

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์หุ่นยนต์หนอน

WORM ROBOT



T104264



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 104264
วัน,เดือน,ปี..... 3.0.ค. 2552



ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


WORM ROTBOT

By

MR. THANONGRIT DAMPHOM

MR. NOPPARAT KOHKET

MR. SUPOT DECHDECHO

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a large, circular emblem. It features a central five-tiered stupa (chedi) with a sunburst at the top. The stupa is flanked by two smaller, three-tiered stupa. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text within the seal includes 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) and 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (Maha Vithayalai King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang).

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

หุ่นยนต์สำรวจ

WORM ROBOT

ชื่อนักศึกษา

นายทงนฤทธิ์ คำพอม

รหัสนักศึกษา 49015413

นายนพรัตน์ เกาะเกตุ

รหัสนักศึกษา 49015417

นายสุพจน์ เดชเดโช

รหัสนักศึกษา 49015470

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. บุญยชนะ ภูระหงษ์

ดร. พิทักษ์ ธรรมวาริน

ระดับการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

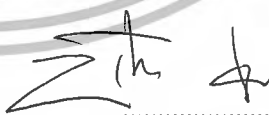
ปีการศึกษา

2551

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

(ผศ. บุญยชนะ ภูระหงษ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์



(ดร. พิทักษ์ ธรรมวาริน)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ หุ่นยนต์สำรวจ

ชื่อนักศึกษา นายทงกฤษ คำพอม รหัสนักศึกษา 49015413
 นายนพรัตน์ เกาะเกตุ รหัสนักศึกษา 49015417
 นายสุพจน์ เดชเดโช รหัสนักศึกษา 49015470

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. บุญยชนะ ภูระหงษ์

 ดร. พิทักษ์ ชรรมวลริน

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

 สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการพัฒนาหุ่นยนต์ ด้วยวิธีการเลียนแบบการเคลื่อนที่ของตัวหนอน โดยหุ่นยนต์ที่สร้างเคลื่อนที่ได้ 4 ทิศทางคือ ทิศทางด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้า และด้านหลัง นอกจากนั้นหุ่นยนต์ยังสามารถเคลื่อนที่ภายในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 9 -11 เซนติเมตร

จากการทดลองพบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในทิศทางตรงอย่างมีประสิทธิภาพ แต่จะมีปัญหาในการเคลื่อนที่ในทิศทางเฉียงซ้าย และเฉียงขวาคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่จะช้าลงกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Titel ROBOT WORM

Student MR. THANONGRIT DAMPHOM ID 49015413
MR. NOPPARAT KOHKET ID 49015417
MR. SUPOT DECHDECHO ID 49015470

Advisor Asst. Prof. Boonchana Purahong
Dr Pitak Tummawarin

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic Year 2008

Abstract

This project proposes a development of robot using a movement of a worm. The robot can move in 4 directions, turn left, turn right, go ahead and turn back. Moreover, the robot can move in the pipe which has diameter between 9 and 11 centimeter.

The experimental results show that the robot can move effectively in the straight direction. But the robot move slowly when the robot turn left, turn right and turn back.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยชนะ ภูระหงษ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ อุดมธรรมยากุล อย่างสูงที่ให้คำแนะนำประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และคอยเป็นที่ปรึกษาในการทำโครงการและปริญญานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่คอยให้การสนับสนุนในด้านการศึกษามาโดยตลอดจนข้าพเจ้ามีทุกวันนี้



นาย ทนงฤทธิ์ คำพอม

นาย นพรัตน์ เกาะเกตุ

นาย สุพจน์ เดชเคโซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ

บทที่ 1

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการออกแบบโครงการ	1
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 อุปกร์	2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของหุ่นยนต์	3
2.2 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของหนอน	4
2.3 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หนอน	4
2.4 อุปกร์และหน้าที่การทำงาน	4

บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์เลียนแบบการเคลื่อนที่ของหนอน

3.1 โครงสร้างและองค์ประกอบต่างๆของตัวหุ่นยนต์ทางด้านฮาร์ดแวร์	36
3.2 บอร์ดควบคุมการทำงาน	40

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลอง	หน้า
4.1 การทดลองควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	44
บทที่ 5 สรุป	
5.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงาน	64
5.2 แนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อเสนอแนะ	64

