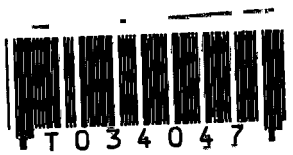
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ขากล

LEGGED ROBOT



โดย

นาย ดอน อิศรากร

นาย ธงชัย มณฑาทิพย์กุล

นาย ธัญญวัฒน์ รัชตเสรีกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 34047
วัน, เดือน, ปี - 1 ต.ค. 2542

ขากล

LEGGED ROBOT

โดย

นาย ดอน อิศรากร 38014158

นาย ธงชัย มณฑาทิพย์กุล 38014184

นาย ธัญญวัฒน์ รัชตเสรีกุล 38014198

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ โกศล ชวนขยัน

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

ขากล

LEGGED ROBOT

นาย ดอน อิศรากร 38014158

นาย ธงชัย มณฑาทิพย์กุล 38014184

นาย ธัญญวัฒน์ รัชตเสรีกุล 38014198

ปริญญานิพนธ์ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

.....

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ขากล

LEGGED ROBOT

นาย ดอน อิศรากร 38014158

นาย ธงชัย มณฑาทิพย์กุล 38014184

นาย ธัญญวัฒน์ รัชตเสรีกุล 38014198

ปริญญานิพนธ์ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

.....

(นาย ไกรสร ชวนชาญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ขากล

ดอน อิศรากร
ธงชัย มณฑาทิพย์กุล
ธัญญวัฒน์ รัชตเสรีกุล
อ.โกศล ชวนชยัน อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

รายละเอียดของโครงนี้เป็นการศึกษาในเรื่องกายวิภาคศาสตร์ระบบการเคลื่อนไหว และท่าเดินของมนุษย์ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ จัดสร้าง ชุดต้นแบบของแบบจำลองแสดงการเดินของมนุษย์ เพื่อประโยชน์ในทางการแพทย์ เช่น เป็นโครงสร้างรับแรงภายนอกสำหรับผู้ป่วยกายภาพบำบัด หรือ พิการในช่วงท่อนขา หรือ เป็นหุ่นยนต์สำรวจกู้ภัยในบริเวณที่มีอันตรายแทนมนุษย์ โดยทำการสร้างให้มีขนาดเท่าของจริง และ ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน

ในส่วนของการควบคุมชุดต้นแบบนี้ทำได้โดยการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลร่วมกับภาษาซีไปทำการควบคุมวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อ

โครงงานชิ้นนี้ถูกทำขึ้นในลักษณะของงานทดลองและวิจัยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะทำการเลียนแบบการเดินของมนุษย์ด้วย ชุดขากลต้นแบบคงที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นการรวบรวมผลการทดลองและสรุปถึงลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นรวมทั้งแนวทางการแก้ไขปัญหาทั้งที่ทำได้สำเร็จและไม่สำเร็จจึงจำเป็นมากสำหรับโครงงานนี้

Legged-Robot

Don Isarakorn

Thongchai Montatipkul

Thunyawat Rajatasereekul

Kosol Chaunkayan,Advisor

Abstract

The detail of this project is the study of Kinesiology and gait cycle of human for using it to design and invent the anthropoid walking that was made in real size and use DC motor to be a source of power.

In the control section, we use a personal computer programmed in C language to control DC motor driver that are connected to each joint. This project can be applied to use medical and other.

This project is made in the field of experiment and research , that considers to the possibility for human gait simulation by the anthropoid walking. So the collection of result in experiment and conclusion of problem that occurred in experiment are very necessary to fill in this thesis. We filled all of it including how to solve the problem occurred in each part of the anthropoid walking in each chapter.

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
บทที่ 1บทนำ	1
บทที่ 2 การศึกษาเกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์ระบบการเคลื่อนไหวและสรีระของมนุษย์	7
2.1 ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการเดิน	7
2.2 ท่าเดินของมนุษย์(gait)	10
2.3 ผลต่อข้อสะโพกที่เกิดจากการเดิน	18
2.4 สภาพสมดุลย์ของแบบจำลองการเดินของมนุษย์	21
บทที่ 3 ขอบเขตและแนวทางการพัฒนาของโครงงาน	25
3.1 ขอบเขตของโครงงาน	25
3.2 แนวทางในการทำงานของโครงงาน	25
3.3 แนวทางการพัฒนาชุดขากลต้นแบบ	26
3.4 แนวทางการพัฒนาระบบควบคุม	27
บทที่ 4 ชุดขากลต้นแบบ	34
4.1 แนวทางการออกแบบชุดขากลต้นแบบ	35
4.2 ลักษณะการทำงานของชุดขากลต้นแบบ	35
4.3 รายละเอียดของชิ้นส่วน	36
4.4 อัตราทดและการส่งผ่านกำลังของเฟือง	42
4.5 รูปแบบการทำงานของชุดขากลต้นแบบ	49
บทที่ 5 การออกแบบวงจรอินเตอร์เฟส	53
5.1 ทฤษฎีไอซี 8255	53
5.2 โหมดการทำงานของ 8255	55
5.3 สัญญาณที่นำมาจากระบบบัสของคอมพิวเตอร์	55
บทที่ 6 วงจรขับและควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์	58
6.1 การออกแบบวงจรเกท	58
6.2 การออกแบบวงจรขับมอเตอร์	60

บทที่ 7 อุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่ง 63
7.1 อุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่ง 63
7.2 ส่วนควบคุมวงจรตรวจสอบตำแหน่ง 68
บทที่ 8 โปรแกรมควบคุมระบบ 70
บทที่ 9 ผลการทดลอง 72
กิตติกรรมประกาศ
ภาคผนวก
เอกสารอ้างอิง

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของกระดูกส่วนสะโพก 2

รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างขาท่อนบน และหัวเข่า 3

รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้างของขา และกระดูกขาท่อนล่าง 4

รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างของกระดูกเท้า 5

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของข้อต่อ แบบบอล และ ซอกเก็ต ของข้อสะโพก 7

รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของข้อต่อ แบบบานพับของข้อเข่า 8

รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของข้อต่อ แบบบานพับของข้อเท้า 9

รูปที่ 2.4 แสดงช่วงการเดินของผู้หญิง 11

รูปที่ 2.5 แสดงเคลื่อนที่ของข้อเท้าในช่วงการเดินของมนุษย์ 13

รูปที่ 2.6ก แสดงช่วงการเดินในขั้นตอน Heel Strike 14

รูปที่ 2.6ข แสดงช่วงการเดินในขั้นตอน Mid Stance 14

รูปที่ 2.6ค แสดงช่วงการเดินในขั้นตอน Push Off 15

รูปที่ 2.6ง แสดงช่วงการเดินในขั้นตอน Mid Swing 15

รูปที่ 2.7 แสดงกล้ามเนื้อที่ต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ในการเดินแต่ละขั้นตอน 17

รูปที่ 2.8A แสดงการขจัดในแนวขึ้นลงตั้งฉากกับพื้นโลกที่เกิดขึ้นจากการเดิน 19

รูปที่ 2.8B แสดงการกระดกของกระดูกเชิงกรานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเดิน 19

รูปที่ 2.8C แสดงการหมุนรอบแกนกลางของร่างกายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเดิน 19

รูปที่ 2.9 แสดงการส่งผ่านแรงที่ข้อสะโพกและการขจัดในแนวขึ้นลงของข้อสะโพกในรูปแบบของโครงกระดูก 20

รูปที่ 2.10 แสดงแนวแรงจากจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายเทียบกับฐานรองรับแรง 21

รูปที่ 2.11 แสดงแนวแรงจากจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายเทียบกับฐานรองรับแรง 22

รูปที่ 2.12 แสดงธรรมชาติการเดินของมนุษย์ในรูปแบบของภาพจำลอง 23

รูปที่ 2.13 แสดงธรรมชาติการเดินมนุษย์ในรูปของภาพจริง 24

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ช่วยพยุงหมายเลข 1 26

รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ช่วยพยุงหมายเลข 2 27

รูปที่ 3.3 แสดงบล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบเปิด 31

รูปที่ 3.4 แสดงบล๊อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบปิด 32

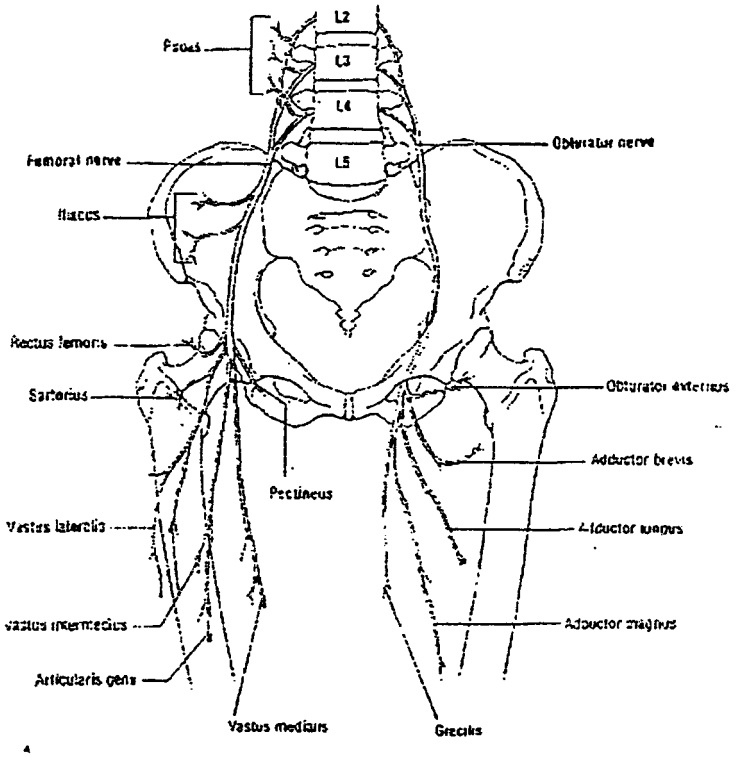
รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงลักษณะการประกอบกันของชิ้นส่วน 39

รูปที่ 4.3 แสดงการวางตำแหน่งของมอเตอร์ 40
รูปที่ 4.4 แสดงชุดขากลต้นแบบ 41
รูปที่ 4.5 แสดงการวางแผ่นอลูมิเนียมและเฟืองที่ข้อสะโพก 43
รูปที่ 4.6 แสดงการวางแผ่นอลูมิเนียมและเฟืองที่ข้อเข่า 44
รูปที่ 4.7 แสดงการวางแผ่นอลูมิเนียมและเฟืองที่ข้อสะเท้า 45
รูปที่ 4.8 แสดงกลไกการเชื่อมต่อระหว่างเฟืองแต่ละข้อโดยใช้โซ่ 46
รูปที่ 4.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการเดินของมนุษย์ 50
รูปที่ 5.1 รหัสควบคุม 54
รูปที่ 5.2 วงจรอินเตอร์เฟส 56
รูปที่ 5.3 วงจรไอโซเลเตอร์ 56
รูปที่ 5.4 แสดงวงจรเชื่อมต่อ 57
รูปที่ 5.5 แสดงการเชื่อมต่อเข้าสู่พอร์ตISA 57
รูปที่ 6.1 แนวคิดในการควบคุมมอเตอร์ 58
รูปที่ 6.2 แสดงวงจรเกท 59
รูปที่ 6.3 หลักการควบคุมมอเตอร์ 60
รูปที่ 6.4 วงจรรวมของวงจรขับมอเตอร์กับวงจรเกท 61
รูปที่ 6.5 แสดงวงจรขับและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ 62
รูปที่ 7.1 แสดงลักษณะของวงจรส่งสัญญาณแสง 64
รูปที่ 7.2 แสดงลักษณะของวงจรรับสัญญาณแสง 64
รูปที่ 7.3 แสดงลักษณะของวงจรรับสัญญาณแสง ที่เชื่อมต่อกับ แนนเกท 64
รูปที่ 7.4 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่ง 66
รูปที่ 7.5 แสดงลักษณะของจานถอดรหัสที่ข้อสะโพก 67
รูปที่ 7.6 แสดงลักษณะของจานถอดรหัสที่ข้อเข่า 67
รูปที่ 7.7 แสดงวงจรควบคุมอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่ง 68
รูปที่ 7.8 แสดงบล๊อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อ 69
รูปที่ 8.1 แสดงบล๊อกไดอะแกรมแบบไม่ป้อนกลับ 70
รูปที่ 8.2 แสดงบล๊อกไดอะแกรมแบบป้อนกลับ 71

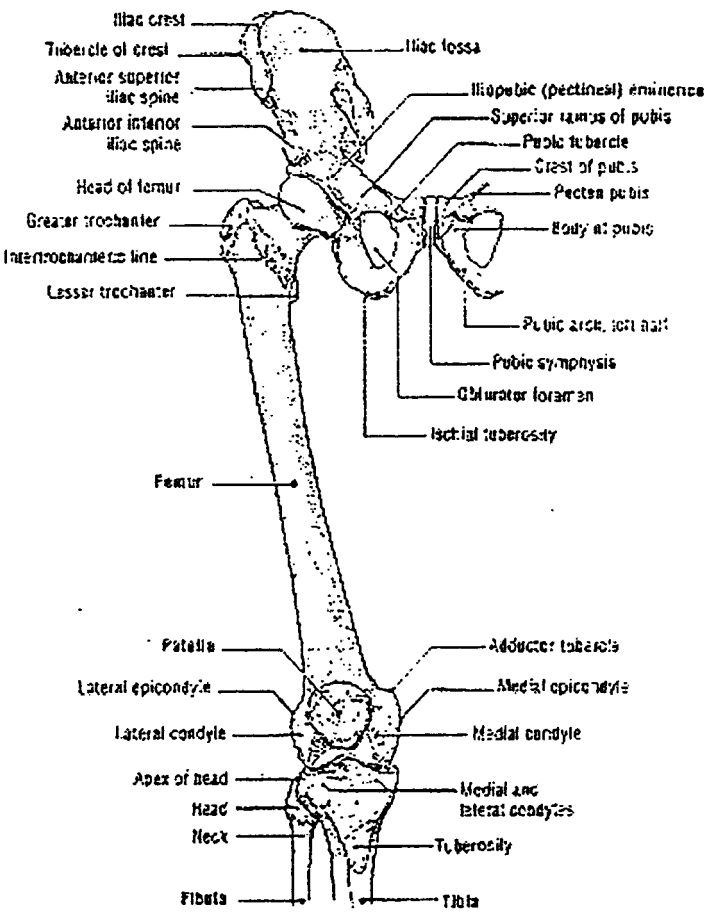
บทที่ 1
บทนำ

การพัฒนาหุ่นยนต์ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าไปเป็นอย่างมาก โดยหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นมาได้ถูกนำไปใช้งานในหลาย ๆ ด้าน ซึ่งล้วนแต่มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ใช้งานแทนมนุษย์ หรือทำงานในงานที่มนุษย์ไม่สามารถจะทำได้ อย่างไรก็ดีรูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ส่วนใหญ่ ยังคงใช้หลักการของการเคลื่อนแบบล้อเลื่อนเป็นหลัก ซึ่งต้องอาศัยเส้นทางที่ทำขึ้น อย่างไรก็ดีเราพบว่าการใช้งานเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานของมนุษย์นั้น ในบางครั้งต้องทำงานในบริเวณที่อยู่อาศัยที่ทำงาน หรือแม้กระทั่งใช้เป็นเครื่องมือเทียมสำหรับมนุษย์ จึงมีความจำเป็นที่หุ่นยนต์นั้น ๆ จะต้องมีรูปแบบการเคลื่อนที่ หรือการทำงานที่คล้ายมนุษย์เป็นเพื่อสามารถที่จะทำงานแทนมนุษย์ได้

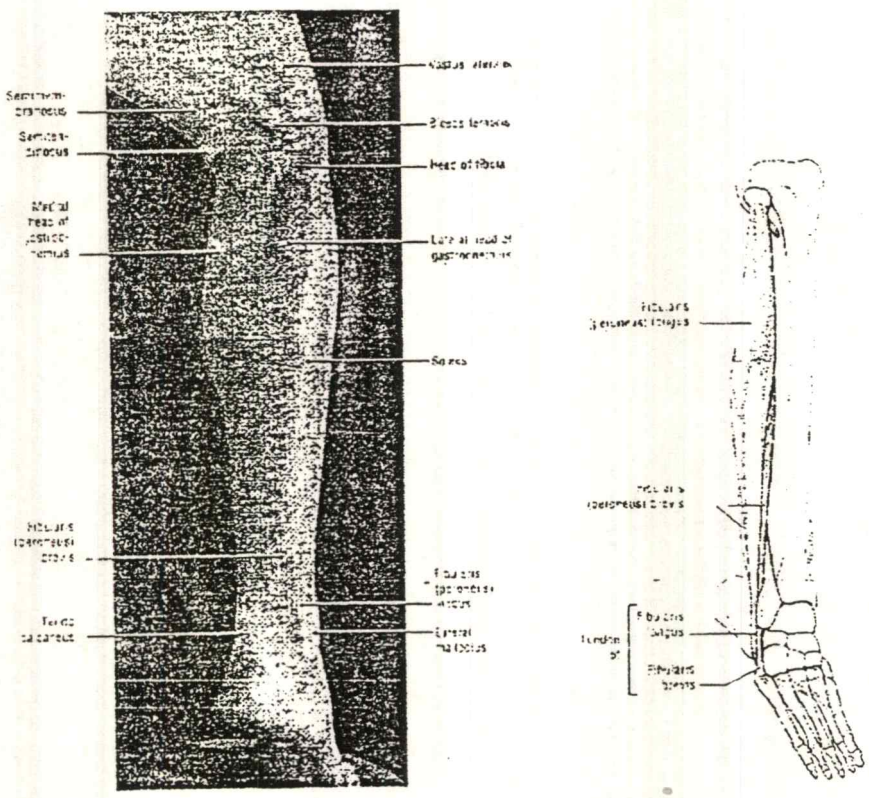
ในการสร้างขากลให้เคลื่อนที่ในรูปแบบที่เหมือนกับการเดินของมนุษย์ จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของมนุษย์เสียก่อนจึงจะสามารถทำการออกแบบชุดขากลได้ โดยจะต้องทำการศึกษาถึงโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ ซึ่งในบทนำนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของขามนุษย์อย่างคร่าว ๆ โครงสร้างของมนุษย์ประกอบไปด้วยส่วนหลัก คือกล้ามเนื้อ , กระดูกและระบบประสาทสั่งงาน การเคลื่อนไหวและควบคุมร่างกายของมนุษย์ทำโดยการสั่งการของสมองผ่านระบบประสาท และใช้เส้นเอ็นและกล้ามเนื้อเป็นต้นกำลังในการเคลื่อนไหว โดยมีกระดูกเป็นส่วนโครงสร้าง ในการศึกษาการทำงานของมนุษย์มักจะเริ่มจากการศึกษาโครงร่างของร่างกายซึ่งก็คือกระดูกนั่นเอง รูปที่ 1.1 – 1.3 แสดงถึงโครงร่างของกระดูกสะโพก ขา และ เท้า



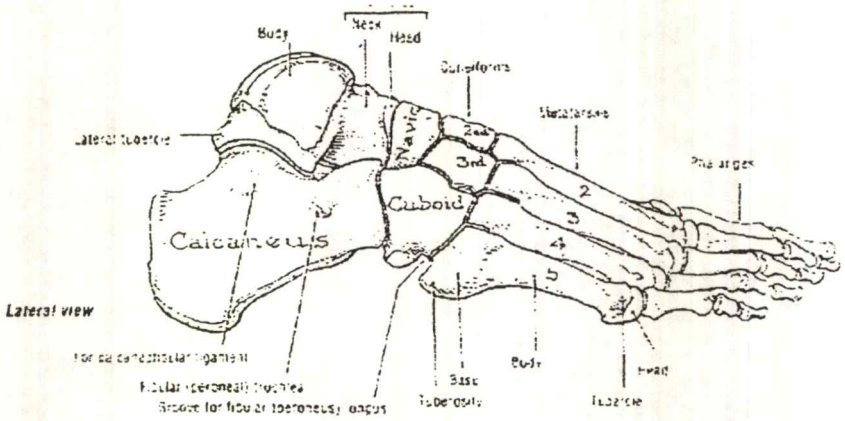
รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของของกระดูกส่วนสะโพก



รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างขาท่อนบน และหัวเข่า



รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้างของขา และกระดูกขาท่อนล่าง



of the foot

รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างของกระดูกเท้า

จากการศึกษาเราพบว่ามนุษย์มีการพัฒนาทางด้านร่างกายมาเป็นเวลานาน จนทำให้มนุษย์มีลักษณะโครงสร้างตลอดจนพฤติกรรมต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนมาจากโครงร่างเป็นรูปแบบเฉพาะตัว โดยข้อมูลชี้ให้เห็นว่าสาเหตุของการวิวัฒนาการของมนุษย์ที่เป็นไปอย่างรวดเร็วนั้น นอกจากการพัฒนาทางความคิด สติปัญญา และสมองแล้ว การพัฒนาทางด้านร่างกายก็มีส่วนสำคัญมาก จุดเดนทางด้านร่างกายที่เป็นจุดเด่นในการพัฒนาของมนุษย์คือ

-การมีนิ้วหัวแม่มือที่สามารถกางได้ตั้งฉากกับมือ ทำให้สามารถหยิบจับสิ่งของต่างๆ ได้สะดวก

-การมีตาสองข้างตั้งอยู่ใกล้กัน ทำให้สามารถมองวัตถุในลักษณะสามมิติได้

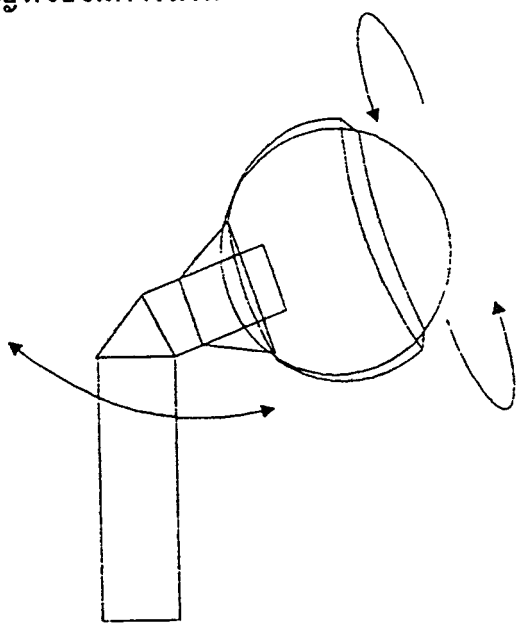
-การมีร่างกายตั้งตรง ในเคลื่อนที่จะมีลักษณะที่กระดูกสันหลังตั้งตรงตั้งฉากกับพื้นโลก จะเห็นได้ว่ารูปแบบการเคลื่อนที่ที่มีกระดูกสันหลังตั้งฉากกับพื้นโลกเป็นลักษณะของการ

วิวัฒนาการที่เป็นจุดเด่นและเป็นรูปแบบเฉพาะของมนุษย์เลยทีเดียว หากพิจารณาการเคลื่อนที่ดังกล่าวของมนุษย์เทียบกับการเคลื่อนที่ในรูปแบบของล้อหมุน พบว่าถึงแม้ลักษณะการเคลื่อนที่แบบล้อหมุนจะใช้แรงน้อยกว่า แต่ก็มีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น ต้องเคลื่อนที่บนพื้นเรียบ ไม่เหมือนกับการเคลื่อนที่แบบมนุษย์ ที่สามารถเคลื่อนที่ไปยังที่ขรุขระได้ ดังนั้นการศึกษาเรื่องการเคลื่อนที่ของมนุษย์ หรือแม้แต่การพัฒนาเครื่องจักร หรือ หุ่นยนต์ให้มีการเคลื่อนที่ในรูปแบบของมนุษย์ ยังคงเป็นสิ่งที่ท้าทายและน่าจะมีความสำคัญมาก

บทที่ 2
การศึกษาเกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์ระบบการเคลื่อนไหวและสรีระของมนุษย์

ในการจะทำแบบจำลองของสิ่งใดสิ่งหนึ่งขึ้นมานั้นเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการสร้างหรือออกแบบ แบบจำลองนั้น คือ ตัวต้นแบบ จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษารายละเอียดของตัวต้นแบบอย่างจริงจังจึงจะสามารถสร้างหรือออกแบบแบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดดังนั้นในการสร้างแบบจำลองลักษณะการเดินของมนุษย์ สิ่งที่จำเป็นจะต้องศึกษาอย่างจริงจังก็คือ มนุษย์ซึ่งจะต้องศึกษาทั้งในส่วนของส่วนประกอบที่ทำให้เกิดการเดินขึ้นและลักษณะการทำงานของส่วนประกอบแต่ละส่วนในการเดิน

2.1ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการเดิน



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของข้อต่อแบบบอลและซอกเกต (Ball & Socket) ของข้อสะโพก

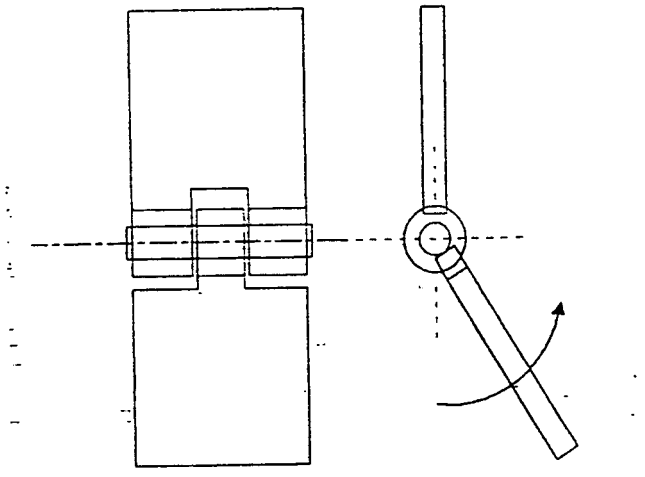
ข้อสะโพก

ข้อสะโพกเป็นข้อชนิด Spheriod type (ball & socket) ซึ่งมีลักษณะเป็น ball ฉวมอยู่ใน Socket ทำให้ข้อสะโพกสามารถเคลื่อนที่ไปได้รอบ ๆ จุดหมุน โดยที่ข้อสะโพกสามารถงอได้ตั้งแต่ 0° ถึง 115° - 125° โดยจำเป็นที่จะต้องอาศัยกล้ามเนื้อหลักในการทำให้มันงอได้ซึ่งในที่นี้คือ

