



หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

MOBILE ROBOT ARM

นางสาว ชนพร ห่อนาค รหัส 50364577  
นาย วรกิตติ แสงวิวัฒน์เจริญ รหัส 50364799

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์  
วันที่รับ..... 19, ส.ค. 2555  
เลขทะเบียน..... 15758233  
เลขเรียกหนังสือ..... ๕/๕.....  
มหาวิทยาลัยแระศวร ๕/๕/๗

2553

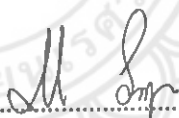
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแระศวร  
ปีการศึกษา 2553

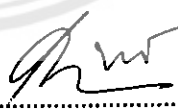


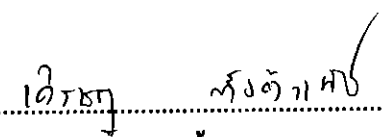
## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ      หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่  
ผู้ดำเนินโครงการ      นางสาวชนพร      ห่อนาค      รหัส 50364577  
   นายวรกิตต์      แสงวิวัฒน์เจริญ      รหัส 50364799  
ที่ปรึกษาโครงการ      ดร.มูชิตา      สงฆ์จันทร์  
สาขาวิชา      วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา      วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา      2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร.มูชิตา สงฆ์จันทร์)

  
.....กรรมการ  
(ดร.ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์เสขธรา ตั้งถ้วานิช)

ชื่อหัวข้อโครงการ	หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวชนพร      ห่อนาค      รหัส 50364577
	นายวรกิตติ      แสงวิวัฒน์เจริญ      รหัส 50364799
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.มูชิตา      สงฆ์จันทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรออกแบบหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยล้อ หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ที่สามารถที่จะย้ายหรือบรรทุกจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งโดย การควบคุมทิศทางของล้อ การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์คล้ายกับแขนของมนุษย์เพราะว่าแขน หุ่นยนต์ มี มีข้อต่อหมุน 3 ข้อต่อ และ 2 ลิ้งค์กับ 1 มือจับ หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ควบคุมโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแต่ละลิ้งค์และแต่ละล้อ การทดลองแสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ที่สามารถเคลื่อนย้ายวัตถุได้ตามความต้องการและน้ำหนักสูงสุดของ วัตถุไม่เกิน 100 กรัม

**Project title**            Mobile Robot Arm

**Name**                    Miss Tanaporn Hornak                    รหัส 50364577

                                 Mr. Worakit Sangwiwatcharoen       รหัส 50364799

**Project advisor**        Dr. Mutita            Songjan

**Major**                    Electrical Engineering

**Department**            Electrical and Computer Engineering

**Academic year**        2010

---

### Abstract

This project is to design the mobile robot arm which can be moved by wheels. This mobile robot arm is able to move or carry the object from one place to other place. By controlling the direction of wheels. The movement of the robot arm is similar to the human arm as the robot arm has 3 revolutional joints and 2 links with one grip. The mobile robot arm is controlled by microcontroller through DC motors at each joint and at each wheels. The experiments show that this mobile robot arm can move the object as requirement and the maximum weight of the object is not more than 100 grams.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก คร.มุกิตา สงฆ์จันทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาว ธนพร ห่อนาค

นายวรกิตต์ แสงวิวัฒน์เจริญ

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 แผนปฏิบัติงานตลอด โครงการ.....	3
1.6 งบประมาณที่ใช้.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 ระบบควบคุมหุ่นยนต์.....	4
2.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	4
2.2 ระบบขับเคลื่อนหุ่นยนต์.....	6
2.2.1 มอเตอร์กระแสตรง.....	6
2.3 โครงสร้างของหุ่นยนต์.....	10
2.3.1 แขนกล.....	10
2.3.2 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	15

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่.....	22
3.3.1 วงจรจ่ายไฟ.....	32
3.3.2 วงจรส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์.....	33
3.3.3 วงจรลิมิตสวิตช์.....	34
3.4 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่.....	35
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	37
4.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของแขนในแต่ละลิงค์.....	37
4.2 การทดลองน้ำหนักของวัตถุที่สามารถยกได้.....	44
4.3 การทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่และวัดมุมของการเลี้ยว.....	44
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่.....	48
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	49
5.2.1 ปัญหาที่พบจากการทำโครงงาน.....	49
5.2.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น AT89C51RD2.....	51
ภาคผนวก ข รายละเอียดของวงจรรวมเบอร์ L298.....	59
ภาคผนวก ค รายละเอียดของ ลิมิตสวิตช์.....	66

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลอจิกควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....	8
2.2 แสดงหลักการทำงานของแขนกล .....	13
2.3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และทิศทางการหมุนของมอเตอร์.....	21
4.1 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์A เมื่อลิงค์BและC ทำมุม 90องศา.....	38
4.2 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์A เมื่อB ทำมุม 90องศา และCทำมุม 45องศา .....	39
4.3 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์A เมื่อลิงค์BและC ทำมุม 60องศา.....	40
4.4 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์B .....	41
4.5 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์C เมื่อลิงค์B ทำมุม 90องศา .....	42
4.6 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์C เมื่อลิงค์Bทำมุม 60องศา .....	43
4.7 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์E หนีบ และปล่อย.....	44
4.8 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ระยะ 2 เมตร บนพื้นผิวต่างๆ.....	46



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ..... 5
2.2	โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง..... 6
2.3	สัญลักษณ์ สวิตช์จำกัดระยะ (LIMIT SWITCH) ..... 9
2.4	โครงสร้างทางกายภาพของแขนกล ..... 10
2.5	รูปแบบข้อต่อแบบต่างๆ ..... 11
2.6	(ก) แขนกลสองข้อต่อ (ข) แขนกลสามข้อต่อ (ค) พูม่า 560 (PUMA 560) ที่ปลายแขนตำแหน่ง และทิศทาง ..... 12
2.7	ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเดินหน้า ..... 16
2.8	ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบถอยหลัง..... 17
2.9	ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเดินหน้าไปทางซ้าย ..... 17
2.10	ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเดินหน้าไปทางขวา ..... 18
2.11	ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบถอยหลังทางซ้าย ..... 18
2.12	ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบถอยหลังทางขวา..... 19
2.13	เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเลี้ยวซ้ายกับหมุนซ้าย ..... 19
2.14	ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบหมุนซ้าย..... 20
2.15	เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเลี้ยวขวากับหมุนขวา ..... 20
2.16	ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบหมุนขวา..... 21
3.1	รูปแบบและขนาดของตัวรถ ..... 22
3.2	รูปแบบและขนาดของส่วนฐานหมุน ..... 23
3.3	รูปแบบและขนาดของส่วนแขนท่อนล่าง ..... 23
3.4	รูปแบบและขนาดของส่วนแขนท่อนบน ..... 24
3.5	รูปแบบและขนาดของส่วนมือจับ ..... 25
3.6	ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนของล้อส่วนหน้าของรถ ..... 26
3.7	ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนของล้อส่วนหลังของรถ ..... 26
3.8	ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนฐานหมุนหรือลิงค์ A..... 27
3.9	ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนแขนท่อนล่างหรือลิงค์ B..... 27
3.10	ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนแขนท่อนบนหรือลิงค์ C..... 28
3.11	ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนมือจับหรือลิงค์ E..... 28

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ไว้ที่ตัวรถ .....	29
3.13 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ระหว่างแขนท่อนล่างกับฐานหมุน .....	30
3.14 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ระหว่างแขนท่อนล่างกับท่อนบน .....	30
3.15 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ที่มีมือจับ .....	31
3.16 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ไว้ที่ล้อหน้าซ้ายและขวา .....	31
3.17 ลักษณะโดยรวมของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ .....	32
3.18 วงจรภาคจ่ายไฟ .....	32
3.19 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยวงจรรวมเบอร์ L298 .....	33
3.20 วงจรลิมิตสวิตช์ .....	34
3.21 ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ .....	35
3.22 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ .....	36
4.1 ลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 90 องศา .....	37
4.2 ลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B ทำมุม 90 องศา และ C ทำมุม 45 องศา .....	38
4.3 ลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 60 องศา .....	39
4.4 ลิงค์ B ยกขึ้นและยกลง .....	40
4.5 ลิงค์ C ยกขึ้นและยกลง โดยลิงค์ B ทำมุม 90 องศา .....	41
4.6 ลิงค์ C ยกขึ้นและยกลง โดยลิงค์ B ทำมุม 60 องศา .....	42
4.7 ลิงค์ E หนีบเข้าและหนีบออก .....	43
4.8 วิ่งบนพื้นหินหยาบ .....	45
4.9 วิ่งบนพื้นกระเบื้อง .....	45
4.10 วิ่งบนพื้นอิฐควั่น .....	46

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในสมัยก่อนหุ่นยนต์เป็นเพียงจินตนาการของมนุษย์ ที่มีความต้องการอยากได้สิ่งใดสิ่งหนึ่งเข้ามาช่วยในการผ่อนแรงจากงานที่ทำ หรือช่วยในการปฏิบัติงานที่ยากลำบากเกินขอบเขตความสามารถ และจากจินตนาการได้กลายเป็นแรงบันดาลใจให้มนุษย์ คิดประดิษฐ์สร้างสรรค์หุ่นยนต์ขึ้นมา จนกลายเป็นหุ่นยนต์ในยุคปัจจุบันเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์ได้มีการพัฒนากันอย่างต่อเนื่อง ทางด้านลักษณะของหุ่นยนต์ การควบคุม และประสิทธิภาพ โดยขอบเขตเหล่านี้มนุษย์เป็นผู้กำหนดขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกแก่มนุษย์ เช่น ทำหน้าที่เป็นประชาสัมพันธ์ทำความสะอาด ข้ายสิ่งของ เสิร์ฟอาหาร ใช้ทางด้านการทหาร เมื่อเทียบการทำงานเหล่านี้กับมนุษย์ในบางครั้งหุ่นยนต์ไม่สามารถทำแทนมนุษย์ได้ เพราะในบางสถานการณ์จะต้องใช้ไหวพริบในการตัดสินใจเนื่องจากหุ่นยนต์ต้องถูกป้อนข้อมูลคำสั่งให้ทำงาน หุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทในทางอุตสาหกรรมมากขึ้นจึงมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องจนหุ่นยนต์สามารถเป็นตัวแทนมนุษย์ในการตัดสินใจและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โครงการนี้ได้คิดค้นและออกแบบสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ต้นแบบสำหรับย้ายสิ่งของจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งที่อยู่ไกลจากจุดเดิมหรือสามารถหยิบสิ่งของมาให้มนุษย์ได้ เพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาให้หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ที่สามารถเคลื่อนย้ายสิ่งของได้อย่างมนุษย์ และเป็นแนวทางในการพัฒนาสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ที่สามารถย้ายสิ่งของในสถานการณ์จริงได้ต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ออกแบบและสร้างต้นแบบหุ่นยนต์ข้ายสิ่งของที่สามารถหยิบวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งและสามารถหยิบสิ่งของมาให้มนุษย์ได้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ออกแบบ และสร้างต้นแบบหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่มีขนาดตัวรถเท่ากับ 18 x 25 x 9.5 เซนติเมตร
- 2) เขียน โปรแกรมควบคุมให้หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่เคลื่อนที่ตามต้องการ โดยใช้โปรแกรมภาษาซีและควบคุมโดยใช้รีโมทคอนโทรลในการควบคุมหุ่นยนต์
- 3) หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ด้วย 4 ล้อโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงได้
- 4) หุ่นยนต์สามารถจับหยิบสิ่งของด้วยแขนกลโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงได้
- 5) ให้หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ที่สามารถย้ายวัตถุ จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้

### 1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีระบบควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์และประยุกต์ใช้งาน
- 2) ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง และวงจรอินเทอร์เฟส
- 3) ศึกษาโครงสร้างของหุ่นยนต์ย้ายสิ่งของ
- 4) สร้างต้นแบบหุ่นยนต์ย้ายสิ่งของ
- 5) เขียน โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ย้ายสิ่งของ
- 6) ทำการทดลองหุ่นยนต์ย้ายสิ่งของ
- 7) สรุปผลการทดลองและจัดทำเล่มโครงการ

### 1.5 แผนปฏิบัติงานตลอดโครงการ

โครงการการสร้างหุ่นย้ายสิ่งของมีแผนปฏิบัติงานดังนี้

รายละเอียด	ปี 2554				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1. ศึกษาและค้นคว้า ทฤษฎีระบบควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์	←	→			
2. ศึกษาและค้นคว้า ทฤษฎีวงจรควบคุม มอเตอร์กระแสตรง และวงจรอินเทอร์เฟส	←	→			
3. สร้างหุ่นยนต์ย้าย สิ่งของ		←	→		
4. เขียนโปรแกรมควบคุม หุ่นยนต์ย้ายสิ่งของ				←	→
5. ทดลองหุ่นยนต์ย้าย สิ่งของในการย้าย สิ่งของ				←	→
6. สรุปผลการทดลองและ จัดทำเล่มโครงการ				←	→

### 1.6 งบประมาณที่ใช้

มีรายละเอียดดังนี้

- |                                     |                  |
|-------------------------------------|------------------|
| 1) ค่าวัสดุไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์      | 2,000 บาท        |
| 2) ค่าโครงสร้างตัวของหุ่นยนต์       | 1,000 บาท        |
| 3) ค่าจัดทำรูปเล่มรายงาน            | 1,000 บาท        |
| รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สี่พันบาทถ้วน) | <u>4,000 บาท</u> |

หมายเหตุ: ตัวเฉลี่ยทุกรายการ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอหลักการและทฤษฎีที่ใช้เป็นองค์ประกอบของหุ่นยนต์ย้ายสิ่งของ แต่ละองค์ประกอบมีความสำคัญต่อการทำงานของหุ่นยนต์ มีองค์ประกอบดังนี้ ระบบควบคุมหุ่นยนต์ ระบบขับเคลื่อนหุ่นยนต์ และ โครงสร้างของหุ่นยนต์

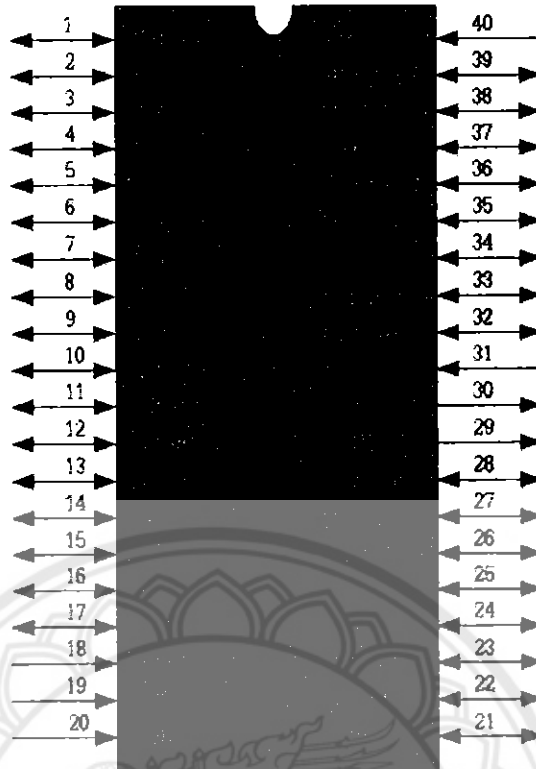
#### 2.1 ระบบควบคุมหุ่นยนต์

##### 2.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microprocessor) คือ ชิปประมวลผลอย่างหนึ่ง ทำหน้าที่ประมวลผลตามโปรแกรมหรือชุดคำสั่ง โครงสร้างภายในจะเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ประกอบไปด้วย หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก บัสข้อมูล บัสควบคุม บัสที่อยู่ พอร์ตขนาน พอร์ตอนุกรม รีจิสเตอร์ หน่วยความจำ วงจรนับ วงจรจับเวลาและวงจรอื่นๆ รวมกันอยู่ในชิปหรือไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบเพื่อใช้งานควบคุมสามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้สะดวกใช้งานง่ายสามารถทำงานได้โดยใช้ชิปเดียว มีคำสั่งที่สนับสนุนในการเขียนโปรแกรมควบคุมและสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นตระกูล MCS-51

##### 1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51

ในปัจจุบันนิยมใช้งานเนื่องจากใช้งานง่าย ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีซอฟต์แวร์อำนวยความสะดวก สามารถเขียนได้ทั้งภาษาแอสเซมบลีและภาษาซี ใช้งานได้โดยชิปเดียวไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ภายนอกประกอบเนื่องจากมีหน่วยความจำอยู่ในตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์และสามารถต่อใช้งานพอร์ตได้โดยตรง



รูปที่ 2.1 ขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต มีขาสัญญาณจำนวน 40 ขาในโครงการนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51RD2

### 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51RD2

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51RD2 มีจุดเด่น คือ เรื่องของความเร็วในการประมวลผลซึ่งสามารถทำงานได้ด้วยความถี่สูงสุด 60 เมกกะเฮิร์ตซ์ ที่ 12 สัญญาณนาฬิกา คือ 1 เมกะไซเคิล มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 2 กิโลไบต์

### 3) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89C51RD2 โดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบออสซิลเลเตอร์ ค่า 29.4912 เมกกะเฮิร์ตซ์ จะเป็นตัวกำหนดการทำงานให้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำงานในโหมดความเร็ว 2 เท่า ส่งผลให้ไมโครโปรเซสเซอร์ประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 58.9824 เมกกะเฮิร์ตซ์ ไมโครโปรเซสเซอร์มีคุณสมบัติ คือ

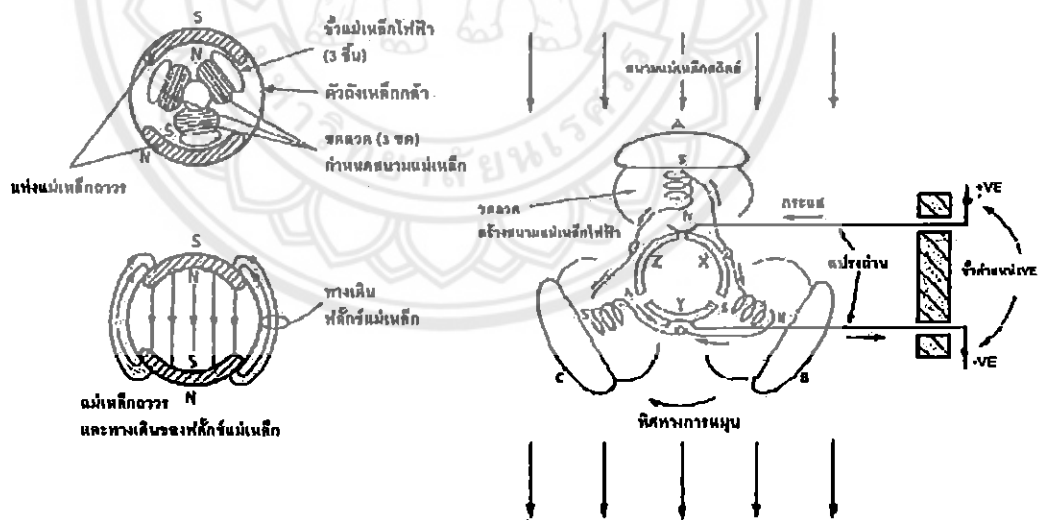
- 1) หน่วยความจำแฟลช ขนาด 64 กิโลไบต์
- 2) EEROM ขนาด 2 กิโลไบต์ สำหรับเก็บข้อมูล และสามารถเขียนซ้ำได้กว่า 1 ล้านครั้ง
- 3) พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตขนาด 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต
- 4) แรม ใช้งาน 2048 ไบต์

- 5) วงจรพอร์ตสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส และวงจรพอร์ตสื่อสารอนุกรมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก อย่างละ 1 พอร์ต
- 6) วงจรตัวนับเวลาและตัวนับ (Timer/counter) ขนาด 16 บิต จำนวน 3 ชุด
- 7) วงจรวอชต์ค็อก, พาวเวอร์-อนรีเซ็ค, แคพเจอร์/คอมแพร์ และวงจรมอดูเลชันความกว้างของสัญญาณพัลส์
- 8) ขั้วต่อใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรมสำหรับใช้งาน และพอร์ตอีทีคิวโนโลดสำหรับควาน์โพลดผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม
- 9) หลอดแอลอีดี แสดงสถานะแหล่งจ่ายไฟ และเซลฟ์-เทส ใช้ทดสอบการทำงานของบอร์ด
- 10) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลต์

## 2.2 ระบบขับเคลื่อนหุ่นยนต์

### 2.2.1 มอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงจะมีหลักการทำงาน โดยวิธีการผ่านกระแสให้กับขดลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็ก โดยส่วนของแรงนี้จะขึ้นอยู่กับกระแสและกำลังของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรง

จากในรูปทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กจะเกิดจากแท่งแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ 2 ชิ้นที่ขึ้นรูปเป็นแบบ โต้ขั้วติดกับตัวตั้ง ใต้พอดี้ เพื่อที่จะให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งเข้าสู่ใจกลางของมอเตอร์ได้ ดังนั้นความเข้มของแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของแม่เหล็กด้วย ซึ่งส่งผลให้ฟลักซ์แม่เหล็กวิ่งไปบนตัวตั้ง โลหะ กระแสไฟฟ้าในขดลวดที่พันกับหุ่นโรเตอร์ก็จะทำให้เกิด



สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และต้านกับสนามแม่เหล็กถาวร จึงเกิดเป็นแรงบิดเพื่อที่จะหมุนท่อน โรเตอร์ ให้ไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีแรงมากกว่า กระแสก็จะไหลผ่านไปยัง ท่อนโรเตอร์ โดยผ่านแปรงถ่าน ซึ่งจะสัมผัสกับแหวนตัวนำในท่อนโรเตอร์ และแหวนคอมมิวเตเตอร์ ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 3 เซกเมนต์เพื่อที่จะทำหน้าที่นำกระแสเข้าขลวดนั่นเอง

## 2) วงจรไฟฟ้าของมอเตอร์

วงจรไฟฟ้าของมอเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้ดังนี้

### 1) มอเตอร์อนุกรม (Series motor)

ประกอบด้วยขลวดสนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานต่ำ พันด้วยขลวดทองแดง เส้นใหญ่บนแกนขั้วแม่เหล็ก

### 2) มอเตอร์ขนาน (Shunt motor)

ประกอบด้วยขลวดสนามแม่เหล็กที่มีความต้านทานค่อนข้างสูง ซึ่งใช้ ขลวดทองแดงเส้นเล็ก พันบนขั้วแม่เหล็กหลายๆรอบ