ภาคผนวก
บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 การตอบสนองของเซอร์โวมอเตอร์เมื่อจ่ายสัญญาณพัลส์ที่มีค่าความถี่ต่างกัน	5
รูปที่ 2.2 ภาพการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	6
รูปที่ 2.3 ภาพเซอร์โวมอเตอร์และส่วนประกอบภายใน	7
รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของเซอร์โวมอเตอร์	7
รูปที่ 2.5 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีวงจรดิจิทัลเพียงอย่างเดียว	8
รูปที่ 2.6 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีวงจรอินเตอร์เฟซกับสัญญาณอนาล็อก	9
รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC	12
รูปที่ 2.8 PSoC Core	13
รูปที่ 2.9 Digital System	15
รูปที่ 2.10 แสดงการใช้งาน Digital Block	16
รูปที่ 2.11 Analog System	17
รูปที่ 2.12 แสดงการใช้งาน Analog Block	17
รูปที่ 2.13 System Resource	18
รูปที่ 2.14 การจัดการของไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC เบอร์ CY8C26443	19
รูปที่ 2.15 แสดงวงจรสมมูลของ ZX-SERVO บอร์ดควบคุมเซอร์โว 16 ช่อง	21
รูปที่ 2.16 การต่อแหล่งจ่ายไปบอร์ด ZX-SERVO16	23
รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบและการจัดการของจุดต่อต่างๆ บนบอร์ด ZX – SERVO 16	23
รูปที่ 2.18 แสดงการต่อบอร์ด ZX – SERVO 16 เข้ากับคอมพิวเตอร์	24
รูปที่ 2.19 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม PSCI	25
รูปที่ 2.20 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบเวอร์ชันของ ZX – SERVO 16 ผ่านโปรแกรม PSCI	25
รูปที่ 2.21 แสดงการเลือกช่องสัญญาณเซอร์โวมอเตอร์ผ่านจัมเปอร์ AUX ของ บอร์ด ZX – SERVO 16	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 2.22 แสดงกรอบคุม CHO เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในช่อง CHO แบบทันทีทันใด	27
รูปที่ 2.23 ปุ่มคำสั่งต่างๆสำหรับช่วยในการบันทึกรูปแบบการหมุนของเซอร์โว	28
รูปที่ 2.24 แสดงการบันทึกไฟล์ของการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ของโปรแกรม PSCI	29
รูปที่ 2.25 การต่อใช้งานพอร์ตอนุกรม RS232	30
รูปที่ 2.26 พอร์ตอนุกรมของ PC DB9 ตัวผู้ (Male)	31
รูปที่ 2.27 พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย (Female)	31
รูปที่ 2.28 DB9 ตัวผู้ เมื่อดูจากด้านหลัง	31
รูปที่ 2.29 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem	32
รูปที่ 2.30 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น	32
รูปที่ 2.31 ระดับสัญญาณของ RS232C และระดับสัญญาณของ TTL	33
รูปที่ 2.32 สัญญาณการสื่อสารแบบแบบซิงโครนัส	34
รูปที่ 2.33 สัญญาณการสื่อสารแบบแบบอะซิงโครนัส	34
รูปที่ 3.1 ท่อพีวีซี ขนาด 2.6 และ 3.2 เซนติเมตร	37
รูปที่ 3.2 ลวดที่ใช้ในการดึงให้ตัวหุ่นเคลื่อนที่	37
รูปที่ 3.3 ส่วนยึดติดเซอร์โว	37
รูปที่ 3.4 ส่วนยึดติดท่อพีวีซีกับเซอร์โว	38
รูปที่ 3.5 ส่วนยึดติดข้อต่อแต่ละข้อให้ติดกับเซอร์โว	38
รูปที่ 3.6 แสดงการนำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบกัน	39
รูปที่ 3.7 แสดงการนำตัวข้อต่อแต่ละข้อมาประกอบเข้าด้วยกัน	39
รูปที่ 3.8 แสดงส่วนประกอบการใช้งานบอร์ด ZX – SERVO 16	40
รูปที่ 3.9 แสดงการต่อบอร์ด ZX – SERVO 16 เข้ากับคอมพิวเตอร์	41
รูปที่ 3.10 แสดงหน้าต่างของ โปรแกรม PSCI	42
รูปที่ 4.1 แสดงหน้าต่างของ โปรแกรม PSCI	44
รูปที่ 4.2 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	45
รูปที่ 4.3 การเคลื่อนที่ภายในท่อ	47
รูปที่ 4.4 ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์เดินหน้า	48
รูปที่ 4.5 หุ่นยนต์เดินหน้า	49
รูปที่ 4.6 ตั้งตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์ถอยหลัง	50