-กล้ามเนื้อ Psoas major

-กล้ามเนื้อ Iliacus

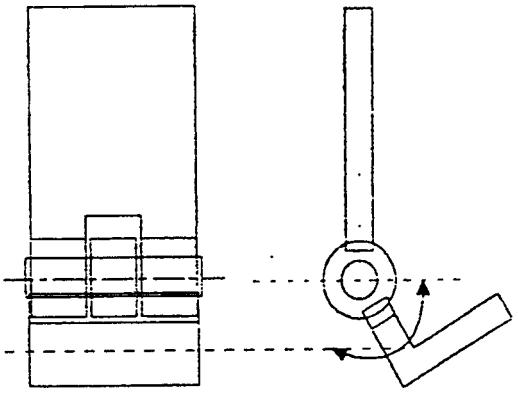
และกล้ามเนื้อรองอีกจำนวนหนึ่ง



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของข้อต่อแบบบานพับ (hinge type) ของข้อเข่า

ข้อเข่า

ข้อเข่า (knee joint) เป็นข้อชนิดบานพับ (hinge type) ซึ่งมีการเคลื่อนไหวรอบแกนนอน (Horizontal or transverse axis) ทำให้ขาสามารถงอ (flex) และเหยียด (extend) ยกเว้นเมื่อข้อเข่าอยู่ในท่างอประมาณ 90° เข่าสามารถหมุนได้รอบแกนตั้ง (Vertical or Longitudinal axis) ทำให้สามารถหมุนขาเข้าใน (Internal rotate) และหมุนออก (external rotate) ได้ และเช่นกันในการงอเข่าจำเป็นจะต้องอาศัยกล้ามเนื้อช่วยในการงอได้แก่ Hanstrings Gracilis Sartorius Popliteus Gastrocnemius โดยที่เข่าสามารถงอได้มากสุด 140°



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของข้อต่อแบบบานพับ (hinge type) ของข้อเท้า

ข้อเท้าและเท้า

การเคลื่อนไหวของข้อเข่าและเท้าอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อซึ่งมีที่เกาะด้านอยู่ในบริเวณขา (leg) ตอนปลายเป็นเส้นเอ็นทอดผ่านช่องทางรอบๆ ข้อเท้าเข้าไปเกาะที่กระดูกของเท้าและนิ้วเท้า โดยที่กล้ามเนื้อบังคับการเคลื่อนไหวของเท้าและข้อเท้า เช่นเดียวกับข้อสะโพกและข้อเข่า

เท้าในสภาวะใช้งาน (Foot as a functional unit)

หน้าที่ของเท้า คือ

1. รองรับน้ำหนักของร่างกาย
2. เป็นส่วนที่ช่วยส่งลำตัวไปข้างหน้าขณะเดินหรือวิ่ง

ซึ่งในหน้าที่ดังกล่าวนี้หากเท้ามีลักษณะเป็นกระดูกท่อนเดียวจะทำงานไม่ได้ดีเท่ากับเท้าที่มีส่วนโค้งและยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ส่วนโค้งของเท้า (arches of foot) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดย

ก. ช่วยผ่อนแรงกระแทก (shock absorption)

ข. ปรับตัวให้เข้ากับสถานผิวที่ยืนหรือเดิน

ค. อาศัยความยืดหยุ่นช่วยผลักหรือส่งลำตัวไปข้างหน้า

2.2 ท่าเดินของมนุษย์ (GAIT)

เมื่อสิ่งมีชีวิตต้องการจะเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ก็ต้องอาศัยอวัยวะต่าง ๆ ที่มีอยู่ในร่างกายเคลื่อนไหว เพื่อดันหรือดึงลำตัวให้เคลื่อนไหวไปในทิศทางที่ต้องการ ในสัตว์ชั้นสูงขึ้นมาก็อาศัยแขน-ขา หรือขา ทำหน้าที่ดังกล่าว มนุษย์เป็นสัตว์ 2 เท้า ก็อาศัยในการเคลื่อนไหวดังกล่าว ถ้าการเคลื่อนไหวนี้ทำอย่างรวดเร็ว ก็เรียกว่าการวิ่ง ถ้าเป็นไปช้า ๆ ก็เรียกว่าการเดิน การเดินนี้เป็นเรื่องที่วิวัฒนาการตามธรรมชาติ จึงทำให้คนทั่วไปไม่เห็นความสำคัญ จนกระทั่งเมื่อมีความผิดปกติของการเดิน อันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ เกิดขึ้นแล้ว จึงจะรู้สึกว่า การเดินนี้เป็นปัญหาที่ใหญ่มากต้องมีการฝึกหัดเดินกันใหม่

การเดิน (GAIT) เป็นวงจรของการเคลื่อนไหวของขาทั้ง 2 ข้าง เราแบ่งวงจรของการเดิน (gait cycle) ออกเป็น 2 ช่วง (phase)

1. stance phase คือ ช่วงที่เท้าอยู่กับพื้น
2. swing phase คือ ช่วงที่เท้าลอยอยู่ในอากาศ

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อก้าวออกเดินด้วยเท้าขวา ในช่วงแรกเท้าขวาจะยันพื้นรับน้ำหนักตัว (เราเรียกว่า stance phase) ลำตัวจะเคลื่อนไปข้างหน้า โดยเท้าซ้ายจะดันตัวไปเมื่อลำตัวเคลื่อนไปข้างหน้า เท้าซ้ายซึ่งลอยก็จะมาแตะพื้นเพื่อจะรับน้ำหนัก เท้าขวาก็จะกลายเป็นตัวดันลำตัวให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แล้วตัวเท้าเองก็จะลอยจากพื้น (swing phase) เพื่อจะไปคอยรับน้ำหนักตัวต่อไป phase ที่เราพูดถึงนี้ คือการศึกษาข้างใดข้างหนึ่ง จะเห็นว่าขาขวาจะมี stance phase และ swing phase ตามกันไป ขาซ้ายก็เช่นกัน จะมีทั้ง stance phase และ swing phase ตามกันไป เมื่อขาขวาเป็น swing phase ขาซ้ายต้องเป็น stance phase สลับกันไป จึงทำให้การเดินนั้นเป็นไปตามธรรมชาติ

ถ้าศึกษาให้ละเอียดแล้วช่วงต่าง ๆ แบ่งออกเป็นขั้นตอน ดังนี้

Stance phase ประกอบด้วยขั้นตอน

-Heel strike

คือ ขั้นตอนที่ส้นเท้ากระทบพื้น โดยในช่วงนี้กล้ามเนื้อจะทำหน้าที่ให้ข้อเข่าเหยียดเต็มที่และเหยียดข้อสะโพกเพื่อให้ส้นเท้าแตะและกดลงกับพื้น

-Foot flat

ในช่วงนี้จะมีการใช้กล้ามเนื้อเช่นเดียวกับขั้นตอน heel strike แต่ข้อเท้าจะงอ 15° และข้อเข่าที่เคยเหยียดเต็มที่ในขั้นตอน heel strike จะเริ่มงอ

-Mid strike

ในช่วงนี้ตัวจะเคลื่อนมาข้างหน้ามากขึ้น ขาต้องรับน้ำหนักตัวมากขึ้น โดยกล้ามเนื้อจะทำงานดังนี้

-ทำให้ข้อสะโพกงอเล็กน้อย

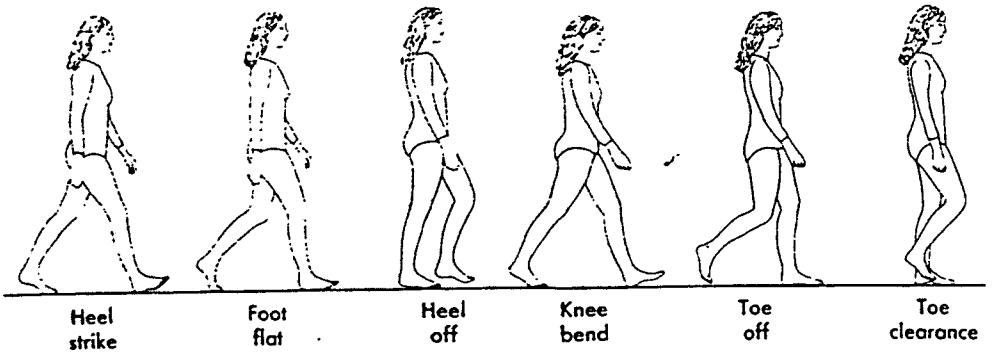
-บังคับให้กระดูกเชิงกรานอยู่ในแนวระดับ ไม่ให้กระดูกเชิงกราน เอียงมาข้างที่ลอย เพื่อให้แนวแรงเคลื่อนเข้ามาใกล้ข้อสะโพกมากขึ้น และ จุดศูนย์ถ่วงไม่เคลื่อนที่ขึ้นสูงเกินไป และเพื่อจะได้ไม่เสียหลักล้มลงไปยังด้านที่กำลังอยู่ในท่า swing phase ได้ง่าย

-Heel off

คือช่วงที่ส้นเท้ายกลงขึ้นจากพื้นตัวจะเอนไปข้างหน้ามากขึ้นทำให้ข้อสะโพกอยู่ในท่าเหยียด ประมาณ 10° ข้อเข่าเหยียดหรืองอเล็กน้อยประมาณ 2° ข้อเท้าอยู่ในท่าเอียง 15°

-Toe off

คือช่วงที่ปลายเท้าดัน (push) ให้ขาไปข้างหน้าเพื่อจะเริ่มต้น swing phase ต่อไป ในขั้นนี้จะเห็นว่าข้อสะโพกงอประมาณ 10° ข้อเข่าประมาณ 40° ข้อเท้างอประมาณ 20°



รูปที่ 2.4 แสดงช่วงการเดินของผู้หญิง

Swing phase ประกอบด้วยขั้นตอน

-Acceleration

ท่านี้ขาจะถูกเปลี่ยนไปข้างหน้าโดยใช้แรงมากมาเร่งข้อสะโพกอยู่ในท่างอ 15° ข้อเข่างอ 65° ข้อเท้าประมาณ 20°

-Mid swing

ท่านี้ขาข้างนั้นถูกดึงให้ลอยมาอยู่ใต้ลำตัว ข้อสะโพกจะงอ 25° ข้อเข่างอ 65° ข้อเท้าอยู่ในท่า neutral เพื่อให้ปลายเท้ายันจากพื้น โดยการทำงานของกล้ามเนื้อจะเหมือนกับช่วง acceleration phase ทุกประการ

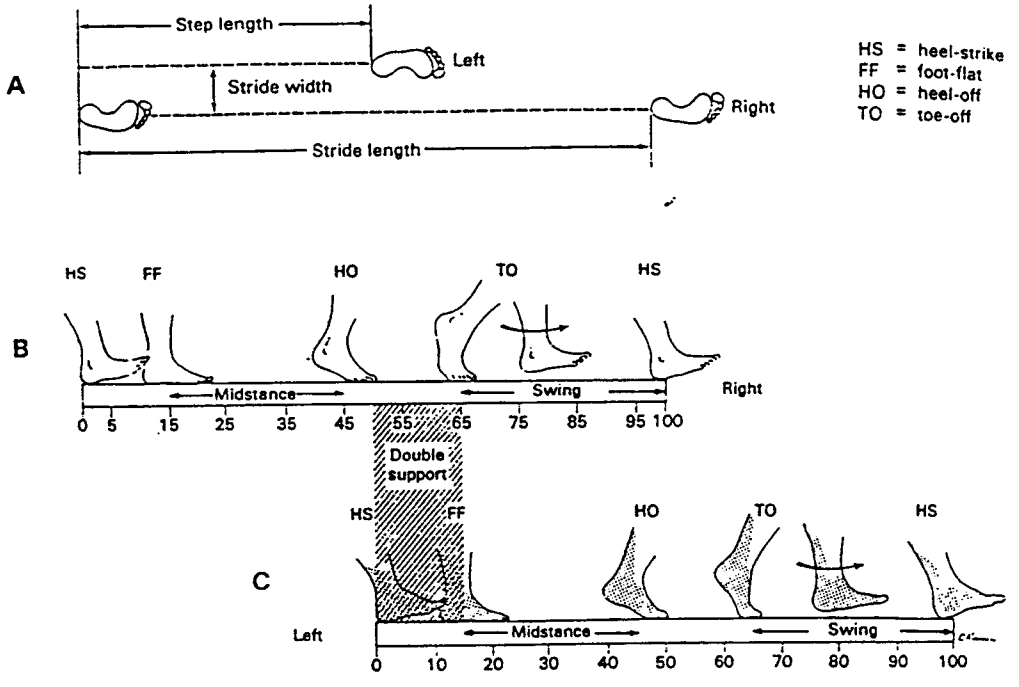
-Deceleration

การที่ขาที่ถูกเหวี่ยงไปข้างหน้าจากการทำงานของกล้ามเนื้อต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว ร่วมกับแรงเหวี่ยง (momentum) จะถูกดึงให้ช้าลง เพื่อจะได้เข้าสู่ stance phase ต่อไป ข้อสะโพกก็ยังอยู่ในท่างอ 25° แต่ข้อเข่าจะอยู่ในท่าเหยียดเต็มที่จากแรงเหวี่ยง

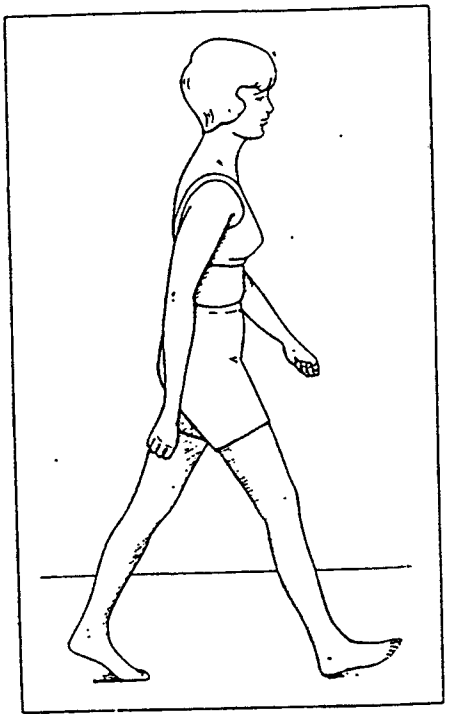
จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการเดินเป็นวงจรเคลื่อนไหวของขาทั้ง 2 ข้าง เราแบ่งวงจรของการเดิน (gait cycle) ออกเป็น 2 ช่วง (phase)

-stance phase

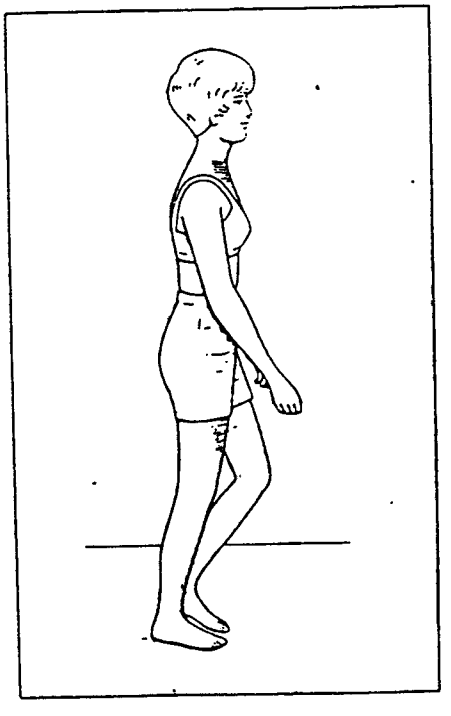
-swing phase



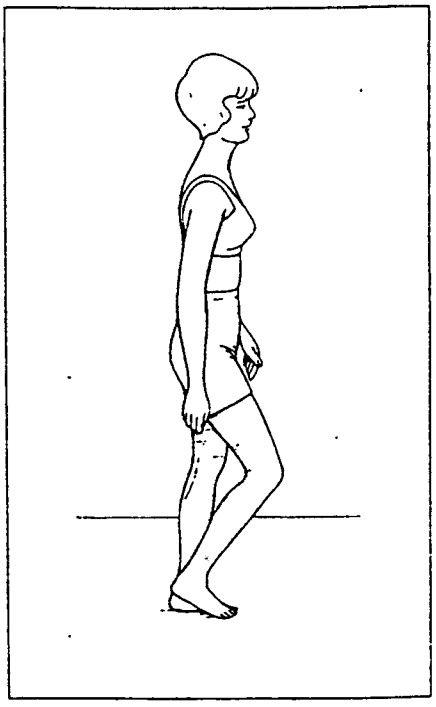
รูปที่ 2.5 แสดงการเคลื่อนที่ของข้อเท้าในช่วงการเดินของมนุษย์



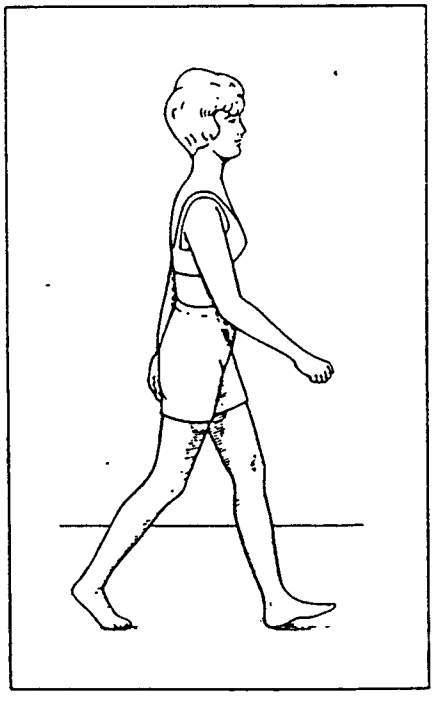
รูปที่ 2.6 ก แสดงช่วงการเดินในขั้นตอน Heel Strike



รูปที่ 2.6 ข แสดงช่วงการเดินในขั้นตอน Mid Stance



รูปที่ 2.6 ค แสดงช่วงการเดินในขั้นตอน Push Off



รูปที่ 2.6 ง แสดงช่วงการเดินในขั้นตอน Mid Swing

และจากการวิเคราะห์วงจรของการเดินที่แบ่งออกเป็น 2 ช่วงนั้นจะพบว่ามีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 6 ส่วนหลักๆ สำหรับการเดิน ซึ่งได้แก่

1.การหมุนที่กระดูกเชิงกราน (pelvis rotation)

2.การกระดกหรือเอียงของกระดูกเชิงกราน (pelvic tilt)

3.การงอของเข่า (knee flexion)

4.การงอของสะโพก (hip flextion)

5.การกระทำซึ่งกันและกันและปฏิกิริยาร่วมกันของเข่าและข้อเท้า (knee and ankle interaction)

6.ระยะขจัดของกระดูกเชิงกราน (lateral pelvic displscement)

ซึ่งการทำงานของส่วนประกอบหลักๆ ของทั้ง 6 ส่วนนี้ จะเกิดขึ้นที่ข้อต่อต่างๆ ทั้งหมดของกระดูกช่วงล่างของร่างกาย โดยมีลักษณะการทำงาน 2 ลักษณะ คือ

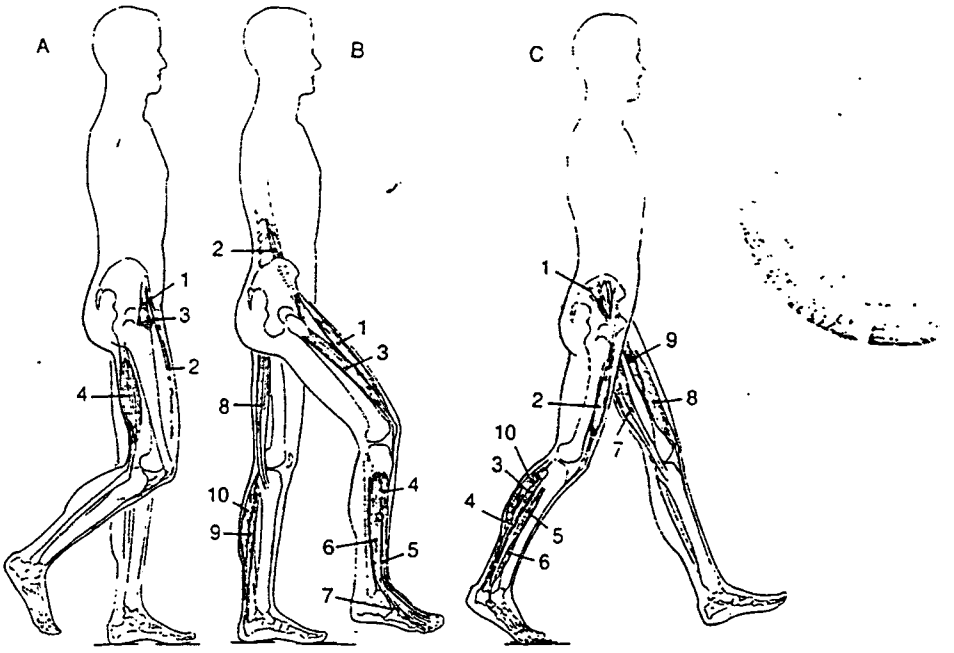
1.การงอ (flexion)

2.การเหยียด (extension)

การงอและการเหยียดของกระดูกส่วนต่างๆ เกิดขึ้นจากการทำงานของกล้ามเนื้อ (muscle) ชนิดต่าง ๆ ที่ ทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ภายในขาของมนุษย์ ถ้าจะแยกการทำงานซึ่งในที่นี้คือ การเคลื่อนไหวของขาทั้ง 2 ลักษณะ แบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ หลาย ๆ ขั้นตอน จะสามารถกล่าวได้ว่าในทุก ๆ ขั้นตอน การทำงานของขาเกิดจากการทำงานที่สัมพันธ์กันของกล้ามเนื้อหลาย ๆ ส่วนซึ่งจะมีการทำงานในลักษณะการยืดและหดตัวของกล้ามเนื้อที่ติดและไม่ติดกับกระดูกเพื่อบังคับให้เกิดการงอหรือเหยียดของท่อนขา เป็นผลให้เกิดการเดินขึ้น

โดยที่รูปข้างล่างนี้จะแสดงกล้ามเนื้อที่ต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กันในแต่ละขั้นตอนของการเดินรวมทั้งรายชื่อของกล้ามเนื้อที่ใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



The muscles of the lower extremity used in walking. Key: *A:1*, Tensor fasciae latae; 2, sartorius; 3, pectineus; 4, biceps femoris. *B:1*, Rectus femoris; 2, iliopsoas; 3, vastus lateralis (medius and intermedius are not shown); 4, tibialis anterior; 5, extensor hallucis longus; 6, extensor digitorum longus; 7, peroneus tertius; 8, semitendinosus and semimembranosus; 9, soleus; *10*, gastrocnemius. *C:1*, Gluteus medius; 2, rectus femoris; 3, soleus; 4, tibialis posterior (underneath); 5, peroneus longus; 6, peroneus brevis; 7, semimembranosus and semitendinosus; 8, vastus medialis and intermedius (lateralis not shown); 9, adductor longus; *10*, gastrocnemius.