### 3) มอเตอร์ผสม (Compound motor)

เป็นการรวมมอเตอร์สองตัว คือ มอเตอร์ขนานกับมอเตอร์อนุกรมเข้าด้วยกัน ดังนั้นมอเตอร์ผสมจึงประกอบด้วยขลวดสนามแม่เหล็กสองชุด คือขลวด สนามแม่เหล็กชุดขนานกับขลวดสนามแม่เหล็กชุดอนุกรมพันอยู่บนแกน ขั้วแม่เหล็กขั้วเดียวกัน

## 3) วิธีควบคุมมอเตอร์

เพื่อให้การทำงานของมอเตอร์เป็นไปด้วยความราบรื่น ถูกต้อง ปลอดภัย และอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีวิธีการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ทั้งกระบวนการ นับตั้งแต่มอเตอร์เริ่มหมุนจนกระทั่งมอเตอร์ทำงานเต็ม โหลด ตามขนาดกำลังของมอเตอร์ ตามลำดับขั้นต่อไปนี้

1) ความต้านทานเริ่มหมุน เพื่อควบคุมไม่ให้มอเตอร์ขณะเริ่มหมุนกินกระแส มากเกินไป

2) ไม่มีสนามแม่เหล็กให้ตัดวงจรมอเตอร์ควรจะมีอุปกรณ์นี้เรียกว่า “อุปกรณ์ตัดวงจร อาร์เมเจอร์ทันทีเมื่อไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กในขลวดสนามแม่เหล็ก

3) ไม่มีแรงดันหลักให้ตัดวงจร เพื่อป้องกันมอเตอร์ไหม้ จึงต้องมีอุปกรณ์ตัดวงจร มอเตอร์ออกจากระบบทันทีโดยอัตโนมัติ เมื่อไม่มีแรงดันเมน

4) มอเตอร์กินกระแสมากเกินไปให้ตัดวงจร มอเตอร์ขณะทำงานไม่ควรกินกระแส มากกว่ากระแสเต็ม โหลด เพื่อป้องกันมิให้มอเตอร์ไหม้ ควรจะมีอุปกรณ์ตัดวงจรมอเตอร์ออกจาก ระบบทันทีโดยอัตโนมัติ เมื่อมอเตอร์ขณะทำงานกินกระแสมากเกินไป

#### 4) ทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางใด จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ กับทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ให้ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ ตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิงถ้าต้องการให้มอเตอร์กลับทางหมุนจะต้องกลับทิศทางกระแสไหลของเส้นแรงแม่เหล็ก หรือกลับทิศทางกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง ถ้ากลับทิศทางทั้งคู่มอเตอร์จะหมุนในทิศทางเดิม คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมทิศทางของมอเตอร์จะใช้ข้อมูลเป็นลอจิก "0" และลอจิก "1" จากพอร์ตของควมไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลอจิกควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

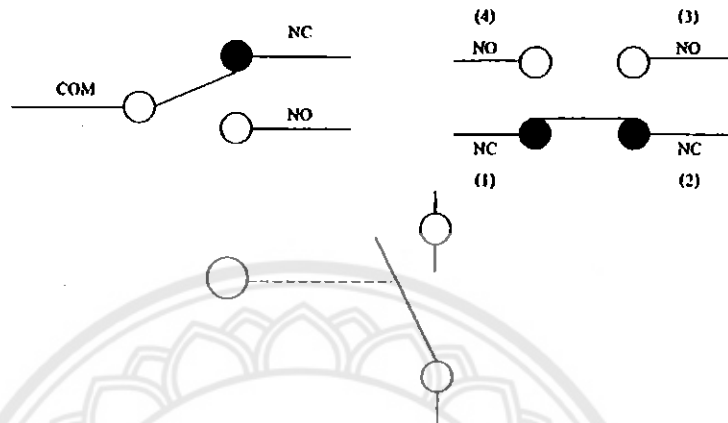
ไมโครคอนโทรลเลอร์	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	รหัสฐานสิบหก
หมุนตามเข็มนาฬิกา	0	0	0	0	0	0	0	1	H01
หมุนทวนเข็มนาฬิกา	0	0	0	0	0	0	1	0	H02
หยุดหมุน	0	0	0	0	0	0	0	0	H00

#### 5) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไปเช่นการควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่าโดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์ หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วค่าจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์ให้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง ซึ่งเราเรียกว่าวิธีการของการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation)

## 6) ลิมิตสวิตช์

ลิมิตสวิตช์(Limit switch) เป็นสวิตช์ที่จำกัดระยะทาง การทำงานอาศัยแรงกดภายนอกมากระทำเช่น วางของทับที่ปุ่มกดหรือลูกเบี้ยวมาชนที่ปุ่มกด และเป็นผลทำให้หน้าสัมผัสที่ต่ออยู่กับก้านชน เปิด-ปิด ตามจังหวะของการชน



รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ สวิตช์จำกัดระยะ (Limit switch)

ดังนั้น จึงมีการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่นลิฟต์โดยสาร, ลิฟท์ขนของ, ประตูที่ทำงานด้วยไฟฟ้า, ระบบสายพานลำเลียง เป็นต้น และลิมิตสวิตช์ (Limit switch) สามารถมีคอนแทคได้หลายอันมีคอนแทคปกติปิดและปกติเปิดมี โครงสร้างคล้ายสวิตช์ ปุ่มกด

ข้อดีของลิมิตสวิตช์ (Limit switch)

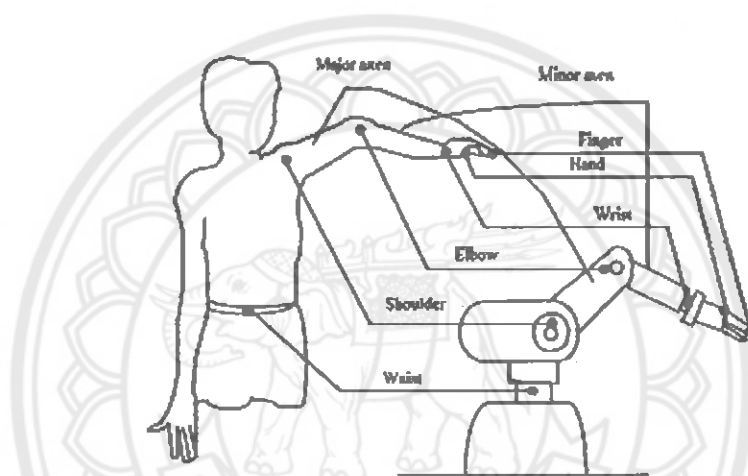
- 1) ติดตั้งง่าย สะดวกต่อการใช้งาน
- 2) ไม่ต้องมีไฟเลี้ยงวงจรในการทำงาน
- 3) การทำงานเชื่อถือได้ มีความแม่นยำในการทำงาน
- 4) ราคาต่ำกว่าอุปกรณ์ตรวจจับชนิดอื่น

## 2.3 โครงสร้างของหุ่นยนต์

### 2.3.1 แขนกล

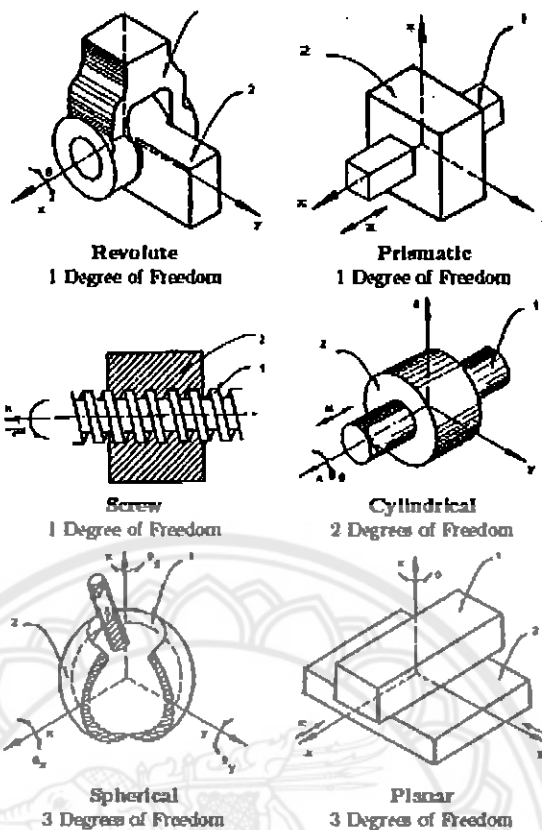
#### 1) โครงสร้างทางกายภาพของแขนกล

ลักษณะทางกายภาพของแขนกลเมื่อแบ่งประเภทตามการเคลื่อนที่ แขนกลจัดอยู่ในประเภทที่ติดตั้งอยู่กับที่ โดยส่วนใหญ่แขนกลจะมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ฐาน(Base) ของแขนกล ส่วนที่เป็นแขน (Link) ส่วนที่เป็นจุดหมุน (Joint) ของส่วนที่ต่อกัน และปลายของแขนกลที่ใช้ในการทำงาน (End – effectors) เช่น มือคีบจับ (Gripper) หัวเชื่อม หัวเจาะ ปืนลมยิงตะปู ฯลฯ การทำงานของแขนกลเปรียบเทียบบเหมือนการทำงานของแขนมนุษย์แสดงดังรูป 2.4



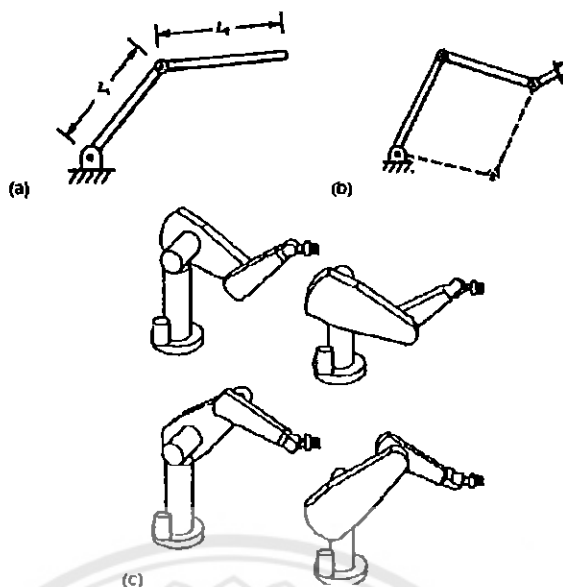
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางกายภาพของแขนกล

แขนกลในทั่วไปจะมีข้อต่อทั้งหมด 6 ข้อต่อ โดยคล้ายคลึงกับแขนของมนุษย์ที่เริ่มนับจากหัวไหล่ ข้อศอก และมือ ในแขนกลจะมีฐานทำหน้าที่คล้ายขาของมนุษย์เพื่อรองรับโครงสร้างที่มีการเคลื่อนไหว เราจะเรียกข้อต่อจุดหมุนว่าเป็นองศาอิสระ (Degrees of Freedom : DOF) หมายถึงการที่มันสามารถที่จะเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระภายใต้จุดหมุน ถ้าเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์ที่สามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปสู่จุดหนึ่งได้ แขนกลก็เช่นกันทำการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปสู่จุดหนึ่งได้ภายใต้รัศมีการเคลื่อนที่ ซึ่งข้อต่อของแขนกลนั้นสามารถแบ่งได้หลายแบบ แต่ละแบบก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของท่อนแขนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการควบคุมและใช้งาน โดยข้อต่อที่นิยมใช้งานแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รูปแบบข้อต่อแบบต่างๆ

ในการสร้างแขนกล โดยทั่วไป ข้อต่อที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือ ข้อต่อแบบหมุน (Revolute joint) และ ข้อต่อแบบเลื่อน (Prismatic joint) สำหรับข้อต่อแบบหมุนนั้น ท่อนแขนจะถูกยึดติดกันที่จุดหมุนที่อยู่บนท่อนแขน โดยแต่ละท่อนสามารถหมุนได้รอบจุดหมุนนี้ สามารถบอกตำแหน่งที่สัมพันธ์กันด้วยมุมของท่อนแขนที่หมุนไป ส่วนข้อต่อแบบเลื่อนนั้น ท่อนแขนสองท่อนจะติดอยู่ด้วยกันในลักษณะเดียวกันกับเสาอากาศวิทยุที่ขีดยึดได้ โดยท่อนแขนจะสามารถเลื่อนเข้าออกได้หนึ่งทิศทาง สามารถบอกตำแหน่งที่สัมพันธ์กันด้วยระยะการเลื่อนเข้าออก จะเห็นได้ว่าข้อต่อแบบหมุนกับข้อต่อแบบเลื่อนนั้นองศาอิสระเป็นหนึ่ง เราสามารถเรียกตัวแปรที่กำหนดการเคลื่อนที่ได้แก่มุมหมุนของข้อต่อแบบหมุน และระยะเลื่อนของข้อต่อแบบเลื่อนว่าเป็น พารามิเตอร์ของข้อต่อ การมีองศาอิสระการเคลื่อนที่เป็นหนึ่งทำให้ง่ายต่อการออกแบบและวิเคราะห์ ข้อต่อทั้งสองแบบนี้จึงถูกนำมาใช้มากที่สุดในการสร้างแขนกล โดยสามารถสร้างแขนกลที่มีองศาอิสระสูงๆ ได้จากข้อต่อสองชนิดนี้ประกอบเข้ากับท่อนแขนหลายๆท่อน แขนกลจะทำงานด้วยการเคลื่อนที่ของท่อนแขนที่สัมพันธ์กันเพื่อให้ปลายแขน (End effector) ไปอยู่ในตำแหน่งที่และทิศทางที่เหมาะสม เพื่อให้เครื่องมือทำงานที่ต้องการ ได้สะดวกและมีประสิทธิภาพ ในรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องการให้ปลายแขนอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่เหมาะสม



รูปที่ 2.6 (ก) แขนกลสองข้อต่อ (ข) แขนกลสามข้อต่อ (ค) พูม่า 560 (PUMA 560) ที่ปลายแขน  
ตำแหน่งและทิศทาง

การคำนวณว่าปลายแขนจะอยู่ที่ตำแหน่งและทิศทางไหนเป็นเรื่องที่สำคัญ การคำนวณต้องอาศัยการกำหนดให้ท่อนแขนแต่ละท่อนมีพิกัดส่วนตัว ที่เราเรียกว่าเฟรม เฟรมจะประกอบด้วยจุดกำเนิดและเวกเตอร์แกน โดยเฟรมจะติดแน่นอยู่กับท่อนแขนที่เป็นเจ้าของเสมอ หรืออีกนัยหนึ่งนั่นคือแต่ละท่อนแขนจะหยุดนิ่งไม่เคลื่อนไหวเมื่อเทียบกับเฟรมของมัน สำหรับท่อนแขนที่เกิดจากการเรียงต่อกันไป นิยมเรียกท่อนแขนที่อยู่หนึ่งยึดติดกับพื้นว่าฐาน (Base) และเรียกท่อนที่ต่อมาตามชื่อของแขน คือ ไหล่ (Shoulder) ข้อศอก (Elbow) แขนท่อนบน (Forearm) และข้อมือ (Wrist) เป็นต้น ตำแหน่งและทิศทางวางตัวของท่อนแขนเมื่อเทียบกับเฟรมของฐานจึงขึ้นอยู่กับตำแหน่งและทิศทางของท่อนแขนก่อนๆ สามารถคำนวณตำแหน่งและทิศทางของปลายแขนได้ด้วยการใช้การแปลงเอกพันธ์ โดยการคูณเมทริกซ์การแปลงแบบซ้ำไปขวาพิจารณาจากฐานไปยังปลายแขน



## 2) รูปแบบและลักษณะการทำงานของแขนกล

### 1) การแบ่งประเภทของแขนกล

โดยทั่วไปการแบ่งประเภทของแขนกลจะแบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่การทำงาน (Envelope Geometric) ซึ่งแขนกลที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมนั้น ในส่วนของข้อต่อ (Joint) ที่ใช้จะใช้ 2 แบบ คือ

- ข้อต่อแบบหมุน (Revolute joint)
- ข้อต่อเลื่อน (Prismatic joint)

ตารางที่ 2.2 แสดงหลักการการทำงานของแขนกล

ชนิด	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
Revolute (R)		เป็นการหมุนรอบแกน (Rotary)
Prismatic (P)		การเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear motion)

ข้อต่อ (Joint) ทั้งสองแบบเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันอย่างน้อย 3 แกนหลักจะได้พื้นที่ทำงาน (Work envelope) ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป

## 2) หลักการทำงานของแขนกล

การทำงานของแขนกลนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ระบบทางกลของแขนกล และระบบควบคุม ระบบทางกลหมายถึง ส่วนที่เป็น โครงสร้างและส่วนที่ให้กำลังแก่แขนกล ส่วนระบบควบคุมนั้นจะประกอบด้วยระบบบังคับการทำงานของแขนกล ระบบป้อนข้อมูลกลับ ตลอดจนการให้แขนกลทำงานตามชุดคำสั่ง

### ระบบทางกลของแขนกล

ระบบทางกลของแขนกลในอุตสาหกรรมที่สำคัญมี 3 ประเภท คือ ลักษณะโครงสร้างของแขนกล อุปกรณ์ให้กำลังขับเคลื่อนแขน และมือจับของแขนกล

### ลักษณะ โครงสร้างของแขนกล

เนื่องจากแขนกลถูกออกแบบมาให้ทำงานแทนมนุษย์ ดังนั้นลักษณะการออกแบบส่วนใหญ่จะเป็นส่วนบนของลำตัวมนุษย์ ประกอบด้วยหัวไหล่ แขน และมือ โดยปกติแล้วมักออกแบบเป็นแขนเดี่ยว ในบางแบบได้ออกแบบให้แขนเคลื่อนที่อยู่บนเคลื่อนเลื่อนได้ซึ่งอาจจำแนกโครงสร้างได้ 4 แบบคือ

ก. โครงสร้างคาร์ทีเซียนหรือฉาก (Cartesian or rectangular) เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่วางไว้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน 3 ส่วน ซึ่งทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดที่ต้องการได้

ข. โครงสร้างทรงกระบอก (Cylindrical) มีแขนเกาะกับแกนกลางเป็นหลัก แขนนั้นสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงหมุนรอบแกนและสามารถบิดและหัดได้

ค. โครงสร้างเชิงขั้ว (Polar) มีลำตัวที่บิดได้ มีแขนที่หมุนและยืดหดได้

ง. โครงสร้างมนุษย์ (Anthropomorphic) เป็น โครงสร้างที่เลียนแบบ โครงสร้างของมนุษย์ ในแขนกลมีลักษณะเป็นส่วนบนของลำตัวมนุษย์ ประกอบด้วย ไหล่ แขนท่อนบน แขนท่อนล่าง ข้อมือและมือ

#### อุปกรณ์ให้กำลังขับเคลื่อนของแขนกล

ในการเคลื่อนไหวของแขนกล และการหมุนข้อต่อ นั้นจะใช้อุปกรณ์ที่เป็นต้นกำลัง เรียกว่า “แอกชูเอเตอร์ (Actuators)” เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขับเคลื่อนชิ้นส่วนของแขนกล ซึ่งอุปกรณ์แอกชูเอเตอร์มีหลายประเภท ปัจจุบันมีอุปกรณ์ที่ให้กำลังขับเคลื่อนแขนกลอยู่ 3 ชนิด คือ มอเตอร์ไฟฟ้า นิวแมติกและไฮดรอลิก

ก. มอเตอร์ไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ที่ใช้ขับเคลื่อนที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สะดวกและง่ายต่อการควบคุมและให้ตำแหน่งที่แม่นยำ ปัญหาสำคัญคือมีกำลังจำกัด และมีปัญหาในการนำหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไปใช้ในบริเวณที่มีวัตถุไวไฟ เช่น งานพ่นสี เป็นต้น

ข. นิวแมติก(Pneumatic) เป็นระบบที่ขับเคลื่อนทางตรง ทาง โถ้งหรือหมุนได้ด้วยแรงอัดของลม เป็นอุปกรณ์ที่ราคาถูก และยุ่งยากน้อยที่สุด ปัญหาที่สำคัญอยู่ที่การควบคุมความเร็ว และตำแหน่ง

ค. ไฮดรอลิก(Hydraulic) เป็นระบบที่ขับเคลื่อนด้วยแรงอัดของน้ำมัน เป็นอุปกรณ์ที่ราคาแพง ให้กำลังสูง มีอยู่หลายแบบที่สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมกับงาน เช่น การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง หรือแบบหมุน เป็นต้น ระบบควบคุมมักใช้ไฟฟ้า แต่เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าน้อย และใช้กำลังไฟฟ้าต่ำมากจึงสามารถใช้ระบบไฮดรอลิกในบริเวณที่วัตถุไวไฟได้

#### มือแขนกล

มือแขนกลจะยึดติดกับส่วนที่เป็นข้อมือ (Wrist) ซึ่งสามารถหมุนได้อย่างอิสระ 3 แนวแกน คือ แกนบิดในระนาบที่ตั้งฉากกับปลายแขนแกนงอขึ้นลงจะหมุนในระนาบที่ตั้งฉากกับแนวระดับ และแกนส่ายจะหมุนในระนาบที่ขนานกับแกนในแนวระดับ ลักษณะการใช้งาน ส่วนใหญ่จะทำงานเพียง 2 ทิศทางเท่านั้น เช่น แขนกลที่ใช้ในงานเชื่อม ในลักษณะที่สมมาตร จะให้ความอิสระของข้อมือเพียง 2 แกนเท่านั้น ซึ่งในกรณีที่งานค่อนข้างยากอาจจะใช้ถึง 3 แกน ข้อสำคัญของข้อมือ คือต้องให้มีความมั่นคงและมีน้ำหนักน้อยที่สุด

#### ระบบควบคุมแขนกล

ระบบควบคุมเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด ทำหน้าที่เป็นสมองเก็บข้อมูล สั่งให้แขนกลทำงาน ตรวจสอบและควบคุมตำแหน่งการทำงาน ซึ่งในบางเครื่องสามารถตรวจสอบความผิดปกติของอุปกรณ์ภายในได้

แขนกลจะทำงานได้ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยมีการกำหนดเป้าหมาย และมีการควบคุมอุปกรณ์ให้ทำงานตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ด้วยอุปกรณ์ควบคุม การทำงาน 2 แบบ คือ



การควบคุมแบบวงจรมิด (Close Loop) เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่ง ที่สัญญาณเอาต์พุต จะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ระบบควบคุมแบบวงจรมิด คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) นั่นเอง สัญญาณป้อนกลับนี้อาจจะเป็นสัญญาณเอาต์พุตโดยตรงหรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณเอาต์พุตก็ได้ โดยการควบคุมแบบวงจรมิดนั้นอุปกรณ์ควบคุม จะคอยตรวจสอบเปรียบเทียบกับเป้าหมาย และควบคุมให้ได้ผลที่ถูกต้องตลอดเวลาจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตรวจสอบเป้าหมายด้วย