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.7	หุ่นยนต์ลอยหลัง	51
รูปที่ 4.8	หุ่นยนต์ลอยหลัง	52
รูปที่ 4.9	หุ่นยนต์เดินหน้า เลี้ยวขวา	54
รูปที่ 4.10	ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์ขึ้นบน	55
รูปที่ 4.11	หุ่นยนต์ขึ้นบน	56
รูปที่ 4.12	ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์ลงล่าง	56
รูปที่ 4.13	หุ่นยนต์ลงล่าง	57
รูปที่ 4.14	หุ่นยนต์เดินหน้า ขึ้นบน	58
รูปที่ 4.15	หุ่นยนต์เดินหน้า ลงล่าง	59
รูปที่ 4.16	หุ่นยนต์ขึ้นบน เลี้ยวขวา	60
รูปที่ 4.17	หุ่นยนต์ขึ้นบน เลี้ยวซ้าย	61
รูปที่ 4.18	หุ่นยนต์ลงล่าง เลี้ยวขวา	62
รูปที่ 4.19	หุ่นยนต์ลงล่าง เลี้ยวซ้าย	63



สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงหน้าที่ต่างๆของแต่ละขาในไมโครคอนโทรลเลอร์

PSoC เบอร์ CY8C26443

ตารางที่ 2.2 แสดงการจัดขาของคอนเน็กเตอร์ อนุกรมแบบ DB9

และหน้าที่การใช้งานต่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบัน โลกของเราได้มีการสร้างและพัฒนาหุ่นยนต์มากมายหลายรูปแบบ หลากหลายความสามารถ และหน้าหน้าการทำงานของหุ่นยนต์ แต่ในประเทศไทยเองยังนับว่ามีการพัฒนาหุ่นยนต์ยังไม่มากเพียงพอ ประกอบกับหุ่นยนต์ในประเทศไทยเองนั้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นการสร้างหุ่นยนต์ในรูปแบบที่ตายตัวไม่ค่อยได้มีการดัดแปลงหรือพัฒนาให้มีรูปแบบที่แตกต่างออกไปมากนัก แต่ในส่วนของการสร้างหุ่นยนต์เลียนแบบการเคลื่อนที่ของสัตว์นั้น ประเทศไทยยังไม่ได้มีการพัฒนาที่แพร่หลาย

หากประเทศไทยมีการสนับสนุนการสร้างหุ่นยนต์ในรูปแบบที่แตกต่างออกไปจากรูปแบบเดิมๆมากขึ้น ก็จะทำให้การสร้างหุ่นยนต์ มีรูปแบบการสร้างที่หลากหลาย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ของหนอน
- 1.2.2 เพื่อเป็นการสร้างความสนใจในการสร้างหุ่นยนต์ของเยาวชน นักศึกษาและบุคคลทั่วไป
- 1.2.3 เพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างหุ่นยนต์ ให้เป็นแนวทางในการสร้างและดัดแปลงหุ่นยนต์ในรูปแบบที่แตกต่างออกไปไปรูปแบบอื่นๆ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะเป็นแบบการขีดและหดตัวเอง
- 1.3.2 หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ในท่อทรงกลม ในระนาบ X และ Y
- 1.3.3 หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยการบังคับทิศทางจากชุดควบคุม

1.4 ขั้นตอนการออกแบบโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาการเคลื่อนที่ของหนอน
- 1.4.2 ออกแบบลักษณะของตัวหุ่นยนต์และการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์
- 1.4.3 ออกแบบชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์
- 1.4.4 ทดสอบการทำงานและแก้ไขข้อบกพร่องของหุ่นยนต์
- 1.4.5 สรุปผล ข้อเสนอแนะและปัญหาในการสร้างหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เป็นการสร้างความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบการสร้างหุ่นยนต์
- 1.5.2 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการสร้างหุ่นยนต์ไปประยุกต์ใช้ในการทำงาน
- 1.5.3 สามารถนำโครงการนี้ไปเป็นต้นแบบการสร้างหุ่นยนต์ในอนาคต

1.6 อุปกรณ์

1.6.1 ฮาร์ดแวร์(Hardwere)