รูปที่ 2.7 แสดงกล้ามเนื้อที่ต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ในการเดินแต่ละขั้นตอน

34047

2.3 ผลต่อข้อสะโพกที่เกิดจากการเดิน

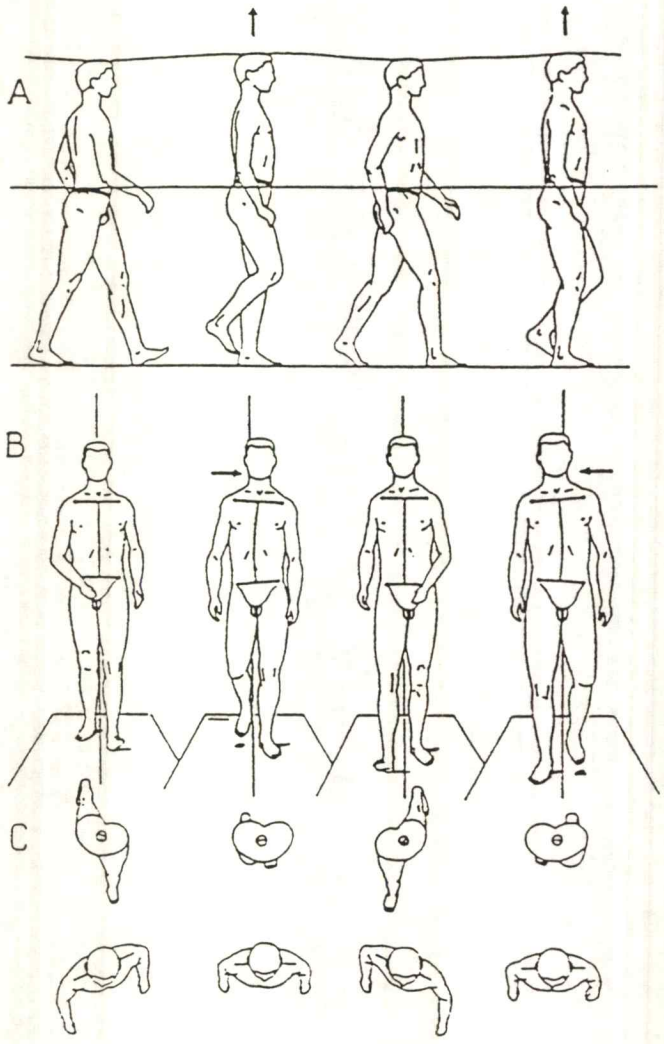
เป็นผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของส่วนประกอบหลัก ๆ 6 ส่วนที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ การกระดกหรือเอียงของกระดูกเชิงกราย (pelvic tilt)

จากรูป A เป็นรูปที่มองจากทางด้านข้างพบว่าการเดินในแต่ละขั้นตอนย่อย ๆ มีผลให้เกิดการขยับในแนวขึ้น-ลง หรือแนวตั้งฉากกับพื้นโลก ในลักษณะขึ้นและลงสลับไปเรื่อย ๆ

จากรูป B เป็นรูปที่มองจากทางด้านหน้าพบว่าการเดินในแต่ละขั้นตอนย่อย ๆ มีผลให้เกิดการกระดกของกระดูกเชิงกรานซึ่งเป็น socket ที่ติดอยู่กับ ball ของกระดูกขาท่อนบน การกระดกนี้เรียกว่า "pelvic till" การกระดกนี้เกิดขึ้นในลักษณะ 2 ฝั่งสลับกันไปซ้ายและขวาเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ โดยมีจุดกลางของกระดูกเชิงกราน (centre of pelvic) เป็นเสมือนจุดหมุน

จากรูป C เป็นรูปที่มองจากทางด้านบน พบว่า การเดินในแต่ละขั้นตอนย่อย ๆ มีผลให้เกิดการหมุนรอบแกนกลางของร่างกายในลักษณะตามเข็มและทวนเข็ม เมื่อมองจากด้านบนสลับกันไปเรื่อย ๆ

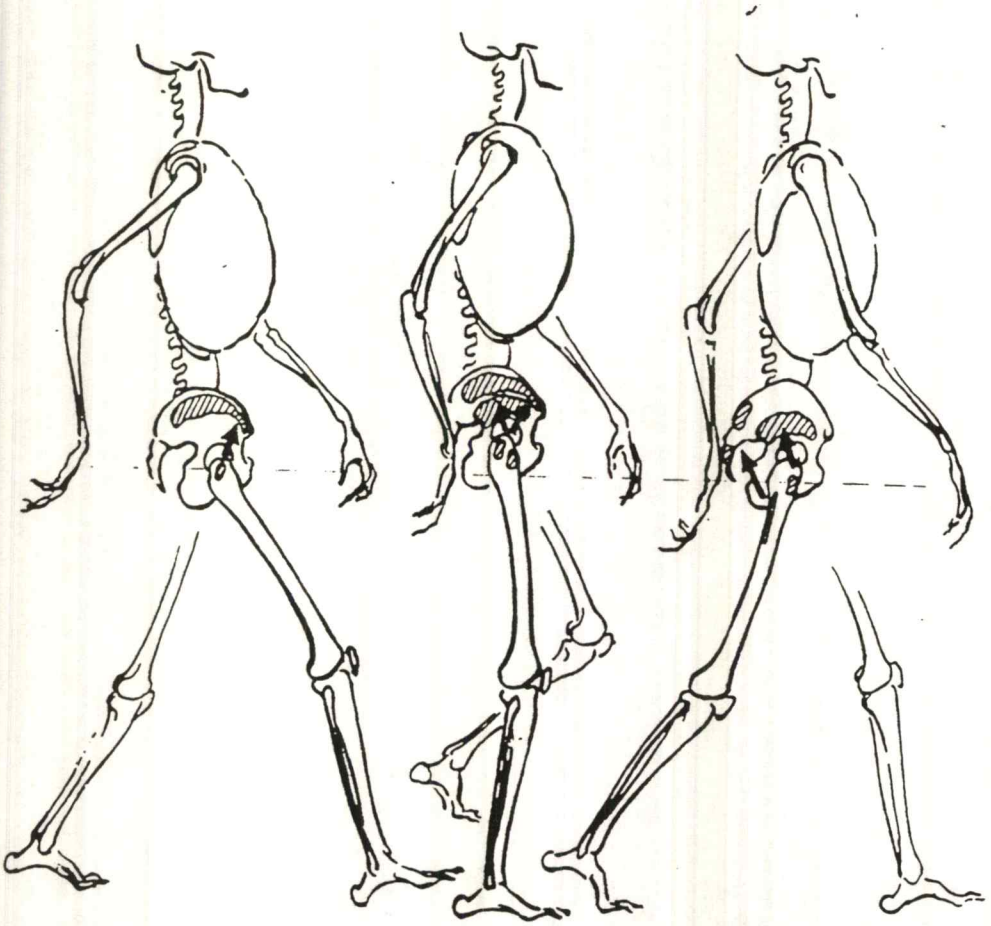
และในรูปถัดไปเป็นการแสดงให้เห็น การส่งผ่านแรงที่ข้อสะโพก ในรูปแบบของโครงกระดูก



รูปที่ 2.8 A แสดงการขจัดในแนวขึ้นลงตั้งฉากกับพื้นโลกที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเดิน

รูปที่ 2.8 B แสดงการกระดกของกระดูกเชิงกรานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเดิน

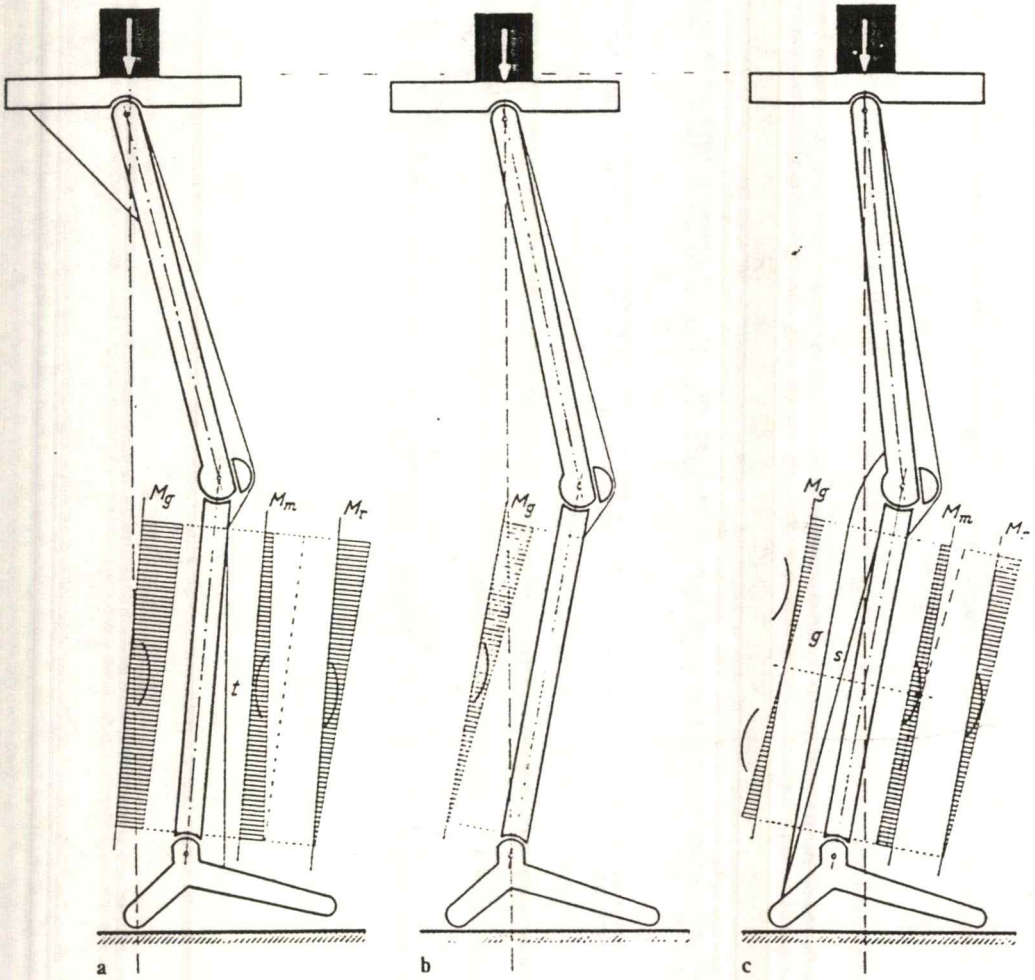
รูปที่ 2.8 C แสดงการหมุนรอบแกนกลางของร่างกายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเดิน



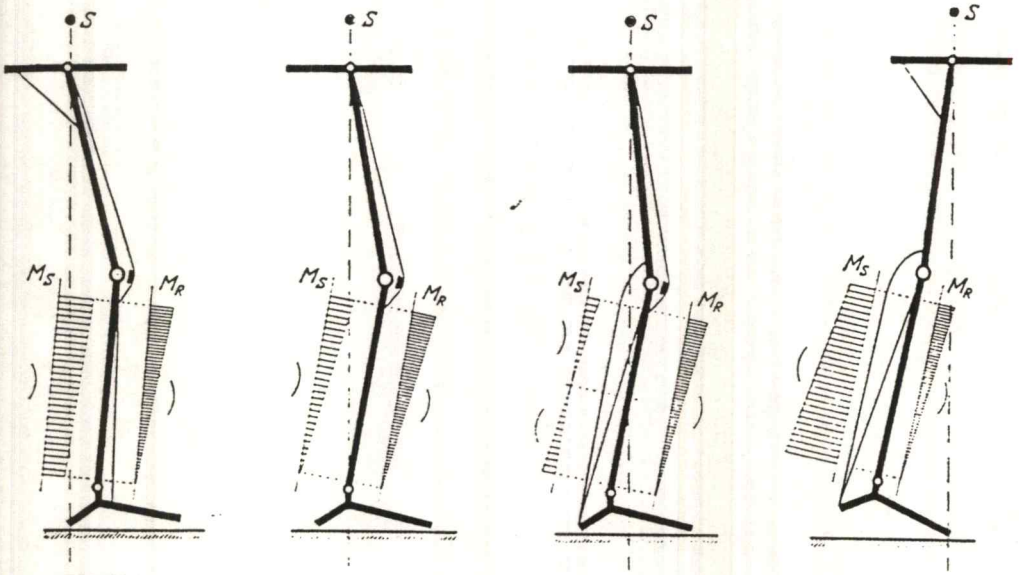
รูปที่ 2.9 แสดงการส่งผ่านแรงที่ข้อสะโพกและการขจัดในแนวขึ้นลงของข้อสะโพกในรูปแบบของโครงกระดูก

2.4 สภาพสมดุลย์ของแบบจำลองการเดินของมนุษย์

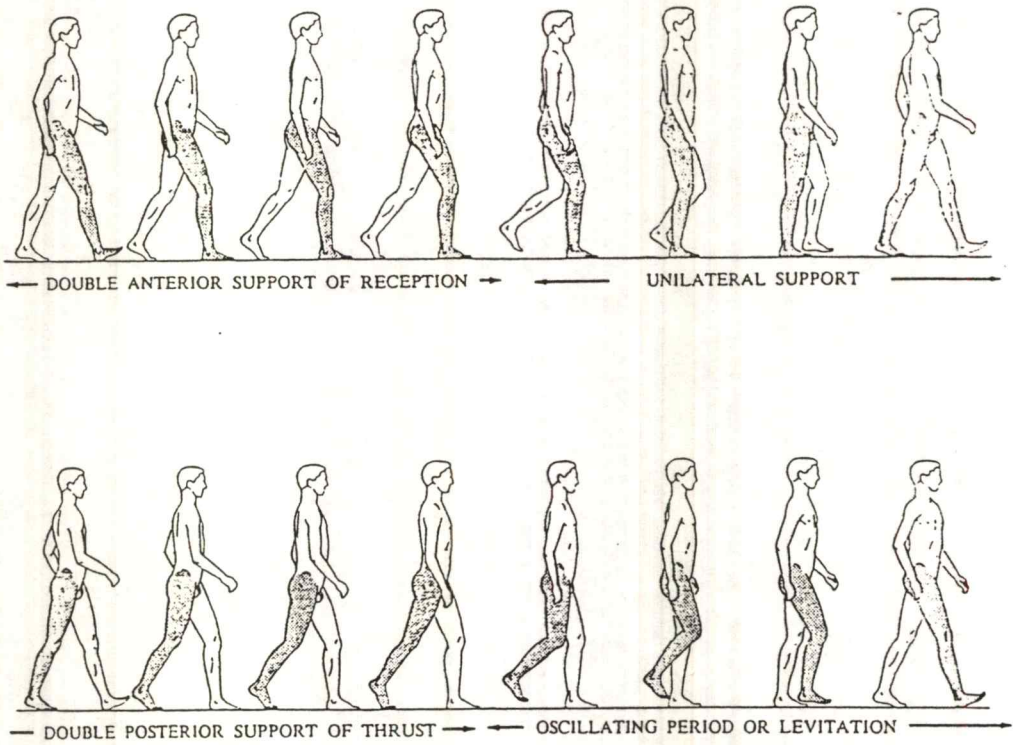
การที่วัตถุจะสามารถตั้งหรือทรงตัวอยู่ได้นั้นสิ่งสำคัญที่นำมาพิจารณา คือ แนวแรงจากจุดศูนย์ถ่วง (จุด C.G. หรือ Center of Gravity) กล่าวคือแนวแรงจากจุดศูนย์ถ่วงจะต้องไม่ตกออกนอกฐานซึ่งทำหน้าที่รองรับแรงกระทำตั้งฉากกับพื้นทั้งหมด ดังที่จะแสดงให้เห็นในรูปต่อไป ว่าแนวแรงจากศูนย์ถ่วงจะไม่หลุดจากกรอบฐานที่รองรับแรงนั้น



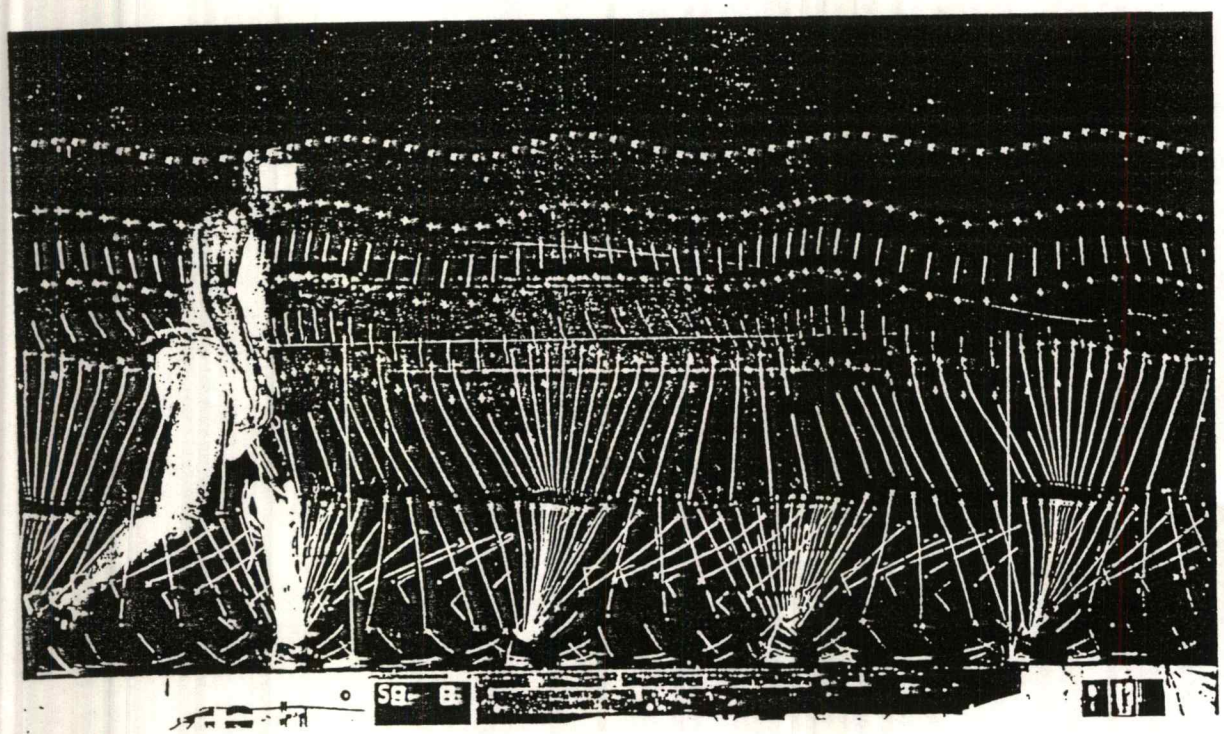
รูปที่ 2.10 แสดงแนวแรงจากจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายเทียบกับฐานรองรับแรง



รูปที่ 2.11 แสดงแนวแรงจากจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายเทียบกับฐานรองรับแรง



รูปที่ 2.12 แสดงธรรมชาติการเดินของมนุษย์ในรูปของภาพจำลอง



รูปที่ 2.13 แสดงธรรมชาติการเดินของมนุษย์ในรูปของภาพจริง

บทที่ 3
ขอบเขตและแนวทางการพัฒนาของโครงงาน

เนื่องจากโครงงานนี้เป็นโครงงานที่ค่อนข้างใหญ่ จึงทำให้มีขอบเขตของการทำงานค่อนข้างกว้าง ดังนั้นในการทำงานโครงงานนี้จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนและวางแนวทางในการพัฒนาเป็นอย่างดี โดยที่ของเขตของโครงงานนี้คือความต้องการให้ชุดขากลต้นแบบ เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ โดยมีอุปกรณ์ช่วยพยุง ส่วนแนวทางในการพัฒนาจะแยกเป็นพัฒนาในส่วงนของชุดขากลต้นแบบและพัฒนาในส่วนของระบบควบคุม

3.1 ขอบเขตของโครงงาน

1. ชุดขากลต้นแบบเสร็จสมบูรณ์ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้
2. มอเตอร์ทุกตัวสามารถหมุนได้ตามคำสั่งควบคุมที่ได้เขียนไว้
3. ชุดขากลต้นแบบสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้โดยอาศัยอุปกรณ์ช่วยพยุง

3.2 แนวทางในการทำงานของโครงงาน

1. ออกแบบชุดขากลต้นแบบ
2. สร้างชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการประกอบชุดขากลต้นแบบ
3. จัดหาอุปกรณ์รวมทั้งตรวจสอบรายละเอียดและข้อผิดพลาดของอุปกรณ์
4. ประกอบชุดขากลต้นแบบตามแบบที่ได้ออกแบบไว้
5. ประกอบชุดขากลต้นแบบเข้ากับอุปกรณ์ช่วยพยุง
6. ออกแบบวงจรขับและควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์
7. สร้างวงจรขับและควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ตามแบบที่ออกไว้
8. ออกแบบวงจรเชื่อมต่อ
9. สร้างวงจรเชื่อมต่อตามแบบที่ออกแบบไว้
10. เชื่อมวงจรขับและควบคุมทิศทางการของมอเตอร์หมุนเข้ากับมอเตอร์ และวงจรเชื่อมต่อ
11. เชื่อมต่อวงจรเชื่อมต่อ เข้ากับคอมพิวเตอร์
12. เขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด

3.3 แนวทางการพัฒนาชุดขากลต้นแบบ

1. ทำการสร้างชุดขากลต้นแบบตามแบบที่ได้ออกแบบไว้

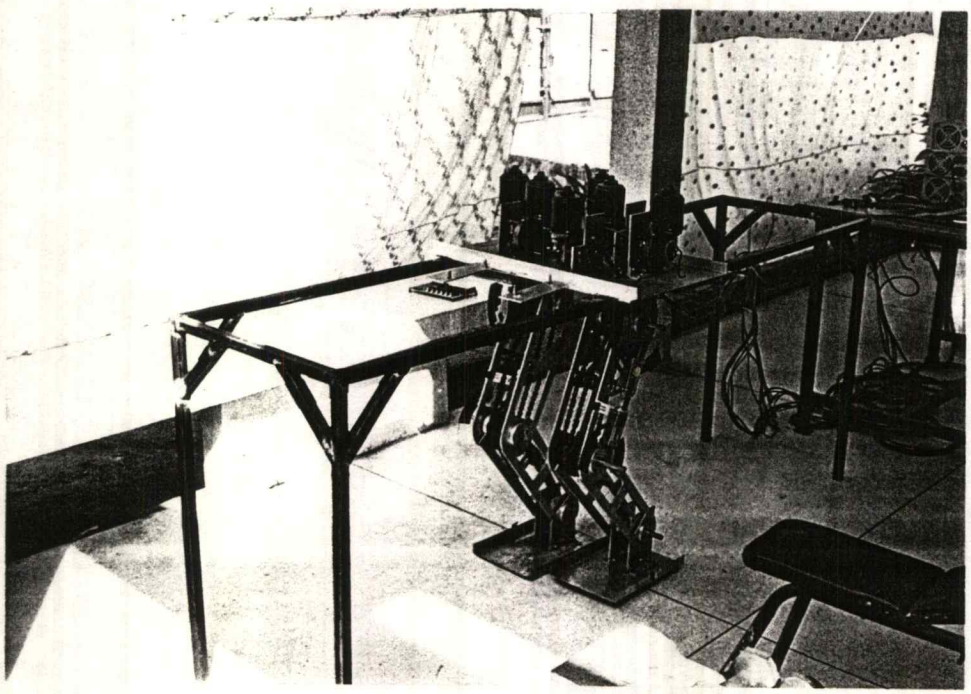
2. อุปกรณ์ช่วยพยุงหมายเลข 1 ที่ใช้ในตอนแรกของการพัฒนามีลักษณะเป็นคอกเหล็กทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 30 เซ็นติเมตร ยาว 66 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร และ กว้างกว่าขอบนอกของชุดขากลต้นแบบเล็กน้อย ที่ฐานมีลักษณะเช่นเดียวกับขาของโต๊ะแต่มีการติดล้อไว้ที่มุมทั้ง 4

รูปแบบของการใช้งานของอุปกรณ์ช่วยพยุง คือ ทำการล้อมชุดขากลต้นแบบ ด้วยอุปกรณ์ช่วยพยุงทำการยึดติดอุปกรณ์ช่วยพยุงเข้ากับชุดขากลต้นแบบกำหนดให้อุปกรณ์ช่วยพยุงและชุดขากลต้นแบบเป็นระบบที่มีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกัน โดยที่ล้อจะเป็นส่วนช่วยลดแรงเสียดทานและทำให้ระบบมีความสะดวกและง่ายในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ช่วยพยุงหมายเลข 1

3. เนื่องจากอุปกรณ์ช่วยพยุง มีน้ำหนักมากพอสมควรเพราะทำมาจากเหล็กและยังถูกยึดติดกับชุดขากลต้นแบบทำให้อุปกรณ์ช่วยพยุง มีสภาพเป็นภาระให้กับการควบคุมการหมุนของมอเตอร์จึงได้มีการคิดหาวิธีแก้ปัญหากล่าวคือ ยังคงความจำเป็นและประโยชน์ของอุปกรณ์ช่วยพยุงไว้ และตัดปัญหา ที่เกิดขึ้นเนื่องมากจากอุปกรณ์ช่วยพยุงนั่นคือออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ช่วยพยุงขึ้นมาใหม่โดยให้มีความสามารถในการรองรับน้ำหนักของชุดขากลต้นแบบไม่ให้เสียสมดุลย์ หรือล้มไป แต่ไม่มีสภาพที่เป็นภาระกับการควบคุมการหมุนของมอเตอร์หรือการเดินของชุดขากลต้นแบบ

จากการศึกษาพบว่าต้องออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับราวฝึกเดินของผู้ป่วยอัมพาตหรืออัมพฤกษ์ ที่ใช้ในทำกายภาพบำบัด โดยให้มีลักษณะการใช้งาน เปรียบเสมือนชุดขากลต้นแบบเป็นผู้ป่วยอัมพาต ในที่นี้กำหนดให้มีขนาด กว้าง 50 เซ็นติเมตร ยาว 2 เมตร สูง 80 เซนติเมตร



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ช่วยพยุงหมายเลข 2

4. สภาพแรงเสียดทานระหว่างฝ่าเท้าของชุดขากลต้นแบบและพื้น ในบางครั้งของการทดลองพบว่ามีแรงเสียดทานระหว่างฝ่าเท้ากับ พื้น ไม่เพียงพอที่จะทำให้ชุดขากลต้นแบบเคลื่อนที่ไปข้างหน้า จึงทำการเพิ่มความฝืดระหว่างพื้นผิวและฝ่าเท้าของชุดขากลต้นแบบโดยการนำแผ่นยางสังเคราะห์มาติดบริเวณปลายสุดของฝ่าเท้า

3.4 แนวทางการพัฒนาระบบควบคุม

ระบบการควบคุมของชุดขากลต้นแบบถูกออกแบบให้ถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรเชื่อมต่อที่ออกแบบมาให้เหมาะสมกับวงจรขับและควบคุมทิศทางของมอเตอร์ที่ต่อไปยังมอเตอร์ของชุดขากลต้นแบบดังนั้นจากระบบควบคุมที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถบอกได้ว่าคอมพิวเตอร์ เป็นหัวใจในการพัฒนาระบบควบคุม โดยมีภาษาซีเป็นภาษาที่ใช้ในแปลงคำสั่งควบคุมของผู้ออกแบบให้คอมพิวเตอร์ เข้าใจและสามารถสั่งการไปยังวงจรขับและควบคุมทิศทางของมอเตอร์ได้

ในการออกแบบระบบควบคุมในช่วงแรกของการทดลอง ผู้เขียนจะขอใช้คำว่าระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop Control System) เนื่องจากลักษณะการทำงานของระบบเป็นไปในรูปแบบทิศทางเดียวคือให้คอมพิวเตอร์เป็นเพียงตัวส่งข้อมูล (transmiter) และให้วงจรขับและควบคุมทิศทางของมอเตอร์ เป็นผู้รับข้อมูล (Receiver) เพียงอย่างเดียว
กล่าวคือผู้ออกแบบได้ทำการเขียนโปรแกรมคำสั่งในภาษาซีควบคุมให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ขึ้น โดยจะกำหนดในชุดคำสั่งว่า ถ้าสั่งการเช่นนี้ไปจะเป็นการควบคุมให้มอเตอร์ตัวใดหมุนและหมุนในทิศทางใด ซึ่งมีรูปแบบของคำสั่งเป็นดังนี้

1. กำหนดตัวอักษรภาษาอังกฤษขึ้นมา 1 ตัวสำหรับการหมุนของมอเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งทิศทางใดทิศทางหนึ่งทำให้ต้องมีการกำหนดตัวอักษรภาษาอังกฤษ 6 ตัว เพื่อการควบคุมมอเตอร์ทั้ง 6 ดังนี้