การควบคุมแบบวงจรมิดเปิด (Open Loop) เป็นระบบควบคุมที่เอาต์พุตของระบบ ไม่มีผลต่อการควบคุมเลย คือในกรณีของระบบควบคุมแบบวงจรมิดเปิด เอาต์พุตของระบบจะไม่ถูกนำมาวัด หรือถูกป้อนกลับมาเพื่อเปรียบเทียบกับอินพุต การควบคุมแบบวงจรมิดนั้นอุปกรณ์ควบคุมจะดำเนินการ โดยไม่ได้ตรวจสอบเป้าหมาย เช่น ถ้าเคยเดินได้ก้าวละ 50 เซนติเมตร เมื่อได้รับคำสั่งให้เดินเป็นระยะทาง 8 เมตร ก็จะเดินไป 16 ก้าว อย่างนี้เรียกว่า เดินโดยใช้การควบคุมแบบวงจรมิด ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้ แต่ใช้ไม่เมตรวัดระยะทางเดินไป 16 ก้าวนั้นคิดว่าได้ 8 เมตรถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องจะเดินหรือดอยหลังให้ได้ระยะทาง 8 เมตรพอดี อย่างนี้เรียกว่า เดินโดยใช้การควบคุมแบบวงจรมิด จะเห็นได้ว่า การควบคุมแบบวงจรมิดจะสร้างได้ยากกว่า แต่ได้ผลที่แน่นอนกว่า

### 2.3.2 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีหลายรูปแบบแต่ที่นิยมในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ การเคลื่อนที่ด้วยกลไกแบบขา (Walking Robot) และการเคลื่อนที่ด้วยล้อ (Mobile Robot) ในโครงการนี้จะใช้การเคลื่อนที่ด้วยล้อ

#### 1) การเคลื่อนที่ด้วยล้อ

สิ่งที่ทำให้หุ่นยนต์เกิดการเคลื่อนที่ คือ การหมุนของล้อ โดยทิศทางการหมุนของล้อแต่ละข้างจะกำหนดทิศทางเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ การที่ล้อของหุ่นยนต์จะเกิดการหมุนได้นั้นต้องอาศัยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลซึ่งก็คือมอเตอร์ มอเตอร์ที่ใช้จะเป็นมอเตอร์กระแสตรง มอเตอร์มีการทำงานอยู่ 3 แบบคือ หดหมุน หมุนตามเข็มนาฬิกา และหมุนทวนเข็มนาฬิกา โดยการทำงานทั้ง 3 แบบนี้เองจะเป็นผลให้หุ่นยนต์มีรูปแบบการเคลื่อนที่ได้ 9 รูปแบบคือ

- 1) หุ่นยนต์หยุดเคลื่อนที่
- 2) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินหน้า
- 3) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง
- 4) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินหน้าไปทางซ้าย
- 5) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินหน้าไปทางขวา

6) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินถอยหลังทางซ้าย

7) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินถอยหลังขวา

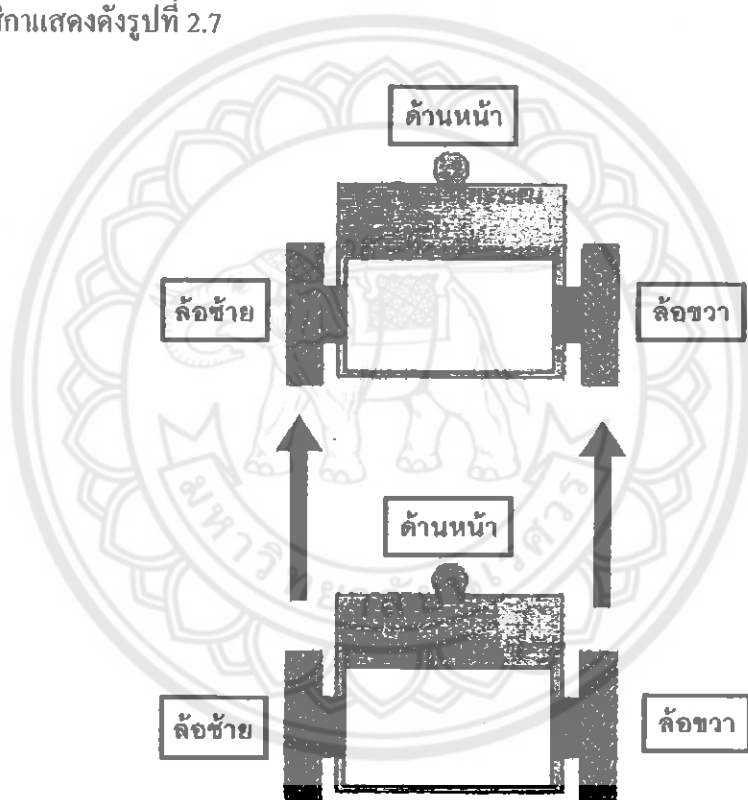
8) หุ่นยนต์เคลื่อนที่หมุนซ้าย

9) หุ่นยนต์เคลื่อนที่หมุนขวา

การเคลื่อนที่แต่ละรูปแบบแสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่แตกต่างกันดังนี้

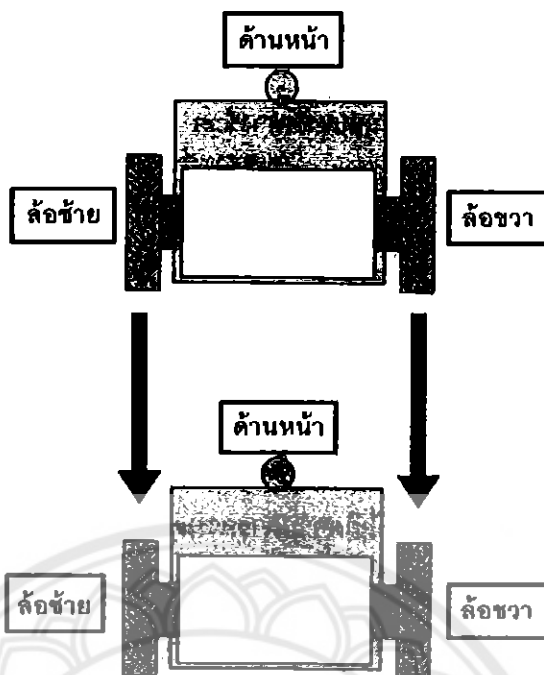
1) หุ่นยนต์หยุดเคลื่อนที่ที่เกิดจากการควบคุมให้มอเตอร์ด้านซ้ายไม่หมุนและมอเตอร์ด้านขวาไม่หมุน

2) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินหน้าเกิดจากการควบคุมให้มอเตอร์ทั้งซ้ายและขวา หมุนทวนเข็มนาฬิกาแสดงดังรูปที่ 2.7



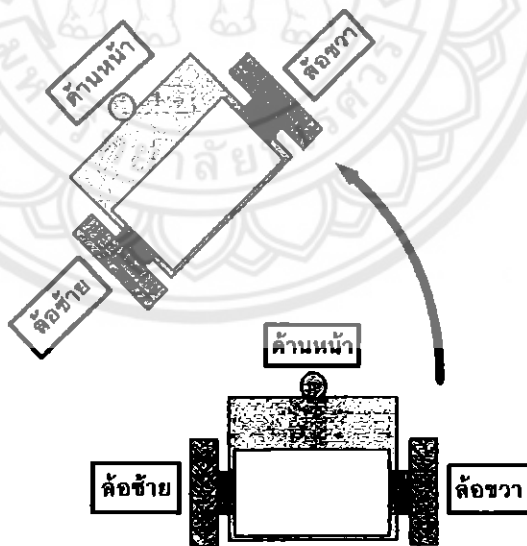
รูปที่ 2.7 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเดินหน้า

3) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลังเกิดจากการควบคุมให้มอเตอร์ด้านซ้ายและขวา หมุนตามเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 2.8



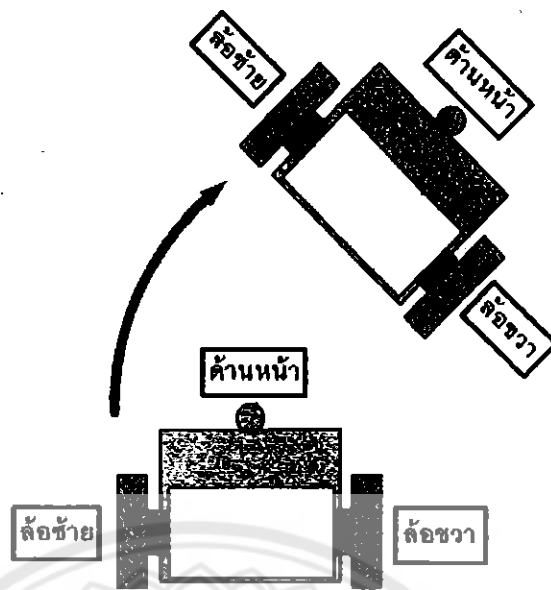
รูปที่ 2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบถอยหลัง

4) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินทางซ้ายเกิดจากการควบคุมให้มอเตอร์ด้านซ้ายไม่หมุน และมอเตอร์ด้านขวาหมุนทวนเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 2.9



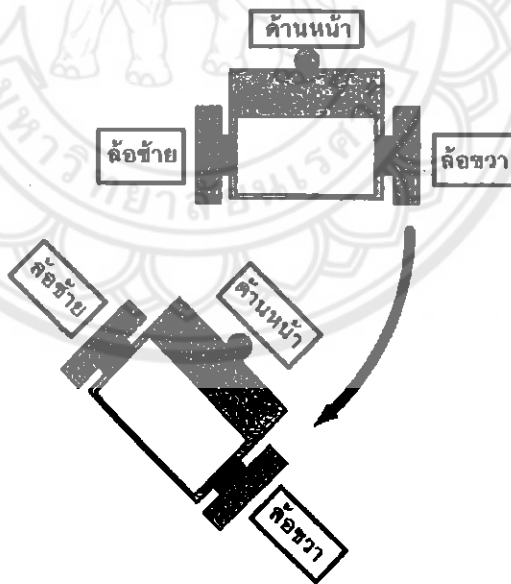
รูปที่ 2.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเดินทางซ้าย

5) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินทางขวาเกิดจากการควบคุมให้มอเตอร์ด้านซ้ายหมุนทวนเข็มนาฬิกาและมอเตอร์ด้านขวาไม่หมุนดังรูปที่ 2.10



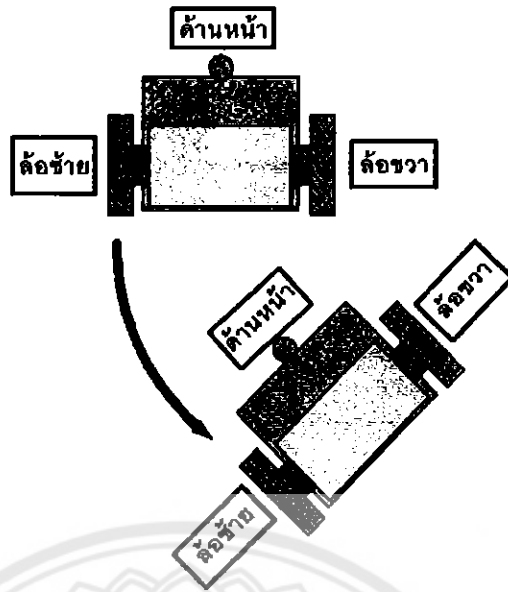
รูปที่ 2.10 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเดินหน้าไปทางขวา

6) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินถอยหลังทางซ้ายเกิดจากการควบคุมให้มอเตอร์ด้านซ้ายไม่หมุน และมอเตอร์ขวาหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 2.11



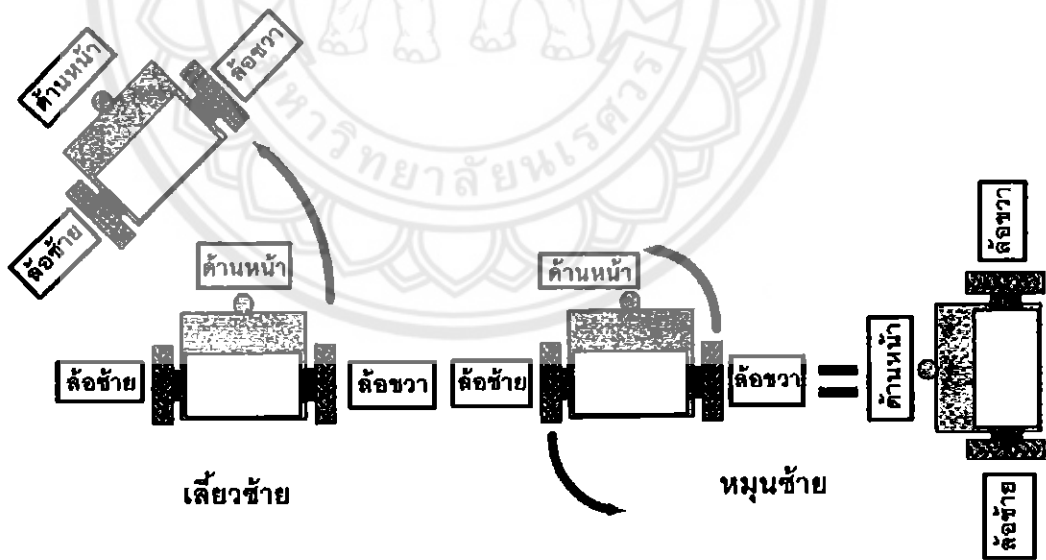
รูปที่ 2.11 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบถอยหลังทางซ้าย

7) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินถอยหลังทางขวาเกิดจากการควบคุมให้มอเตอร์ด้านซ้ายหมุนตามเข็มนาฬิกาและมอเตอร์ด้านขวาไม่หมุน ดังรูปที่ 2.12

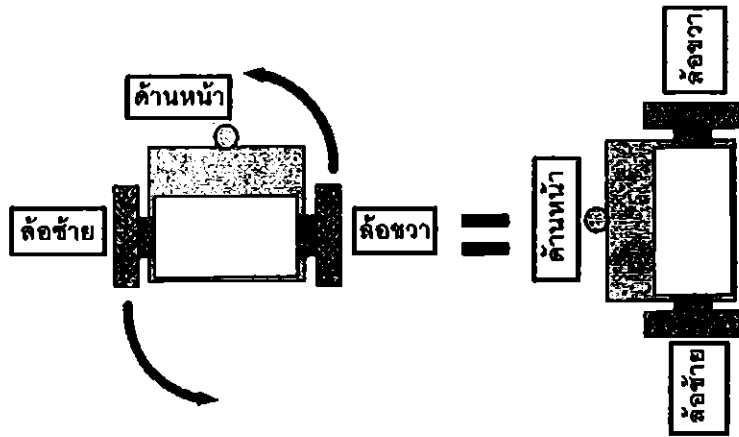


รูปที่ 2.12 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบถอยหลังทางขวา

8) หุ่นยนต์เคลื่อนที่หมุนซ้ายซึ่งมีความแตกต่างกับการเคลื่อนที่แบบเลี้ยวซ้าย โดยสามารถแสดงเปรียบเทียบได้รูปที่ 2.13 การที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบหมุนซ้ายนั้นเกิดจากการควบคุมให้มอเตอร์ด้านซ้ายหมุนตามเข็มนาฬิกาและมอเตอร์ด้านขวาหมุนทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 2.14

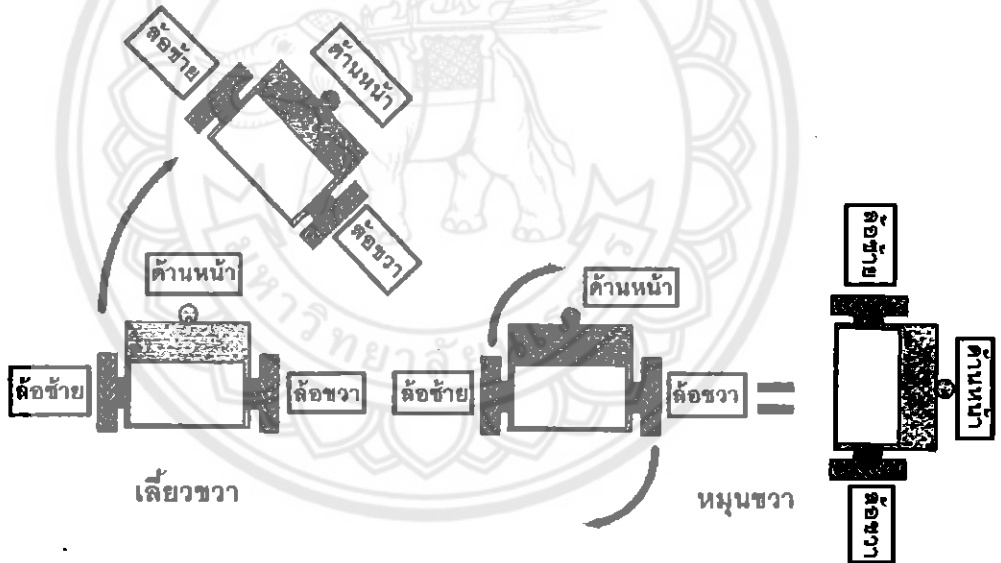


รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเลี้ยวซ้ายกับหมุนซ้าย

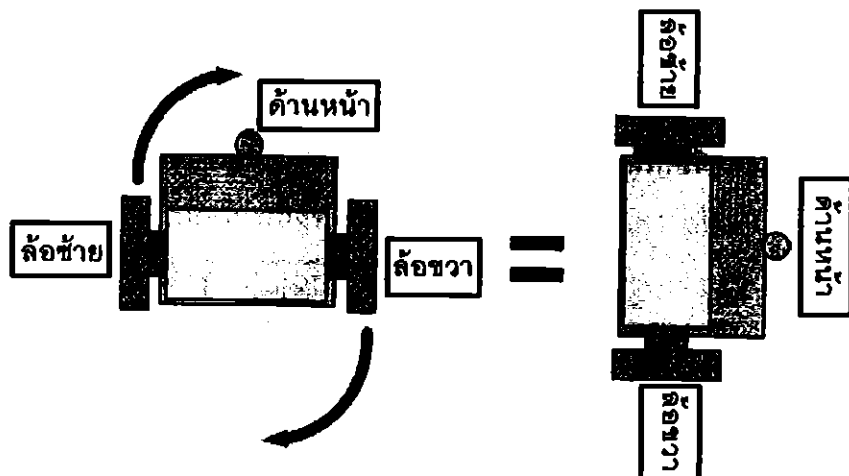


รูปที่ 2.14 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบหมุนซ้าย

9) หุ่นยนต์เคลื่อนที่หมุนขวาจะมีความแตกต่างกับการเคลื่อนที่แบบเลี้ยวขวา โดยสามารถแสดงเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 2.15 การที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบหมุนขวานั้น เกิดจากการควบคุมให้มอเตอร์ด้านซ้ายหมุนทวนเข็มนาฬิกาและมอเตอร์ด้านขวาหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเลี้ยวขวากับหมุนขวา



รูปที่ 2.16 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบหมุนขวา

จะเห็นได้ว่าหากต้องการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถทำได้ โดยการควบคุมการหมุนของล้อ ข้างของหุ่นยนต์ให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้เท่านั้นเอง ทำให้เราสามารถสรุปทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ด้วยตารางที่ ดังนี้

ตารางที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	ทิศทางการหมุนของมอเตอร์	
	ล้อซ้าย	ล้อขวา
1) การหยุดเคลื่อนที่	ไม่หมุน	ไม่หมุน
2) การเคลื่อนที่เดินหน้า	ทวนเข็มนาฬิกา	ทวนเข็มนาฬิกา
3) การเคลื่อนที่ถอยหลัง	ตามเข็มนาฬิกา	ตามเข็มนาฬิกา
4) การเคลื่อนที่เดินหน้าไปทางซ้าย	ไม่หมุน	ทวนเข็มนาฬิกา
5) การเคลื่อนที่เดินหน้าไปทางขวา	ทวนเข็มนาฬิกา	ไม่หมุน
6) การเคลื่อนที่ถอยหลังไปทางซ้าย	ไม่หมุน	ตามเข็มนาฬิกา
7) การเคลื่อนที่ถอยหลังไปทางขวา	ตามเข็มนาฬิกา	ไม่หมุน
8) การเคลื่อนที่หมุนซ้าย	ตามเข็มนาฬิกา	ทวนเข็มนาฬิกา
9) การเคลื่อนที่หมุนขวา	ทวนเข็มนาฬิกา	ตามเข็มนาฬิกา

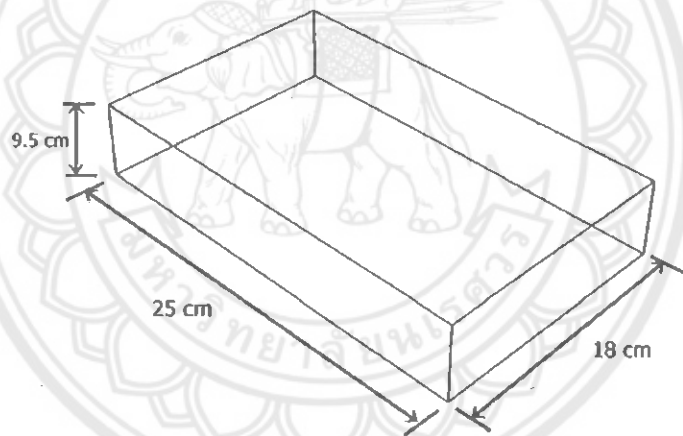
### บทที่ 3

## การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

ในบทนี้จะเป็นขั้นตอนในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่รวมถึงไปถึง  
บอกอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำด้วย

### 3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

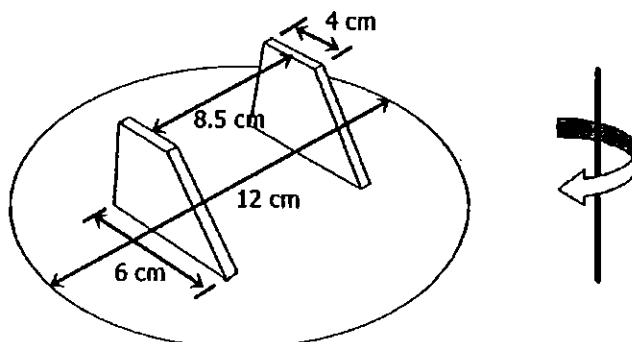
การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่จะทำการออกแบบให้หุ่นยนต์  
สามารถทำงานได้ครอบคลุมทุกทิศทาง โดยโครงสร้างของหุ่นยนต์จะประกอบไปด้วย ส่วนตัวรถ  
ส่วนฐานหมุน ส่วนแขนท่อนล่าง แขนท่อนบนและมือจับ ในแต่ละส่วนจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้า  
กระแสตรง เป็นตัวขับเคลื่อน โดยแต่ละส่วนจะมีขนาดและรูปแบบดังนี้



