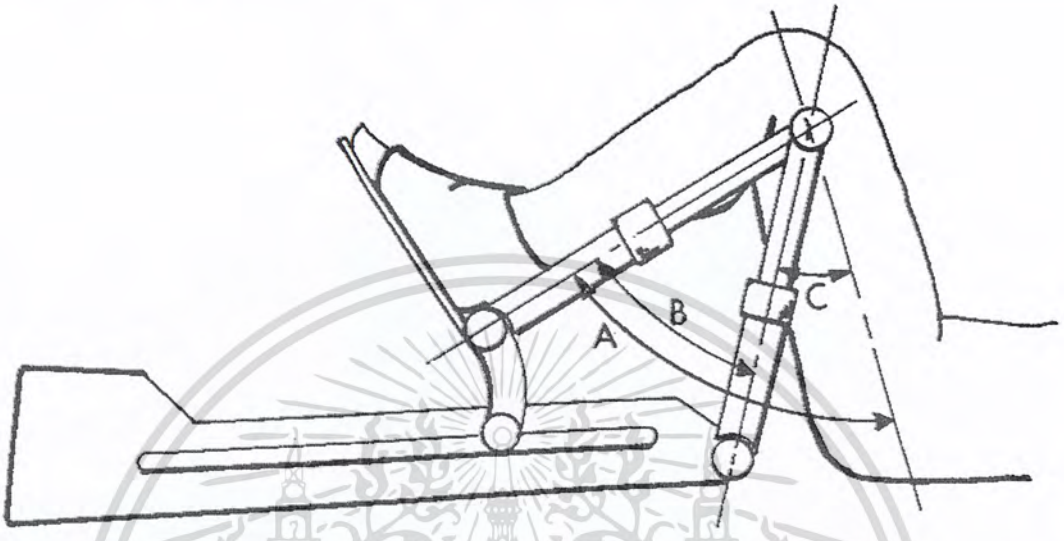


Figure A.1. On a nonanatomic machine, the measured ROM at the patient's knee *(A)* may differ from the indicated ROM *(B)* by 20° or more.

Full and precise range of motion is easiest to achieve with an anatomic frame because full travel to the frame hinges translates directly into joint movement. In both other approaches there is no such direct relationship between the hinge motion and the joint and hence ROM control is compromised. Free linkage machines rarely attempt to calibrate angular joint movements because there is no hinge point that can be used to measure angles. Nonanatomic machines are inaccurate because the hinge angles, which can be precisely measured and controlled, only roughly approximate joint movement. This problem is most evident when trying to move stiff joints. In this case actual joint movement can be far less than what is attempted by the machine. Differences between actual joint angles and that shown on the ROM control dials or hinge goniometers can be in error by 5 to 10° for an anatomic device and 20° or more for a nonanatomic frame. Displayed angles on machines invariably show the largest achievable angles, which are rarely obtained in practice. Nonanatomic motorized splints built for the knee, for example (see Fig. A.1), typically display ROM control of -10 to 120° while actual knee ROM measured with a goniometer to the patient's knee would typically show O to 100° of movement at most.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stabilizing a joint that is being moved, the forces imparted to a joint other than torsion during movement and the ability to manipulate a second axis of rotation simultaneously are all closely interrelated. An anatomic device with its hinge points roughly coinciding with the joint often employs more rigid and constraining methods of support to the limb precisely for the purpose of ensuring the anatomic alignment. The end result is relatively stable and constrained single-axis movement which can protect the joint if it is unstable due to ligament or tendon damage but also limits a second axis of motion when desired. Forces on the joint vary in direct relation to how closely the device is anatomically aligned to the joint and how rigidly the limb is constrained. Poor alignment and rigid restraint result in part of the misalignment being forcefully taken up in the joint. In anterior cruciate ligament (ACL) repairs to the knee an anatomic splint has distinct advantages over the alternatives, however, in the case of elbow reconstruction where flexion and extension as well as supination and pronation are required (two axes of movement) the anatomic splint is the least practical.