ตัวอักษร Q แทนคำสั่งหมุนข้อสะโพกซ้าย ในทิศทวนเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร S แทนคำสั่งหมุนข้อเข่าซ้าย ในทิศทวนเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร X แทนคำสั่งหมุนข้อเท้าซ้าย ในทิศทวนเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร R แทนคำสั่งหมุนข้อสะโพกขวา ในทิศทวนเข็มนาฬิกา

ตัวอักษร D แทนคำสั่งหมุนข้อเข่าขวา ในทิศทวนเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร C แทนคำสั่งหมุนข้อเท้าขวา ในทิศทวนเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร W แทนคำสั่งหมุนข้อสะโพกซ้าย ในทิศตามเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร A แทนคำสั่งหมุนข้อเข่าซ้าย ในทิศตามเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร Z แทนคำสั่งหมุนข้อเท้าซ้าย ในทิศตามเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร E แทนคำสั่งหมุนข้อสะโพกขวา ในทิศตามเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร F แทนคำสั่งหมุนข้อเข่าขวา ในทิศตามเข็มนาฬิกา
ตัวอักษร V แทนคำสั่งหมุนข้อเท้าขวา ในทิศตามเข็มนาฬิกา

2. สำหรับการหยุดหมุนของมอเตอร์ถูกสั่งให้หยุดหมุน ด้วยโปรแกรมภาษาซีที่กำหนดให้ส่งคำสั่งหยุดหมุนไปที่วงจรวงจรขับและควบคุมทิศทางของมอเตอร์ เมื่อช่วงเวลาที่กำหนดไว้หมดลงโดยเริ่มนับเวลาจากคำสั่งหมุน

3. การควบคุมระบบแบบนี้เป็นผลดีในการทดสอบการหมุนของมอเตอร์ ที่ต่อไปยังข้อต่อแต่ละข้อต่อเนื่องจากการสั่งงานให้มอเตอร์ตัวใดตัวหนึ่ง ให้หมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ทำได้จากการป้อนคำสั่งเป็นภาษาอังกฤษเพียง 1 ตัวอักษรจากแป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ กล่าวคือจากการป้อนคำสั่งของแป้นพิมพ์เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 1 ตัวอักษร จะให้ผลการทำงานคือ มอเตอร์เพียง 1 ตัวหมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ทำให้ผู้ออกแบบสามารถมองเห็นลักษณะการทำงานของมอเตอร์การเคลื่อนที่ของแผ่นอะลูมิเนียมอันเกิดจากการหมุนของมอเตอร์และปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบระบบควบคุมแบบนี้

1. ไม่สามารถก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ในแต่ละรูปแบบได้อย่างสมบูรณ์คือไม่สามารถสั่งการให้มอเตอร์แต่ละตัวเคลื่อนที่ต่อๆกันไปได้แต่ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการสั่งค่าจากแป้นพิมพ์เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษเรียงต่อๆกันไป แล้วจึงทำการประมวลผลในครั้งสุดท้ายเพียงครั้งเดียวสำหรับการหมุนมอเตอร์ทุกๆ ตัวต่อกันไป

2. ความผิดพลาดที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์ภายใต้คำสั่งให้หยุดในช่วงเวลาเดียวกันต่างกันแต่เพียงทิศทางในการหมุน คือมอเตอร์หมุนได้ระยะทางเป็นมุมทางซ้ายไม่เท่ากันกับระยะทางเชิงมุมทางขวา แก้ไขได้โดยการติดอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

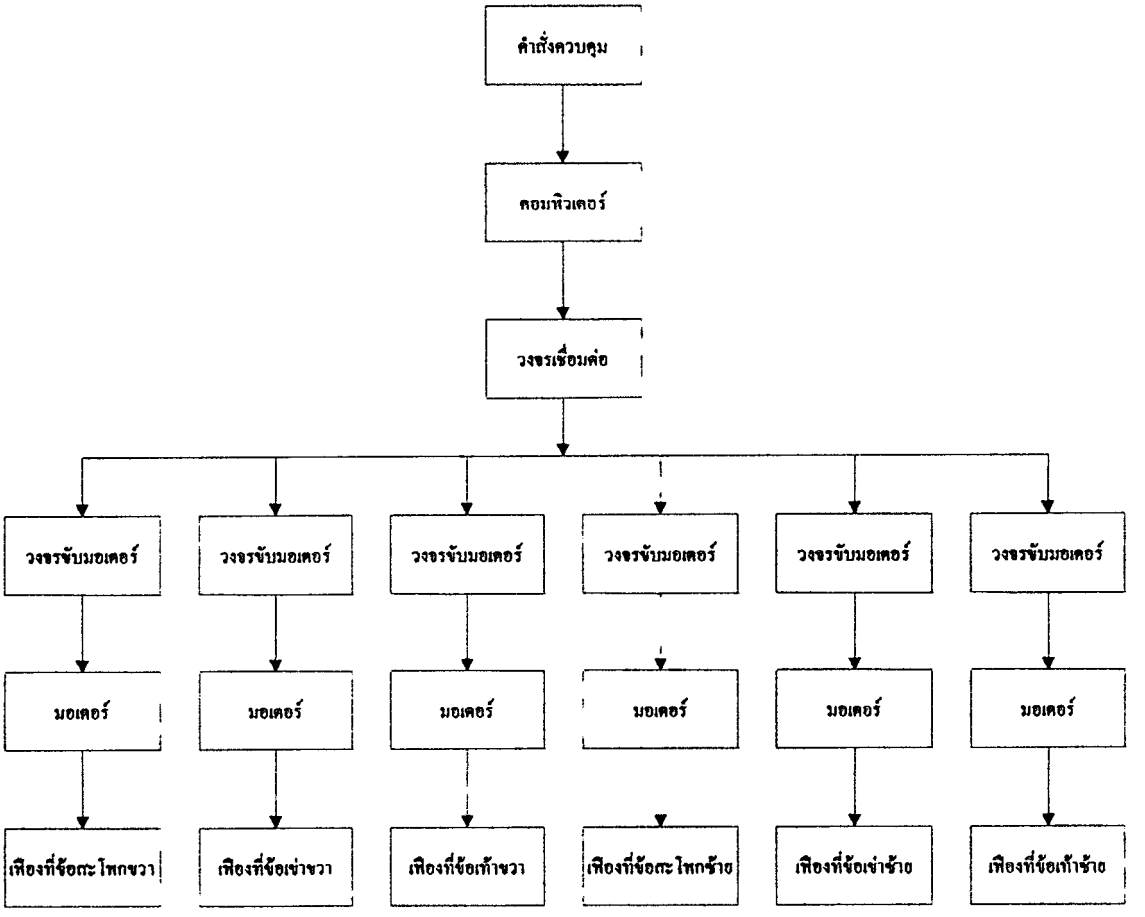
3. การไม่หยุดทันทีของมอเตอร์ด้วยคำสั่งหยุดเกิดขึ้นเนื่องจากแรงเฉื่อยในการหมุนทำให้มอเตอร์หมุนเลยตำแหน่งที่ต้องการสั่งให้หยุดซึ่งปัญหานี้สามารถลดได้โดยสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุนก่อนที่มอเตอร์จะมีความเร็วมากๆ แล้วจึงค่อยสั่งให้มอเตอร์ทำการหมุนใหม่อีกครั้งทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจะทำให้สามารถลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ได้

จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้แล้วจะพบว่าถ้าให้ยังคงควบคุมระบบแบบเปิดก็จะไม่สามารถทำให้หุ่นเดินได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากความผิดพลาดในเรื่องตำแหน่งและลักษณะการหมุนต้องการความแม่นยำอย่างมากและระบบควบคุมแบบเปิดที่พัฒนานั้นไม่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้อย่างเพียงพอจึงได้มีการพัฒนาระบบควบคุมขึ้นมาใหม่โดยพยายามแก้ไขปัญหาที่พบในระบบควบคุมแบบเปิด สำหรับระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมานี้ผู้พัฒนาขอเรียกว่าระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System) ซึ่งมีลักษณะที่สำคัญคือ มีการนำเอาอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งเข้ามาใช้ในระบบเพื่อตรวจสอบตำแหน่งและแก้ไขปัญหาที่เกิดจากข้อผิดพลาดทางตำแหน่งของแผ่นอะลูมิเนียมที่เคลื่อนที่ไปตามการหมุนของมอเตอร์

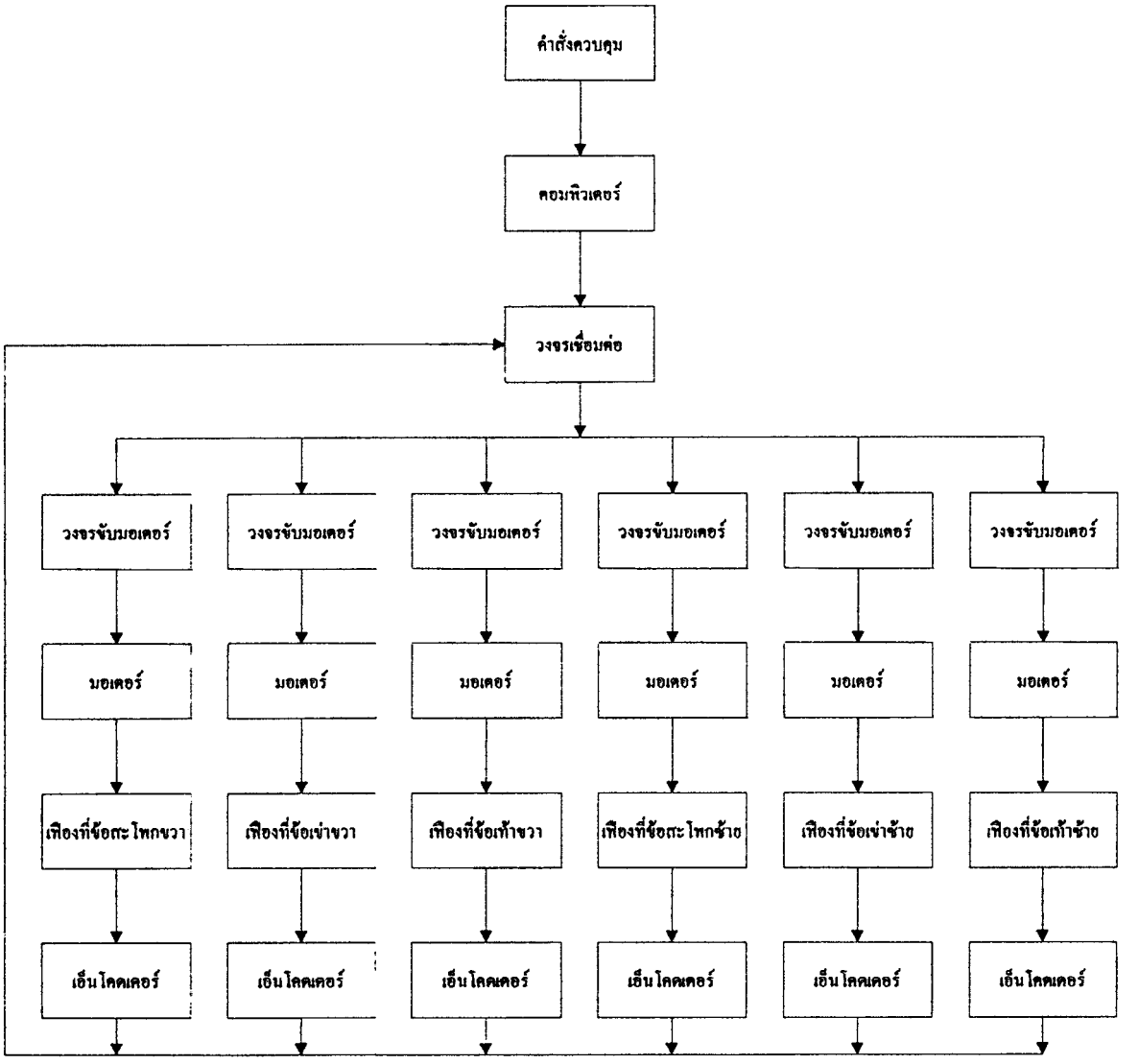
ลักษณะสำคัญของระบบควบคุมแบบเปิด (Close Loop Control System)

ระบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาความแม่นยำในการหมุนของข้อต่อแต่ละข้อ เพื่อทำให้ชุดขากลต้นแบบสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ อุปกรณ์ที่สำคัญมากในการพัฒนาระบบนี้คือ อุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งของข้อแต่ละข้อ (Encoder) ระบบนี้พัฒนาในลักษณะที่ว่า นำเอาอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งมาเป็นเงื่อนไขในการส่งคำสั่งแทนคำสั่งที่ต้องถูกป้อนจากแป้นพิมพ์ในระบบเก่า นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ตรวจสอบความสมบูรณ์การทำงานคือการหมุนของข้อต่อ ว่าสามารถทำงานเป็นไปตามคำสั่งที่ได้สั่งไปหรือไม่

เพื่อให้เข้าใจระบบการทำงานของระบบควบคุมแบบปิดที่พัฒนามาจากระบบควบคุมแบบเปิดจะเปรียบเทียบเป็นบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบเปิด



รูปที่3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบปิด

ส่วนอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งที่เพิ่มเข้ามานั้นทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของข้อต่อว่าได้หมุนมายังตำแหน่งที่สั่งแล้วหรือยัง

- ถ้ายังไม่ถึงก็จะหมุนต่อไปเรื่อยๆ

- ถ้าถึงแล้วก็จะทำการส่งผลตอบสนองกลับไปยังแผงควบคุมวงจรอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งในวงจรเชื่อมต่อ จากนั้นหน่วยประมวลผลจะทำการประมวลผลว่าจะไปทำงานในขั้นตอนต่อไปหรือไม่อย่างไรตามข้อมูลที่ได้รับหรือโปรแกรมที่เขียนไว้ โดยที่รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ของโครงงานจะกล่าวถึงในบทต่อๆ ไป

บทที่ 4
ชุดขากลต้นแบบ

4.1 แนวทางการออกแบบชุดขากลต้นแบบ

การออกแบบแบบจำลองการเดินของมนุษย์ให้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดต้องเกิดจากการศึกษาตัวต้นแบบอย่างละเอียดถ่องแท้ ซึ่งในที่นี้คือ ขาและลักษณะการเดินของมนุษย์ จากการศึกษา ในเรื่องสรีระวิทยาช่วงล่างของมนุษย์ ลักษณะการเดินของมนุษย์ ผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการเดินของมนุษย์ที่ข้อต่าง ๆ ทั้งหมด คือ ระยะขจัดในแนวตั้งฉากและขนานกับพื้นโลก การส่งผ่านกำลังของกล้ามเนื้อ โดยมีแนวทางการออกแบบ ดังนี้

ข้อสะโพก

เป็นข้อแบบ ball & socket ซึ่งสามารถหมุนได้รอบจุดหมุนแต่ในโครงงานนี้ กำหนดให้หมุนได้ 2 ทิศทาง คือ ตามเข็มและทวนเข็ม รอบแกนเพียงแกนเดียววางขนานกับพื้นโลก หมุนในลักษณะตะกุยไปข้างหน้า

ข้อเข่า

เป็นข้อแบบบานพับ hinge type ซึ่งสามารถหมุนได้แบบบานพับและหมุนรอบจุดหมุนได้อีกเล็กน้อย ซึ่งในโครงงานนี้กำหนดให้หมุนได้ 2 ทิศทาง คือตามเข็มและทวนเข็ม รอบแกนเพียงแกนเดียววางขนานกับพื้นโลกหมุนในลักษณะตะกุยไปข้างหน้า เช่นเดียวกับข้อสะโพก

ข้อเท้า

เป็นข้อที่หมุนได้รอบจุดหมุนเช่นเดียวกับข้อสะโพกซึ่งในโครงงานนี้ กำหนดให้หมุนได้ 2 ทิศทาง คือตามเข็มและทวนเข็ม รอบแกนเดียววางขนานกับพื้นโลกหมุนในลักษณะตะกุยไปข้างหน้า เช่นเดียวกับข้อสะโพก และข้อเข่า

ฝ่าเท้า

ในเท้าของมนุษย์แล้วจะมีข้ออีก 1 ชุดอยู่ภายในเท้าเป็นชุดข้อนิ้วเท้าซึ่งมีส่วนช่วยในการเดินเป็นอย่างมาก ช่วยในการส่งตัวให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ช่วยในการรับฝ่าเท้าที่ยกมาจากขั้นตอนก่อนหน้านี้ซึ่งในโครงงานนี้กำหนดให้ไม่มีชุดข้อนิ้วเท้า ในชิ้นส่วนฝ่าเท้า มีลักษณะเป็นแผ่นอลูมิเนียมพับจากที่ขอบดังที่ได้กล่าวถึงต่อไป

และจากการศึกษาผลที่เกิดขึ้นที่ข้อสะโพกอันเนื่องมาจากการเดินที่มีผลให้เกิดระยะขจัดในแนวขึ้นลง ดังรูป 2.8 A และเกิดการกระดกของกระดูกเชิงกราน ดังรูป 2.8 B และการหมุนรอบแกนกลางของร่างกาย ดังรูป 2.8 C ซึ่งในโครงงานนี้กำหนดให้ไม่สนใจผลที่เกิดขึ้นต่อข้อสะโพกเนื่องจากกระเต็น กล่าวคือให้ แกนเหล็กที่เป็นข้อสะโพกไม่มีการหมุนแกนทั้งในแนวขึ้นลงและซ้ายขวา มีแต่เพียงการหมุนของแผ่นอลูมิเนียมรอบแกนเหล็กในลักษณะตะกุยไปข้างหน้า

ในการเดินของมนุษย์กล้ามเนื้อจะเป็นตัวต้นกำลังและส่งผ่านกำลังก่อให้เกิดการหมุนของข้อต่อต่าง ๆ ซึ่งในโครงงานนี้กำหนดให้ใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลังและใช้โซ่เป็นตัวผ่านกำลังไปยังเฟืองที่ยึดติดอยู่กับแผ่นอะลูมิเนียมท่อนบนท่อนล่างและแผ่นอะลูมิเนียมยึดข้อเท้า

4.2 ลักษณะการทำงานของชุดขากลต้นแบบ

จากการศึกษาในเรื่องกายวิภาคศาสตร์การเคลื่อนไหว สรีระของมนุษย์ และ ลักษณะการเดินของมนุษย์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่า ในการเดินของมนุษย์สิ่งที่สำคัญๆของมนุษย์ที่จำเป็นในการเดินต่างๆเช่น กระดูกซึ่งทำหน้าที่เป็นเสมือนแกนหลักของท่อนขาและทำให้ขาคงรูปอยู่ได้ ข้อต่อซึ่งทำหน้าที่เป็นเสมือนจุดหมุนทำให้เกิดการเคลื่อนที่รอบจุดหมุนในหลายๆแกน กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังและส่งผ่านกำลัง ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่รอบๆข้อต่อในทิศทางที่แตกต่างกันไปในแต่ละข้อต่อ โดยการหดและขยายตัวของกล้ามเนื้อ เป็นสิ่งที่สลับซับซ้อนยากที่จะทำความเข้าใจและจำลองแบบได้

ดังนั้นในโครงงานชิ้นนี้จึงจำลองแบบโดยจำลองเฉพาะชิ้นส่วนที่สำคัญและจำเป็นมากๆเท่านั้น ซึ่งมีรายละเอียดของชิ้นส่วนที่จำลองมาดังนี้

-ใช้เฟืองขนาดต่างๆแทนข้อต่อสำคัญทั้ง 3 คือข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้า โดยไม่สนใจข้อนิ้วเท้า ซึ่งในการเดินจริงๆแล้วข้อนิ้วเท้าจะเป็นอีกชุดหนึ่งที่มีความสำคัญมาก แต่ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วจะขอไม่สนใจข้อนิ้วเท้าชุดนี้

-ใช้แผ่นอะลูมิเนียมทำหน้าที่เป็นเสมือนแกนหลักและทำให้ขาคงรูปอยู่ได้แทนกระดูก ท่อนขา ท่อนแข้ง และ ฝ่าเท้า โดยในท่อนขาและท่อนแข้งจะเกิดจากการนำแผ่นอะลูมิเนียมมาประกบโดยให้มีระยะห่างกันตามขนาดของแกนค้ำระยะแทนการเป็นแกนกลางแกนเดียวของกระดูก ส่วนในแผ่นฝ่าเท้านั้นใช้แผ่นอะลูมิเนียมพับขึ้นมาเป็นฉากเพื่อความแข็งแรงและคงรูปของฝ่าเท้าขณะเคลื่อนที่โดยนำไปต่อกับส่วนที่ยึดกับข้อเท้า

-ใช้มอเตอร์ซึ่งมีกำลังมากพอสมควร(ในที่นี้ใช้มอเตอร์ที่ปัดน้ำฝนของรถยนต์)ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้เกิดการหมุนของข้อต่อทุกๆข้อและการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนทุกๆชิ้น

-ใช้โซ่เป็นตัวส่งผ่านกำลังไปยังข้อเท้าโดยส่งผ่านเฟืองที่ข้อสะโพกและข้อเข่า และ ส่งผ่านกำลังไปยังข้อเข่าโดยส่งผ่านเฟืองที่ข้อสะโพกและส่งกำลังไปยังข้อสะโพกโดยตรง

4.3 รายละเอียดของชิ้นส่วน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นรวมทั้งหน้าที่ รูปประกอบ การวางตำแหน่งทั้งหมดของโครงงานชิ้นนี้

1. แกนเหล็ก

แกนเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ส่วนความยาวนั้นที่เกนออกมานั้นเอาไว้สำหรับติดวงจรตรวจจับระยะการเคลื่อนที่และการหมุน

ทำหน้าที่เป็นแกนที่เชื่อมต่อและเป็นแกนหมุนให้กับชิ้นส่วนทุกๆชิ้นคือ แผ่นอะลูมิเนียม เฟือง ห่วงเหล็กและทองเหลืองค้ำระยะซึ่งในโครงงานนี้จะมี 3 แกนสำหรับข้อทั้ง 3 ข้อ ข้อสะโพก ข้อเข่า และ ข้อเท้าต่อขาหนึ่งข้าง

2. แหวนเหล็ก

แหวนเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร เจาะรูสำหรับสกูรมีไว้เพื่อทำหน้าที่จำกัดระยะและดันชิ้นส่วนทั้งหมดที่อยู่บนแกนเหล็กให้คงที่ โดยจะสวมเข้าไปที่ปลายสุดของแกนเหล็กจากนั้นจึงขันสกูรเพื่อให้ยึดติดกับแกนเหล็ก

3. แผ่นอะลูมิเนียม

3.1 แผ่นอะลูมิเนียมที่เชื่อมต่อระหว่างแผ่นวางมอเตอร์และแกนเหล็กที่ข้อสะโพก กว้าง 7.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร หนา 4.5 มิลลิเมตร โดยที่แผ่นอะลูมิเนียมนี้จะติดแผ่นเหล็กกลมที่มีตลับลูกปืนเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรฝังอยู่ โดยจะมีลักษณะเหมือนกันทั้ง 2 แผ่น

3.2 แผ่นอะลูมิเนียมที่เชื่อมต่อระหว่างแกนเหล็กที่ข้อสะโพกและแกนเหล็กที่ข้อเข่า ในที่นี้จะขอเรียกว่าท่อนบน ซึ่งมีระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลาง 33 เซนติเมตร และทำการเจาะรูเพื่อลดน้ำหนักโดยเจาะให้คงความแข็งแกร่งของแผ่นอะลูมิเนียมไว้ให้มากที่สุดรวมทั้งให้มีที่สำหรับใส่แกนดันโซ่ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

โดยที่ปลายข้างหนึ่งมีความกว้าง 14.5 เซนติเมตร และมีรัศมีความโค้ง 4 เซนติเมตร และปลายอีกข้างมีความกว้าง 11.5 เซนติเมตร รัศมีความโค้ง 5.75 เซนติเมตร และมีความยาวจาก

ปลายถึงปลาย 43.75 เซนติเมตร หนา 4.5 เซนติเมตร โดยที่ทั้ง 2 แผ่นมีลักษณะไม่เหมือนกัน แผ่นหนึ่งมีเฟืองขนาด 45 ฟัน ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมทำหน้าที่รับกำลังที่ส่งผ่านมาจากมอเตอร์ต้นกำลังส่วนอีกแผ่นจะไม่มีเฟืองอยู่

3.3 แผ่นอะลูมิเนียมที่เชื่อมต่อระหว่างแกนเหล็กที่ข้อเข่าและแกนเหล็กที่ข้อเท้าในที่นี้ขอเรียกว่า ท่อนล่าง ซึ่งมีระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลาง 35.5 เซนติเมตร และทำการเจาะรูเพื่อลดน้ำหนัก โดยเจาะให้คงความแข็งแกร่งของอะลูมิเนียมไว้ให้มากที่สุด รวมทั้งให้มีที่สำหรับใส่แกนดันโซ่ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

โดยที่ปลายข้างหนึ่งมีความกว้าง 11 เซนติเมตร รัศมีความโค้ง 3 เซนติเมตร และปลายอีกข้างหนึ่งมีความกว้าง 10 เซนติเมตร รัศมีความโค้ง 5 เซนติเมตร และความยาวจากปลายถึงปลาย 43 เซนติเมตร หนา 4.5 เซนติเมตร โดยที่ทั้ง 2 แผ่นมีลักษณะไม่เหมือนกันแผ่นหนึ่งมีเฟืองขนาด 24 ฟัน ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมทำหน้าที่รับกำลังที่ส่งผ่นมาจากมอเตอร์ต้นกำลังโดยส่งผ่านมาทางเฟืองคู่ที่แกนเหล็กข้อสะโพก ส่วนอีกแผ่นจะไม่มีเฟืองอยู่