รูปที่ 3.1 รูปแบบและขนาดของตัวรถ

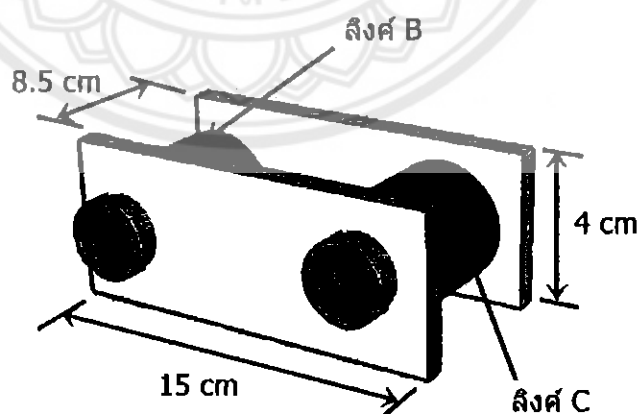
รูปที่ 3.1 เป็นรูปแสดงรูปแบบและขนาดของส่วนตัวรถ ซึ่งตัวรถจะมีลักษณะเป็น  
สี่เหลี่ยมโดยตัวรถจะมีสองชั้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 18 x 25 เซนติเมตร ชั้นล่างใช้เป็นพื้นที่  
สำหรับวางอุปกรณ์และวงจรควบคุมหุ่นยนต์ ส่วนชั้นบนจะมีไว้สำหรับวางส่วนของแขนและ  
กระบะสำหรับสิ่งของความสูงของตัวรถตั้งแต่ชั้นล่างถึงชั้นบนมีขนาด 9.5 เซนติเมตร





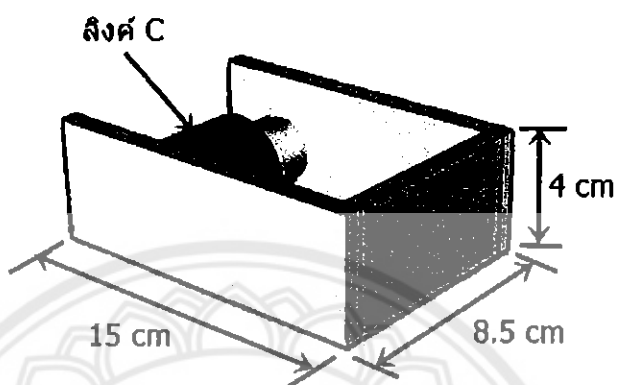
รูปที่ 3.2 รูปแบบและขนาดของส่วนฐานหมุน

รูปที่ 3.2 เป็นรูปแสดงรูปแบบและขนาดของส่วนฐานหมุนเป็นส่วนที่อยู่ถัดขึ้นมาจากส่วนบนของตัวรถ โดยจะออกแบบส่วนด้านล่างเป็นรูปวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร และชิ้นส่วนด้านข้างทั้งสองเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูหน้าจั่ว ตามรูปที่ 3.2 ความยาวด้านล่างมีขนาด 6 เซนติเมตร ความยาวด้านบนมีขนาด 4 เซนติเมตร ส่วนความยาวด้านข้างจะมีขนาดเท่ากันทั้งสองด้าน และอยู่ห่างกัน 8.5 เซนติเมตร ส่วนตรงกลางด้านบนของทั้งสองข้างจะเจาะรูสำหรับแกนของมอเตอร์ ในส่วนของฐานหมุนจะสามารถหมุนได้ 180 องศา



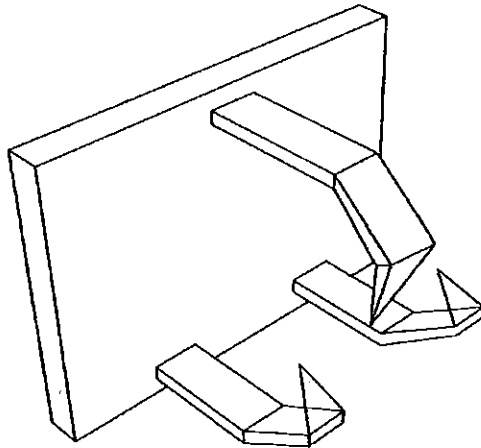
รูปที่ 3.3 รูปแบบและขนาดของส่วนแขนท่อนล่าง

รูปที่ 3.3 เป็นรูปแสดงรูปแบบและขนาดของส่วนแขนท่อนล่าง โดยจะออกแบบส่วนของแขนท่อนล่างจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งสองด้าน มีขนาดทั้งสองด้านเท่ากันวางขนานกันมีขนาด 4 x 15 เซนติเมตร ปลายทั้งสองด้านจะเจาะรูสำหรับแกนของมอเตอร์ และสามารถหมุนได้ 180 องศา



รูปที่ 3.4 รูปแบบและขนาดของส่วนแขนท่อนบน

รูปที่ 3.4 เป็นรูปแสดงรูปแบบและขนาดของส่วนแขนท่อนบน โดยจะออกแบบส่วนของแขนท่อนบนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามแผ่นประกอบเข้าด้วยกัน โดยแผ่นด้านข้างทั้งสองจะมีขนาด 4 x 15 เซนติเมตร เท่ากัน และแผ่นด้านหน้ามีขนาด 4 x 8.5 เซนติเมตร ส่วนปลายของแผ่นด้านข้างทั้งสองจะเจาะรูสำหรับแกนมอเตอร์ และสามารถหมุนได้ 180 องศา



รูปที่ 3.5 รูปแบบและขนาดของส่วนมือจับ

รูปที่ 3.5 เป็นรูปแสดงรูปแบบและขนาดของส่วนมือจับ โดยจะออกแบบส่วนของมือจับเป็นรูปครึ่งวงกลมคล้ายกรงเล็บ

### 3.2 การสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

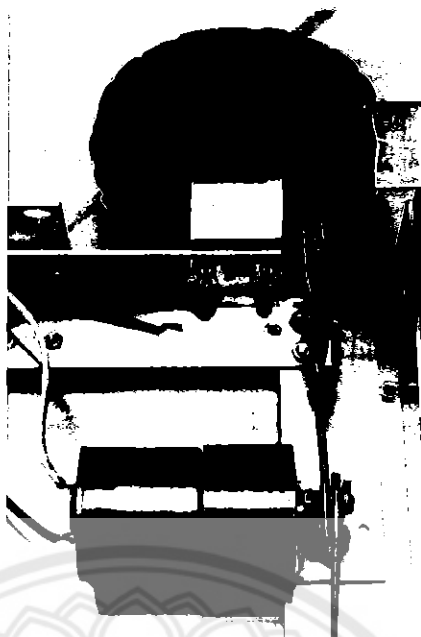
การสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่จะใช้แผ่นอะคริลิกขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตัดและประกอบตามที่ออกแบบไว้เป็นส่วนๆ โดยจะทำการติดตั้งมอเตอร์ในแต่ละส่วนก่อน ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนของล้อส่วนหน้าของรถจะแสดงดังรูปที่ 3.6 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนของล้อส่วนหลังของรถจะแสดงดังรูปที่ 3.7 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนฐานหมุนแสดงดังรูปที่ 3.8 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนแขนกลท่อนล่างแสดงดังรูปที่ 3.9 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนแขนท่อนบนแสดงดังรูปที่ 3.10 และลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนมือจับแสดงดังรูปที่ 3.11

15758233

2/5

8/5/14

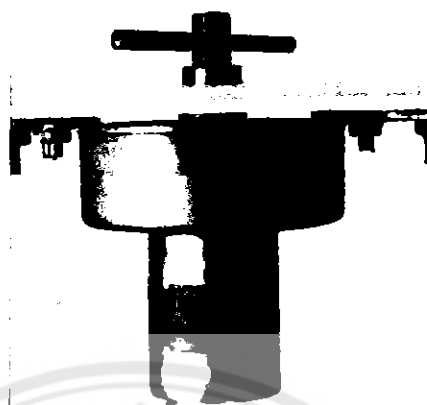
2553



รูปที่ 3.6 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนของล้อส่วนหน้าของรถ



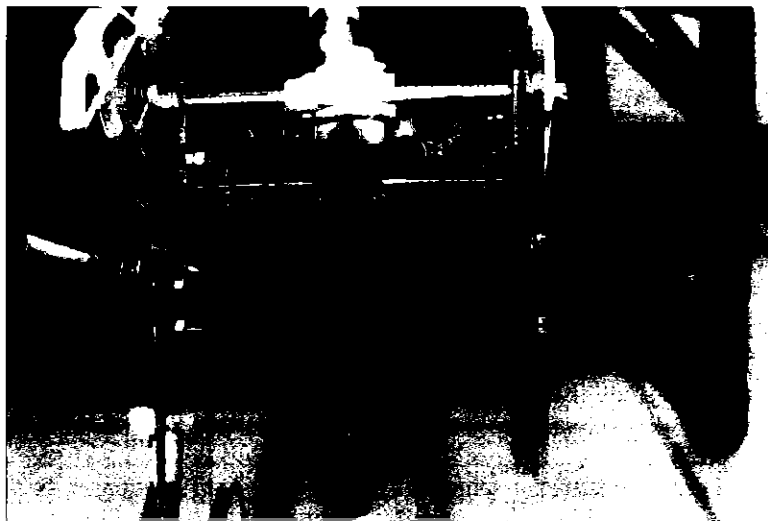
รูปที่ 3.7 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนของล้อส่วนหลังของรถ



รูปที่ 3.8 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนฐานหมุนหรือลิงค์ A



รูปที่ 3.9 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนแกนกลท่อนล่างหรือลิงค์ B



รูปที่ 3.10 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนแขนท่อนบนหรือลิงค์C



รูปที่ 3.11 ลักษณะของการติดตั้งมอเตอร์ส่วนมือจับหรือลิงค์E

เมื่อทำการติดตั้งมอเตอร์ในแต่ละส่วนแล้วจะนำแต่ละส่วนมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยจะเริ่มจากส่วนของตัวรถก่อนซึ่งส่วนของตัวรถจะมีส่วนที่ไว้สำหรับวางจรวดต่างๆที่จะใช้ควบคุมหุ่นยนต์ จากนั้นจะเป็นส่วนของฐานหมุน แขนท่อนล่าง แขนท่อนบน และ ส่วนของมือจับตามลำดับ เมื่อประกอบทุกส่วนแล้ว จะทำการติดตั้ง ลิมิตสวิตช์ โดยจะใช้ลิมิตสวิตช์ ทั้งหมด 6 ตัว ซึ่งการทำงานของลิมิตสวิตช์กล่าวไปแล้วข้างต้นในบทที่ 2

ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ จะติดตั้งไว้ตามส่วนต่างๆ คือ ติดตั้งลิมิตสวิตช์ไว้ที่ตัวรถ ดังรูปที่ 3.12 ติดตั้งระหว่างแขนท่อนล่างกับฐานหมุน ดังรูปที่ 3.13 ติดตั้งระหว่างแขนท่อนล่างกับท่อนบน รูปที่ 3.14 ติดตั้งไว้ที่มือจับ ดังรูปที่ 3.15 ติดตั้งไว้ที่ล้อหน้าซ้ายและขวา ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.12 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ไว้ที่ตัวรถ



รูปที่ 3.13 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ระหว่างแขนท่อนล่างกับฐานหมุน



รูปที่ 3.14 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ระหว่างแขนท่อนล่างกับท่อนบน





รูปที่ 3.15 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ที่มีมือจับ



รูปที่ 3.16 ลักษณะการติดตั้งลิมิตสวิตช์ไว้ที่ล้อหน้าซ้ายและขวา

เมื่อทำการประกอบโครงสร้างของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ ติดตั้งมอเตอร์ของแต่ละส่วน และ ติดตั้งลิมิตสวิตช์เสร็จ หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่จะมีลักษณะโดยรวมทั้งหมด ดังรูปที่

3.17



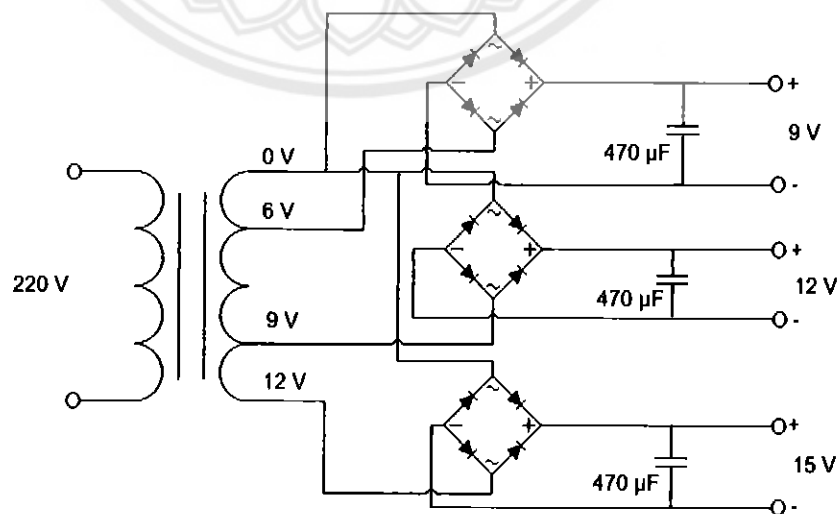
รูปที่ 3.17 ลักษณะโดยรวมของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

### 3.3 วงจรที่ใช้ในหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

วงจรที่ใช้ในการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่แบ่งออกเป็นวงจรจ่ายไฟและวงจรควบคุมการเคลื่อนที่

#### 3.3.1 วงจรจ่ายไฟ

วงจรจ่ายไฟนั้นจะใช้ไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ต่อผ่านหม้อแปลงเป็นแรงดันกระแสสลับ 6, 9 และ 12 โวลต์ ผ่านไดโอดบริดจ์ จะมีลักษณะของวงจรดังรูปที่ 3.18

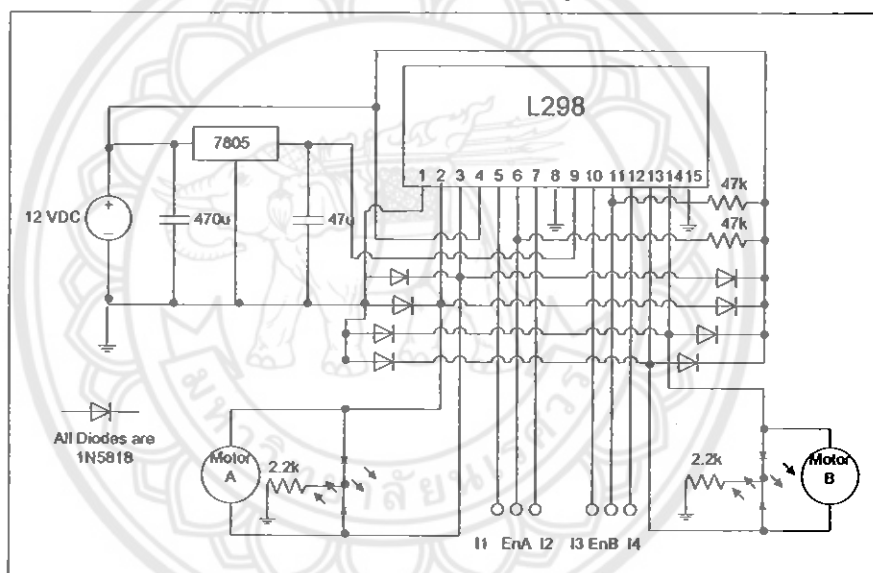


รูปที่ 3.18 วงจรภาคจ่ายไฟ

จากรูปที่ 3.18 แสดงลักษณะของวงจรจ่ายไฟให้กับหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ โดยจากวงจรจ่ายไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ ผ่านหม้อแปลงเป็นไฟกระแสสลับ 6, 9 และ 12 โวลต์ จากนั้นผ่านวงจรเรียงกระแสเพื่อเปลี่ยนไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง แล้วแบ่งสามส่วน ส่วนแรกจะได้อไฟเป็นกระแสตรง 9 โวลต์ จากนั้นจะต่อผ่านวงจรรวมเบอร์ 7805 เพื่อรักษาแรงดันเป็น 5 โวลต์ จ่ายเป็นไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนที่สองจะได้อไฟเป็นกระแสตรง 12 โวลต์ จ่ายให้กับรีเลย์และส่วนที่สามจะได้อไฟเป็นกระแสตรง 15 โวลต์ จ่ายเพื่อเลี้ยงวงจรรวมขับมอเตอร์เบอร์ L298

### 3.3.2 วงจรส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์

ส่วนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์จะใช้วงจรรวมเบอร์ L298 ซึ่งวงจรรวมนี้สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้สองตัว ลักษณะของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ดังรูปที่ 3.19

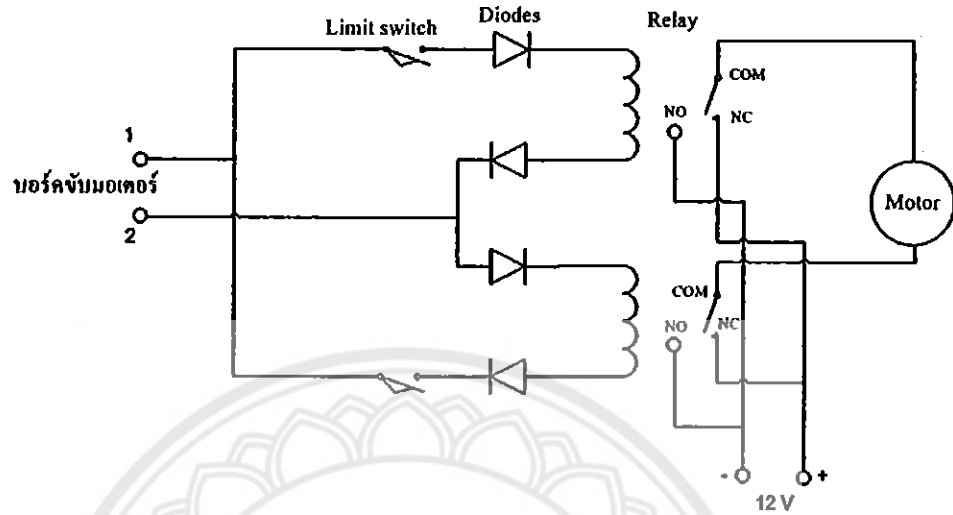


รูปที่ 3.19 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์โดยวงจรรวมเบอร์ L298

จากรูปที่ 3.19 แสดงลักษณะของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้วงจรรวมเบอร์ L298 ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟจากวงจรจ่ายไฟ จ่ายไฟให้มอเตอร์ทั้งสองตัว และ จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรรวม L298 โดยป้อนอินพุตที่ I1, I2, I3, I4 เพื่อกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวและให้ขา En A, En B เป็นลอจิก 1 เพื่อให้มอเตอร์ทำงาน

### 3.3.3 วงจรลิมิตสวิตช์

วงจรลิมิตสวิตช์ประกอบด้วย รีเลย์ และ ลิมิตสวิตช์ เป็นวงจรที่อยู่ต่อมาจากวงจรขับมอเตอร์ก่อนจะถึง มอเตอร์ ลักษณะของวงจรลิมิตสวิตช์ดังรูปที่ 3.20

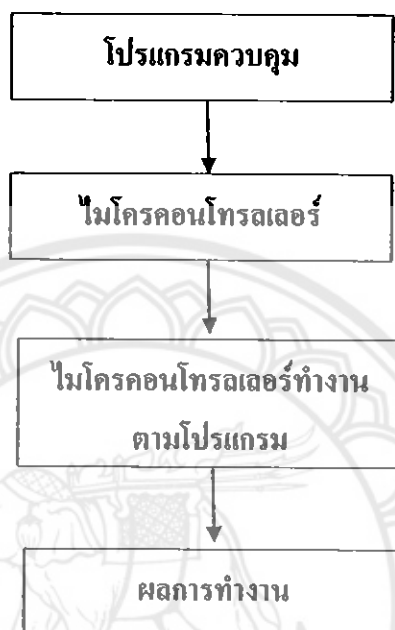


รูปที่ 3.20 วงจรลิมิตสวิตช์

จากรูปที่ 3.20 แสดงลักษณะของวงจรลิมิตสวิตช์โดยประกอบไปด้วย ลิมิตสวิตช์ ไค โอค และ รีเลย์ ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟจากวงจรจ่ายไฟ แรงดัน 12 โวลต์ เพียงให้รีเลย์ทำงาน ถ้ามีสัญญาณจากตำแหน่งที่ 1 จะทำให้มอเตอร์หมุน และถ้ามีสัญญาณจากตำแหน่งที่ 2 จะทำให้มอเตอร์หมุนทางตรงกันข้าม และเมื่อลิมิตสวิตช์โดยตัดจะทำให้มอเตอร์หยุดทำงาน

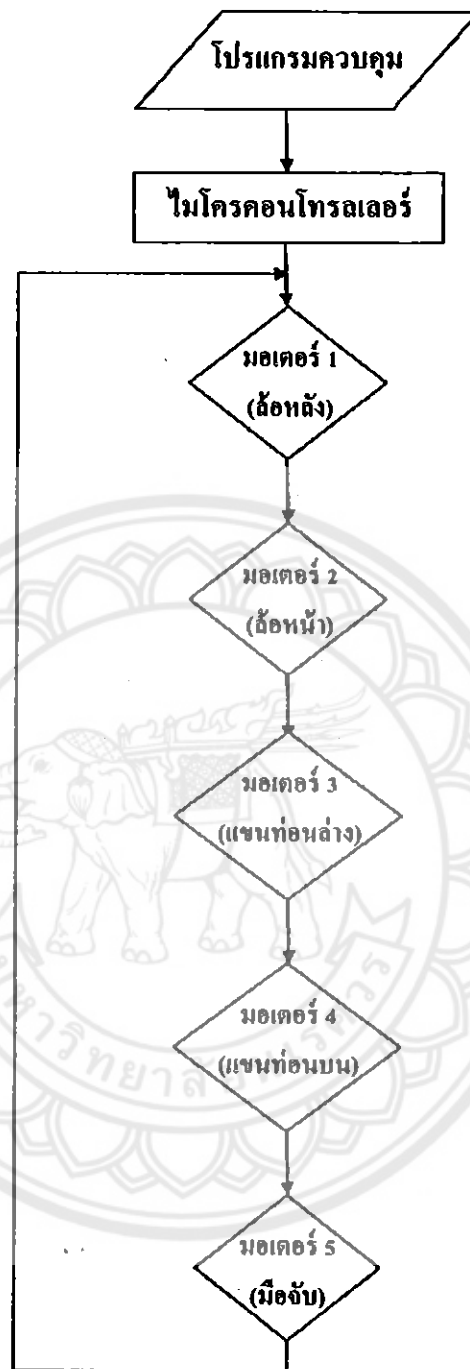
### 3.4 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

การทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ จะทำให้หุ่นยนต์จับวัตถุ ไปไว้ที่กระบะรถแล้ว สามารถเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่ง ด้วยการบังคับ โดยจะใส่โปรแกรมที่เขียนไว้ลงใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เป็นไปตามรูปที่ 3.20 และขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.21อธิบายการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ดังนี้ โปรแกรมควบคุม จะทำการเขียนโปรแกรมควบคุม โดยใช้โปรแกรมภาษาซีและนำโปรแกรมควบคุมใส่ลง ไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลโปรแกรมที่ใส่ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์และทำงานตามโปรแกรม การทำงานจะบังคับหุ่นยนต์โดยใช้รีโมทควบ คุมทิศทางที่ต้องการ



รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.22 อธิบายขั้นตอนการทำงานดังนี้ โปรแกรมควบคุมจะทำการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้โปรแกรมภาษาซีและนำโปรแกรมควบคุมใส่ลงไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแต่ละตัวทำงานตามหน้าที่โดยการบังคับจากคีย์บอร์ด

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

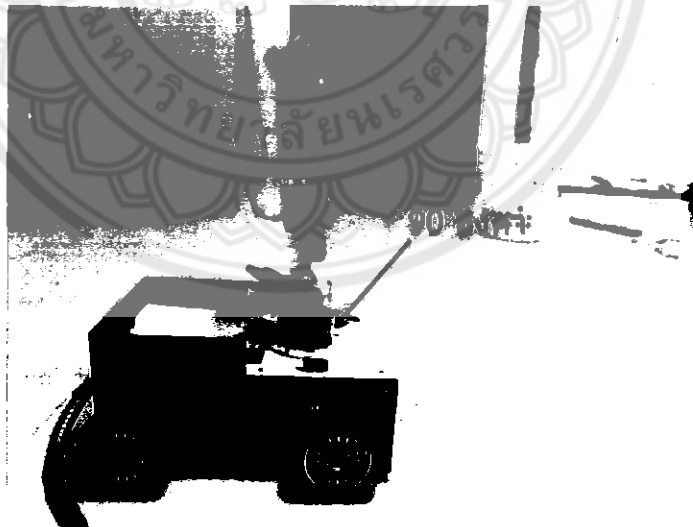
หลังจากสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ และนำหุ่นยนต์ขั้วน้ำหนัก หุ่นยนต์หนัก 4.4 กิโลกรัม และผู้ดำเนินโครงการ ได้ทำการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนการทดลองดังนี้

- 1) การทดลองการเคลื่อนที่ของแขนในแต่ละลิงค์
- 2) การทดลองน้ำหนักของวัตถุที่สามารถยกได้
- 3) การทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่และวัตถุของการเลี้ยง

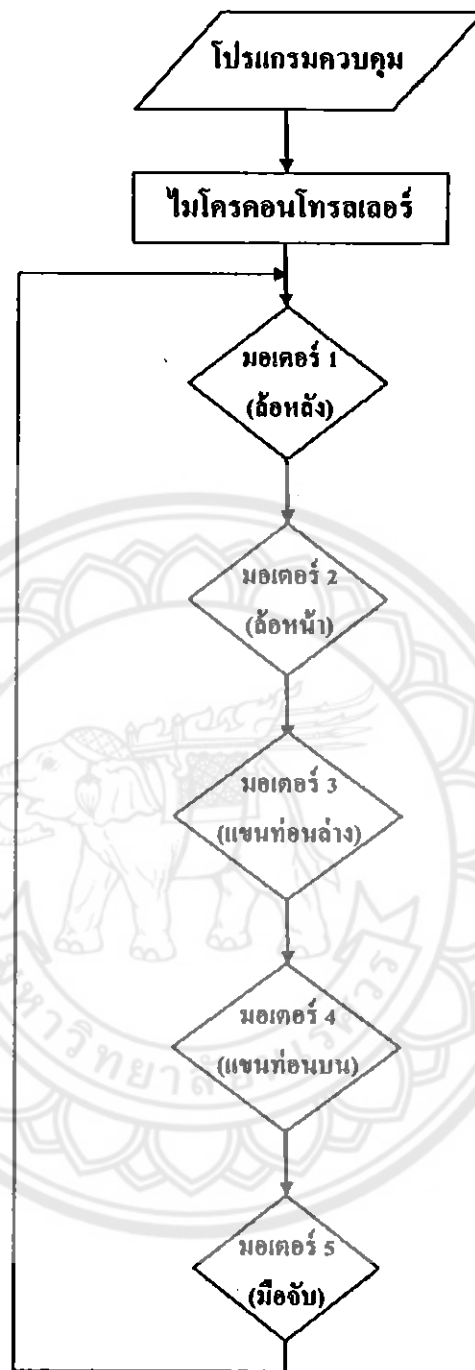
#### 4.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของแขนในแต่ละลิงค์

ในการทดลองการเคลื่อนที่ของแขนในแต่ละลิงค์ จะทดสอบโดยการบังคับแขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแต่ละลิงค์และจับเวลาทั้งหมด 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย จะแบ่งการทดลองออกเป็นแต่ละลิงค์ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) จับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 90 องศา ดังรูปที่ 4.1 และผลจากการทดลองดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 90 องศา



รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.22 อธิบายขั้นตอนการทำงานดังนี้ โปรแกรมควบคุมจะทำการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้โปรแกรมภาษาซีและนำโปรแกรมควบคุมใส่ลงไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแต่ละตัวทำงานตามหน้าที่โดยการบังคับจากคีย์บอร์ด

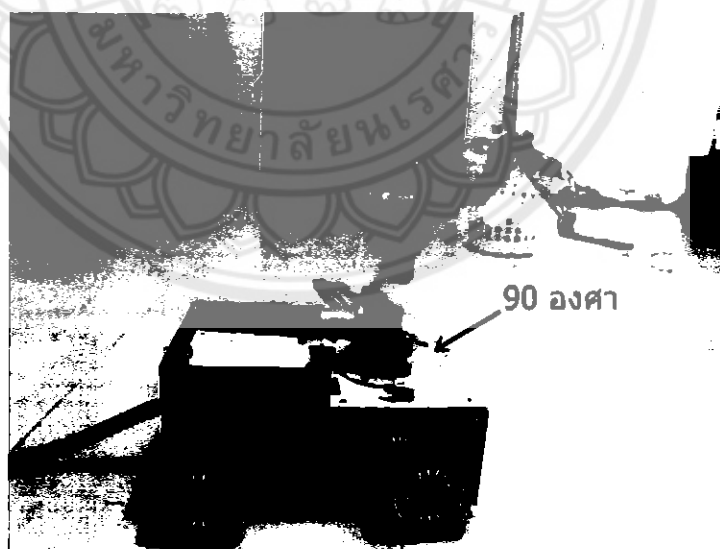


ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิ้งค์ A เมื่อถึงลิ้งค์ B และ C ทำมุม 90 องศา

จำนวนครั้ง	เวลาในการเคลื่อน(วินาที)	
	หมุนเข้า	หมุนออก
1	5.38	5.94
2	5.04	5.40
3	5.10	6.11
4	4.72	5.75
5	5.04	6.22
ค่าเฉลี่ย	5.06	5.88

จากการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิ้งค์ A เมื่อถึงลิ้งค์ B และ C ทำมุม 90 องศาการทำงาน โดยการบังคับ ไม่มีปัญหาและเวลามีอัตราที่เท่าๆกัน โดยมีเวลาเฉลี่ยหมุนเข้า 5.06 วินาที และหมุนออก 5.88 วินาที

2) จับเวลาการเคลื่อนที่ของลิ้งค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อถึงลิ้งค์ B ทำมุม 90 องศา และ C ทำมุม 45 องศา ดังรูปที่ 4.2 และผลจากการทดลองดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ลิ้งค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อถึงลิ้งค์ B ทำมุม 90 องศา และ C ทำมุม 45 องศา

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ A เมื่อ B ทำมุม 90 องศา และ C ทำมุม 45 องศา

จำนวนครั้ง	เวลาในการเคลื่อน(วินาที)	
	หมุนเข้า	หมุนออก
1	4.88	6.19
2	5.30	6.13
3	4.92	6.11
4	4.73	.42
5	4.65	6.13
ค่าเฉลี่ย	4.90	6.20

จากการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B ทำมุม 90 องศา และ C ทำมุม 45 องศา การทำงานโดยการบังคับไม่มีปัญหา และเวลาที่มีอัตราที่เท่าๆกัน โดยมีเวลาเฉลี่ยหมุนเข้า 4.90 วินาที และหมุนออก 6.20 วินาที

3) จับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 60 องศา ดังรูปที่ 4.3 และผลจากการทดลองดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 60 องศา

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ A เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 60 องศา

จำนวนครั้ง	เวลาในการเคลื่อน(วินาที)	
	หมุนเข้า	หมุนออก
1	5.43	6.29
2	4.93	6.78
3	5.29	6.28
4	5.08	6.48
5	4.79	6.26
ค่าเฉลี่ย	5.10	6.42

จากการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 60 องศาการทำงาน โดยการบังคับ ไม่มีปัญหาและเวลามีอัตราที่เท่าๆกัน โดยมีเวลาเฉลี่ยหมุนเข้า 5.10 วินาที และหมุนออก 6.42 วินาที

4) จับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ B ยกขึ้นและยกลงดังรูปที่ 4.4 และผลจากการทดลองดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ลิงค์ B ยกขึ้นและยกลง

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลึงค์ B

จำนวนครั้ง	เวลาในการเคลื่อน(วินาที)	
	ยกขึ้น	ยกลง
1	21.71	21.38
2	21.69	21.04
3	21.45	20.94
4	21.54	20.85
5	21.16	20.80
ค่าเฉลี่ย	21.51	21.00

จากการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลึงค์ B ยกขึ้นและยกลง การทำงานโดยการบังคับไม่มีปัญหาและเวลามีอัตราที่เท่าๆกัน โดยมีเวลาเฉลี่ยยกขึ้น 21.51 วินาที และยกลง 21.00 วินาที

5) จับเวลาการเคลื่อนที่ของลึงค์ C ยกขึ้นและยกลง โดยลึงค์ B ทำมุม 90 องศา ดังรูปที่ 4.5 และผลการทดลองดังตารางที่ 4.5



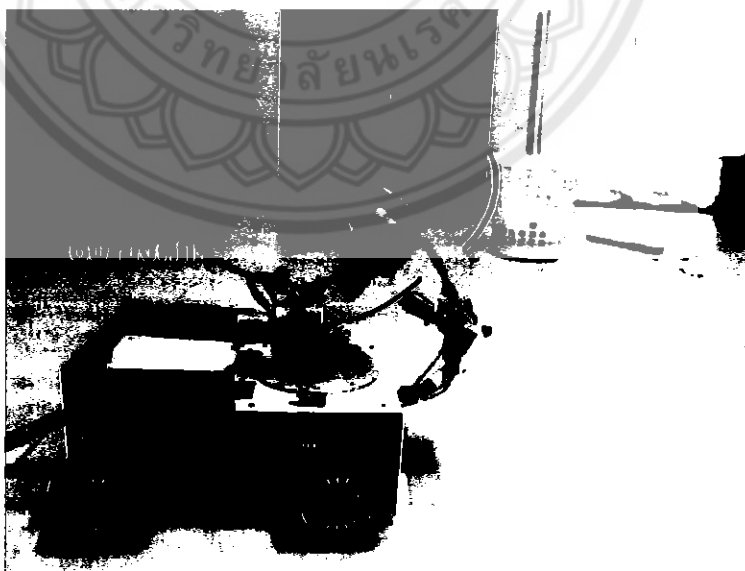
รูปที่ 4.5 ลึงค์ C ยกขึ้นและยกลง โดยลึงค์ B ทำมุม 90 องศา

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลึงค์ C เมื่อลึงค์ B ทำมุม 90 องศา

จำนวนครั้ง	เวลาในการเคลื่อน(วินาที)	
	ยกขึ้น	ยกลง
1	15.75	14.70
2	15.53	14.61
3	15.60	14.64
4	15.34	14.71
5	15.41	14.57
ค่าเฉลี่ย	15.53	14.65

จากการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลึงค์ C ยกขึ้นและยกลง โดยลึงค์ B ทำมุม 90 องศา การทำงานโดยการบังคับ ไม่มีปัญหาและเวลามีอัตราที่เท่าๆกัน โดยมีเวลาเฉลี่ยยกขึ้น 15.53 วินาที และยกลง 14.65 วินาที

6) จับเวลาการเคลื่อนที่ของลึงค์ C ยกขึ้นและยกลง โดยลึงค์ B ทำมุม 60 องศา ดังรูปที่ 4.6 และผลการทดลองดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลึงค์ C ยกขึ้นและยกลง โดยลึงค์ B ทำมุม 60 องศา

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ C เมื่อลิงค์ B ทำมุม 60 องศา

จำนวนครั้ง	เวลาในการเคลื่อน(วินาที)	
	ยกขึ้น	ยกลง
1	16.34	15.41
2	16.39	15.31
3	16.47	15.34
4	16.45	15.40
5	16.31	15.26
ค่าเฉลี่ย	16.39	15.34

จากการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ C ยกขึ้นและยกลง โดยลิงค์ B ทำมุม 60 องศา การทำงานโดยการบังคับไม่มีปัญหาและเวลาที่มีอัตราที่เท่าๆกัน โดยมีเวลาเฉลี่ยยกขึ้น 16.39 วินาที และยกลง 15.34 วินาที

7) จับเวลาการเคลื่อนที่ของลิงค์ E หนีบ และ ปลดอย ดังรูปที่ 4.7 และผลการทดลองดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ลิงค์ E หนีบ และปลดอย

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลึงค์ E หนีบ และ ปล่อย

จำนวนครั้ง	เวลาในการเคลื่อน(วินาที)	
	หนีบ	ปล่อย
1	3.81	5.16
2	3.98	5.26
3	3.96	5.22
4	3.82	5.55
5	3.61	5.13
ค่าเฉลี่ย	3.84	5.26

จากการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ของลึงค์ E หนีบ และ ปล่อยการทำงาน โดยการ บังคับไม่มีปัญหาและเวลามีอัตราที่เท่าๆกัน โดยมีเวลาเฉลี่ยหนีบ 3.84 วินาที และขกล 5.26 วินาที

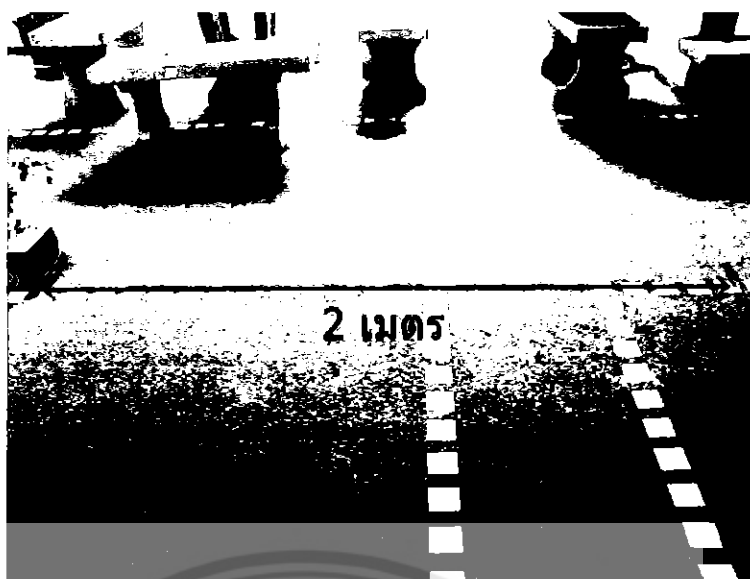
#### 4.2 การทดลองน้ำหนักของวัตถุที่สามารถยกได้

ในการทดลองน้ำหนักของวัตถุที่สามารถยกได้ ทำการทดลอง โดยการชั่งวัตถุ แล้วนำ วัตถุนั้นให้หุ่นยนต์หนีบ ผลการทดลองเป็นดังนี้ หุ่นยนต์สามารถจับวัตถุที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 0 ถึง 100 กรัม

จากการทดลองพบว่าหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ สามารถยกน้ำหนักสูงสุด 100 กรัม

#### 4.3 การทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่และวัดมุมของการเลี้ยว

ในการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่และวัดมุมของการเลี้ยว จะทำ การทดลองโดยบังคับหุ่นยนต์ให้เดินหน้าเป็นระยะทาง 2 เมตร บนพื้นผิวชนิดต่างๆและจับเวลา ดังรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.1 และ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

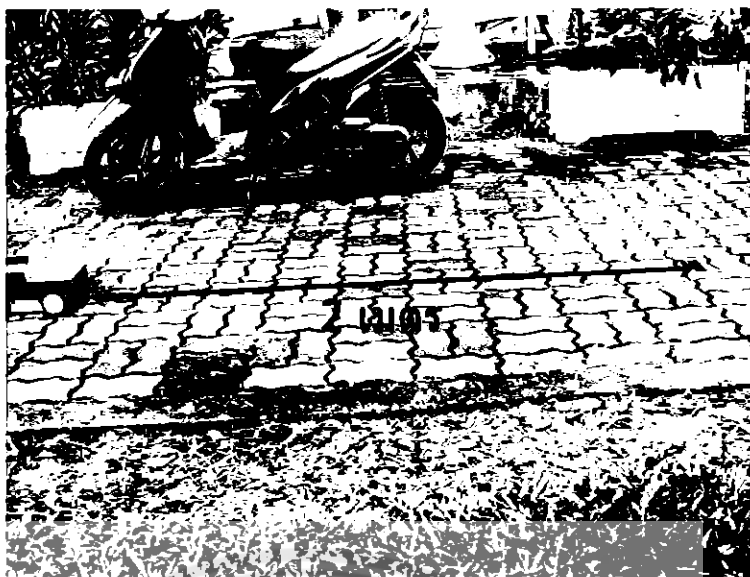


รูปที่ 4.8 รั้วบนพื้นหินหยาบ



รูปที่ 4.9 รั้วบนพื้นกระเบื้อง





รูปที่ 4.10 วิ่งบนพื้นอิฐตัวหนอน

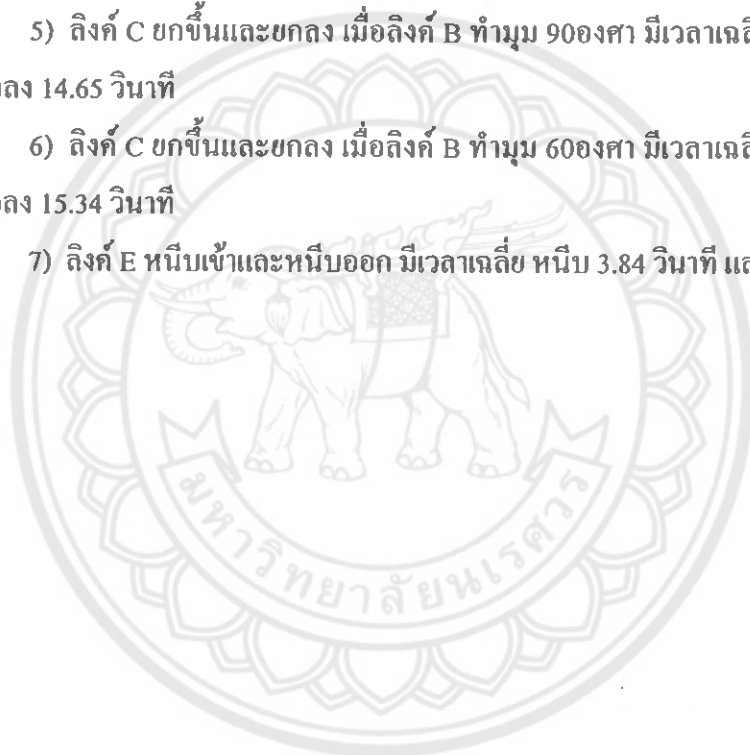
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ระยะ 2 เมตร บนพื้นผิวต่างๆ

จำนวนครั้ง	เวลาในการเคลื่อน(วินาที)		
	พื้นหินหยาบ	พื้นกระเบื้อง	พื้นอิฐตัวหนอน
1	12.66	12.23	14.68
2	12.84	12.62	13.29
3	11.80	12.02	13.26
4	11.94	11.43	12.45
5	12.91	12.64	13.49
ค่าเฉลี่ย	12.43	12.19	13.43

จากการทดลองจับเวลาการเคลื่อนที่ระยะ 2 เมตรของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่บนพื้นผิวต่างๆการทำงานโดยการบังคับไม่มีปัญหาและเวลาที่มีอัตราที่เท่าๆกัน โดยมีเวลาเฉลี่ยพื้นหินหยาบ 12.43 วินาที, พื้นกระเบื้อง 12.19 วินาที และ พื้นอิฐตัวหนอน 13.43 วินาที ดังนั้น หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วสุดบนพื้นผิวกระเบื้องและเคลื่อนที่ได้ช้าสุดบนพื้นอิฐตัวหนอน ในการวัดมุมของการเลี้ยว ทำการทดลอง โดยเลี้ยวหุ่นยนต์ไปทาง ซ้าย และ ขวา แล้วทำการวัดมุม ผลจากการทดลองเป็นดังนี้ มุมของการเลี้ยวทั้ง ซ้าย และขวา ทำมุม 30 องศา เท่ากัน

สรุปการทดลองการบังคับหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่จับวัตถุที่ได้หนักสุดที่ 100 กรัมและจับเวลาในแต่ละส่วนจะเห็นว่าเวลาในการเคลื่อนที่ของแต่ละลิงค์จะมีเวลาเฉลี่ยดังนี้

- 1) ลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 90 องศา มีเวลาเฉลี่ย หมุนเข้า 5.06 วินาทีและหมุนออก 5.88 วินาที
- 2) ลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B ทำมุม 90 องศาและ C ทำมุม 45 องศา มีเวลาเฉลี่ย หมุนเข้า 4.90 วินาทีและ หมุนออก 6.20 วินาที
- 3) ลิงค์ A หมุนเข้าและหมุนออก เมื่อลิงค์ B และ C ทำมุม 60 องศา มีเวลาเฉลี่ย หมุนเข้า 5.10 วินาทีและ หมุนออก 6.42 วินาที
- 4) ลิงค์ B ยกขึ้นและขกลง มีเวลาเฉลี่ย ยกขึ้น 21.51 วินาทีและ ขกลง 21 วินาที
- 5) ลิงค์ C ยกขึ้นและขกลง เมื่อลิงค์ B ทำมุม 90 องศา มีเวลาเฉลี่ย ยกขึ้น 15.53 วินาทีและ ขกลง 14.65 วินาที
- 6) ลิงค์ C ยกขึ้นและขกลง เมื่อลิงค์ B ทำมุม 60 องศา มีเวลาเฉลี่ย ยกขึ้น 16.39 วินาทีและ ขกลง 15.34 วินาที
- 7) ลิงค์ E หนีบเข้าและหนีบออก มีเวลาเฉลี่ย หนีบ 3.84 วินาที และ ปลดปล่อย 5.26 วินาที