Free linkage machines offer the least support to the joint and are unsuitable for unstable joints because the joints are largely unrestrained. This works to advantage, however, when the joint is stable because the joint can be manipulated in more than one axis and there is no frame misalignment that can cause excessive loading of the joint. Loading is light, cyclic, predictable and usually compressive in flexion and distractive in extension.

Nonanatomic frames offer a compromise between anatomic and free linkage machines. Limbs are usually less restrained in their frames, as they must be to accommodate misalignment, providing for less support against joint instability. Loading to the joint is inconsistent, largely unpredictable, but never very high because the limb is generally free to slide around.

Ease of use is somewhat affected by the choice of approach. Anatomic frames generally require far greater care in setup and regular monitoring to ensure that anatomic alignment is maintained. If this care is not taken the advantages of the device are defeated. Nonanatomic frames are more tolerant of setup errors and hence are easier to use by untrained staff. Free linkage machines are much easier to adjust to different patient sizes and bulk because of the absence of frames but require greater care in range of motion setup.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LEVERAGE USING A LINEAR OR ROTARY DRIVE

After the question as to how to support a limb has been addressed, the next question is how to drive the limb support back and forth through a desired range. There are two options. First, you can hold on to the end-points of the frame as far away from the joint (and hinge) as possible and push and pull to bend the frame at its hinge or the limb at its joint. A push-pull mechanism is called a *linear actuator* and it is generally attached to extreme ends of a linkage to provide maximum leverage, i.e., a minimum drive force creating maximum torque at the hinge point. The second option is direct rotary drive to the hinge. In this case leverage is very poor. The two types are easily illustrated, e.g., operating a screwdriver is an example of rotary drive whereas using a wrench illustrates leveraged linear drive. Long wrenches give much greater leverage than short ones. Without exception a rotary drive gives better functional performance in safety, range, and consistency of motion and linear actuators are favored where force and torque requirements are too high for a rotary drive to handle practically. Each of these aspects is separately discussed below.

In the area of force and torque capability there is no contest. The very high leverage available to a linear drive makes it the obvious and straightforward choice when a heavy limb such as a leg is to be moved. Of the more than 30 machines that have been built to drive a knee joint to date all but two use linear drives. For smaller joints such as for the hand, torque requirements are small and hence both types of drive are feasible. Medium-sized joints such as the elbow are more easily driven with linear drives but rotary drives can be substituted without great hardship.

Safety is greater using a rotary drive for two reasons. First, the connection between the driven hinge and the motor is more direct with less danger of uncontrolled movement. The frame in a linear drive is usually adjustable between the drive connection points and if this adjustment loosens then the frame can suddenly collapse. The second factor is that a linear drive involves a scissoring-type mechanism which invariably increases risk of pinch points and entrapment of uninvolved limbs.

Range of motion is generally unrestricted and more precisely controlled with a rotary drive, hence it is possible to build rotary drives to manipulate limbs through their full anatomic range. This is not possible with a linear drive because linear drives can only effectively act in narrow rotational ranges before the angle of push or pull is ineffective. A linear drive moving

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

through more than 90° becomes inefficient since most of its delivered force beyond this angle pushes and pulls on the frame rather than flexing the hinges and joints.

Rotational speed and smoothness of motion are much better with a rotary drive because angular speed does not vary during the movement cycle and there is direct coupling through gearing of the motor to the joint. A linear drive operating at a constant motor speed delivers a variable rotary speed which depends on angle. At full extension the rotary speed at the joint is much higher than when it is flexed, with the secondary consequence that the linear drive spends much more time in a flexed position rather than extended than does its rotary counterpart.