3.4 แผ่นอะลูมิเนียมที่เชื่อมต่อระหว่างแกนเหล็กที่ข้อเท้าและแผ่นฝ่าเท้า กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร หนา 4.5 เซนติเมตร โดยที่แผ่นอะลูมิเนียมทั้งสองแผ่นนี้มีลักษณะไม่เหมือนกันแผ่นหนึ่งมีเฟืองขนาด 24 ฟันยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมทำหน้าที่รับกำลังที่ส่งผ่านมาจากมอเตอร์ต้นกำลังโดยส่งผ่านมาทางเฟืองคู่ที่แกนเหล็กข้อสะโพกและเฟืองคู่ที่แกนเหล็กข้อเข่าส่วนอีกแผ่นจะไม่มีเฟืองอยู่

3.5 แผ่นอะลูมิเนียมฝ่าเท้าเป็นแผ่นอะลูมิเนียมที่เชื่อมต่อกับแผ่นอะลูมิเนียมในข้อ 3.4 โดยที่ขอบของแผ่นอะลูมิเนียมจะทำการพับขึ้นเพื่อความแข็งแรงและคงรูปในขณะที่เกิดการเคลื่อนไหวและแผ่นอะลูมิเนียมฝ่าเท้าจะยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมในข้อ 3.4 ทั้งสองแผ่นในลักษณะตั้งฉากโดยที่แผ่นอะลูมิเนียมแผ่นมี้จะทำหน้าที่รับน้ำหนักของชิ้นส่วนทั้งหมดและเป็นแผ่นรองรับแรงปฏิกิริยาตั้งฉากทั้งหมดขณะที่มันเคลื่อนที่

4. เฟือง

ในโครงงานนี้สามารถแบ่งเฟืองที่ใช้ตามลักษณะการใช้งานได้ 3 ชนิดคือ

4.1 เฟือง 9 ฟัน

เป็นเฟืองที่มีซี่ฟันทั้งหมด 9 ฟัน ยึดติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านกำลังจากแกนหมุนของมอเตอร์ ในโครงงานนี้จะใช้ 3 เฟืองต่อขาหนึ่งข้าง

4.2 เฟืองคู่ 12 และ 24 ฟัน

เป็นเฟืองที่เกิดจากการนำเฟืองขนาด 12 ฟันและ 24 ฟันมาอัดติดกันให้ได้ระยะตามต้องการโดยการเจาะรูขนาดเท่าๆกันที่เฟืองทั้ง 2 แผ่นจากนั้นนำแกนทองเหลืองที่มีรูขนาด 12 มิลลิเมตร และมีขนาดใหญ่กว่ารูที่เจาะที่เฟืองเล็กน้อยมาทำการตอกอัดจนได้ระยะตามต้องการ (ซึ่งมีระยะต่างกันไปตามแกนเหล็กที่ข้อสะโพกหรือข้อเข่า)

เฟืองคู่ที่ทำได้นี้ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังจากมอเตอร์ต้นกำลังไปที่เฟืองที่ยึดตายอยู่กับแผ่นอะลูมิเนียมท่อนล่างและแผ่นอะลูมิเนียมยึดฝ่าเท้าในโครงงานนี้จะมีเฟืองชนิดนี้อยู่ 3 ชุดต่อขาหนึ่งข้าง โดยชุดแรกจะอยู่ที่แกนเหล็กข้อเข่าทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไปยังแผ่นอะลูมิเนียมยึดฝ่าเท้าโดยส่งมาจากเฟืองคู่ชุดสอง เฟืองคู่ชุดสองและชุดสามจะอยู่ที่แกนเหล็กข้อสะโพก เฟืองคู่ชุดสองจะทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไปที่เฟืองคู่ชุดแรกเพื่อส่งผ่านกำลังไปยังแผ่นอะลูมิเนียมยึดฝ่าเท้าต่อไป เฟืองคู่ชุดสามทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไปยังเฟืองที่ยึดตายอยู่กับแผ่นอะลูมิเนียมท่อนล่าง

4.3 เฟืองที่ยึดตายอยู่กับแผ่นอะลูมิเนียม

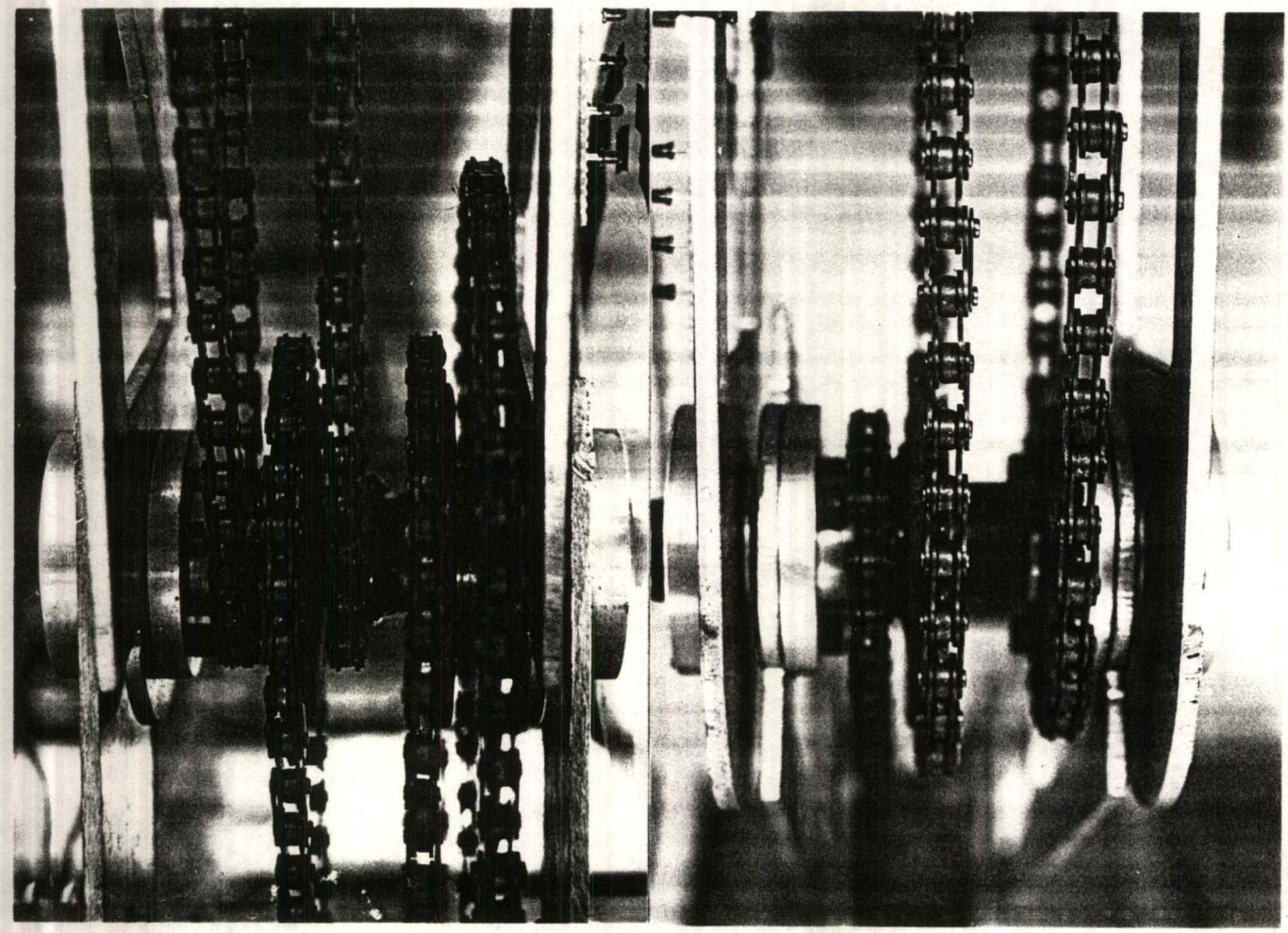
เฟืองชนิดนี้จะยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมทั้ง 3 แผ่นคือแผ่นอะลูมิเนียมท่อนบนท่อนล่าง และ แผ่นอะลูมิเนียมยึดฝ่าเท้า โดยที่เฟืองที่ยึดตายอยู่มีลักษณะต่างกันดังนี้

แผ่นอะลูมิเนียม	เฟืองซี่
ท่อนบน	45
ท่อนล่าง	12
ยึดฝ่าเท้า	12

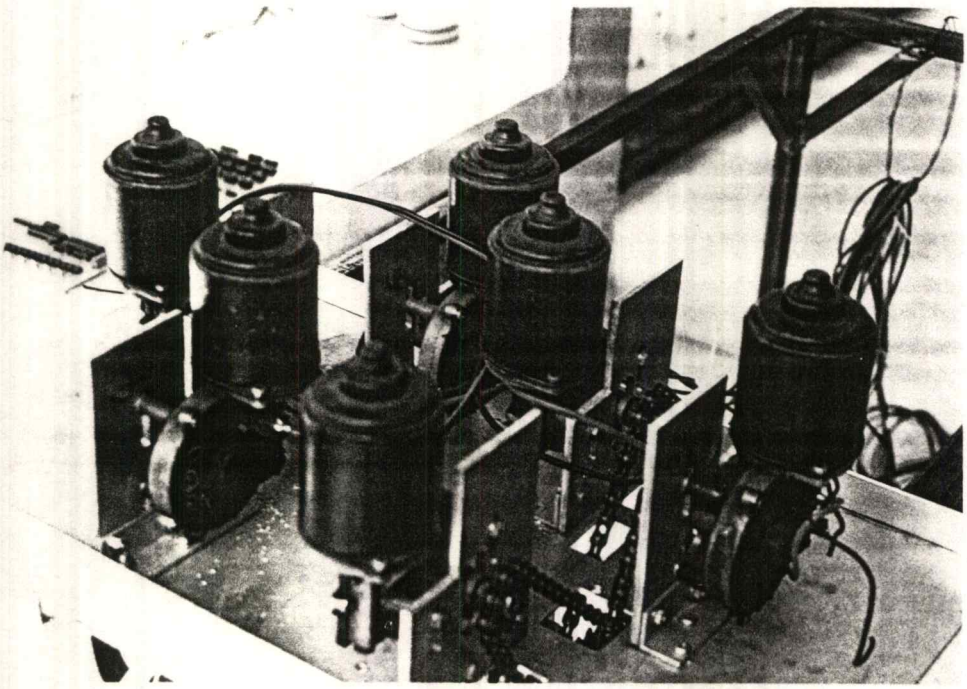
เฟืองทั้งหมดที่กล่าวมานี้ถูกใช้งานในลักษณะส่งผ่านกำลังทั้งสิ้น โดยจะใช้โซ่จักรยานเป็นตัวส่งผ่านแต่เฟืองที่ได้มานั้นเป็นเฟืองรถจักรยานยนต์จึงต้องนำมาทำการเจียร์ออกเพื่อให้สามารถใช้กับโซ่จักรยานได้ โดยที่การใช้เฟืองขนาดต่างๆกันมีผลในการทดกำลังที่ส่งผ่านไปดังที่จะได้กล่าวถึงต่อไป

5. โซ่

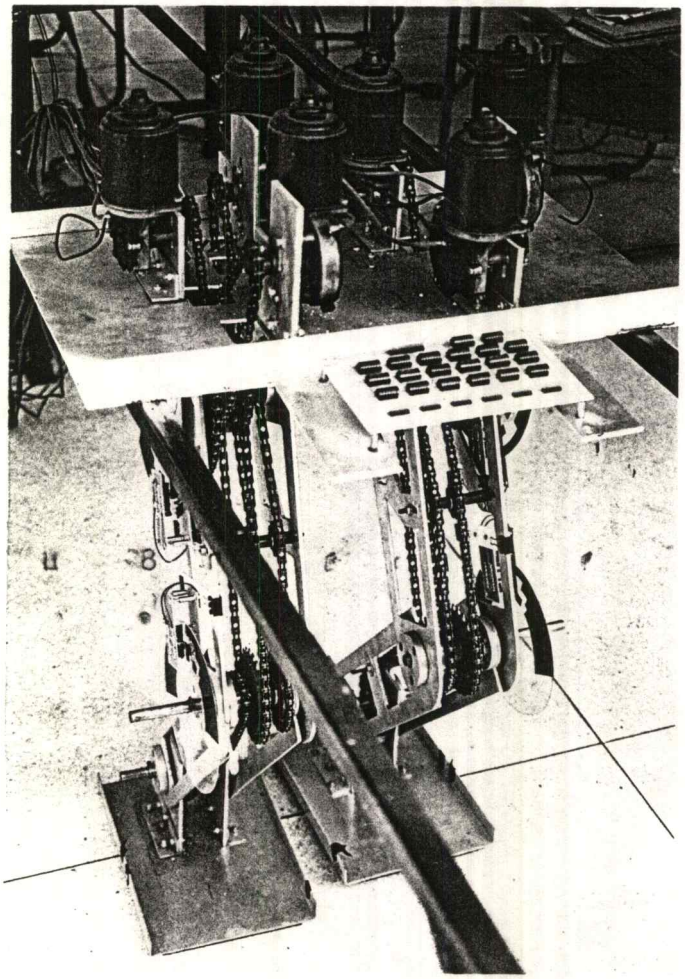
ในโครงงานนี้ใช้โซ่จักรยานเป็นตัวส่งผ่านกำลังเนื่องจากโซ่จักรยานมีขนาดเบาและราคาไม่แพงจนเกินไป



รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงลักษณะการประกอบกันของชิ้นส่วน



รูปที่ 4.3 แสดงการวางตำแหน่งของมอเตอร์



รูปที่ 4.4 แสดงชุดขากลต้นแบบ

6. **แกนดันโซ่**

เป็นแกนที่มีเฟืองพลาสติกอยู่บนแกน โดยที่เราสามารถจัดให้มันอยู่ที่ส่วนใดของแกนได้ตามต้องการทำหน้าที่ดันให้โซ่ที่อยู่ระหว่างเฟือง 2 เฟือง ตรึงแน่นและไม่หลุดออกจากเฟืองในขณะที่เฟืองหมุน

ในโครงงานนี้จะใช้แกนดันโซ่ 3 แกน ซึ่งอยู่ระหว่างคู่แผ่นอะลูมิเนียมท่อนบน 2 แกนและคู่แผ่นอะลูมิเนียมท่อนล่าง 1 แกน

7. **แหวนรอง**

แหวนรองเป็นแหวนที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ใส่เข้าไปในแกนเหล็กเพื่อจำกัดระยะของชิ้นส่วนทั้งหมดที่อยู่บนแกนเหล็กให้สัมพันธ์กับชิ้นส่วนที่อยู่บนแกนเหล็กอีกชุดหนึ่ง

8. **มอเตอร์**

เป็นมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลท์ มีขนาดและกำลังมากพอสมควรเป็นมอเตอร์ที่ได้จากมอเตอร์ที่ปัดน้ำฝนของรถยนต์ และที่แกนหมุนของมอเตอร์จะมีเกลียวตัวหนอน ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนการหมุนจากแนวขนานกับพื้นโลกเป็นตั้งฉากกับพื้นโลก

4.4 อัตราทดและการส่งผ่านกำลังของเฟือง

ในการคำนวณอัตราทดและการส่งผ่านกำลังของเฟืองจะคำนวณจากสูตร

$$T_1/T_2 = \theta_2/\theta_1 = N_1/N_2 = W_2/W_1 = r_1/r_2$$

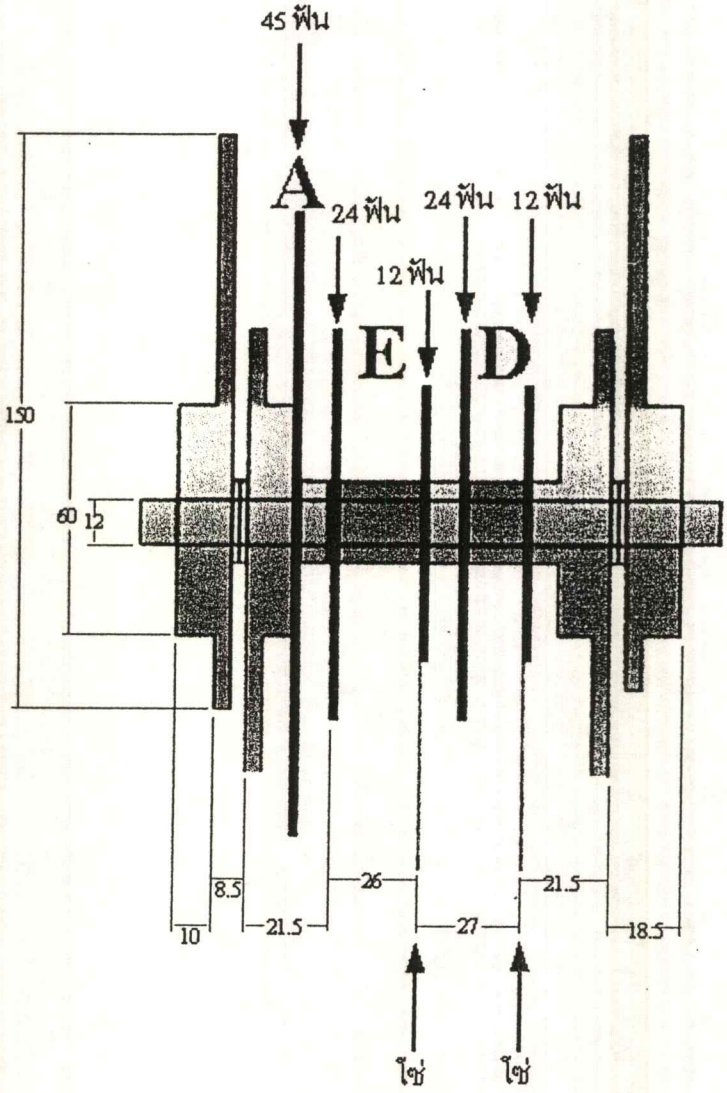
T = แรงบิดที่ส่งผ่านมายังเฟือง

N = จำนวนซี่เฟือง

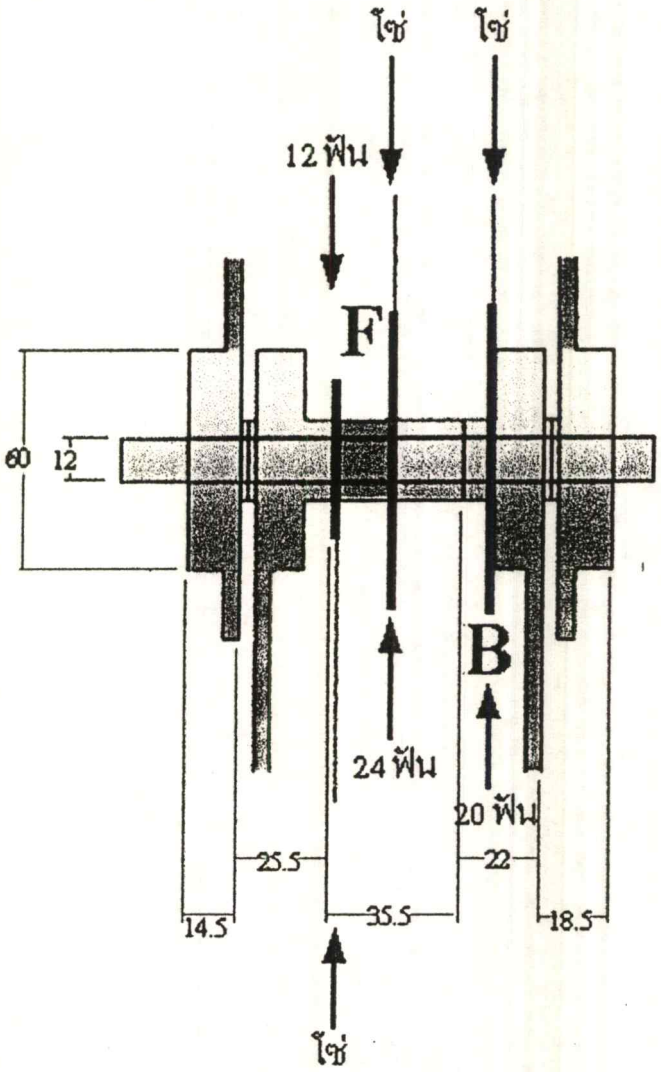
θ = การเคลื่อนที่เชิงมุม

ω = ความเร็วเชิงมุม

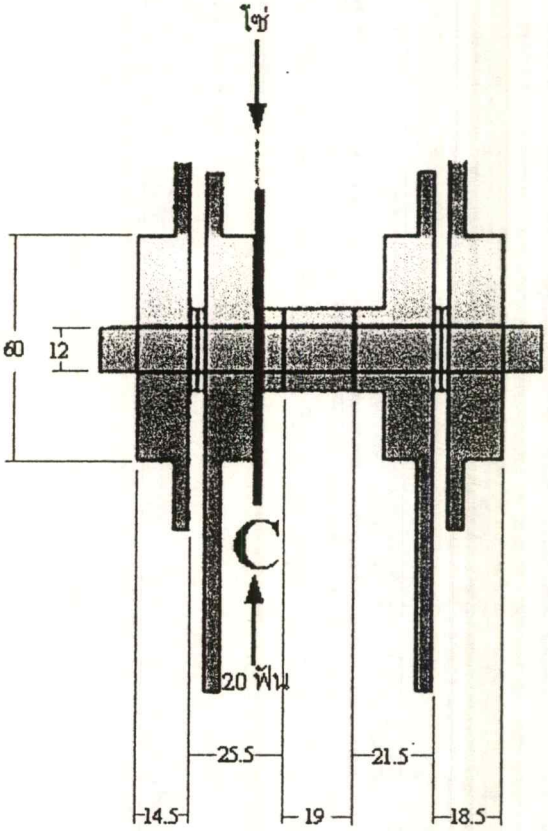
r = รัศมี



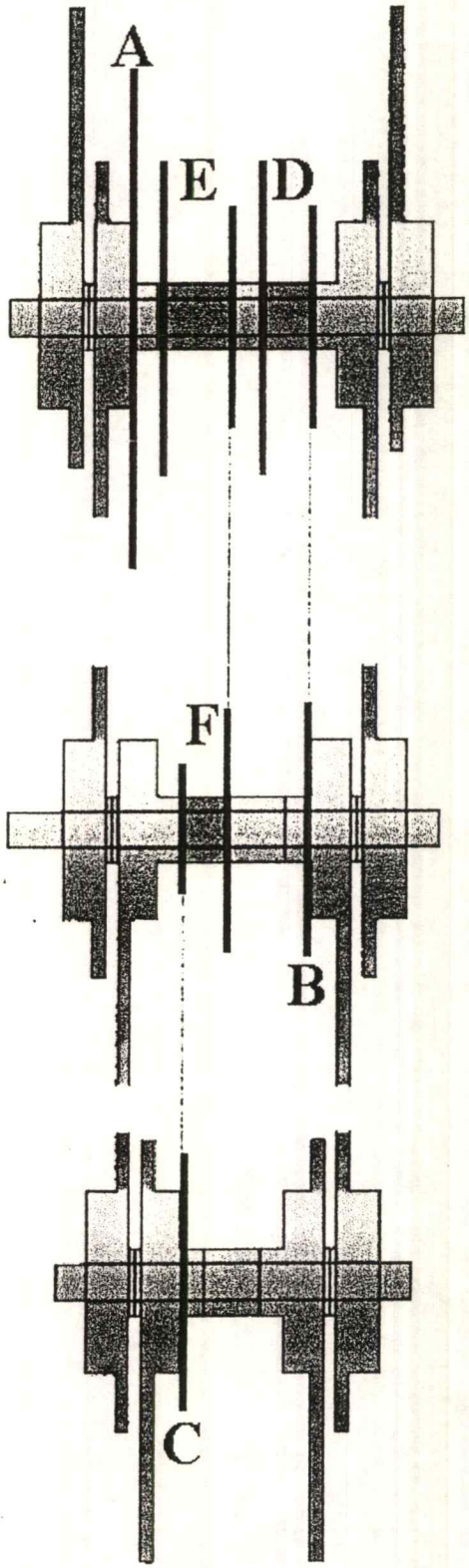
รูปที่ 4.5 แสดงการวางแผ่นอะลูมิเนียมและเฟืองที่ข้อสะโพก



รูปที่ 4.6 แสดงการวางแผ่นอะลูมิเนียมและเฟืองที่ข้อเข่า



รูปที่ 4.7 แสดงการวางแผ่นอะลูมิเนียมและเฟืองที่ข้อเท้า



รูปที่ 4.8 แสดง กลไกการเชื่อมต่อระหว่างเฟืองของแต่ละข้อโดยใช้โซ่

จากแผนภาพแสดงกลไกการเชื่อมต่อกันของเฟืองด้วยโซ่จักรยานเราสามารถคำนวณอัตราทดแรงที่ส่งผ่านมาจากมอเตอร์ดังนี้

สูตรคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและซี่ฟันของเฟือง

ชนิดของเฟือง	ความสัมพันธ์
เฟืองผ่านโซ่	$T_1 N_2 = T_2 N_2$
เฟืองคู่	$T_1 N_1 = T_2 N_2$

เมื่อ T คือแรงบิด

N คือจำนวนซี่ฟัน

จากสูตรแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$T_m/T_A = N_m/N_A ;$$

$$T_A = 5\ T_m$$

โดยที่ T_A คือแรงบิดที่เฟืองขนาด 45 ฟันที่ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมท่อนบน

T_m คือแรงบิดที่เฟืองขนาด 9 ฟันที่ติดกับแกนของมอเตอร์

ความสัมพันธ์ของเฟืองคู่

$$T_1 N_1 = T_2 N_2$$

จะได้ว่าแรงบิดของเฟือง 12 ฟันมีขนาดเป็น 2 เท่าของแรงบิดที่เฟือง 24 เป็นหรือ $T_{12} = 2T_{24}$

$$T_B = 20/12\ T_{D12}$$

$$= 20/12 \text{ X } 2 \text{ X } T_{D24}$$

$$= 20/12 \text{ X } 2 \text{ X } 24/9 \text{ X } T_m$$

$$= 8.88\ T_m$$

โดยที่ T_{D12} คือ แรงบิดที่เฟืองขนาด 12 ฟันของเฟืองคู่ชุด D

T_{D24} คือแรงบิดที่เฟืองขนาด 24 ฟันของเฟืองคู่ชุด D

T_B คือแรงบิดที่เฟือง B ขนาด 20 ฟันที่ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมท่อนล่าง

$$T_C = 20/12\ T_{F12}$$
$$= 20/12 \times 2 \times T_{F24}$$
$$= 20/12 \times 2 \times 2 \times T_{E12}$$
$$= 20/12 \times 2 \times 2 \times 2 \times T_{E24}$$
$$= 20/12 \times 2 \times 2 \times 2 \times 24/9\ T_M$$
$$T_C = 35.55\ T_M$$