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ศึกษา ออกแบบทดสอบและทำการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานขึ้นจนเป็นหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองและเสนอแนะแนวทางการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### 5.1 สรุปผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่

โครงการหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่เป็นการออกแบบและสร้างต้นแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่เพื่อทำการศึกษาลักษณะ โครงสร้างและการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ โดยหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่จะทำงานได้ด้วยการบินบังคับ โดยการเขียน โปรแกรมให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ไปจับวัตถุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ และสามารถเคลื่อนย้ายวัตถุทั้งในแนวราบและแนวตั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการบินบังคับ หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ โดยพื้นที่การทำงานสามารถเคลื่อนที่ในระยะทาง 5 เมตร หมุนได้ 180 องศา และยกได้ 90 องศา ในแนวตั้ง ทั้งนี้การทดลองได้ทำการจับเวลาการบินบังคับแขนของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ได้ในแต่ละลิ่งค์ ทดลองน้ำหนักของวัตถุที่สามารถยกได้โดยเพิ่มน้ำหนักของวัตถุจนไม่สามารถยกได้ ทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่โดยการจับเวลาในระยะทาง 2 เมตรในพื้นที่ผิวต่างๆ และทดลองวัดมุมของการเลี้ยวทั้งซ้ายและขวาของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ ผลที่ได้คือ หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่สามารถทำงานได้ตามการบินบังคับของ โปรแกรมที่ได้เขียนไว้ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของ โครงสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่จึงทำให้การทำงานในรอบต่อไปของหุ่นยนต์เกิดการคลาดเคลื่อนได้ ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ต้องการได้

ผลการทดลองที่ได้ทำให้สามารถรู้ขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ว่าสามารถทำงานได้ภายในระยะไม่เกิน 5 เมตร หมุนได้ไม่เกิน 180 องศา และยกได้ไม่เกิน 90 องศา ตามการบินบังคับของโปรแกรมที่ได้เขียนไว้ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจากผลการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ซึ่งมีข้อผิดพลาด ดังนั้นจึงมีการศึกษาและพัฒนาข้อดีของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สามารถเป็นต้นแบบในการสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่เพื่อใช้งานได้จริง

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 ปัญหาที่พบจากการทำโครงการ

จากการเริ่มออกแบบสร้างและทำการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่สามารถจำแนกปัญหาออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

- 1) การหาวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ หาได้ยาก เนื่องจากวัสดุอุปกรณ์บางชนิดมีจำนวนจำกัด จึงต้องสั่งซื้อทางอินเทอร์เน็ต
- 2) วัสดุที่ใช้ในการสร้างแขนของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ ทำมาจากอะคริลิก ซึ่งมีลักษณะบางและไม่แข็งแรง จึงมีข้อจำกัดให้ไม่สามารถรับน้ำหนักมากๆ ได้
- 3) การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากล้อของหุ่นยนต์ไม่ตรง จึงต้องมีการตั้งศูนย์ทุกครั้ง หรือรอบของมอเตอร์ไม่เท่ากัน
- 4) การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีกำลังในการขับเคลื่อนน้อย จึงทำให้การเคลื่อนที่บนพื้นผิวบางชนิดไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เนื่องจากหม้อแปลงที่ใช้ให้กระแสต่ำ ทำให้ไม่สามารถใช้ขั้วมอเตอร์ได้มากเท่าที่ควร

### 5.2.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นส่งผลให้การทำงานของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ซึ่งไม่สามารถที่จะเป็นต้นแบบในการสร้างหุ่นยนต์ทำงานจริงได้ จึงมีแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อการพัฒนาต่อดังนี้

- 1) วัสดุอุปกรณ์บางชนิดที่ไม่สามารถหาซื้อได้แต่สามารถประดิษฐ์อุปกรณ์ชนิดนั้นใหม่ได้
- 2) วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแขนของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ ให้มีน้ำหนักเบา แข็งแรง สามารถรับน้ำหนักมากๆ ได้
- 3) เพื่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ ให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ควรที่จะติดตั้งชุดตัวเข้ารหัสแบบหมุน เพื่อจับระยะการหมุนของมอเตอร์
- 4) เพิ่มกำลังในการขับเคลื่อนของมอเตอร์ โดยเปลี่ยนหม้อแปลงให้เป็นแบบ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จะได้กระแสที่มากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นายรัชชัช อัครวิบูลย์กุล“เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง”, บริษัทเจริญรุ่งเรืองการพิมพ์, กรุงเทพฯ
- [2] นายคอนสัน ปงผาบ“ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน 1”สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2549
- [3] [http://www.technican.ac.th/nan\\_ntc/adisak51/page21.html](http://www.technican.ac.th/nan_ntc/adisak51/page21.html)
- [4] <http://www.cncmentor.com/rotary-encoders-and-linear-encoders/>





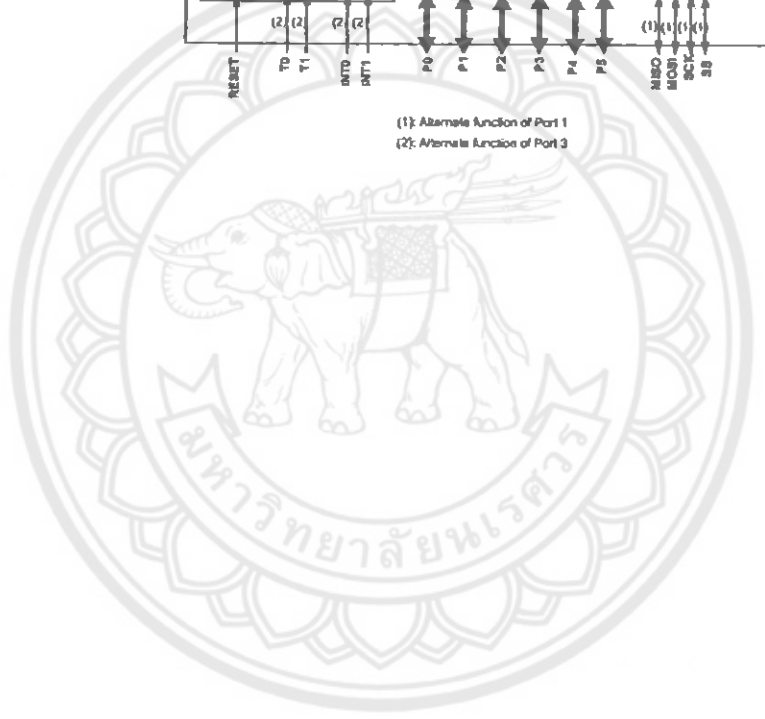
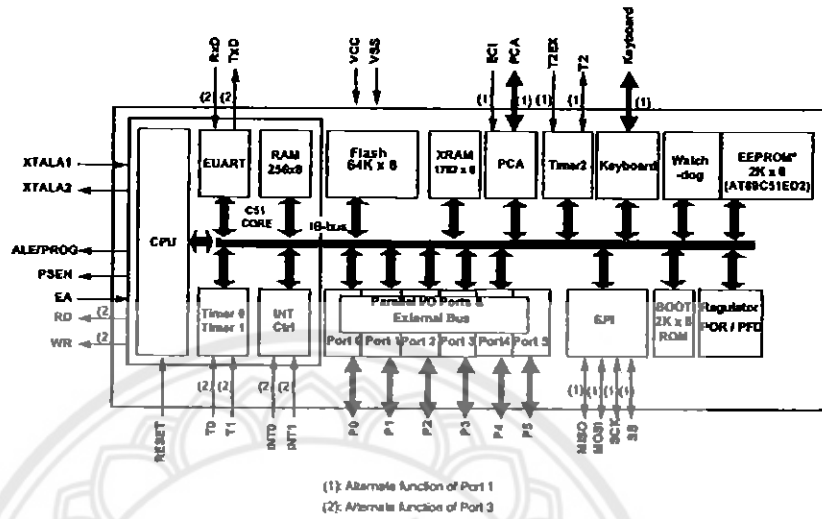
ภาคผนวก ก

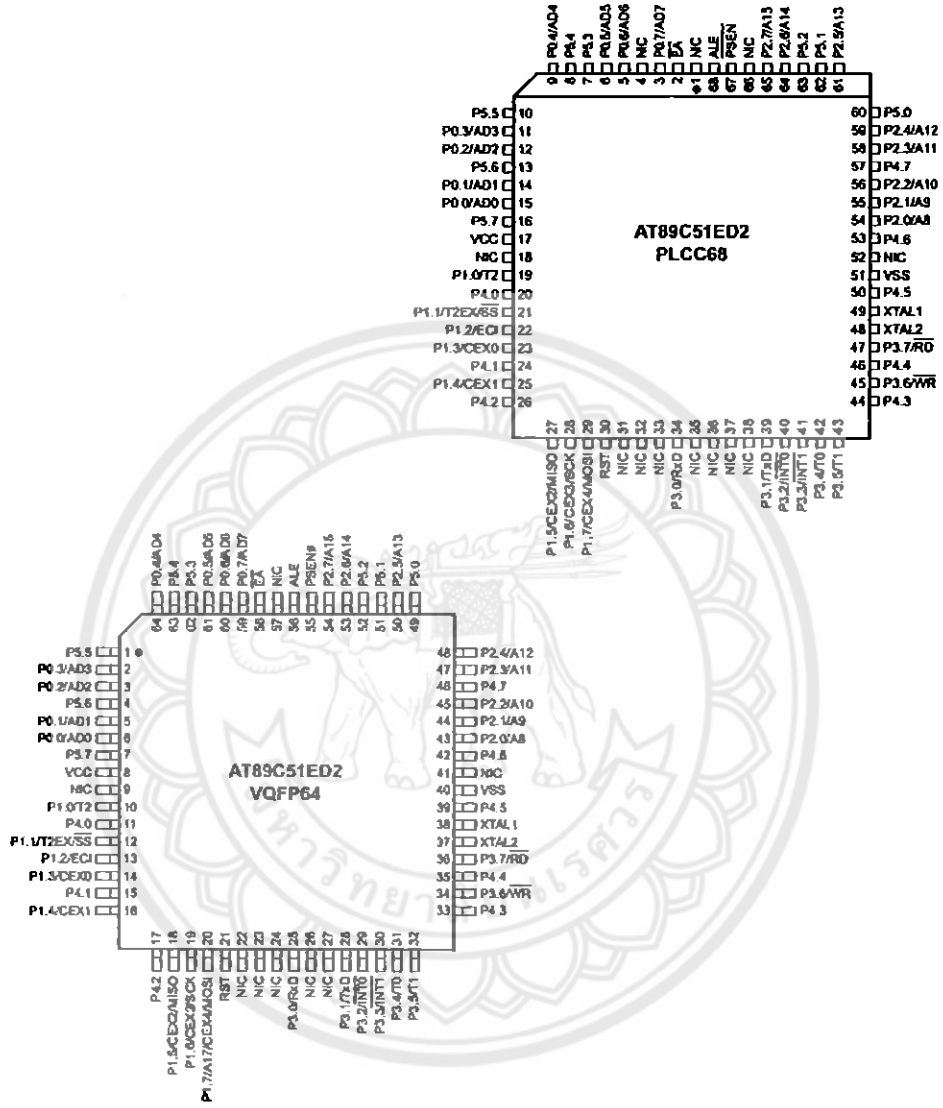
รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น AT89C51RD2

**AT89C51RD2/ED2**

**Block Diagram**

Figure 1. Block Diagram







## AT89C51RD2/ED2

**Table 16. CKCON0 Register**

**CKCON0 - Clock Control Register (8Fh)**

	7	6	5	4	3	2	1	0
-		WDX2	PCAX2	SDX2	T2X2	T1X2	T0X2	X2
<b>Bit Number</b>	<b>Bit</b>	<b>Description</b>						
7	Reserved	The values for this bit are indeterminate. Do not set this bit.						
6	WDX2	<b>Watchdog Clock</b> (This control bit is validated when the CPU clock X2 is set; when X2 is low, this bit has no effect). Cleared to select 6 clock periods per peripheral clock cycle. Set to select 12 clock periods per peripheral clock cycle.						
5	PCAX2	<b>Programmable Counter Array Clock</b> (This control bit is validated when the CPU clock X2 is set; when X2 is low, this bit has no effect). Cleared to select 6 clock periods per peripheral clock cycle. Set to select 12 clock periods per peripheral clock cycle.						
4	SDX2	<b>Enhanced UART Clock (Mode 0 and 2)</b> (This control bit is validated when the CPU clock X2 is set; when X2 is low, this bit has no effect). Cleared to select 6 clock periods per peripheral clock cycle. Set to select 12 clock periods per peripheral clock cycle.						
3	T2X2	<b>Timer2 Clock</b> (This control bit is validated when the CPU clock X2 is set; when X2 is low, this bit has no effect). Cleared to select 6 clock periods per peripheral clock cycle. Set to select 12 clock periods per peripheral clock cycle.						
2	T1X2	<b>Timer1 Clock</b> (This control bit is validated when the CPU clock X2 is set; when X2 is low, this bit has no effect). Cleared to select 6 clock periods per peripheral clock cycle. Set to select 12 clock periods per peripheral clock cycle.						
1	T0X2	<b>Timer0 Clock</b> (This control bit is validated when the CPU clock X2 is set; when X2 is low, this bit has no effect). Cleared to select 6 clock periods per peripheral clock cycle. Set to select 12 clock periods per peripheral clock cycle.						
0	X2	<b>CPU Clock</b> Cleared to select 12 clock periods per machine cycle (STD mode) for CPU and all the peripherals. Set to select 6 clock periods per machine cycle (X2 mode) and to enable the individual peripherals' X2' bits. Programmed by hardware after Power-up regarding Hardware Security Byte (HSB). Default setting, X2 is cleared.						

Reset Value = 0000 000'HSB, X2'b (See "Hardware Security Byte")

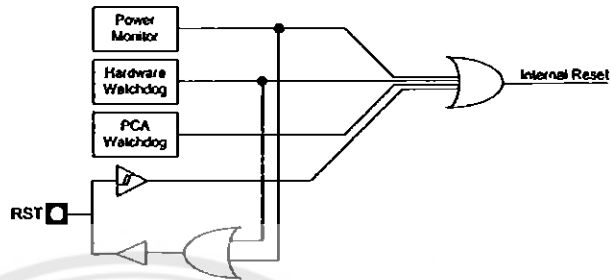
Not bit addressable

**Reset**

**Introduction**

The reset sources are: Power Management, Hardware Watchdog, PCA Watchdog and Reset input.

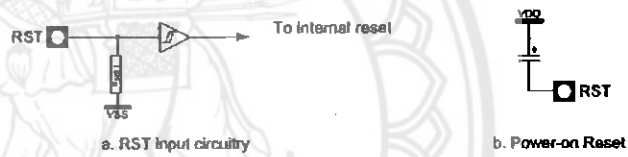
Figure 9. Reset schematic



**Reset Input**

The Reset input can be used to force a reset pulse longer than the internal reset controlled by the Power Monitor. RST input has a pull-down resistor allowing power-on reset by simply connecting an external capacitor to  $V_{CC}$  as shown in Figure 10. Resistor value and input characteristics are discussed in the Section "DC Characteristics" of the AT89C51RD2/ED2 datasheet.

Figure 10. Reset Circuitry and Power-On Reset



## AT89C51RD2/ED2

### Serial I/O Port

The serial I/O port in the AT89C51RD2/ED2 is compatible with the serial I/O port in the 80C52.

It provides both synchronous and asynchronous communication modes. It operates as a Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART) in three full-duplex modes (Modes 1, 2 and 3). Asynchronous transmission and reception can occur simultaneously and at different baud rates.

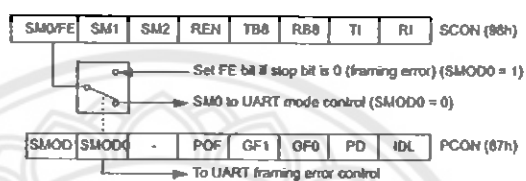
Serial I/O port includes the following enhancements:

- Framing error detection
- Automatic address recognition

### Framing Error Detection

Framing bit error detection is provided for the three asynchronous modes (modes 1, 2 and 3). To enable the framing bit error detection feature, set SMOD0 bit in PCON register (See Figure 22).

Figure 22. Framing Error Block Diagram



When this feature is enabled, the receiver checks each incoming data frame for a valid stop bit. An invalid stop bit may result from noise on the serial lines or from simultaneous transmission by two CPUs. If a valid stop bit is not found, the Framing Error bit (FE) in SCON register (See Table 33.) bit is set.

Software may examine FE bit after each reception to check for data errors. Once set, only software or a reset can clear FE bit. Subsequently received frames with valid stop bits cannot clear FE bit. When FE feature is enabled, RI rises on stop bit instead of the last data bit (See Figure 23. and Figure 24.).

Figure 23. UART Timings in Mode 1

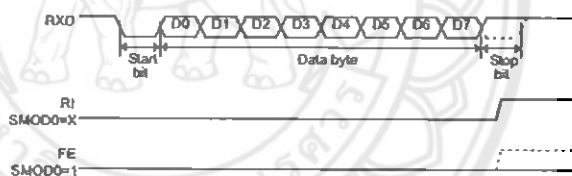
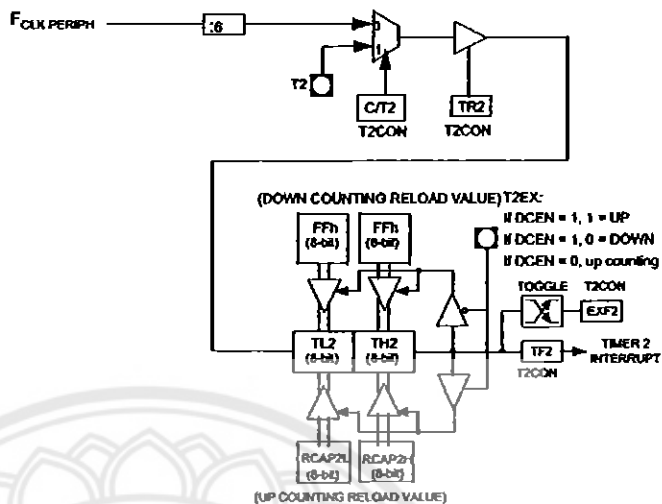




Figure 14. Auto-reload Mode Up/Down Counter (DCEN = 1)



### Programmable Clock-output

In the clock-out mode, Timer 2 operates as a 50% duty-cycle, programmable clock generator (See Figure 15). The input clock increments TL2 at frequency  $F_{CLK\_PERIPH}/2$ . The timer repeatedly counts to overflow from a loaded value. At overflow, the contents of RCAP2H and RCAP2L registers are loaded into TH2 and TL2. In this mode, Timer 2 overflows do not generate interrupts. The formula gives the clock-out frequency as a function of the system oscillator frequency and the value in the RCAP2H and RCAP2L registers:

$$\text{Clock-Output Frequency} = \frac{F_{CLK\_PERIPH}}{4 \times (65536 - RCAP2H/RCAP2L)}$$

For a 16 MHz system clock, Timer 2 has a programmable frequency range of 61 Hz ( $F_{CLK\_PERIPH}/2^{16}$ ) to 4 MHz ( $F_{CLK\_PERIPH}/4$ ). The generated clock signal is brought out to T2 pin (P1.0).

Timer 2 is programmed for the clock-out mode as follows:

- Set T2OE bit in T2MOD register.
- Clear C/T2 bit in T2CON register.
- Determine the 16-bit reload value from the formula and enter it in RCAP2H/RCAP2L registers.
- Enter a 16-bit initial value in timer registers TH2/TL2. It can be the same as the reload value or a different one depending on the application.
- To start the timer, set TR2 run control bit in T2CON register.

It is possible to use Timer 2 as a baud rate generator and a clock generator simultaneously. For this configuration, the baud rates and clock frequencies are not independent since both functions use the values in the RCAP2H and RCAP2L registers.

## AT89C51RD2/ED2

### Timer 2

The Timer 2 in the AT89C51RD2/ED2 is the standard C52 Timer 2. It is a 16-bit timer/counter: the count is maintained by two eight-bit timer registers, TH2 and TL2 are cascaded. It is controlled by T2CON (Table 20) and T2MOD (Table 21) registers. Timer 2 operation is similar to Timer 0 and Timer 1. C/T2 selects  $F_{osc}/12$  (timer operation) or external pin T2 (counter operation) as the timer clock input. Setting TR2 allows TL2 to increment by the selected input.

Timer 2 has 3 operating modes: capture, autoreload and Baud Rate Generator. These modes are selected by the combination of RCLK, TCLK and CP/RL2 (T2CON).

Refer to the Atmel 8-bit Microcontroller Hardware Manual for the description of Capture and Baud Rate Generator Modes.

Timer 2 includes the following enhancements:

- Auto-reload mode with up or down counter
- Programmable clock-output

### Auto-reload Mode

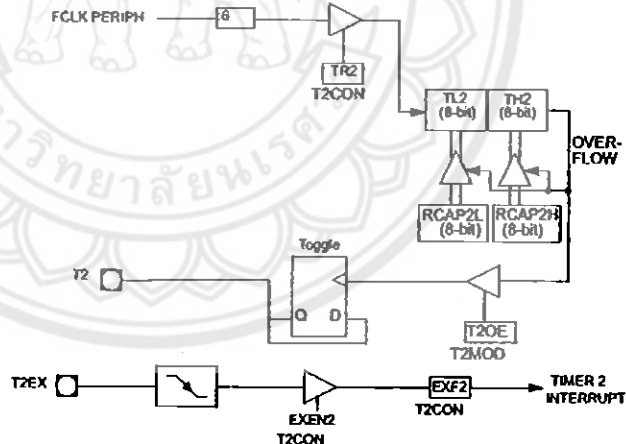
The auto-reload mode configures Timer 2 as a 16-bit timer or event counter with automatic reload. If DCEN bit in T2MOD is cleared, Timer 2 behaves as in 80C52 (refer to the Atmel C51 Microcontroller Hardware Manual). If DCEN bit is set, Timer 2 acts as an Up/down timer/counter as shown in Figure 14. In this mode the T2EX pin controls the direction of count.