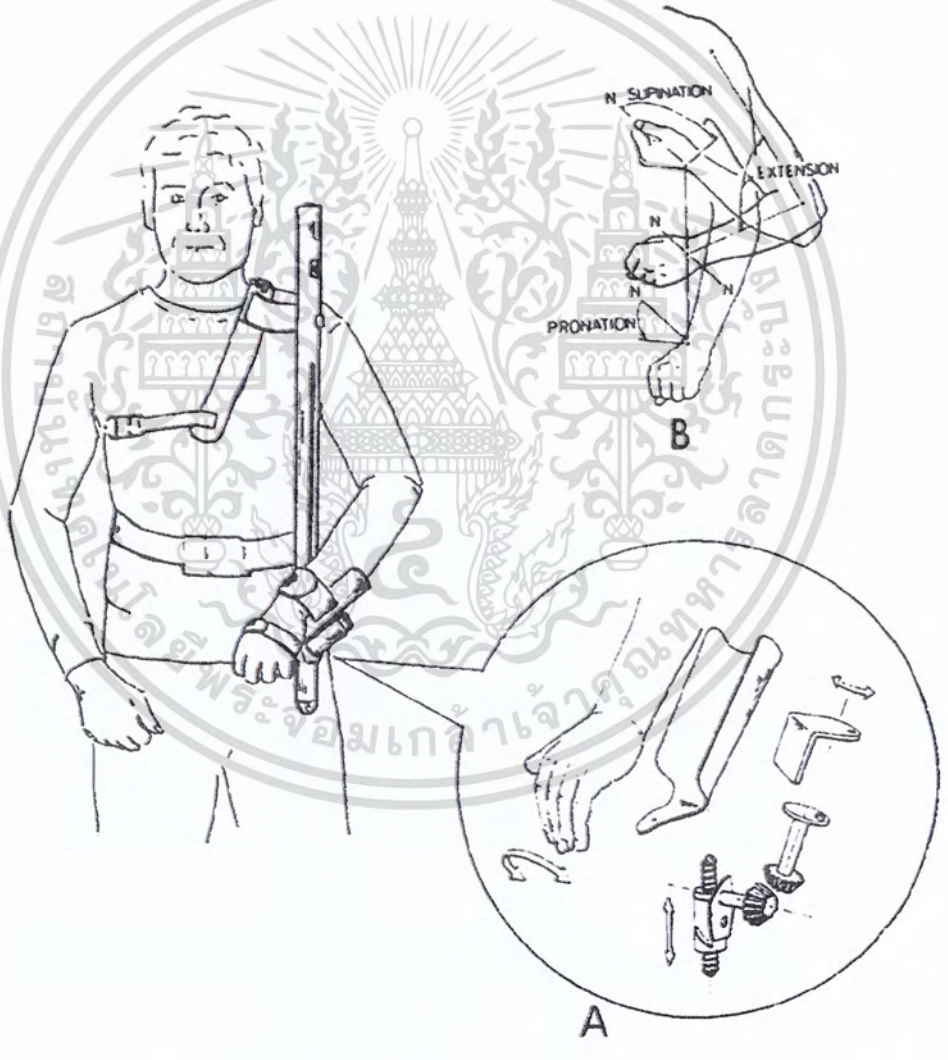


Figure A.2. In this free linkage design, a mechanism *(A)*is used to create an additional rotary movement *(8)* by coupling to the primary movement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MULTI-AXIS DRIVE--COUPLED OR INDEPENDENT

It is desirable whenever possible for a CPM machine to be capable of moving a joint through its entire physiologic range of motion. While this is rarely required, the capability of doing so allows applications for the broadest possible range of indications and patient population. Most joints move through more than one axis and some, like the shoulder and hip, move in three.

Building a device to move in two axes is very difficult and the approach usually taken is to couple the secondary axis to the movement in the primary axis. In this way only one motor and drive system is required since the movement in one plane forces motion in the second. Figure A.2 shows a free linkage elbow unit where the changing angle of the elbow joint is used to cause supination and pronation of the wrist resulting in flexion, extension, and rotation of the elbow joint.

Commercial products to move a joint in three planes are only available set up to move one or two axes at a time. Experimental units with three motor drives to move all three axes of the shoulder have been built but their bulk, complexity and cost have so far prevented their commercialization.

MOTOR SELECTION--LARGE OR SMALL AND WHAT TYPE

The motor power requirements of a CPM device are governed by the maximum speed and loading on a machine. The smallest of motors can drive the largest machine provided that the reduction gearing is high enough. Because gears are much cheaper than motors it is always easier to gear the machine down to a lower speed than it is to increase motor power. This is particularly true of the larger machines built for the lower limb where power requirements are highest. CPM manufacturers frequently compromise speed and load capability in an effort to reduce cost, increase longevity, and reduce weight of their product.