โดยที่ T_{F12} คือ แรงบิดที่เฟืองขนาด 12 ฟันของเฟืองคู่ชุด F

T_{F24} คือ แรงบิดที่เฟืองขนาด 12 ฟันของเฟืองคู่ชุด F

T_{E12} คือ แรงบิดที่เฟืองขนาด 24 ฟันของเฟืองคู่ชุด E

T_{E24} คือ แรงบิดที่เฟืองขนาด 24 ฟันของเฟืองคู่ชุด E

T_C คือแรงบิดที่เฟือง C ขนาด 20 ฟันที่ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมยึดข้อเท้า

จากการคำนวณทั้งหมดจะพบว่า

- แรงบิดที่เฟือง A ขนาด 45 ฟัน ที่ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมท่อนบนมีขนาดเป็น 5 เท่าของแรงบิดที่เฟืองขนาด 9 ฟันที่ติดกับแกนหมุนของมอเตอร์

- แรงบิดที่เฟือง B ขนาด 20 ฟันที่ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมท่อนล่างมีขนาดประมาณ 8.88 เท่าของแรงบิดที่เฟืองขนาด 9 ฟันที่ยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์

- แรงบิดที่เฟือง C ขนาด 20 ฟันที่ยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมยึดข้อเท้ามีขนาดประมาณ 35.55 เท่าของแรงบิดที่เฟืองขนาด 9 ฟันที่ยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์

4.5 รูปแบบการทำงานของชุดขากลต้นแบบ

จากการศึกษาในเรื่องกายวิภาคศาสตร์การเคลื่อนไหว (Kinesiology) และท่าเดินของมนุษย์ (gait) พบว่าในท่าเดินของมนุษย์จะแบ่งช่วงการเคลื่อนที่ออกเป็น 2 ช่วงคือ

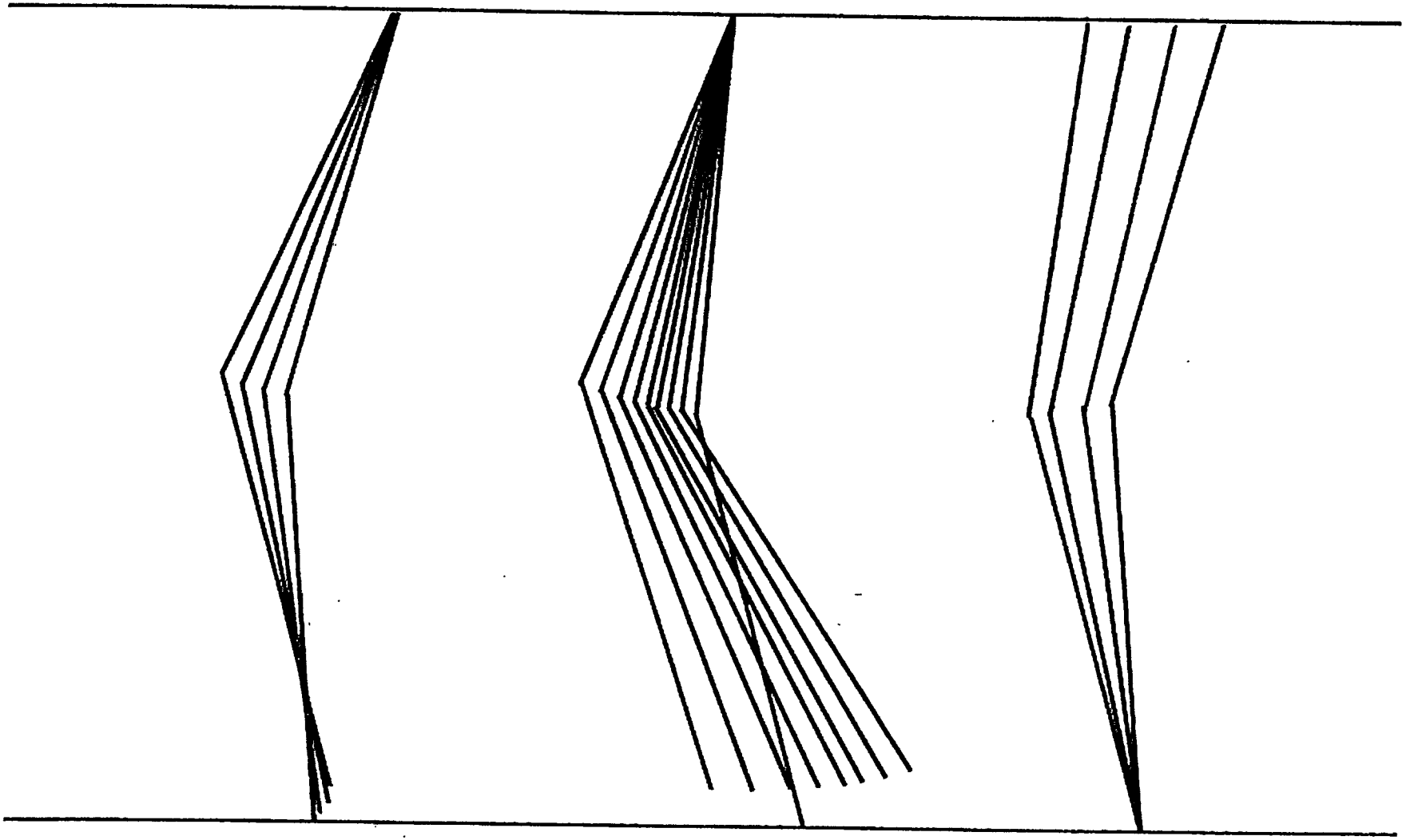
1. Stance phase
2. Swing phase

และมีขั้นตอนในแต่ละช่วงดังที่ได้กล่าวมาแล้วในแบบจำลองนี้ก็เช่นกันได้แบ่งขั้นตอนการเดินออกเป็น 2 ช่วงในที่นี้ขอเรียกว่าขั้นตอน ก. แทนช่วง Stance phase และ ขั้นตอน ข. แทนช่วง Swing phase

ขั้นตอน ก.

จะแบ่งขั้นตอน ก. ออกเป็นขั้นตอนย่อยๆ 4 ขั้นตอนโดยที่ในแต่ละขั้นตอนมีการเคลื่อนและทำมุมกับแนวต่างๆดังตารางนี้

ขั้นตอน	1	2	3	4
มุมที่ข้อเท้าระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมท่อนล่างและแนวฉาก	4°	8°	12.5°	15°
มุมที่ข้อเข่าระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมท่อนบนและแผ่นอลูมิเนียมท่อนล่าง	20°	22°	22°	20°
การหมุนของข้อเท้า	ทวนเข็ม	ทวนเข็ม	ทวนเข็ม	ทวนเข็ม
การหมุนของข้อเข่า	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม
การหมุนของข้อสะโพก	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน



รูปที่ 4.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการเดินมนุษย์

ขั้นตอน ข.

จะแบ่งขั้นตอน ข. ออกเป็น ขั้นตอนย่อย 13 ขั้นตอน โดยที่ในแต่ละขั้นตอนมีการเคลื่อนที่และทำมุมกับแนวต่างๆ ดังตารางนี้

ขั้นตอน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
มุมที่ข้อเท้าระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมท่อนล่างและแนวฉาก	5°	7°	9°	10°	12°	14°	16°	19°	22°	25°	22°	19°	16°
มุมที่ข้อเข่าระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมท่อนบนและท่อนล่าง	20°	40°	40°	40°	40°	40°	40°	40°	40°	40°	34°	27°	20°
การหมุนของข้อเท้า	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน
การหมุนของข้อเข่า	ทวนเข็ม	ทวนเข็ม	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ไม่หมุน	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม
การหมุนของข้อสะโพก	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ตามเข็ม	ทวนเข็ม	ทวนเข็ม	ทวนเข็ม	ทวนเข็ม

ปัญหาที่เกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนประกอบของขากลต้นแบบ

มอเตอร์

เป็นมอเตอร์กระแสตรงเก่าที่ได้จากมอเตอร์ที่ปัดน้ำฝนรถยนต์ ในการตรวจสอบสภาพการใช้งานของมอเตอร์ตรวจสอบได้แต่เพียงว่าสามารถหมุนได้หรือไม่ สำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะตัวไม่สามารถตรวจสอบได้จากข้อมูลจำเพาะที่มากับตัวมอเตอร์ได้ เนื่องจากมอเตอร์มีอายุการใช้งานนานจนกระทั่งข้อมูลจำเพาะนั้นเลือนหายไป ทำให้เราไม่สามารถทราบหรือตรวจสอบความเร็วรอบ แรงบิด กำลังส่ง ทราบแต่เพียง แรงดันที่ต้องใช้ในการควบคุมมอเตอร์คือ 12 โวลท์

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการไม่ทราบกำลังและความไม่เท่ากันของกำลังของมอเตอร์แต่ละตัว คือ เมื่อนำมอเตอร์ไปประกอบกับขากลต้นแบบ ซึ่งแบ่งการทำงานเป็นซ้ายและขวา ข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้า จะทำให้การทำงานของข้อสะโพก ข้อเข่า ข้อเท้าของข้างซ้ายและข้างขวาไม่ สมดุลย์ซึ่งกันและกัน และทำให้ความสามารถในการหมุนของมอเตอร์แต่ละตัวไม่แน่นอน

นอกจากปัญหาที่กล่าวมานี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องการหมุนซ้ายและหมุนขวาของมอเตอร์ไม่เท่ากันทั้งๆ ที่ให้เวลาหน่วงในการทำงานเท่ากันเมื่ออยู่ในสภาวะที่รับภาระทางกล

น้ำหนักรวมของมอเตอร์ทั้ง 6 ตัว เป็นปัญหาอย่างมากกล่าวคือเป็นภาระให้กับตัวมันเองในความพยายามที่จะเอาชนะแรงต้านการหมุนของมอเตอร์

แผ่นอะลูมิเนียม

แผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในการประกอบขากลต้นแบบถึงแม้ว่ามันจะมีน้ำหนักที่ค่อนข้างเบาจึงไม่เป็นภาระให้กับมอเตอร์มากนัก แต่สภาพความแกร่งของมันเป็นปัญหาพอสมควร เนื่องจากการใช้งาน หลังจากการตรวจสอบชิ้นส่วนแล้วพบว่า มีความเสียหายเกิดขึ้นกับแผ่นอะลูมิเนียม ในลักษณะของการโก่งงอและบิดไปตามแรงบิด

แกนเหล็กและชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นเหล็ก

สิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้คือสนิมเหล็ก เมื่อผ่านการใช้งานเป็นเวลาพอสมควรจะเกิดสนิมขึ้นที่แกนเหล็กและชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นเหล็ก ทำให้มีแรงเสียดทานและเป็นอุปสรรคในการหมุนของมอเตอร์

บทที่ 5
การออกแบบวงจรอินเตอร์เฟส

อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของขากลก็คือคอมพิวเตอร์ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์นั้นมีมาตรฐานในการติดต่อที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเช่น มาตรฐานการสื่อสารแบบอนุกรม (RS-232) และ มาตรฐานการสื่อสารแบบขนาน (GPIB) อย่างไรก็ตามมาตรฐานต่างๆ เหล่านี้ก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่ ดังนั้นในโครงงานนี้จะทำการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับขากลโดยใช้การติดต่อโดยตรงกับระบบบัสของคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการติดต่อและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

5.1 ทฤษฎีไอซี 8255

8255 สามารถที่จะโปรแกรมให้เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทก็ได้ตามต้องการโดยมีอินพุทเอาท์พุทพอร์ตขนาด 8 บิทอยู่ 3 พอร์ต กับอีกหนึ่งคอนโทรลพอร์ต มีบัสข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์จำนวน 8 เส้น และมีแอดเดรส A0 , A1 เป็นตัวกำหนดการติดต่อกับอินพุทเอาท์พุทพอร์ตทั้ง 3 คือ พอร์ต A B และ C ตามลำดับโดยมีการกำหนดแอดเดรสดังนี้

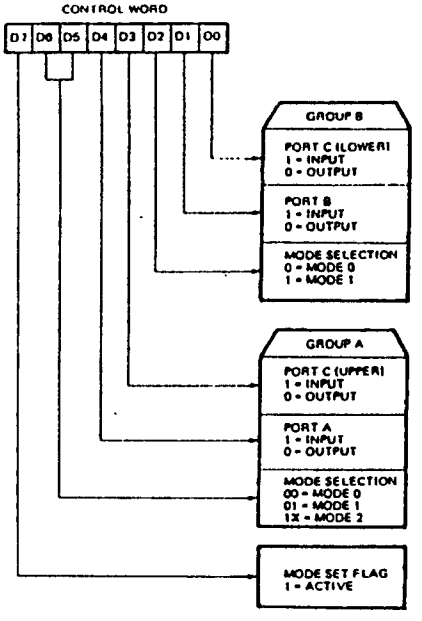
A1	A0	ชื่อพอร์ต
0	0	พอร์ต A
0	1	พอร์ต B
1	0	พอร์ต C
1	1	คอนโทรลพอร์ต

นอกจากนี้ยังมีสัญญาณควบคุมอีก 4 เส้นดังนี้

1. RD เป็นสัญญาณการอ่านพอร์ต 8255 สามารถต่อโดยตรงกับระบบบัสของคอมพิวเตอร์
2. WR เป็นสัญญาณการเขียนข้อมูลมาที่ตัวพอร์ต 8255
3. CS เป็นสัญญาณที่ทำให้ 8255 แอกทีฟ
4. ´RESET เป็นสัญญาณรีเซ็ทของ 8255

การโปรแกรมจะต้องถูกกระทำก่อนการใช้งานอย่างน้อยที่สุด 1 ครั้ง โดยการเขียนรหัสควบคุมไปที่พอร์ตควบคุม

รหัสควบคุมในแต่ละบิทมีความหมายดังนี้



รูปที่ 5.1 รหัสควบคุม

D7 แสดงถึงรหัสควบคุมให้เริ่มทำงานคือจะมีผลทำให้ 8255 รับรู้สิ่งต่อไปในบิทต่างๆที่จะกำหนดให้เพราะฉะนั้นเวลาจะสั่งงานหรือหน้าที่ให้กับ 8255 บิทนี้จะเป็น 1 เสมอ

D6 และ D5 เป็นการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ต A

D4 กำหนดให้พอร์ต A เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทโดย

0 = เอาท์พุทพอร์ต

1 = อินพุทพอร์ต

D3 กำหนดให้พอร์ต C บน เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทโดย

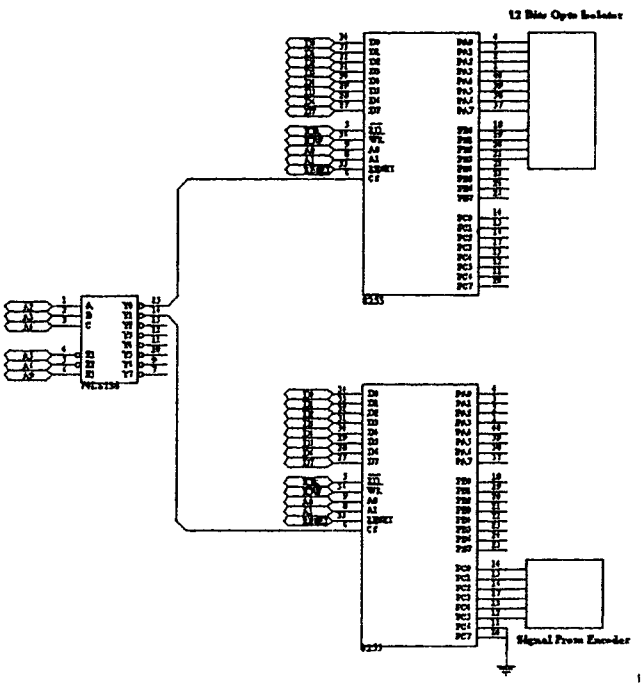
0 = เอาท์พุทพอร์ต

1 = อินพุทพอร์ต

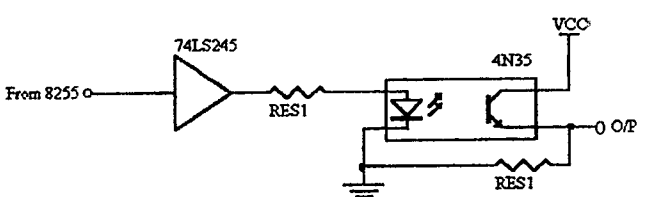
D2 เป็นการเลือกโหมดให้กับพอร์ต B

0 = เอาท์พุทพอร์ต

1 = อินพุทพอร์ต



รูปที่ 5.2 วงจรอินเตอร์เฟส



รูปที่ 5.3 วงจรไอโซเลเตอร์

ไอซี74LS138 จะถูกนำมาใช้ในการถอดรหัสแอดเดรสเพื่อป้องกันการทับกันของแอดเดรส ในการนำวงจรอินเตอร์เฟสไปใช้งานจะทำการต่อออปโต้ไอโซเลเตอร์เพื่อเป็นการแยกกราวน์ของอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ และเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับคอมพิวเตอร์

D0 กำหนดพอร์ต C ล่างเป็นอินพุทหรือเอาท์พุทโดย

0 = เอาท์พุทพอร์ต

1 = อินพุทพอร์ต

5.2 โหมดการทำงานของ 8255

โหมด 0 เป็นโหมดอินพุทเอาท์พุทแบบพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไปโดยโหมดนี้สั่งเป็นอินพุทหรือเอาท์พุทได้ทั้ง 3 พอร์ต

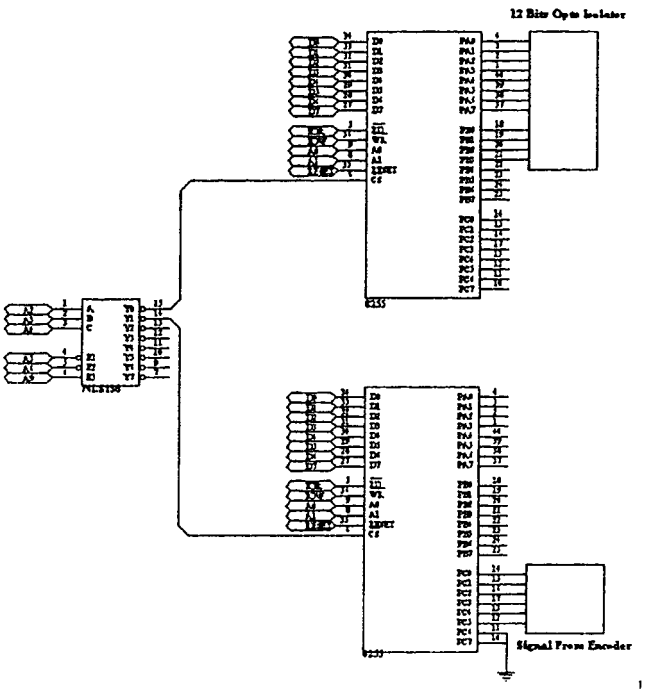
โหมด 1 เป็นโหมดอินพุทเอาท์พุทที่มีการตรวจสอบสัญญาณแฮนด์เช็คกิ้งระหว่าง 8255 กับ อุปกรณ์ภายนอกโดยในโหมดนี้จะใช้สั่งงานให้เป็นอินพุทหรือเอาท์พุทได้ที่พอร์ต A และ B เท่านั้น ส่วนพอร์ต C จะใช้เป็นส่วนตรวจสอบสัญญาณแฮนด์เช็คกิ้ง

โหมด 2 เป็นโหมดไบไดเร็คชั่นแนล คือ พอร์ตจะเป็นได้ทั้งอินพุทและเอาท์พุทในพอร์ตเดียวกันและในโหมดนี้ยังมีการตรวจสอบความพร้อมโดยใช้พอร์ต C ในการตรวจสอบที่เหลือคือพอร์ต B ที่ผู้ใช้จะสั่งให้อยู่ในโหมด 0 หรือ 1 ได้อย่างอิสระ

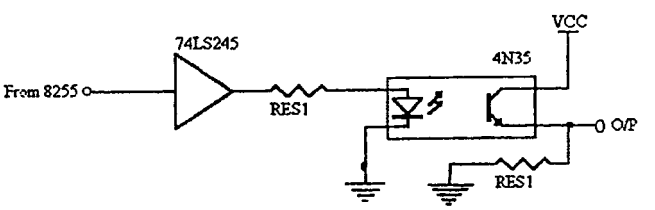
5.3 สัญญาณที่นำมาจากระบบบัสของคอมพิวเตอร์

1. แอดเดรสบัส 8 บิท
2. ดาต้าบัส 8 บิท
3. สัญญาณ IOW และ IOR
4. สัญญาณ RESETDRV
5. แรงดัน 5 โวลต์ และ กราวน์

สัญญาณต่างๆเหล่านี้จะถูกนำมาเชื่อมต่อกับ 8255 และ 74LS138 ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนต่อไป

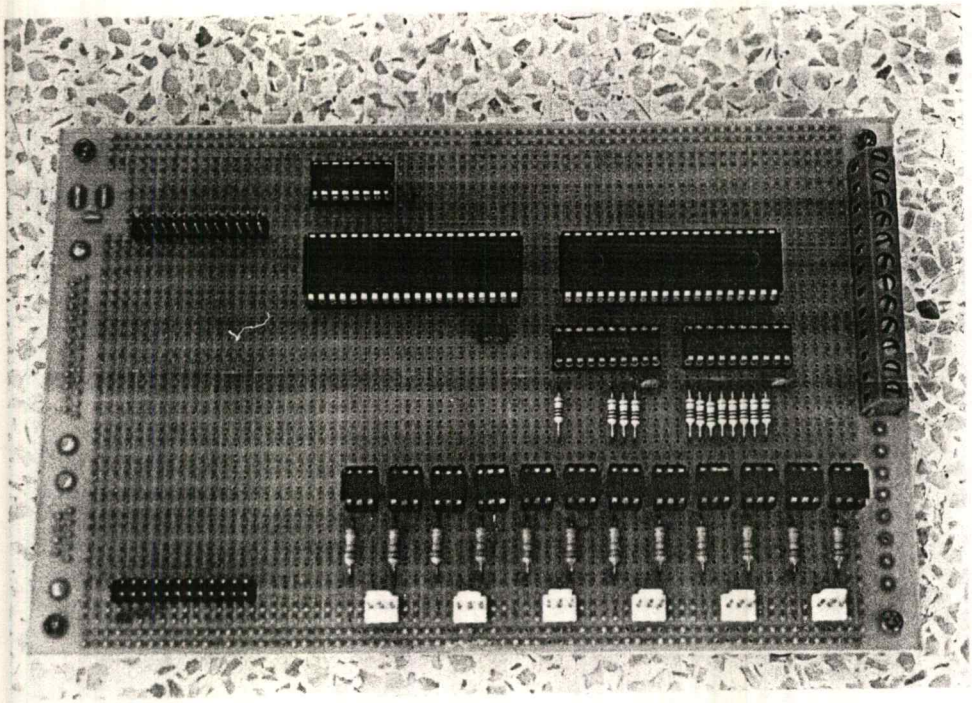


รูปที่ 5.2 วงจรอินเตอร์เฟส

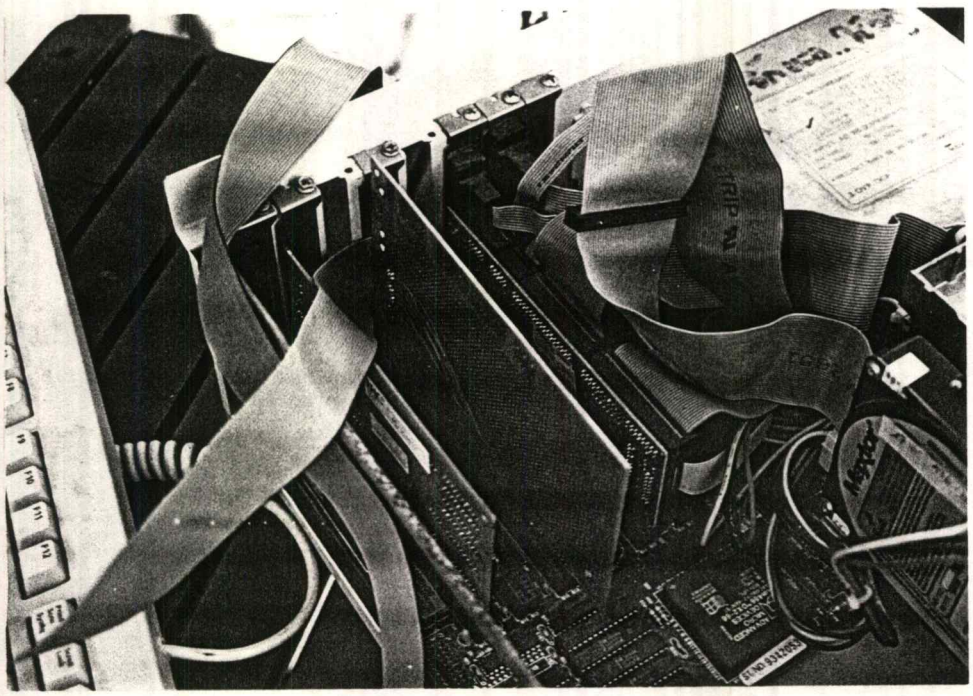


รูปที่ 5.3 วงจรไอโซเลเตอร์

ไอซี74LS138 จะถูกนำมาใช้ในการถอดรหัสแอดเดรสเพื่อป้องกันการทับกันของแอดเดรส ในการนำวงจรอินเตอร์เฟสไปใช้งานจะทำการต่อออปโต้ไอโซเลเตอร์เพื่อเป็นการแยกกราวน์ของอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ และเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับคอมพิวเตอร์