When T2EX is high, Timer 2 counts up. Timer overflow occurs at FFFFh which sets the TF2 flag and generates an interrupt request. The overflow also causes the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L registers to be loaded into the timer registers TH2 and TL2.

When T2EX is low, Timer 2 counts down. Timer underflow occurs when the count in the timer registers TH2 and TL2 equals the value stored in RCAP2H and RCAP2L registers. The underflow sets TF2 flag and reloads FFFFh into the timer registers.

The EXF2 bit toggles when Timer 2 overflows or underflows according to the direction of the count. EXF2 does not generate any interrupt. This bit can be used to provide 17-bit resolution.

Figure 15. Clock-out Mode C/T2 = 0







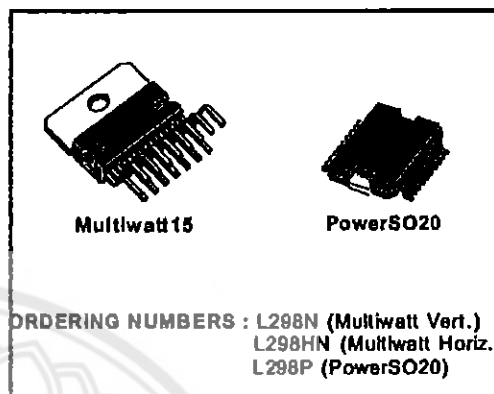
L298

## DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

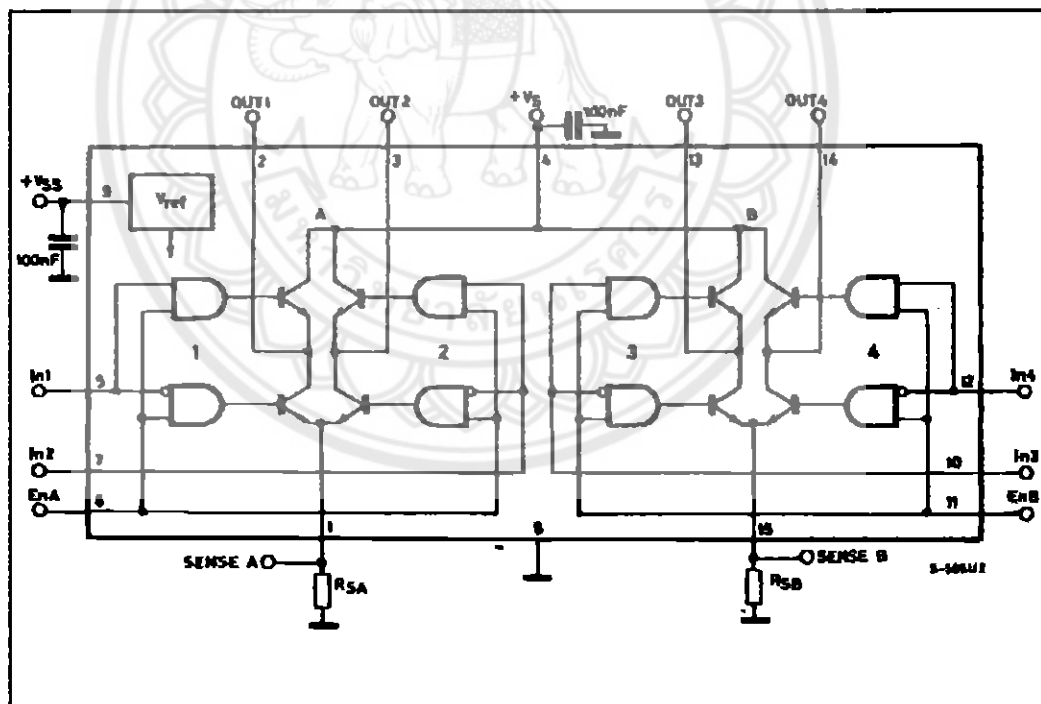
## DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

## BLOCK DIAGRAM

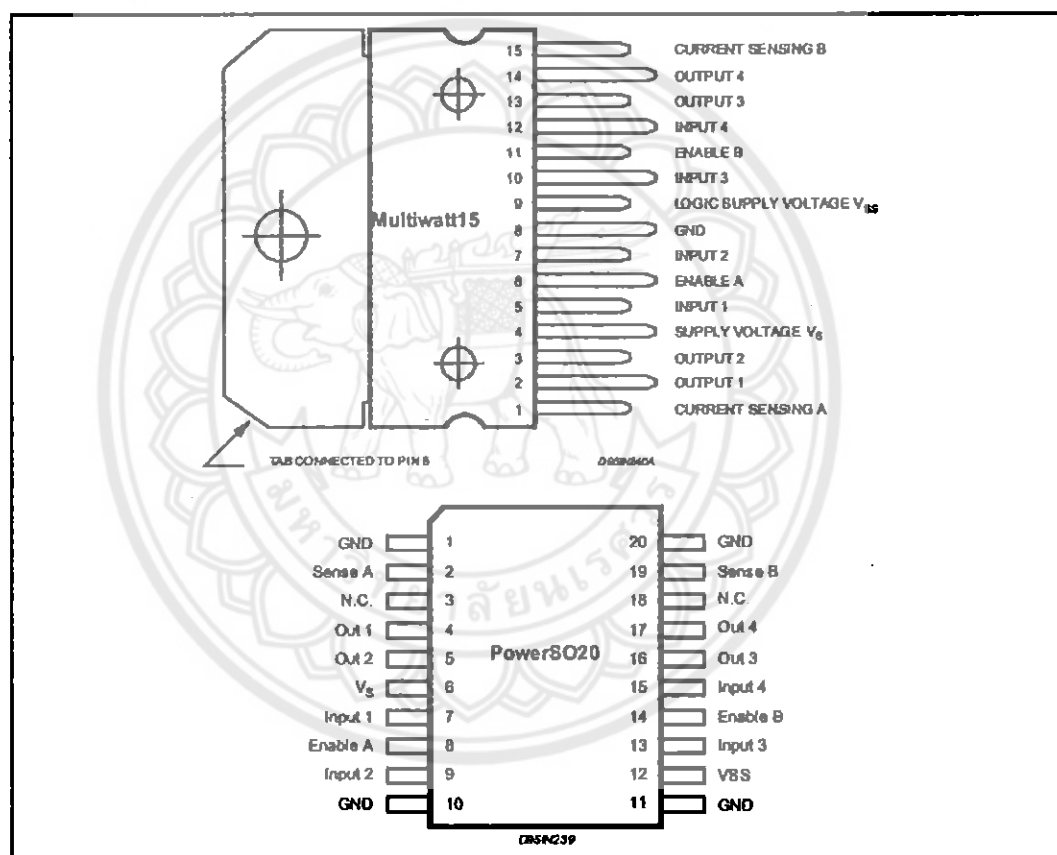


## L298

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_S$	Power Supply	50	V
$V_{SS}$	Logic Supply Voltage	7	V
$V_i, V_{en}$	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
$I_o$	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ( $t = 100\mu s$ )	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$ )	2.5	A
	-DC Operation	2	A
$V_{sense}$	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation ( $T_{case} = 75^\circ C$ )	25	W
$T_{op}$	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
$T_{stg}, T_j$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

## PIN CONNECTIONS (top view)



## THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	$^\circ C/W$
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	$^\circ C/W$

(\*) Mounted on aluminum substrate



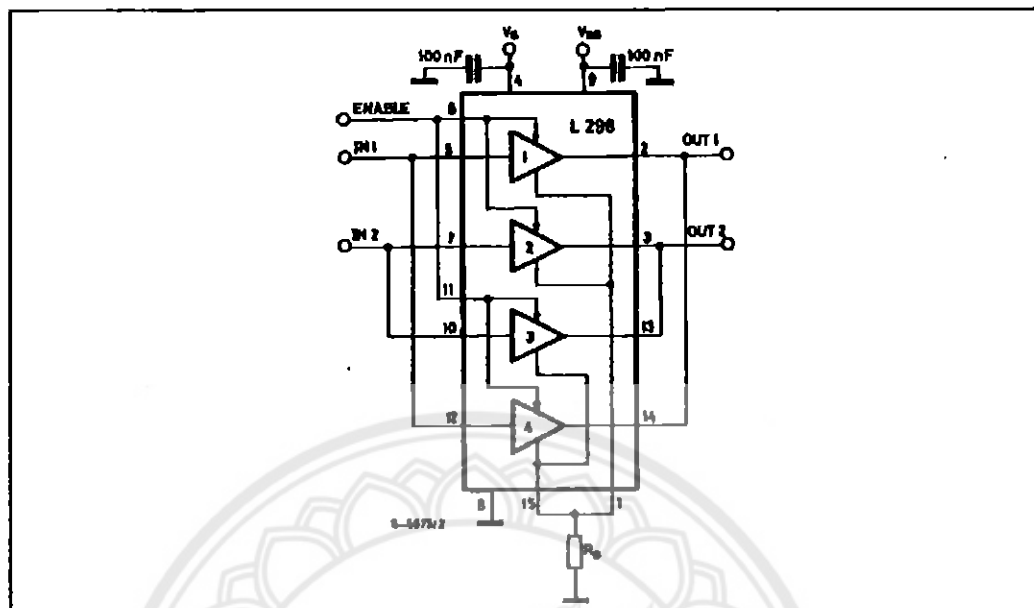
## PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;16	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V <sub>S</sub>	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;16	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 16.
—	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>S</sub> = 42V; V<sub>SS</sub> = 5V, T<sub>J</sub> = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V <sub>S</sub>	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V <sub>IH</sub> +2.5		46	V
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I <sub>S</sub>	Quiescent Supply Current (pin 4)	V <sub>en</sub> = H; I <sub>L</sub> = 0		13	22	mA
		V <sub>i</sub> = L		50	70	mA
		V <sub>i</sub> = H			4	mA
I <sub>SS</sub>	Quiescent Current from V <sub>SS</sub> (pin 9)	V <sub>en</sub> = L; I <sub>L</sub> = 0		24	36	mA
		V <sub>i</sub> = L		7	12	mA
		V <sub>i</sub> = H			6	mA
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>IL</sub>	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>i</sub> = L			-10	μA
I <sub>IH</sub>	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>i</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>en</sub> = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V <sub>en</sub> = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>en</sub> = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = L			-10	μA
I <sub>en</sub> = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>CEsat(H)</sub>	Source Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A I <sub>L</sub> = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V
V <sub>CEsat(L)</sub>	Sink Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V
V <sub>CEsat</sub>	Total Drop	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V
V <sub>sens</sub>	Sensing Voltage (pins 1, 16)		-1 (1)		2	V

Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



#### APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

##### 1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor ( $R_{SA}$ ;  $R_{SB}$ ) allows to detect the intensity of this current.

##### 1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are  $In1$ ;  $In2$ ;  $EnA$  and  $In3$ ;  $In4$ ;  $EnB$ . The  $In$  inputs set the bridge state when The  $En$  input is high; a low state of the  $En$  input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

##### 2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both  $V_s$  and  $V_{ss}$ , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of  $V_s$  that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

##### 3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ( $t_r \leq 200$  nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

**L298**

This solution can drive until 3 Amps in DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 9 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

**Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.**

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

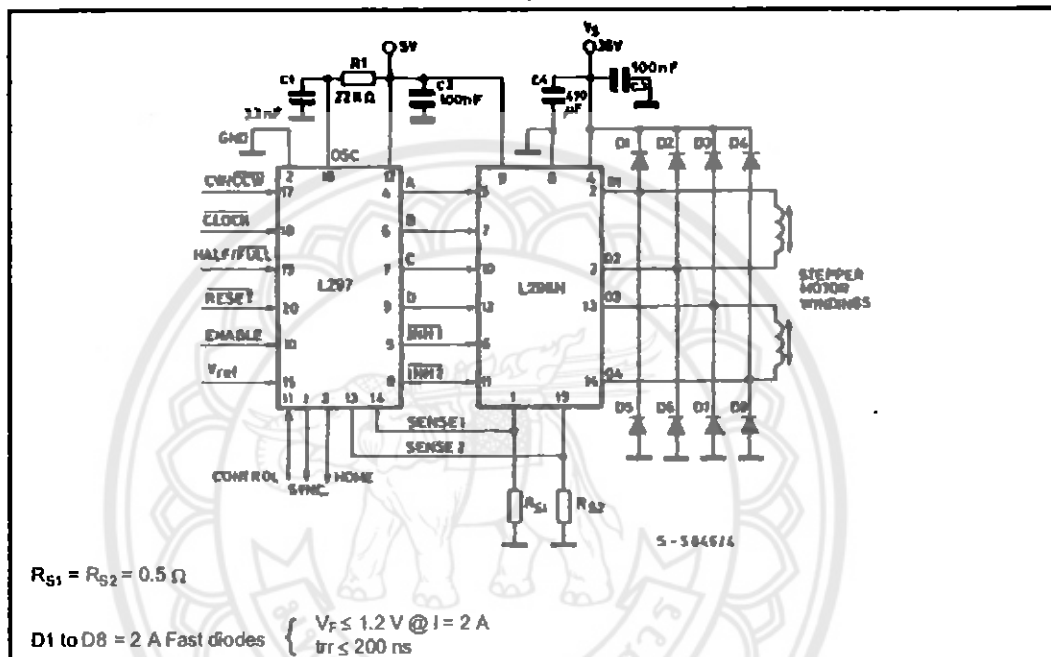


Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

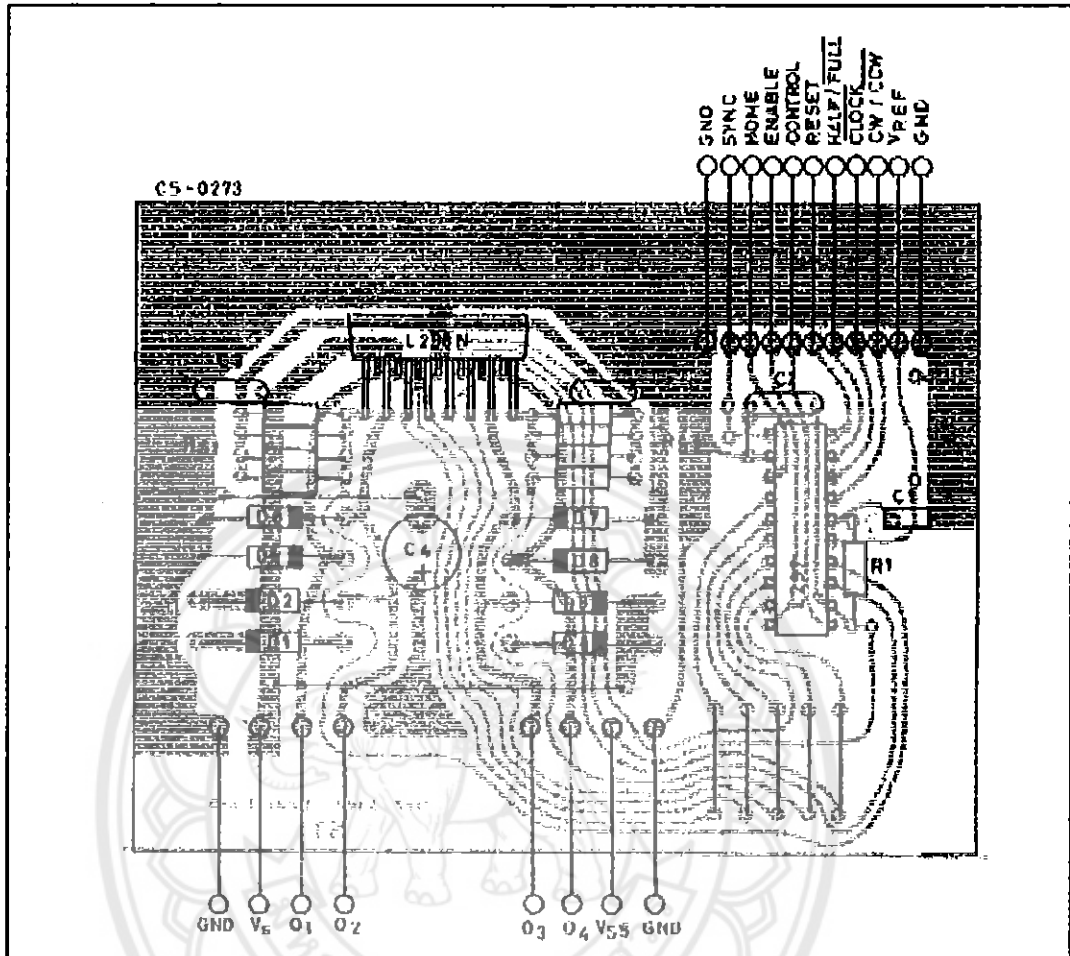
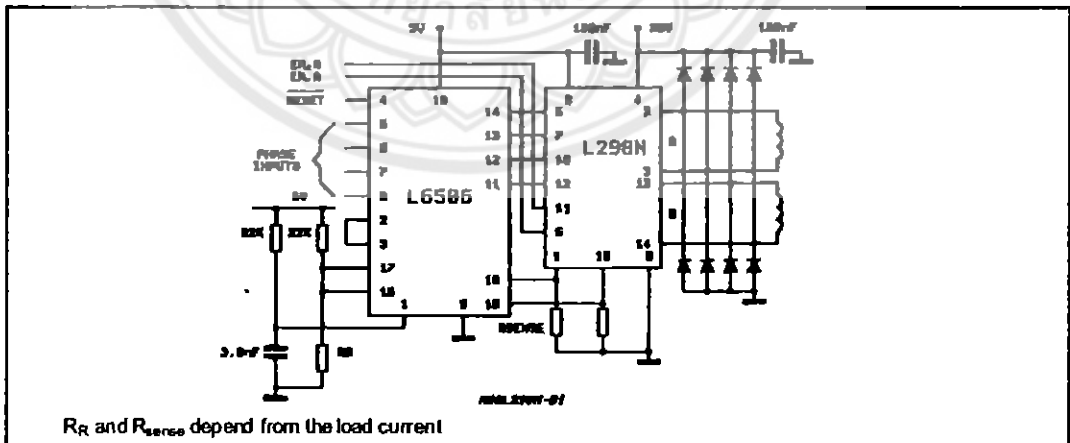


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6586.





# OMRON

## Miniature Basic Switch

### V

### Reliable Basic Switches in a Wide Variation

- Wide variation of best-selling microswitches with switching currents of 10 to 21 A.
- Can be used for interrupting current when doors are opened or closed.
- Available in two types of cases: thermoplastic resin and thermosetting resin.



RoHS

### Ordering Information

#### Model Number Legend

V-□□□-□□□□-□  
1 2 3 4 5 6 7 8

- |  |  |
|--|--|
| <p><b>1. Ratings</b><br/>           21: 21 A at 250 VAC<br/>           16: 16 A at 250 VAC<br/>           15: 15 A at 250 VAC<br/>           11: 11 A at 250 VAC<br/>           10: 10 A at 250 VAC</p> <p><b>2. Contact Gap</b><br/>           None: 1 mm (F gap)<br/>           G: 0.5 mm (G gap) (for remodelling)</p> <p><b>3. Actuator</b><br/>           None: Pin plunger<br/>           1: Short hinge lever<br/>           2: Hinge lever<br/>           3: Long hinge lever<br/>           4: Simulated roller lever<br/>           5: Short hinge roller lever<br/>           6: Hinge roller lever</p> <p><b>4. Contact Form</b><br/>           1: SPDT (COM bottom terminal, double-throw)<br/>           2: SPST-NC (COM bottom terminal, normally closed)<br/>           3: SPST-NO (COM bottom terminal, normally open)<br/>           4: SPDT (COM side terminal, double-throw)<br/>           5: SPST-NC (COM side terminal, normally closed)<br/>           6: SPST-NO (COM side terminal, normally open)</p> | <p><b>5. Terminals</b><br/>           A: Solder/quick-connect terminal (#187)<br/>           C2: Quick-connect terminal (#187)<br/>           C: Quick-connect terminal (#250)<br/>           B: Screw terminal</p> <p><b>6. Barrier (Models with Thermoplastic Case Only)</b><br/>           None: Without barrier<br/>           R: Right-hand barrier<br/>           L: Left-hand barrier</p> <p><b>7. Operating Force max.</b><br/>           6: 3.02 N (300 gf)<br/>           5: 1.06 N (100 gf)<br/>           4: 0.98 N (100 gf)</p> <p>Note: These values are for the pin plunger models.</p> <p><b>8. Special Purpose (Models with Thermosetting Case Only)</b><br/>           T: Heat-resistant</p> |
|--|--|

■ Combinations of Available Terminals

Terminal				Thermoplastic case			Thermoelectric case						
COM terminal position	Insulation barrier	Heat resistance	Terminal symbol	Model	V-21			V-16		V-11			
				Rated current	21 A	V-16		V-11		V-16		V-11	
				OF	21 A (400 gf)	16 A (400 gf)	16 A (200 gf)	11 A (100 gf)	16 A (400 gf)	16 A (200 gf)	16 A (200 gf)	11 A (100 gf)	
Bottom	No	Standard (90°C)	Solder/Quick-connect terminal (#187) (A)	—	Semi-standard	Standard	Standard	Standard	Semi-standard	Standard	Standard	Standard	
			Quick-connect terminal (#187) (C2)	—	Semi-standard	Standard	Standard	Semi-standard	Standard	Standard	Standard	Standard	
			Quick-connect terminal (#250) (C)	Standard	Semi-standard	Standard	Standard	Semi-standard	Semi-standard	Standard	Semi-standard	Semi-standard	Semi-standard
			Screw terminal (B)	—	—	—	Semi-standard (1.96 N)	Semi-standard	Standard	Standard	Standard	Standard	
			Heat resistant (157°C)	Solder/Quick-connect terminal (#187) (A)	—	—	—	—	Semi-standard	Standard	Standard	Standard	Standard
				Quick-connect terminal (#187) (C2)	—	—	—	—	Semi-standard	Semi-standard	Semi-standard	Semi-standard	Semi-standard
	Quick-connect terminal (#250) (C)	—		—	—	—	—	—	—	—	—		
	Screw terminal (B)	—		—	—	—	—	—	—	—	—		
	Yes	Standard (90°C)	Solder/Quick-connect terminal (#187) (A)	—	Semi-standard	Standard	—	—	—	—	—	—	
			Quick-connect terminal (#187) (C2)	—	Semi-standard	Standard	—	—	—	—	—	—	
			Quick-connect terminal (#250) (C)	Standard	Semi-standard	Standard	—	—	—	—	—	—	
						—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—			
			—	—	—	—	—	—	—	—			
Side	No	Standard (90°C)	Solder/Quick-connect terminal (#187) (A)	—	—	—	—	Semi-standard	Standard	Standard	Standard		
			Quick-connect terminal (#187) (C2)	—	—	—	—	Semi-standard	Semi-standard	Semi-standard	Semi-standard		
			Quick-connect terminal (#250) (C)	Semi-standard	—	—	—	—	—	—	—		
						—	—	—	—	—	—	—	











Consult OMRON for standard approvals of models.