- ท่อ PVC ใส
- แผ่นอะลูมิเนียมสำหรับทำโครงหุ่นยนต์
- เซอร์โวมอเตอร์ จำนวน 7 ตัว
- วงจรควบคุมการทำงานเซอร์โวมอเตอร์
- แผ่นอะครีลิคใส
- สายไฟ
- แผ่นพลาสติก
- น็อตยึดโครงหุ่นยนต์
- แบตเตอรี่
- สวิตช์

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของหุ่นยนต์

ความหมายของหุ่นยนต์ตามพจนานุกรม คือ อุปกรณ์ หรือ เครื่องจักรกลอัตโนมัติชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถปฏิบัติงานเลียนแบบการทำงานของมนุษย์ หรือปฏิบัติการเทียบเคียงกับภูมิปัญญาของมนุษย์ แต่ในความหมายในมุมมองของเครื่องมืออุตสาหกรรม จะหมายถึงเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถโปรแกรมการทำงานใหม่ได้ สามารถออกแบบให้ทำงานได้หลากหลายและสามารถทำงานได้ตามต้องการ โดยสรุปแล้วหุ่นยนต์คือ อุปกรณ์ที่เป็นการร่วมทำงานกันระหว่างเครื่องกลกับระบบอิเล็กทรอนิกส์

2.1.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของหุ่นยนต์

2.1.1.1 ตัวปฏิบัติการ (Manipulator)

คือส่วนประกอบของชุดข้อต่อที่ใช้เป็นตัวเชื่อมระหว่าง อุปกรณ์กับอุปกรณ์ประกอบขึ้นเป็นตัวหุ่น

2.1.1.2 ตัวควบคุม (Controller)

คือภูมิปัญญาหรือสมองของตัวปฏิบัติการที่จะสั่งตัวปฏิบัติการทำงานตามความต้องการของผู้ใช้โดยรับคำสั่งจากผู้ใช้

2.1.2 การกำหนดชนิดของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

2.1.2.1 แบ่งตามรูปแบบกลไก

สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. หุ่นยนต์ระบบทรงกระบอก
2. หุ่นยนต์ระบบทรงกลม
3. หุ่นยนต์ระบบทรงลูกบาศก์

2.1.2.2 แบ่งตามรูปแบบทางการควบคุมสามารถจำแนกได้ดังนี้

1. หุ่นยนต์ควบคุมแบบไม่ใช้เซอร์โวมอเตอร์ หมายถึง เมื่อตัวปฏิบัติการเริ่มเคลื่อน มันจะเคลื่อนต่อไปจนกระทั่งถึงจุดที่ควรหยุด โดยไม่มีการตรวจสอบใดๆ ในระหว่างการเคลื่อนที่ระหว่างจุดสองจุด วิธีการเคลื่อนที่ลักษณะนี้บางครั้งเรียกว่า ชนิดแบบวง-เปิด (Open-Loop)

2. หุ่นยนต์ควบคุมแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์ หมายถึง สามารถสั่งให้ตัวปฏิบัติการเคลื่อนที่ หรือหยุดได้ทุกตำแหน่งตลอดย่านระยะของแกนแนวปฏิบัติการ เป็นวงปิด (Close-Loop) แบ่งได้ 2 แบบ คือ การเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องและแบบจุดต่อจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของหนอน

การเคลื่อนที่ของหนอนอาศัยการหดตัว คลายตัว ของกล้ามเนื้อชนิดนี้ ดังนั้นจึงทำให้เกิดลักษณะที่ส่ายไปส่ายมา แต่ก็เคลื่อนที่ไปได้

2.3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สำรวจ

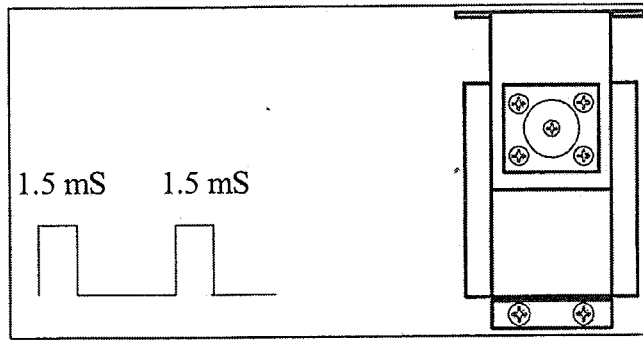
การเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์นั้นเป็นการนำเอาการเคลื่อนที่ของหนอนมาประยุกต์ใช้ในการยึดและหดตัวของหุ่นยนต์ ส่วนการยึดติดของหุ่นยนต์ให้ติดกับท่อทรงกลมนั้นจะใช้แผ่นพลาสติกที่ติดไว้กับตัวของหุ่นยนต์เพื่อทำการยึดตัวของหุ่นยนต์ให้ติดแน่นกับท่อทรงกลม