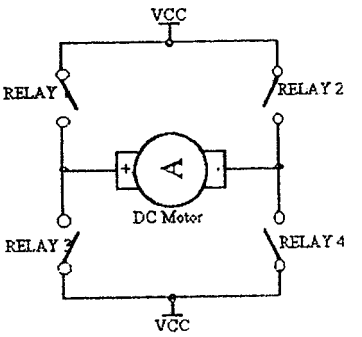
รูปที่ 5.4 แสดงวงจรเชื่อมต่อ



รูปที่ 5.5 แสดงการเชื่อมต่อเข้าสู่พอร์ตISA

บทที่ 6
วงจรขับและควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ต้นกำลังทางกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนขากลคือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ง่าย และ ให้แรงบิดที่ดี ขากลแต่ละข้างจะใช้มอเตอร์จำนวน 3 ตัวซึ่งใช้ในการควบคุมข้อต่อต่างๆดังนี้ ข้อสะโพก ข้อหัวเข่า และ ข้อเท้า ข้อต่อเหล่านี้จะต้องสามารถเคลื่อนที่ไปและกลับได้ ดังนั้นในการออกแบบวงจรส่วนนี้จะต้องสามารถควบคุมมอเตอร์ให้หมุนไปได้ทั้งสองทิศทาง



รูปที่ 6.1 แนวคิดในการควบคุมมอเตอร์

จากรูปที่ 6.1 หลักการเป็นดังนี้ เมื่อ T1 และ T4 ปิดจะทำให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่ายไฟผ่านมอเตอร์ลงสู่กราวน์ทำให้มอเตอร์หมุนได้ และเมื่อ T1 และ T4 เปิด ส่วน T2 และ T3 ปิดก็จะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตรงกันข้าม จากหลักการดังกล่าวจึงนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่น ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต หรือ รีเลย์ มาทำหน้าที่เป็นสวิทช์ โดยขากลที่ได้ออกแบบจะมีขนาดเท่ากับมนุษย์ซึ่งมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากดังนั้นจึงต้องใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิดสูง จะทำให้กระแสที่ใช้ขับมอเตอร์มีค่าสูงตามไปด้วย ดังนั้นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะมาทำหน้าที่เป็นสวิทช์จะต้องสามารถทนกระแสได้สูงด้วย

6.1 การออกแบบวงจรเกท

เนื่องจากต้องการใช้สัญญาณ 2 สัญญาณนั่นคือสัญญาณควบคุมการหมุน (Control , x) และสัญญาณควบคุมทิศทางการหมุน (Dimension , y) เราต้องการให้ เมื่อสัญญาณควบคุมการหมุน เป็น 0 มอเตอร์จะไม่หมุนไม่ว่าสัญญาณควบคุมทิศทางการหมุนจะมีค่าเป็นเช่นไร และ

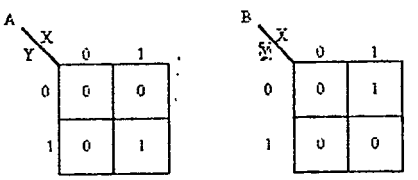
ต้องการให้มีการหมุนเมื่อสัญญาณควบคุมการหมุน เป็น 1 โดยทิศทางของการหมุนจะขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมทิศทางการหมุน โดยถ้าเป็น 0 จะให้มีมอเตอร์หมุนไปทางซ้ายและถ้าเป็น 1 มอเตอร์จะหมุนไปทางขวา จะได้ตารางความจริงดังนี้

X	Y	A	B
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	1
1	1	1	0

A : สัญญาณที่จะใช้ทริก รีเลย์ ได้มอเตอร์หมุนทางขวา

B : สัญญาณที่จะใช้ทริก รีเลย์ ได้มอเตอร์หมุนทางซ้าย

ดังนั้นจากตารางความจริงจะได้ K - MAP ดังนี้

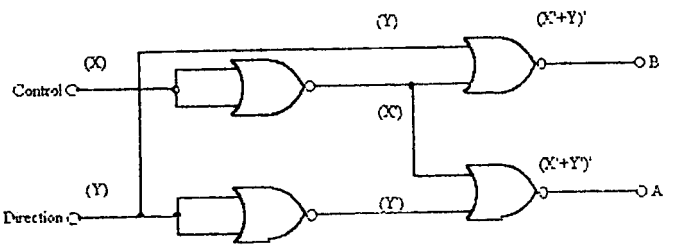


$A = XY$ $B = X\overline{Y}$

ทำการแปลงสมการบูลีนเหล่านี้ให้อยู่ในรูปที่สามารถสร้างขึ้นด้วยเกทเพียง 4 ตัวได้

$A = \overline{\overline{X} + \overline{Y}}$ $B = \overline{\overline{X} + Y}$

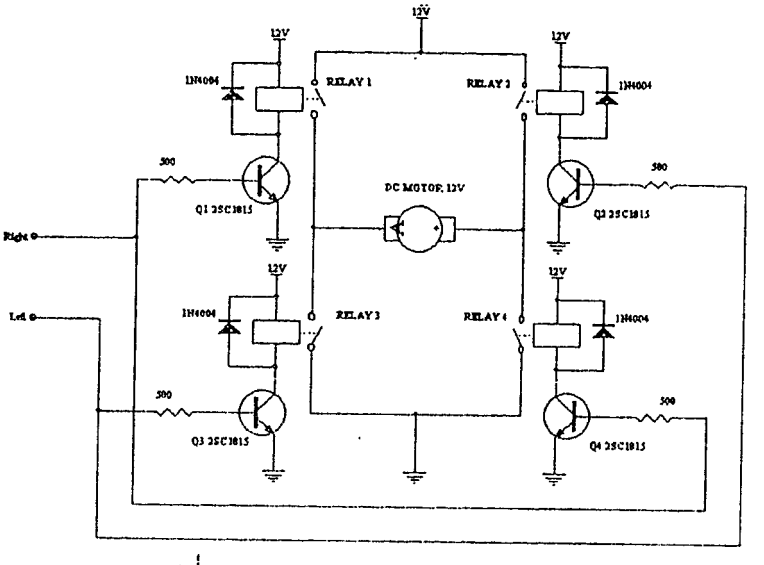
ได้วงจรเกทดังรูป



รูปที่ 6.2 แสดงวงจรเกท

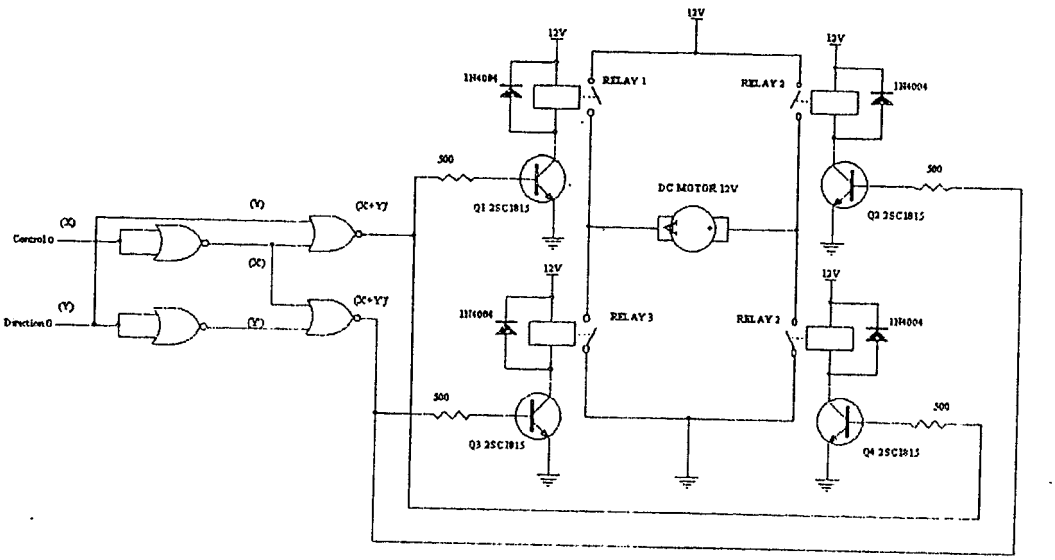
6.2 การออกแบบวงจรขับมอเตอร์

เราต้องการจะใช้สัญญาณ A , B มาเพื่อใช้ในการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นจึงเลือกออกแบบโดยใช้ รีเลย์ 4 ตัว โดยใช้สัญญาณ A , B เป็นสัญญาณก็จะทำการเลือก รีเลย์ เพื่อที่จะให้ได้ การควบคุมทิศทางของมอเตอร์



รูปที่ 6.3 แสดงหลักการควบคุมมอเตอร์

จากโครงร่างดังรูป ถ้าหากกำหนดให้ รีเลย์ 2 และ รีเลย์ 3 ทำงานพร้อมกัน โดยที่ รีเลย์ 1 และ รีเลย์ 4 ไม่ทำงานกระแสจะไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางจากซ้ายไปขวา ดังนั้นมอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางหนึ่งในทำนองเดียวกันถ้าให้ รีเลย์ 1 และ รีเลย์ 4 ทำงานโดยที่ รีเลย์ 2 และ รีเลย์ 3 ไม่ทำงาน กระแสจะไหลจากทางขวาของมอเตอร์ไปสู่ทางซ้าย นั่นคือ มอเตอร์จะหมุนกลับทางจากกรณีแรกดังนั้น เราจึงกำหนดให้ รีเลย์ 2 , รีเลย์3 ถูกควบคุมโดยสัญญาณ A และ รีเลย์ 1 , รีเลย์ 4 ถูกควบคุมโดยสัญญาณ B และถ้าพิจารณาจากตารางความจริง ถ้าสัญญาณควบคุมการหมุนเป็น 1 และสัญญาณควบคุมทิศทางการหมุน เป็น 0 จะมี สัญญาณ B ไปทริก รีเลย์ 1 และ รีเลย์ 4 มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางหนึ่ง แต่ถ้าหากว่าสัญญาณควบคุมทิศทางการหมุนเป็น 1 จะมี สัญญาณ A ไปทริก รีเลย์ 2 , รีเลย์ 3 มอเตอร์จะหมุนกลับไปในทิศทางตรงกันข้าม
จะได้รูปวงจรโดยรวมกันส่วนของวงจรขับ รีเลย์ และ วงจร เกท ดังนี้



รูปที่ 6.4 แสดงวงจรรวม ของวงจรขับมอเตอร์ กับวงจรเกท

ปัญหาและแนวทางการแก้ไขที่เกิดขึ้นกับวงจรนับและควบคุมทิศทางกับของมอเตอร์

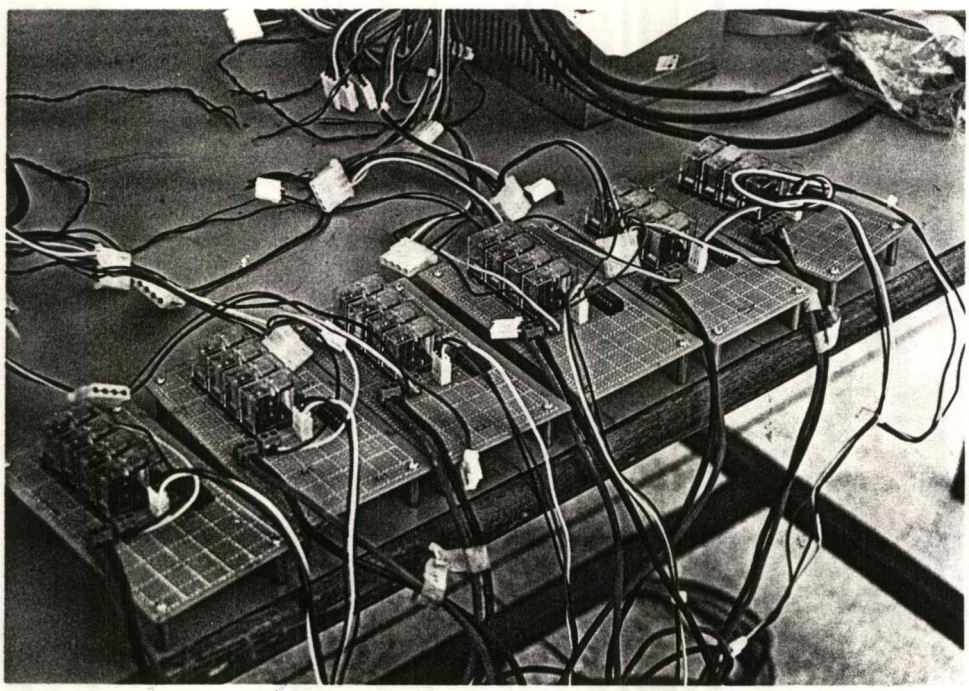
จากหลักการในการออกแบบวงจรขับและควบคุมทิศทางของมอเตอร์จะพบว่ามีความต้องการที่จะส่งสัญญาณควบคุม 2 สัญญาณคือควบคุมการหมุนและควบคุมทิศทาง จากที่ได้ออกแบบไปพบว่าจะใช้สวิตช์เป็นตัวควบคุมสัญญาณทั้ง 2 นั้น

โดยทั่วไปแล้วสวิตช์จะแบ่งเป็น

1. สวิตช์ทางกล (Mechanic Switch)
2. สวิตช์ทางไฟฟ้า (Electronic Switch)

ทั้งแม็คคานิคสวิตช์และอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์มีข้อดีและข้อเสียต่างกันขึ้นอยู่กับความจำเป็นในการใช้งาน สำหรับโครงงานนี้แล้วอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์จะเหมาะสมกว่าเนื่องจากอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์มีความสามารถในการตอบสนองที่ความถี่สูงได้ดี แต่ถ้าหากต้องการใช้งานที่กระแสสูง จำเป็นที่จะต้องใช้ทรานซิสเตอร์กำลังแทนทรานซิสเตอร์ธรรมดาซึ่งทรานซิสเตอร์กำลังที่ทนกระแสได้สูงๆจะ

มีราคาสูงจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้แม็คคานิคสวิทช์ (รีเลย์) แทนเนื่องจาก รีเลย์สามารถที่จะทำงานที่กระแสสูงๆได้ โดยที่รีเลย์ชนิดนั้นมีราคาไม่สูงนักเมื่อเทียบกับทรานซิสเตอร์กำลังแต่ข้อเสียของรีเลย์คือไม่สามารถตอบสนองที่ความถี่สูงๆได้ดีนักและยังมีอายุการใช้งานที่สั้นและไม่แข็งแรงง่ายต่อการสึกหรอทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้หากใช้ไปนานๆ



รูปที่ 6.5 แสดงวงจรขับและควบคุมการหมุนของมอเตอร์

บทที่7
อุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่ง

การควบคุมตำแหน่งให้ชุดขากลต้นแบบสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้นั้นต้องพยายามทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการหมุนของเฟืองมีน้อยที่สุด จากเหตุผลดังกล่าวจึงต้องมีการพัฒนาส่วนประกอบขึ้นมาอีกส่วนหนึ่งคือ อุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งเอ็นโค้ดเดอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ตรวจสอบระยะที่หมุนไปของข้อต่อและส่งผลนั้นไปให้กับส่วนควบคุมอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งเอ็นโค้ดเดอร์ที่เป็นวงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่วนประมวลผลของคอมพิวเตอร์จะนำผลที่ได้มาจากเอ็นโค้ดเดอร์ไปประมวลผลและออกคำสั่งควบคุมไปที่วงจรขับและควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ต่อไป

7.1) อุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่ง(เอ็นโค้ดเดอร์)

เอ็นโค้ดเดอร์สามารถพัฒนาไปได้หลายๆรูปแบบขึ้นอยู่กับรูปแบบของการใช้งาน ในโครงงานนี้ได้เลือกเอาหลักการเอ็นโค้ดเดอร์โดยใช้แสงมาพัฒนาเนื่องจากเอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้จะให้ผลตอบสนองที่เป็นดิจิตอลทำให้ง่ายต่อการนำไปเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยไม่จำเป็นต้องมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นดิจิตอล

การออกแบบวงจรตรวจสอบตำแหน่ง

เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมการหมุนของข้อต่อต่างๆจึงได้ทำการออกแบบให้เอ็นโค้ดเดอร์สามารถที่จะรู้ตำแหน่งที่แน่นอนของข้อต่อต่างๆซึ่งเรียกว่าแอ็บโซลูทเอ็นโค้ดเดอร์ (Absolute Encoder)

ส่วนประกอบของเอ็นโค้ดเดอร์

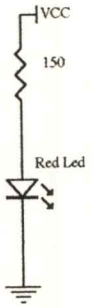
1. วงจรส่งสัญญาณแสง
2. วงจรรับสัญญาณแสง
3. จานถอดรหัส

วงจรส่งสัญญาณแสง

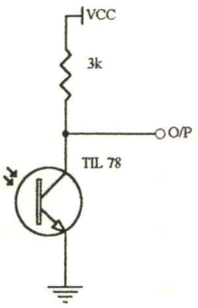
ในที่นี้เลือกใช้ไดโอดเปล่งแสงขนาด 3 มิลลิเมตรสีแดง

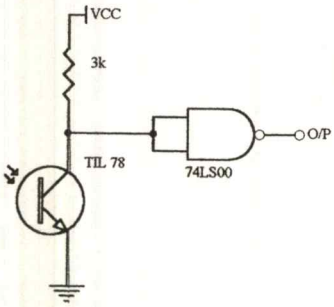
วงจรรับสัญญาณแสง

ตัวรับแสงจะใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์เบอร์ TIL78 โดยมีลักษณะการต่อเป็นดังรูปที่ 1 เมื่อมีแสงมาตกกระทบจะให้ผลตอบสนองออกมาที่เอาท์พุทเป็น 0 โวลท์ (ลอจิก 0) แต่เพื่อความสะดวกที่จะนำไปใช้กับวงจรเชื่อมต่อจึงต้องการให้ผลตอบสนองออกมาที่เอาท์พุทเป็นลอจิก 1 จึงทำการต่ออินเวอร์เตอร์ 74LS00 เข้ามาดังรูปที่ 2



รูปที่ 7.1 แสดงลักษณะของวงจรส่งสัญญาณแสง





รูปที่ 7.2 แสดงลักษณะของวงจรรับสัญญาณแสง

รูปที่ 7.3 แสดงลักษณะของวงจรรับสัญญาณแสง ที่เชื่อมต่อกับ แนนเกท

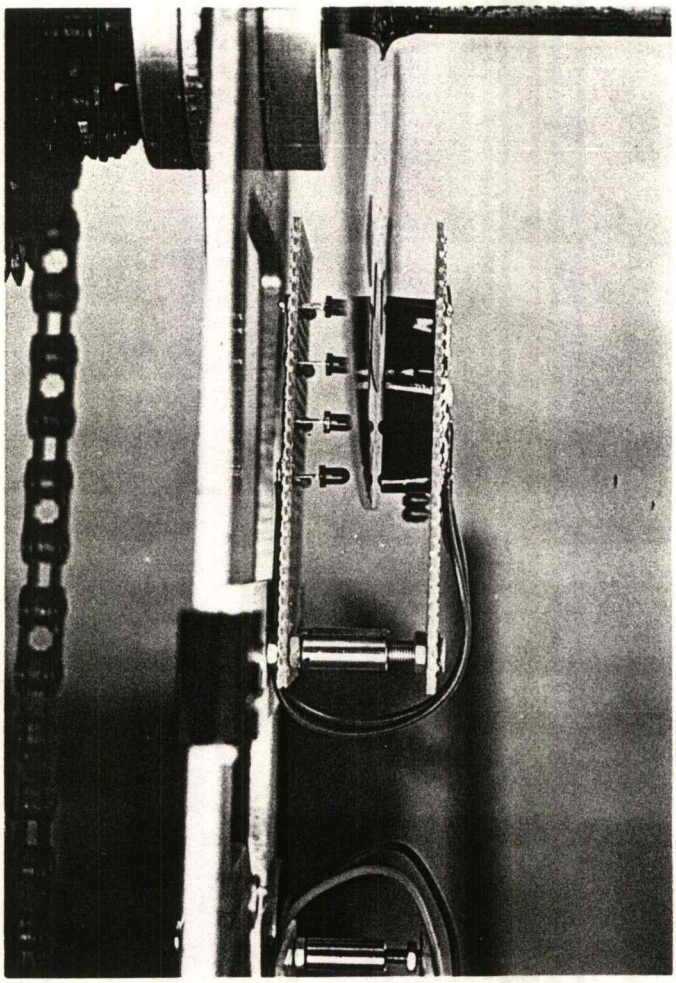
จานถอดรหัส

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของชุดขากลต้นแบบไม่ต้องการความละเอียดมากนักจึงออกแบบเอ็นโค้ดเดอร์ให้มีเพียง 17 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 6 องศาโดยรหัสที่จะใช้จะเป็นแบบเกรย์โดยมีรายละเอียดดังนี้

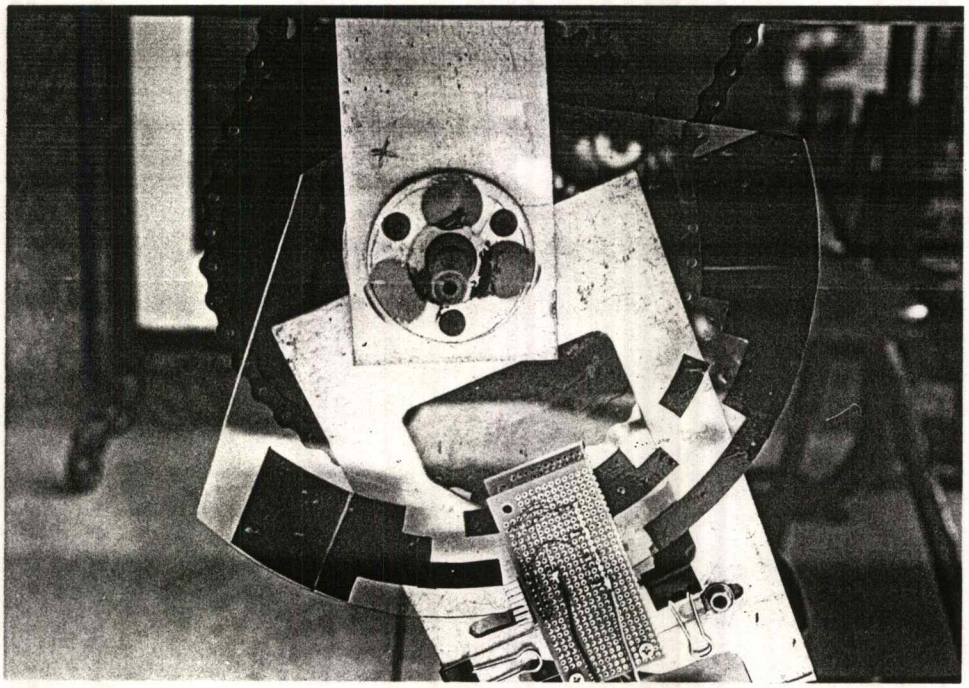
รหัสเกรย์	ตำแหน่งที่
0000	เริ่มต้น
0001	1
0011	2
0010	3
0110	4
0111	5
0101	6
0100	7
1100	8
1101	9
1111	10
1110	11
1010	12
1011	13
1001	14
1000	15
0000	สุดท้าย

จะเห็นได้ว่าออกแบบให้ตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายมีค่าเดียวกันเหตุผลที่ออกแบบดังนี้เพื่อความสะดวกในการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น

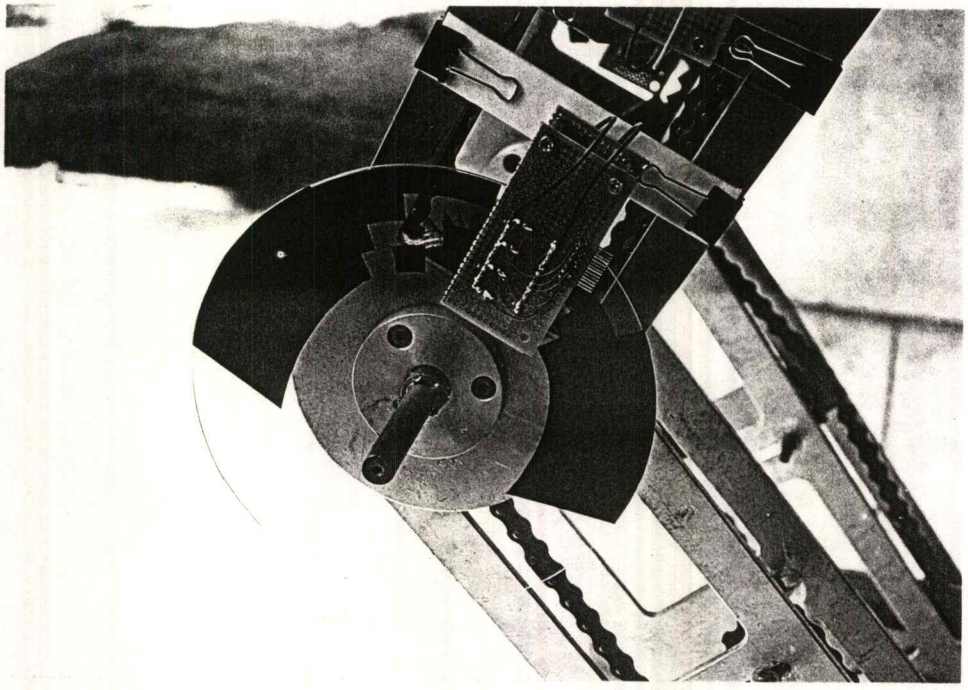
ปัญหาที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งคือสัญญาณรบกวนเนื่องจากแสงภายนอกซึ่งพบได้จากการทดลองเมื่อทำการทดลองในบริเวณที่มีแสงสว่างค่อนข้างมากจะทำให้วงจรรับแสงสามารถทำงานได้ทั้งทั้งที่จานถอดรหัสอยู่ในลักษณะที่ป้องกันไม่ให้แสงจากวงจรส่งสัญญาณแสงไปถึงวงจรรับสัญญาณแสงได้ซึ่งได้แก้ปัญหาโดยใช้กริดคือทำการปกปิดให้เหลือพื้นที่รับสัญญาณแสงเพียงพอที่จะรับสัญญาณจากวงจรส่งสัญญาณแสงที่ผ่านจานถอดรหัสเท่านั้น