Clinical requirements for speed (cycle time) are currently vague and poorly understood. It is logical to assume that speed should influence the therapeutic value of CPM in areas such as venous flow in the limb, synovial fluid flow, swelling, pain, and wound healing; however, given current knowledge on the subject there is no way in which one speed can be strongly recommended over another. Experience at The Hospital for Sick Children, Toronto suggests that higher speeds in the range of 1 cycle/min or faster produces excellent results. How much this speed can be reduced without compromising performance is unknown.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

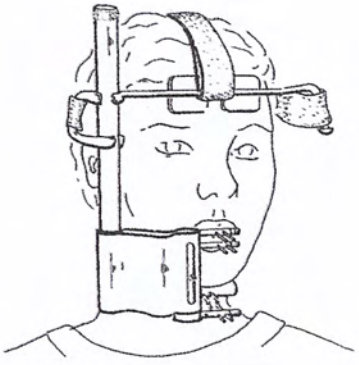


Figure A.3. A light weight, highly efficient unit for the hand.

Figure A.4. A light weight, highly efficient unit for the jaw.

Given the uncertainty as noted above, CPM machines should be equipped with variable speed ranges with a maximum speed of approximately one full range of motion cycle per minute. Maximum loading on a device should be equivalent to a 110 kg or larger adult male unless the device is specifically designed for children.

Current practice in the industry is to use conventional high-quality brush-type direct current (DC) motors as the power source. These motors are usually run at less that 50% of their rated speed and load capacity to increase their longevity and decrease noise. Alternatives such as stepper motors, brushless DC or alternating current (AC) motors are also feasible but offer less power to weight capability and lower electrical efficiency and hence are rarely used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER SUPPLIES-BATTERIES OR AC CURRENT

Electrical power consumption of CPM machines is within a range where battery operation is feasible. Typical average power required to move a joint at 1 cycle/min varies from a low of 0.005 W in the case of a single finger to 1.0 W for an entire lower limb. Electrical inefficiency and redundancy in power conversion result in a 3 to 20 fold increase (or even higher) in power actually delivered to a machine to deliver this electrical work to a joint. When a variable speed control is added the electrical efficiency decreases further.

In the smallest CPM machine designed to move a finger, the least amount of power required using the most efficient drive design without speed control is 0.005 x 3 = 0.015 W. Two AA alkaline batteries have 3 W-hr x 2 = 6 W-hr of power capacity, therefore the battery life for a hand device can be as high as 200 hours (battery life = 6 W-hr/O.O15 W = 200 hours). Devices for the hand and jaw shown in Figures A.3 and A.4 actually achieve this performance. Nickel cadmium cells, when used, have only 25% of the power capacity of an alkaline cell.

In the largest CPM devices for the lower limb, the minimum power requirement without compromising maximum speed is 3 W. The largest readily available alkaline batteries are D cells each with 15 W-hr of capacity. If four of these batteries were used, a machine would run 20 hours on a set of batteries or 5 hours using rechargeables. This performance is marginal and therefore almost all lower limb CPM devices are operated with AC/DC power supplies.

BELLS AND WHISTLES

Certain basic controls including range of motion adjustments and an on-off switch are necessary on a CPM machine. Speed control is also a frequent addition. Additional features are frequently added but rarely improve the clinical effectiveness of the product. The possible exception to this is the inclusion of an interface for a neuromuscular stimulator. This feature allows synchronized use of both devices for patients where both treatments are separately indicated.

DURABILITY AND WEIGHT

The necessity and difficulties associated with building a CPM device sufficiently durable to provide years of service is rarely appreciated or understood. Few electrically operated machines are operated for as many hours as those that provide CPM. In a single year a CPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

machine may operate up to 6500 hours (over 3 million cycles) in a busy hospital. An automobile driven for the same length of time would travel almost 500,000 km (312,500 miles). Needless to say, an inordinate amount of care must go into the selection of materials and components to build these machines to obtain sufficient durability. Inevitably there is a tradeoff with weight and other performance features which are often compromised to achieve reliability. Most commercially available CPM machines are built for a service life of at least 5000 hours of use and a few are serviceable up to 15,000 hours.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้