2.4 อุปกรณ์และหน้าที่การทำงาน

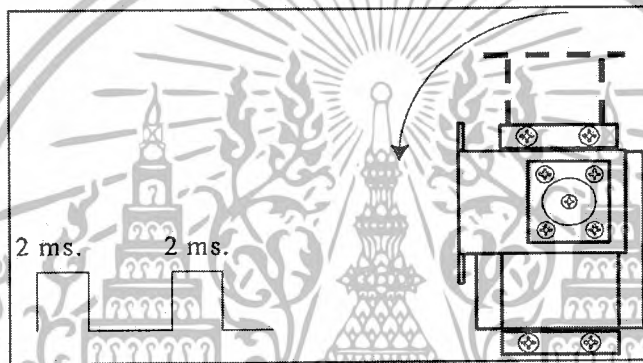
2.4.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วยมอเตอร์ความเร็วสูง ภายในมีเฟืองทดรอบให้หมุนช้าลง เพื่อที่จะได้กำลังบิดที่สูงขึ้นนอกจากนี้ยังมีวงจรควบคุมมอเตอร์ซึ่งวงจรนี้จะนำเอา ค่าเฉลี่ยของพัลส์ ลูกคลื่นสี่เหลี่ยม เข้าไปเปรียบเทียบกับค่า เฉลี่ยของพัลส์ในวงจรควบคุมมอเตอร์ ซึ่งถ้ามีค่าที่ต่างกันวงจรควบคุมมอเตอร์จะสั่งให้มอเตอร์หมุนไปตามทิศทางที่ตั้งไว้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของพัลส์ โดยที่แกนเฟืองทดรอบจะหมุนพ่วงไปกับแกนตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) ซึ่งอยู่ในวงจรควบคุมมอเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์หมุน จะถูกปรับค่าไปด้วย ทำให้ค่าแรงดันเปรียบเทียบของวงจรควบคุมมอเตอร์เปลี่ยนไปด้วย จนกระทั่งค่าเฉลี่ยของพัลส์ในวงจรควบคุมมอเตอร์เท่ากับค่าเฉลี่ยของพัลส์ที่เข้ามาทำให้มอเตอร์หยุดหมุน

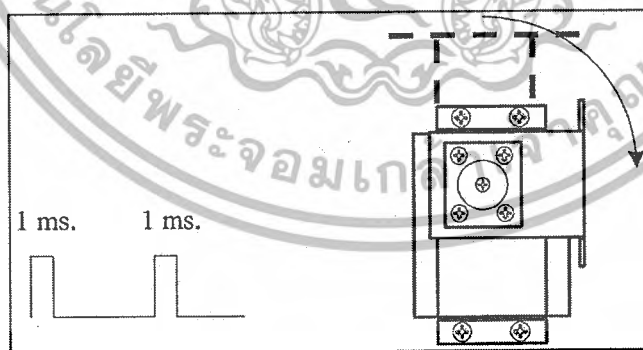
เซอร์โวมอเตอร์จะประกอบไปด้วยสายไฟสามเส้น คือ สายไฟเลี้ยงวงจร สายกราวด์และสายสัญญาณควบคุม ซึ่งลักษณะของสัญญาณพัลส์ที่ใช้ควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์จะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างต่างกัน เพื่อควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยที่ความกว้างของพัลส์จะเป็นตัวกำหนดขนาดและทิศทางการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ สำหรับคาบเวลาหรือระยะห่างระหว่างพัลส์แต่ละลูกจะเป็นตัวกำหนดแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์ตัวอย่างการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ใน รูปที่ 2.1