รูปที่ 7.4 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่ง



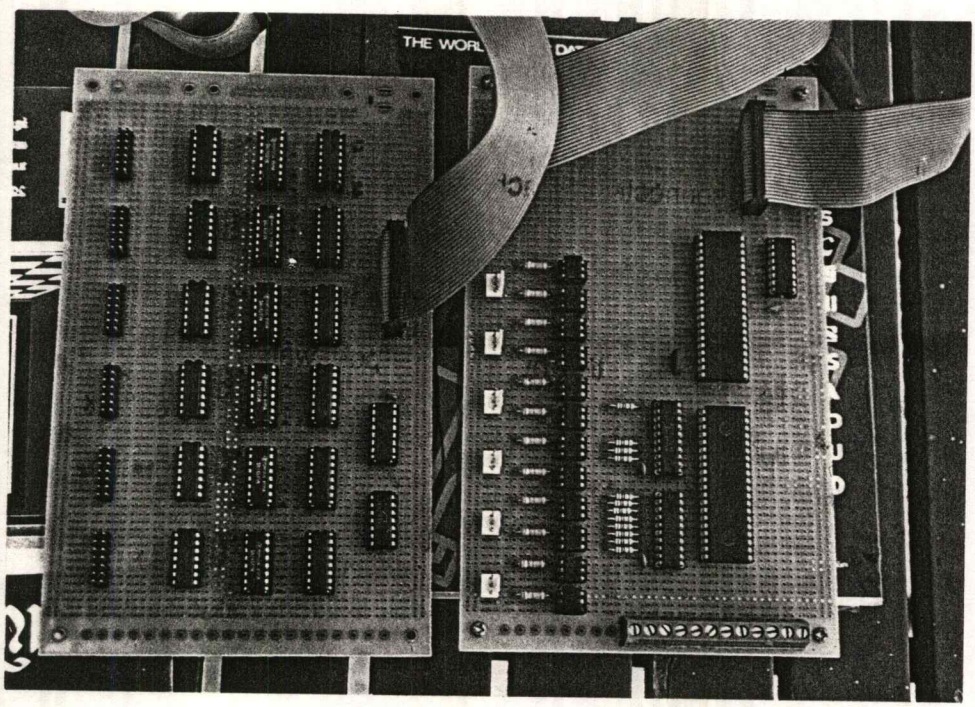
รูปที่ 7.5 แสดงลักษณะของจานถอดรหัสที่ข้อสะโพก



รูปที่ 7.6 แสดงลักษณะของจานถอดรหัสที่ข้อเข่า

7.2) ส่วนควบคุมวงจรตรวจสอบตำแหน่ง

ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมวงจรการตรวจสอบตำแหน่งนั่นก็คือ วงจรเชื่อมต่อที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อส่วนอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งทั้ง 6 กับคอมพิวเตอร์ โดยส่วนนี้จะทำหน้าที่รับค่าจากอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งแต่ละชุดแล้วทำการส่งผ่านไปให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลและ ในที่นี้ได้ใช้หลักการที่ว่าให้คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลไปไว้ที่วงจรเชื่อมต่อจากนั้นเมื่อชุดขากลต้นแบบเกิดการเคลื่อนที่จะทำให้เอ็นโค้ดเดอร์รับค่าที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการหมุน ภายในวงจรเชื่อมต่อจะมีวงจรที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าและส่งผลการเปรียบเทียบกลับไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลต่อไป

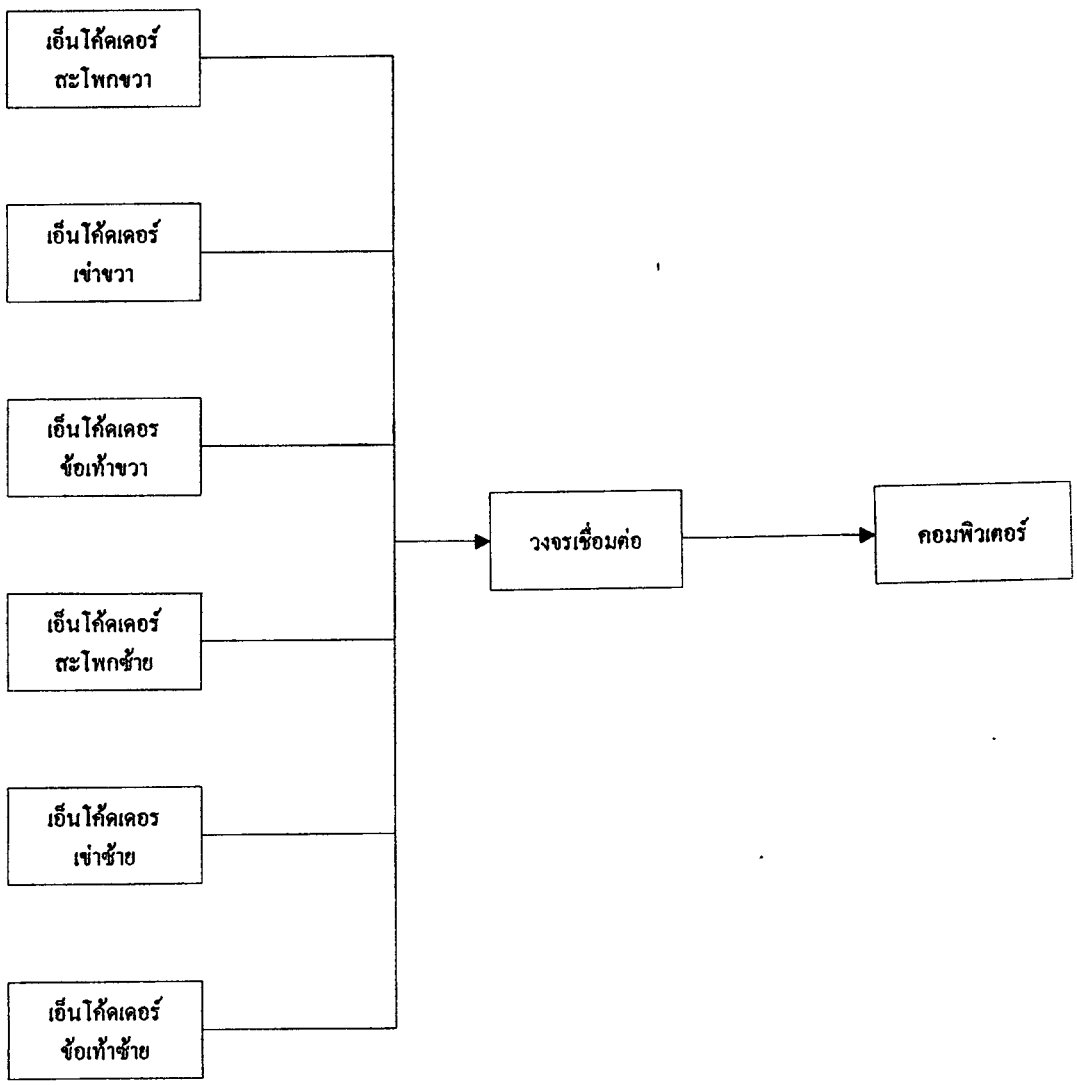


รูปที่ 7.7 แสดงวงจรควบคุมอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่ง

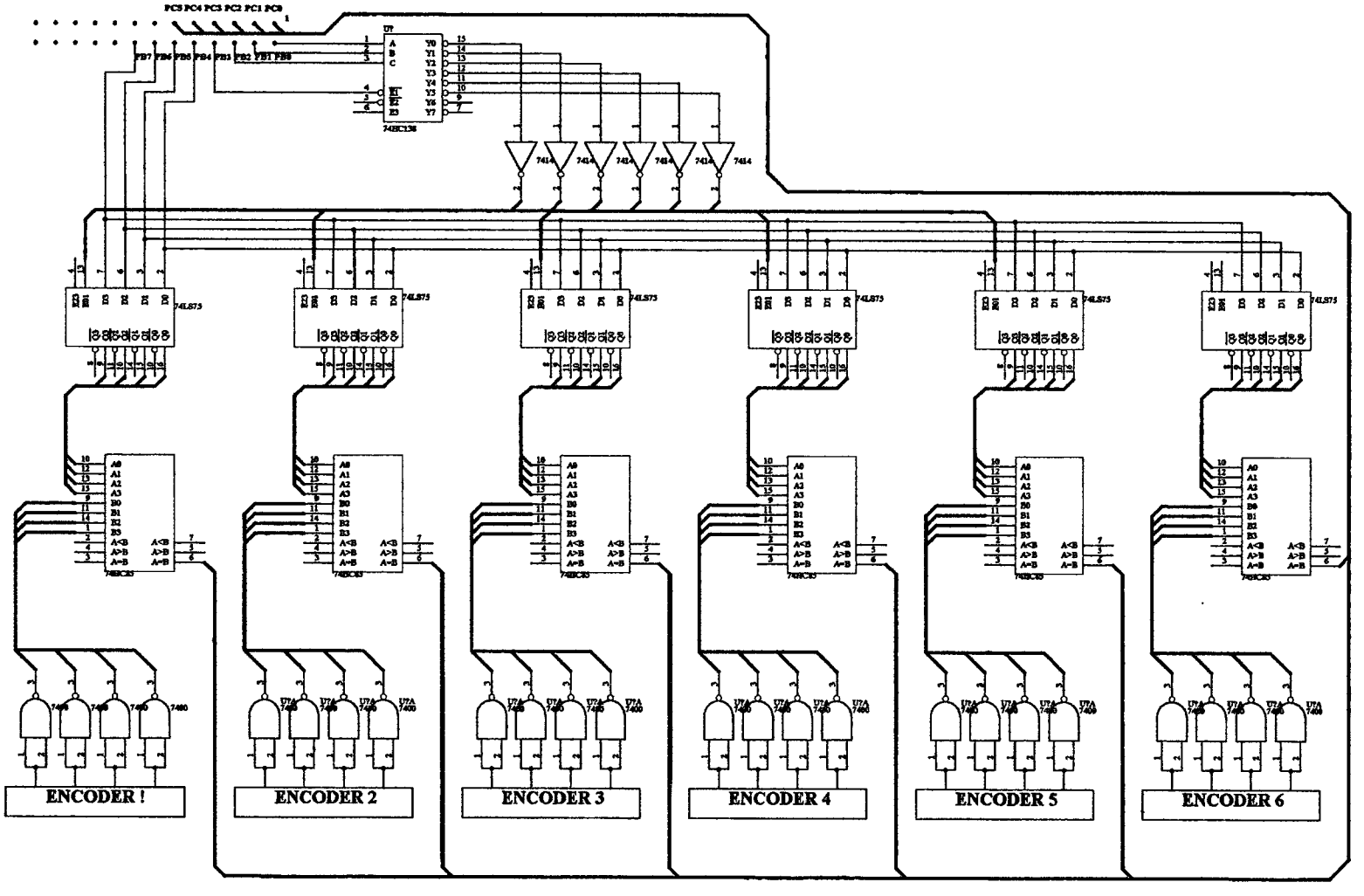
การทำงานของวงจรเชื่อมต่อ

1.คอมพิวเตอร์ส่งค่าตำแหน่งมายัง74LS75 ซึ่งเป็นไอซีแลทช์ข้อมูลโดยสายข้อมูลที่ใช้ส่งจะใช้เพียง 4 เส้นร่วมกับสายอีนาเบิล 6 เส้นโดยใช้ดีโค้ดเดอร์ 74LS138เป็นตัวเลือก

2. ข้อมูลจากเอ็นโค้ดเดอร์และไอซีแลทช์จะถูกนำมาเปรียบเทียบกันโดยใช้ไอซีคอมพาราเตอร์ 74LS85เมื่อข้อมูลเท่ากันก็จะส่งลอจิก 1 กลับไปยังคอมพิวเตอร์



รูปที่ 7.8 แสดงบล๊อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อ

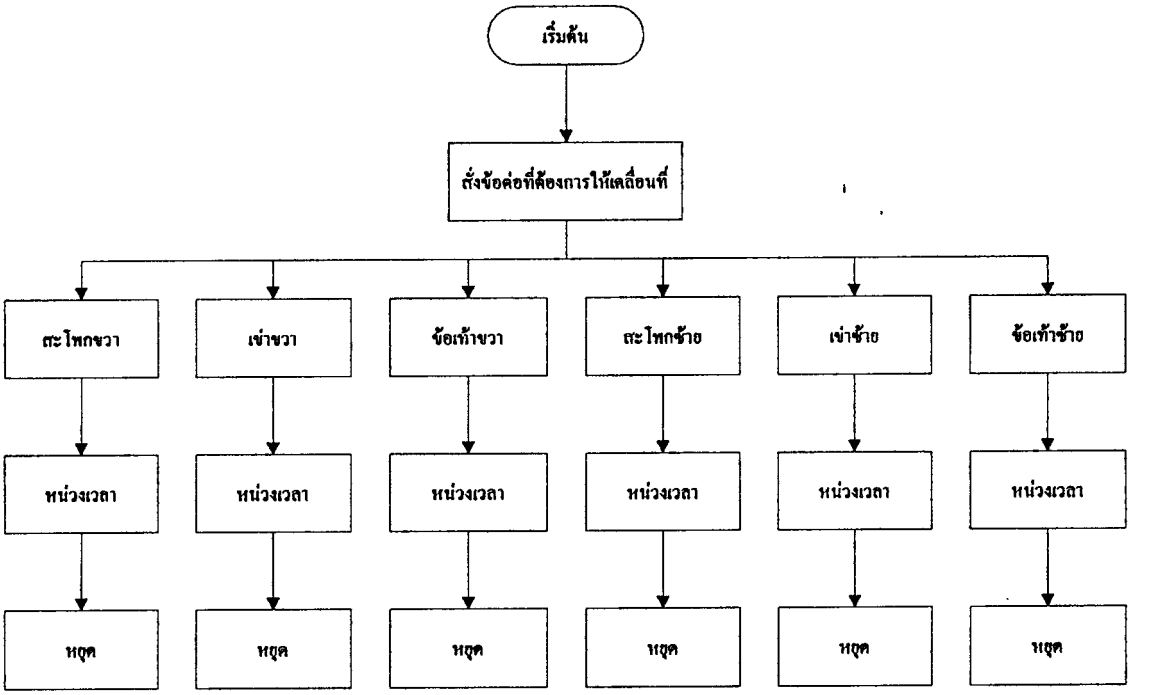


Title	ENCODERS CIRCUIT	
Size: A3	Number	Revision
Date: 30-Dec-1999	Sheet of	
File:		

บทที่ 8
โปรแกรมควบคุมระบบ

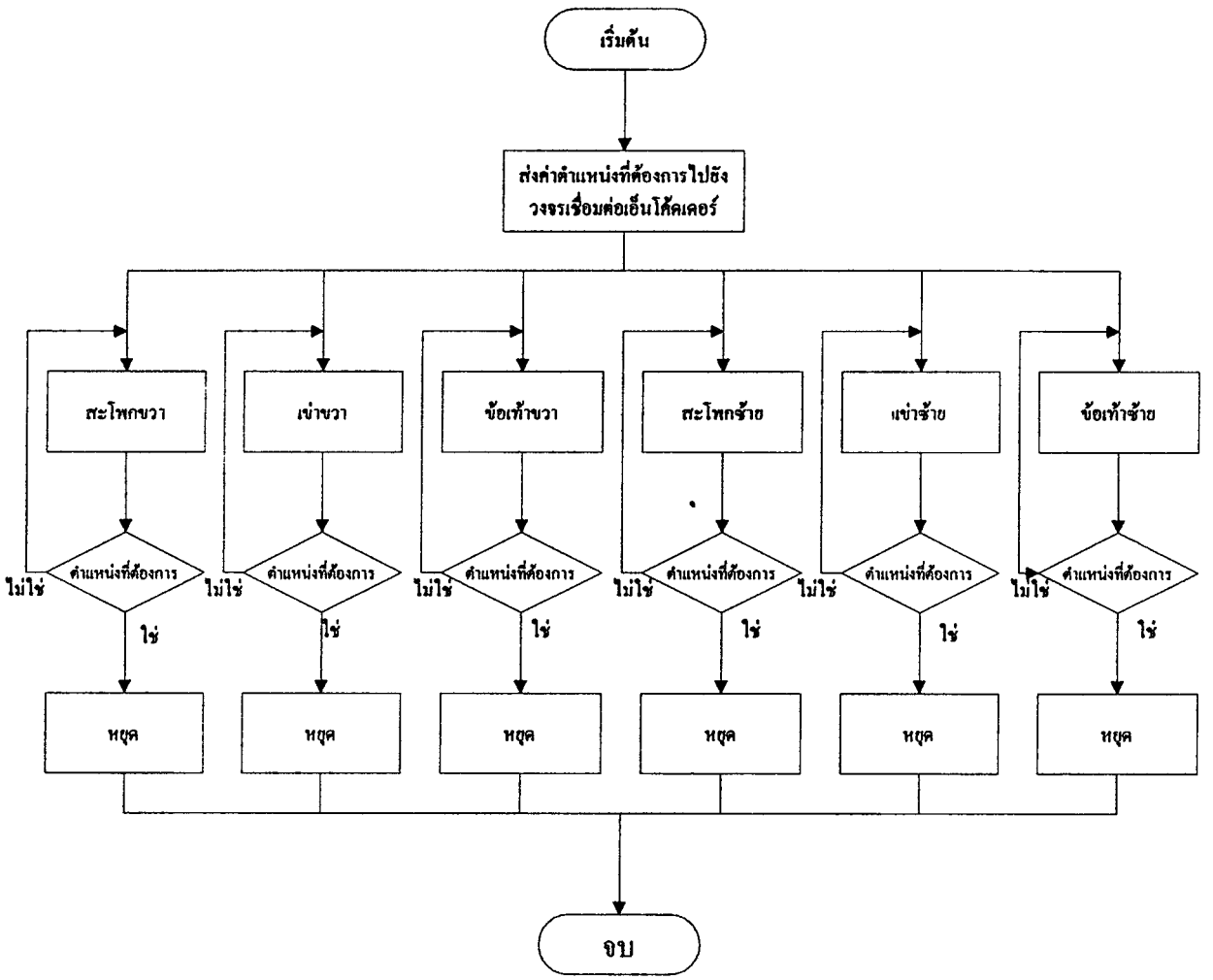
หลักการออกแบบโปรแกรมควบคุมระบบ

การควบคุมแบบไม่มีการป้อนกลับ เป็นการควบคุมชุดขากลต้นแบบโดยยังไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งดังนั้นจึงเป็นการสั่งให้มอเตอร์หมุนโดยกำหนดระยะเวลาในการหมุน



รูปที่ 8.1 แสดงบล๊อกไดอะแกรมแบบป้อนกลับ

การควบคุมแบบมีการป้อนกลับ เป็นการควบคุมชุดขากลต้นแบบโดยยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งทำให้การหมุนมีความแม่นยำขึ้น



รูปที่ 8.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมแบบไม่ป้อนกลับ

บทที่ 9
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองที่ได้ทำเพื่อทดสอบสภาวะของการทำงานว่ามีความเป็นได้และความถูกต้องมากน้อยเพียงใด

การทดลอง

ทดลองการหมุนของข้อต่อแต่ละข้อ

จุดประสงค์

เพื่อตรวจสอบการหมุนของเฟืองที่ข้อสะโพกและข้อเข่าซึ่งเชื่อมต่อมาจากมอเตอร์ด้วยโซ่ว่ามีข้อผิดพลาดแตกต่างไปจากคำสั่งที่ให้มอเตอร์หมุนอย่างไร

วิธีการทดลอง

1. เริ่มทำการทดลองโดยการสั่งให้ข้อเข่าและข้อเท้าหมุนลอยมาอยู่ในสภาวะที่เมื่อหมุนข้อสะโพกแล้วจะไม่ก่อให้เกิดการติดขัด
2. ทำการสั่งให้ข้อสะโพกหมุนไปข้างใดข้างหนึ่งโดยให้แนวแกนที่ลากต่อระหว่างข้อสะโพกและข้อเข่ามาอยู่ในตำแหน่งที่ศูนย์ของจานถอดรหัส
3. เขียนโปรแกรมคำสั่งกำหนดให้การป้อนคำสั่งเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษในการเคลื่อนที่แต่ละครั้งมีเวลาที่ใช้ในการหน่วงเท่ากัน
4. ทำการบันทึกผลการทดลองเป็นข้อมูลตัวเลขที่ระบุอยู่ในทุกๆช่องบนแผ่นจานถอดรหัสโดยเทียบเอากับจำนวนครั้งของคำสั่ง
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึง ข้อ 4 ที่ข้อเข่าและข้อเท้า

การทดลองที่ข้อสะโพก

จำนวนครั้งของคำสั่ง	ตำแหน่งที่อยู่บนจานถอดรหัส
0	0
1	3
2	5
3	6
4	7.5
5	9
6	10
7	10.5
8	11
9	11.5
10	12
11	12.5
12	13
13	13.5
14	14
15	14

การทดลองที่ข้อเช่า

จำนวนครั้งของคำสั่ง	ตำแหน่งที่อยู่บนจานถอดรหัส
0	0
1	2
2	4
3	5
4	7
5	9
6	11
7	13
8	14
9	15
10	16

การทดลองที่ข้อเท้า

จำนวนครั้งของคำสั่ง	ตำแหน่งที่อยู่บนจานถอดรหัส
0	0
1	1
2	1.5
3	2
4	3
5	4
6	4.5
7	5
8	5.5
9	6
10	7
11	8
12	8.5
13	9
14	9.5
15	10

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของผลการทดลองดังจะเห็นได้จากสภาวะที่เริ่มต้นตำแหน่งของแนวเชื่อมต่อระหว่างแนวข้อต่อแต่ละข้อต่ออยู่ในตำแหน่งที่ศูนย์ของแผ่นจานถอดรหัส จากนั้นเมื่อทำการป้อนคำสั่งครั้งที่ 1 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในการเคลื่อนที่รอบจุดหมุนของข้อต่อ และเมื่อทำการป้อนคำสั่งต่อไปเรื่อย ๆ จะพบได้อย่างชัดเจนว่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นค่อย ๆ มีปริมาณน้อยลง ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากในช่วงแรกของการทำงานมอเตอร์จะต้องทำงานภายใต้สภาวะที่แรงโน้มถ่วงของโลกช่วยเพิ่มแรงในการเคลื่อนที่รอบจุดหมุนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก และเมื่อลักษณะของการทำงานในช่วงแรกผ่านพ้นไปก็จะค่อย ๆ เข้าสู่สภาวะที่แรงโน้มถ่วงของโลกมิได้ช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากเท่าใดนัก เนื่องจากการเคลื่อนที่ค่อย ๆ เข้ามาอยู่ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับแนวราบของพื้นโลก

เอกสารอ้างอิง

1. Clean W. Thomson , Ph.D. , F.A.C.S.M. , " Manual of Structural Kinesiology" , Saint Louis 1977

2. Philip J. Rasch, Ph.D, F.A.C.S.M, " Kinesiology and Applied Anatomy The Science of Human Moving " ,Philadelphia.

3. John M. Copper, Ed.D. , " Kinesiology " ,St. louis Torono London 1982

4. Laura K. Smith, Ph.D.,PT, " Brunnstorm's Clinnical Kinesiology ", Philadelphia.

5. Kathryn Luttgens, Ph.D. " Kinesiology Scientific Basis of Human Motion ",Oxford England

6. F. Pauwels, " Biomechanics of the Locomotor Apparatus ", Newyork 1980

7. Lucille Daniels , M.A.," Muscle Testing " W.B. Saunders Company.1980

8. สุธี สุทัศน์ ณ อยุธยา , " กายวิภาคศาสตร์ระบบการเคลื่อนไหว "

9. ผศ. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ , " วิเคราะห์และออกแบบระบบการควบคุมมอเตอร์ "

10. T.Kenjo and S.Nagamori , " Permanent - Magnet and Brushless DC Motors " .CLARENDON PRESS OXFORD 1985

11. ธันวา ศรีประโมง , " การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม" , โครงการตำราวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

12. เฮอร์เบิร์ต ชิลด์ , " การประยุกต์ใช้งานภาษาซี " , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

13. มานพ ตันตระบัณฑิตย์ สำลี แสงห้าว สุทิน จิตร์เจริญ , " ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล " , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)

14. พ.ต. ประพัฒน์ อุทโยภาศ , " เรียน AutoCAD พื้นฐานสำหรับการเขียนแบบ 2 มิติ Release 13 " , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

15. BYRON GOTTFRIED , " PROGRAMMING WITH C " ,McGRAW-HILL

16. ดอน อิศรากร ธัญญวัฒน์ รัชตเสรีกุล, " เครื่องควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง "

กิตติกรรมประกาศ

ก่อนอื่นใด ต้องขอขอบคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้กำเนิดพวกเราทำให้พวกเราได้สร้างโครงงานนี้ขึ้นมา ซึ่งโครงงานขากลนี้คงจะไม่สามารถออกมาเป็นเป็นร่าง หรือเคลื่อนไหวใดๆได้ ถ้าปราศจากคนเหล่านี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ อาจารย์โกศล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่สามารถปรึกษาได้ในทุกๆ เรื่อง และให้คำแนะนำในด้านต่างๆ น้าอึ่ง สำหรับโรงงาน เครื่องมือและฝีมืออันเฉียบคมในการสร้างชิ้นงานอันหฤโหดบางชิ้น พี่เอ ที่ช่วยพิมพ์รายงานปริมาณมหาศาล นายดอน และครอบครัว ที่ได้อำนายความสะดวกทั้งด้าน ที่พัก และอาหาร ตลอดจนให้คำปรึกษาต่าง ๆ ในยามคับแค้นใจ เพื่อนๆ และพี่ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุนทั้ง ยามยาก และยามหิว และอีกหลายๆ คนซึ่งมิได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่มีส่วนร่วมในโครงงานขากลนี้ ขอขอบคุณทุกๆคนอีกครั้งจากใจจริง

.....

(นาย ดอน อิศรากร)

.....

(นาย ธงชัย มณฑาทิพย์กุล)

.....

(นาย ธัญญวัฒน์ รัชตเสรีกุล)