■ List of Models











General-purpose Models

(Only standard combinations of terminal availability are shown.)

Thermoplastic Case

Actuator	COM terminal position	Contact form	Terminals (see note)	21 A (OF: 3.92 N (400 gf))		
				Without barrier	Right-hand barrier	Left-hand barrier
Pin plunger 	Bottom	SPDT	C			
				V-21-1C8	V-21-1CR8	V-21-1CL8
				V-21-2C8	V-21-2CR8	V-21-2CL8
Short hinge lever 		SPST-NO		V-21-3C8	V-21-3CR8	V-21-3CL8
				V-211-1C8	V-211-1CR8	V-211-1CL8
Hinge lever 				V-212-1C8	V-212-1CR8	V-212-1CL8
Long hinge lever 				V-213-1C8	V-213-1CR8	V-213-1CL8
Simulated roller lever 				V-214-1C8	V-214-1CR8	V-214-1CL8
Short hinge roller lever 				V-215-1C8	V-215-1CR8	V-215-1CL8
Hinge roller lever 				V-216-1C8	V-216-1CR8	V-216-1CL8









Note: C: Quick-connect terminals (#250)

Actuator	COM terminal position	Contact form	Terminals (see note)	18 A (OF: 1.96 N (200 gf))		
				Without barrier 	Right-hand barrier 	Left-hand barrier 
Pin plunger 	Bottom	SPDT	A	V-18-1A5	V-18-1AR5	V-18-1AL5
			C2	V-18-1C25	V-18-1C2R5	V-18-1C2L5
			C	V-18-1C5	—	—
		SPST-NO	A	V-18-2A5	V-18-2AR5	V-18-2AL5
			C2	V-18-2C25	V-18-2C2R5	V-18-2C2L5
			C	V-18-2C5	—	—
		SPST-NO	A	V-18-3A5	V-18-3AR5	V-18-3AL5
			C2	V-18-3C25	V-18-3C2R5	V-18-3C2L5
			C	V-18-3C5	—	—
Short hinge lever 	Bottom	SPDT	A	V-181-1A5	V-181-1AR5	V-181-1AL5
C2			V-181-1C25	V-181-1C2R5	V-181-1C2L5	
C			V-181-1C5	—	—	
Hinge lever 		A	V-182-1A5	V-182-1AR5	V-182-1AL5	
		C2	V-182-1C25	V-182-1C2R5	V-182-1C2L5	
		C	V-182-1C5	—	—	
Long hinge lever 		A	V-183-1A5	V-183-1AR5	V-183-1AL5	
		C2	V-183-1C25	V-183-1C2R5	V-183-1C2L5	
		C	V-183-1C5	—	—	
Simulated roller lever 		A	V-184-1A5	V-184-1AR5	V-184-1AL5	
		C2	V-184-1C25	V-184-1C2R5	V-184-1C2L5	
		C	V-184-1C5	—	—	
Short hinge roller lever 		A	V-185-1A5	V-185-1AR5	V-185-1AL5	
		C2	V-185-1C25	V-185-1C2R5	V-185-1C2L5	
		C	V-185-1C5	—	—	
Hinge roller lever 		A	V-186-1A5	V-186-1AR5	V-186-1AL5	
		C2	V-186-1C25	V-186-1C2R5	V-186-1C2L5	
		C	V-186-1C5	—	—	

Note: A: Solder/quick-connect terminals (#187)  
 C2: Quick-connect terminals (#187)  
 C: Quick-connect terminals (#250)










V ————— OMRON ————— V

Actuator	COM terminal position	Contact form	Terminals (see note)	11 A (OF: 0.98 N (106 gf))
				Without barrier 
Pin plunger 	Bottom	SPDT	A	V-11-1A4
			C2	V-11-1C24
			C	V-11-1C4
Short hinge lever 			A	V-111-1A4
			C2	V-111-1C24
			C	V-111-1C4
Hinge lever 			A	V-112-1A4
	C2	V-112-1C24		
	C	V-112-1C4		
Long hinge lever 	A	V-113-1A4		
	C2	V-113-1C24		
	C	V-113-1C4		
Simulated roller lever 	A	V-114-1A4		
	C2	V-114-1C24		
	C	V-114-1C4		
Short hinge roller lever 	A	V-115-1A4		
	C2	V-115-1C24		
	C	V-115-1C4		
Hinge roller lever 	A	V-116-1A4		
	C2	V-116-1C24		
	C	V-116-1C4		

Note: A: Solder/quick-connect terminals (#187)  
 C2: Quick-connect terminals (#187)  
 C: Quick-connect terminals (#250)








## Thermosetting Case

Actuator	COM terminal position	Contact form	Terminals (see note 1)	15 A		10 A	
				OF: 1.96 N (200 gf)	OF: 1.96 N (200 gf)	OF: 0.98 N (100 gf)	
Pin plunger 	Bottom	SPDT	A	V-15-1A5	V-10-1A5	V-10-1A4	
			C2	V-15-1C25	V-10-1C25	V-10-1C24	
			B	V-15-1B5	V-10-1B5	V-10-1B4	
		SPST-NC	A	V-15-2A5	V-10-2A5	V-10-2A4	
			C2	V-15-2C25	V-10-2C25	V-10-2C24	
			B	V-15-2B5	V-10-2B5	V-10-2B4	
		SPST-NO	A	V-15-3A5	V-10-3A5	V-10-3A4	
			C2	V-15-3C25	V-10-3C25	V-10-3C24	
			B	V-15-3B5	V-10-3B5	V-10-3B4	
	Side	SPDT	A	V-15-4A5	V-10-4A5	V-10-4A4	
			C2	V-15-4C25	V-10-4C25	V-10-4C24	
			B	V-15-4B5	V-10-4B5	V-10-4B4	
Short hinge lever 	Bottom	SPDT	A	V-151-1A5	V-101-1A5	V-101-1A4	
			C2	V-151-1C25	V-101-1C25	V-101-1C24	
			B	V-151-1B5	V-101-1B5	V-101-1B4	
			A	V-152-1A5	V-102-1A5	V-102-1A4	
			C2	V-152-1C25	V-102-1C25	V-102-1C24	
			B	V-152-1B5	V-102-1B5	V-102-1B4	
			A	V-153-1A5	V-103-1A5	V-103-1A4	
			C2	V-153-1C25	V-103-1C25	V-103-1C24	
			B	V-153-1B5	V-103-1B5	V-103-1B4	
			A	V-154-1A5	V-104-1A5	V-104-1A4	
			C2	V-154-1C25	V-104-1C25	V-104-1C24	
			B	V-154-1B5	V-104-1B5	V-104-1B4	
			A	V-155-1A5	V-105-1A5	V-105-1A4	
			C2	V-155-1C25	V-105-1C25	V-105-1C24	
			B	V-155-1B5	V-105-1B5	V-105-1B4	
			A	V-156-1A5	V-106-1A5	V-106-1A4	
			C2	V-156-1C25	V-106-1C25	V-106-1C24	
			B	V-156-1B5	V-106-1B5	V-106-1B4	
Hinge lever 	Bottom	SPDT	A	V-152-1A5	V-102-1A5	V-102-1A4	
C2			V-152-1C25	V-102-1C25	V-102-1C24		
B			V-152-1B5	V-102-1B5	V-102-1B4		
A			V-153-1A5	V-103-1A5	V-103-1A4		
C2			V-153-1C25	V-103-1C25	V-103-1C24		
B			V-153-1B5	V-103-1B5	V-103-1B4		
Long hinge lever 	Bottom	SPDT	A	V-153-1A5	V-103-1A5	V-103-1A4	
C2			V-153-1C25	V-103-1C25	V-103-1C24		
B			V-153-1B5	V-103-1B5	V-103-1B4		
A			V-154-1A5	V-104-1A5	V-104-1A4		
C2			V-154-1C25	V-104-1C25	V-104-1C24		
B			V-154-1B5	V-104-1B5	V-104-1B4		
Simulated roller lever 	Bottom	SPDT	A	V-154-1A5	V-104-1A5	V-104-1A4	
C2			V-154-1C25	V-104-1C25	V-104-1C24		
B			V-154-1B5	V-104-1B5	V-104-1B4		
A			V-155-1A5	V-105-1A5	V-105-1A4		
C2			V-155-1C25	V-105-1C25	V-105-1C24		
B			V-155-1B5	V-105-1B5	V-105-1B4		
Short hinge roller lever 	Bottom	SPDT	A	V-155-1A5	V-105-1A5	V-105-1A4	
C2			V-155-1C25	V-105-1C25	V-105-1C24		
B			V-155-1B5	V-105-1B5	V-105-1B4		
A			V-156-1A5	V-106-1A5	V-106-1A4		
C2			V-156-1C25	V-106-1C25	V-106-1C24		
B			V-156-1B5	V-106-1B5	V-106-1B4		
Hinge roller lever 	Bottom	SPDT	A	V-156-1A5	V-106-1A5	V-106-1A4	
C2			V-156-1C25	V-106-1C25	V-106-1C24		
B			V-156-1B5	V-106-1B5	V-106-1B4		

Note: 1. A: Solder/quick-connect terminals (#187)  
 C2: Quick-connect terminals (#187)  
 B: Screw terminals

2. OF values shown in the table are for the pin plunger models.

**Heat Resistant Models (Up to 160°C)**

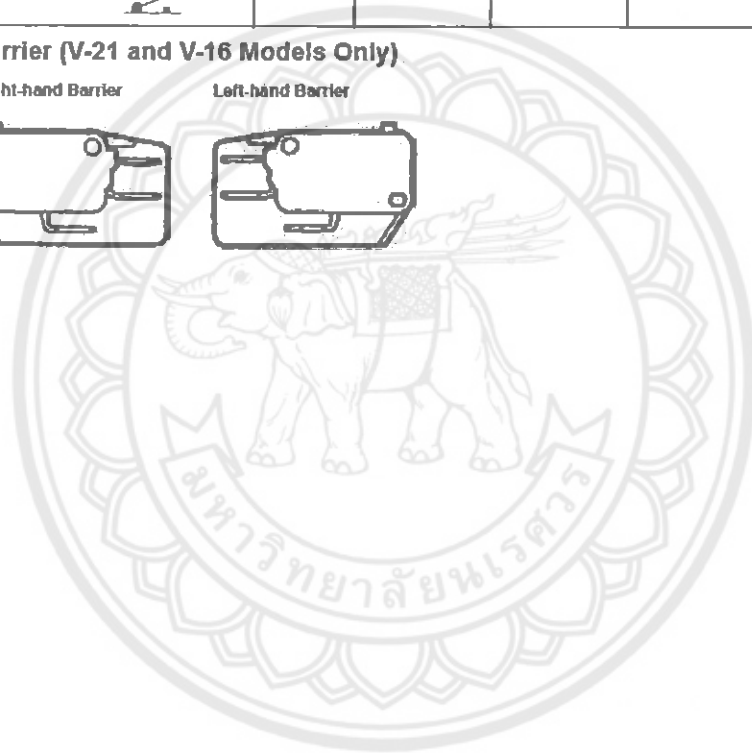
Actuator	COM terminal position	Contact specifications	Terminal specification	15 A	10 A
				OF: 1.96 N (200 gf)	OF: 0.98 N (100 gf)
Pin plunger 	Bottom	SPDT	Solder/Quick-connect terminal (#187) (A)	V-15-1A5-T	V-10-1A4-T
Short hinge lever 				V-151-1A5-T	V-101-1A4-T
Hinge lever 				V-152-1A5-T	V-102-1A4-T
Long hinge lever 				V-153-1A5-T	V-103-1A4-T
Simulated roller lever 				V-154-1A5-T	V-104-1A4-T
Short hinge roller lever 				V-155-1A5-T	V-105-1A4-T
Hinge roller lever 				V-158-1A5-T	V-106-1A4-T

■ **Barrier (V-21 and V-16 Models Only)**

Right-hand Barrier



Left-hand Barrier



## Specifications

### ■ Ratings

Type	Rated voltage	Non-inductive load				Inductive load			
		Resistive load		Lamp load		Inductive load		Motor load	
		NC	NO	NC	NO	NC	NO	NC	NO
V-21	250 VAC	21 A		3 A		12 A		4 A	
	8 VDC	21 A		5 A		12 A		7 A	
	30 VDC	14 A		5 A		12 A		5 A	
	125 VDC	0.6 A		0.1 A		0.6 A		0.1 A	
	250 VDC	0.3 A		0.05 A		0.3 A		0.05 A	
V-16	250 VAC	16 A		2 A		10 A		3 A	
	8 VDC	16 A		4 A		10 A		6 A	
	30 VDC	10 A		4 A		10 A		4 A	
	125 VDC	0.6 A		0.1 A		0.6 A		0.1 A	
	250 VDC	0.3 A		0.05 A		0.3 A		0.05 A	
V-15	250 VAC	15 A		2 A		10 A		3 A	
	8 VDC	15 A		4 A		10 A		6 A	
	30 VDC	10 A		4 A		10 A		4 A	
	125 VDC	0.6 A		0.1 A		0.6 A		0.1 A	
	250 VDC	0.3 A		0.05 A		0.3 A		0.05 A	
V-11	250 VAC	11 A		1.5 A		6 A		2 A	
	8 VDC	11 A		3 A		6 A		3 A	
	30 VDC	6 A		3 A		6 A		3 A	
	125 VDC	0.6 A		0.1 A		0.6 A		0.1 A	
	250 VDC	0.3 A		0.05 A		0.3 A		0.05 A	
V-10	250 VAC	10 A		1.5 A		6 A		2 A	
	8 VDC	10 A		3 A		6 A		3 A	
	30 VDC	6 A		3 A		6 A		3 A	
	125 VDC	0.6 A		0.1 A		0.6 A		0.1 A	
	250 VDC	0.3 A		0.05 A		0.3 A		0.05 A	

- Note:**
1. The above current values are the normal current values of models with a contact gap of 1 mm (gap F), which vary with the normal current values of models with a contact gap of 0.5 mm (gap G).
  2. Inductive load has a power factor of 0.4 min. (AC) and a time constant of 7 ms max. (DC).
  3. Lamp load has an inrush current of 10 times the steady-state current.
  4. Motor load has an inrush current of 6 times the steady-state current.
  5. The ratings values apply under the following test conditions:  
 Ambient temperature: 20±2°C  
 Ambient humidity: 65±5%  
 Operating frequency: 60 operations/min

### ■ Characteristics

Operating speed	0.1 mm to 1 m/s (at pin plunger models)
Operating frequency	Mechanical: 600 operations/min Electrical: 60 operations/min
Insulation resistance	100 MΩ min. (at 500 VDC)
Contact resistance	15 mΩ max. (initial value)
Dielectric strength	1,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min between terminals of the same polarity V-21, V-16, and V-11 models: 2,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min between current-carrying metal parts and ground, and between each terminal and non-current-carrying metal parts (see note 1) V-15 and V-10 models: 1,500 VAC, 50/60 Hz for 1 min between current-carrying metal parts and ground, and between each terminal and non-current-carrying metal parts (see note 1)
Vibration resistance (see note 2)	Malfunction: 10 to 55 Hz, 1.5-mm double amplitude
Shock resistance (see note 2)	Destruction: 1,000 m/s <sup>2</sup> (approx. 100G) max. Malfunction: V-21/V-16/V-15: 300 m/s <sup>2</sup> (approx. 30G) max. V-11/V-10: 200 m/s <sup>2</sup> (approx. 20G) max.
Life expectancy (see note 3)	Mechanical: 50,000,000 operations min. Electrical: V-21/V-16/V-15: 100,000 operations min. (V-15 heat resistive: 20,000 operation min.) V-11/V-10: 300,000 operations min. (V-10 heat resistive: 50,000 operation min.)
Degree of protection	IP00
Degree of protection against electric shock	Class I
Proof tracking index (PTI)	175
Ambient temperature	Operating: -25°C to 80°C (at ambient humidity of 60% max.) (with no icing) -25°C to 150°C for heat-resistive model (at ambient humidity of 60% max.) (with no icing)
Ambient humidity	Operating: 85% max. (for 5°C to 35°C)
Weight	Approx. 6.2 g (pin plunger model)

- Note:**
1. The dielectric strength values shown in the table are for models with a Separator.
  2. For the pin plunger models, the above values apply for use at both the free position and total travel position. For the lever models, they apply at the total travel position.
  3. For testing conditions, contact your OMRON sales representative.

### ■ Approved Standards

UL1054 (File No. E41515) CSA C22.2 No.55 (File No. LR21642)  
(Standard Ratings Only is listed.)

Rated voltage	V-21	V-16	V-15	V-11	V-10
125 VAC	21 A, 1/2 HP	16 A, 1/2 HP	15 A, 1/2 HP	11 A, 1/3 HP	10 A, 1/3 HP
250 VAC	21 A, 1/2 HP	16 A, 1/2 HP	15 A, 1/2 HP	11 A, 1/3 HP	10 A, 1/3 HP
125 VDC	0.6 A	0.6 A	0.6 A	0.6 A	0.6 A
250 VDC	0.3 A	0.3 A	0.3 A	0.3 A	0.3 A

VDE, EN61058-1 (File No. 129608)

Rated voltage	V-21	V-16	V-11
250 VAC	20 (4) A	16 (4) A	11 (3) A

Testing conditions: 50,000 operations, T105 (0°C to 105°C)

TÜV Rheinland EN61058-1 (File No. T9451451)

Rated voltage	V-15	V-10
250 VAC	15 A	10 A
250 VDC	0.3 A	0.3 A

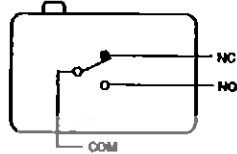
Testing conditions: SE4 (50,000 operations), T105 (0°C to 105°C)

■ Contact Specifications

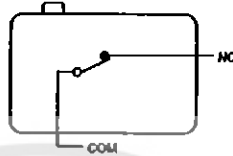
Item		V-21	V-16	V-15	V-11	V-10
Contact	Specification	Rivet				
	Material	Silver alloy				Silver
	Gap (standard value)	1 mm (F gap) or 0.5 mm (G gap)				
Inrush current	NC	50 A max.	40 A max.	36 A max.	24 A max.	
	NO					
Minimum applicable load		160 mA at 5 VDC				

■ Contact Form

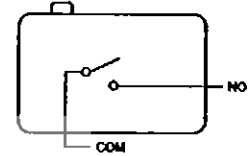
SPDT



SPST-NC



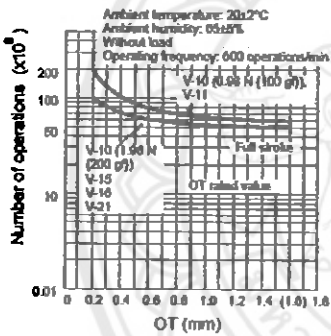
SPST-NO



Engineering Data

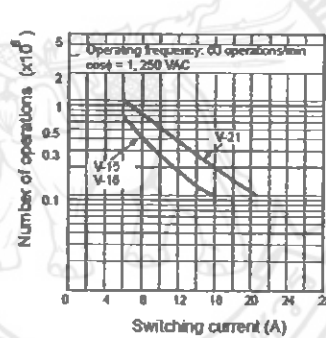
Mechanical Life Expectancy (Pin Plunger)

V-21/-16/-15/-10

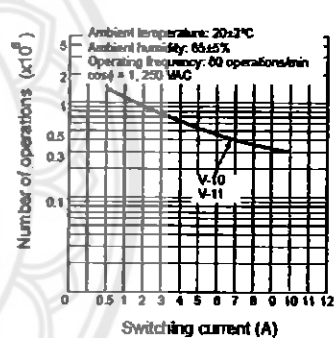


Electrical Life Expectancy

V-21/-16/-15



V-11/-10



## Dimensions

### ■ Terminals

Note: 1. All units are in millimeters unless otherwise indicated.

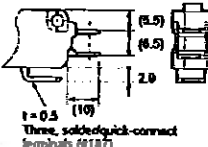
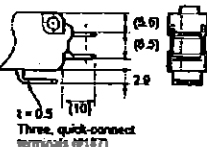
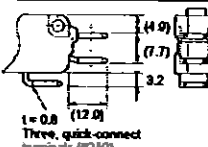
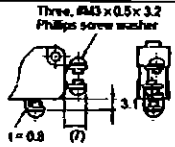

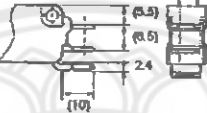
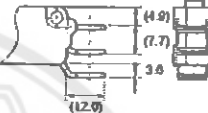
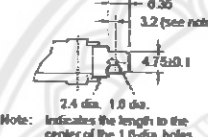
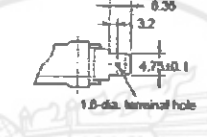

2. The following is for the SPDT contact specifications. Two terminals will be available for SPST-NO or SPST-NC contact specifications. For terminal positions, refer to the above *Contact Form*.

3. Right-angle PCB terminal type is available

D5 type: Pins at right angles, to the right.

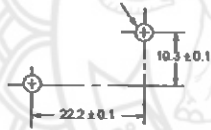
D6 type: Pins at right angles, to the left.

Drawings will be provided if requested.

Terminal type	Solder/Quick-connect Terminal (#187) (A)	Quick-connect Terminal (#187) (C2)	Quick-connect Terminal (#250) (C)	Screw Terminal (B)
COM bottom position	 <p>Three, soldered quick-connect terminals (#187)</p>	 <p>Three, quick-connect terminals (#187)</p>	 <p>Three, quick-connect terminals (#250)</p>	 <p>Three, #M3 x 0.5 x 3.2 Philips screw washer</p>
COM side position				-
Terminal dimensions	 <p>Note: Indicates the length to the center of the 1.8-dia. holes</p>	 <p>1.8-dia. terminal hole</p>	 <p>1.60-dia. terminal hole</p>	-

### ■ Mounting Holes

Two, 3.1-dia. mounting holes or M3 screw holes



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายวรกิตต์ แสงวิวัฒน์เจริญ  
 ภูมิลำเนา 86 ถ.ตำราญรีน ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ 53000  
 ประวัติการศึกษา  
 -จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนอุตรดิตถ์ จ.อุตรดิตถ์  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร  
 Email: mr.casio\_21@hotmail.com



ชื่อ นางสาวชนพร ห่อนาค  
 ภูมิลำเนา 434/10 ซ.เพชรพัฒนา 4 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์  
 67000  
 ประวัติการศึกษา  
 -จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเพชรพิทยาคม  
 จ.เพชรบูรณ์  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร  
 Email: faiz.hornak@hotmail.com