ก. การตอบสนองของเซอร์โวเมื่อจ่ายพัลส์ขนาด 1.5 mS



ข. การตอบสนองของเซอร์โวเมื่อจ่ายพัลส์ขนาด 2 mS



ค. การตอบสนองของเซอร์โวเมื่อจ่ายพัลส์ขนาด 1 mS

รูปที่ 2.1 การตอบสนองของเซอร์โวมอเตอร์เมื่อจ่ายสัญญาณพัลส์ที่มีค่าความถี่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ในสภาวะปกติ เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีความกว้างขนาด 1.5 mS ให้กับ เซอร์โวมอเตอร์แกนของเซอร์โวมอเตอร์จะอยู่ ณ ตำแหน่งกลาง ดังรูปที่ 2.1 เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีความกว้างขนาด 1 mS ให้กับเซอร์โวมอเตอร์แกนของเซอร์โวมอเตอร์จะมีทิศทางหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 2.1 (ข) เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีความกว้างขนาด 1 mS ให้กับ เซอร์โวมอเตอร์แกนของเซอร์โวมอเตอร์จะมีทิศทางหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 2.1 (ค)

2.4.1.1 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

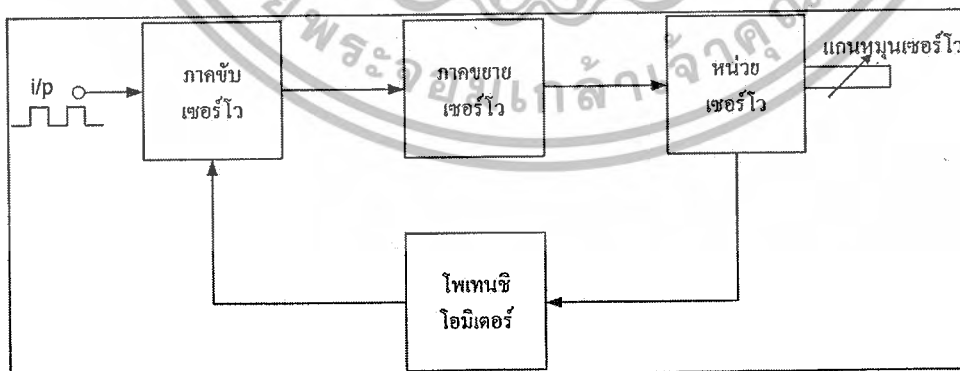
ในเซอร์โวมอเตอร์หนึ่งตัวจะประกอบไปด้วย 3 ภาคการทำงานซึ่งแต่ละภาคมีหน้าที่และการทำงานดังนี้

ภาคขับเซอร์โวมอเตอร์ ประกอบด้วย วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ และวงจรเปรียบเทียบสัญญาณพัลส์ อินพุต (Input) ที่รับเข้ามา

ภาคขยายเซอร์โว ประกอบด้วย วงจร RC Network ให้ในการหน่วงสัญญาณให้ เซอร์โวมอเตอร์สามารถทำงานได้ตลอดช่วงเวลาจนกระทั่งมีสัญญาณต่อไปเข้ามา รวมถึงวงจรกลับขั้วแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

หน่วยเซอร์โว ประกอบด้วยมอเตอร์ความเร็วสูงเพื่อทดรอบแกน ทำหน้าที่ตรวจสอบ ตำแหน่งการหมุนและส่งกลับไปยังภาครับ (Position Feedback)

ซึ่งในขณะที่มอเตอร์หมุนตัวด้านทานแบบปรับค่าได้ (VR) จะถูกปรับค่าและส่งค่าป้อนกลับ (Feedback) กลับมาปรับความกว้างของพัลส์และเปรียบเทียบค่าความกว้างของพัลส์ที่ภาคขับเซอร์โวมอเตอร์ เมื่อขนาดความกว้างของพัลส์มีค่าเฉลี่ยของค่าแรงดันเท่ากันมอเตอร์จะหยุดหมุนทันทีโดยได้แสดงภาคการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ใน รูปที่ 2.2

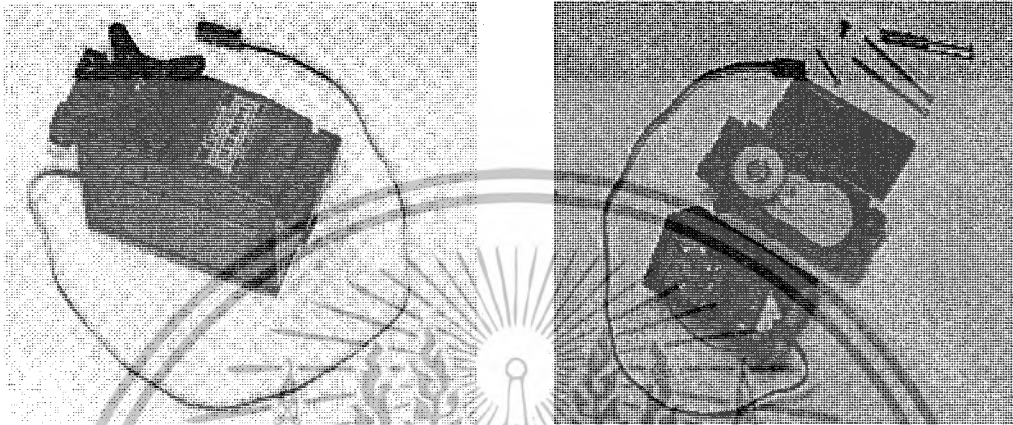


รูปที่ 2.2 ภาคการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

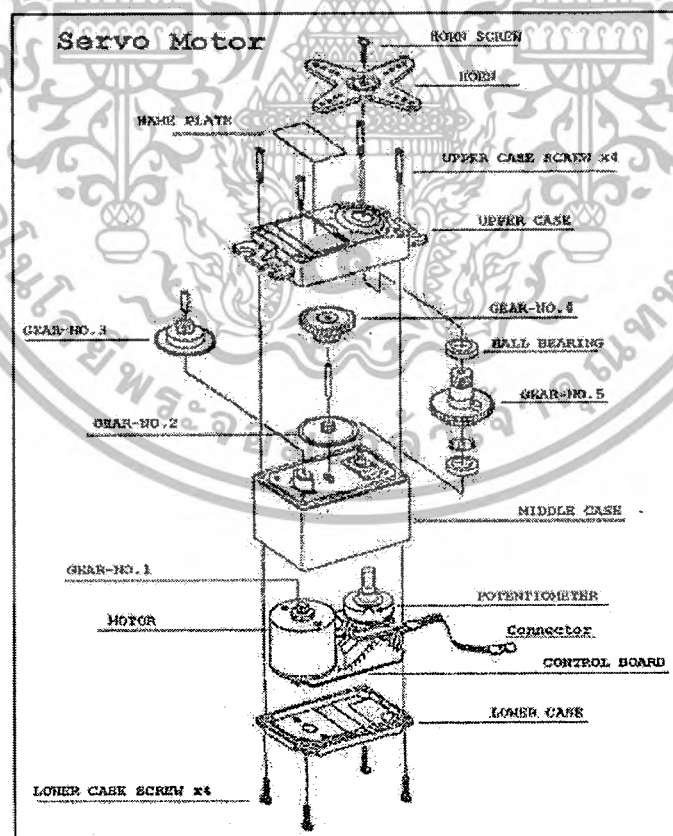
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์ รุ่น S3801

ภายในชุดเซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย ชุดมอเตอร์ความเร็วสูงและชุดเฟืองทดรอบ จะทำให้มอเตอร์มีแรงบิดเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซอร์โวมอเตอร์ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 ภาพเซอร์โวมอเตอร์และส่วนประกอบภายใน

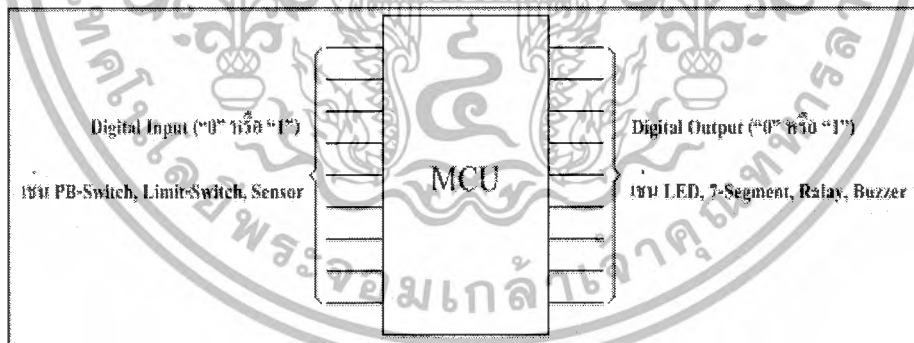


รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของเซอร์โวมอเตอร์

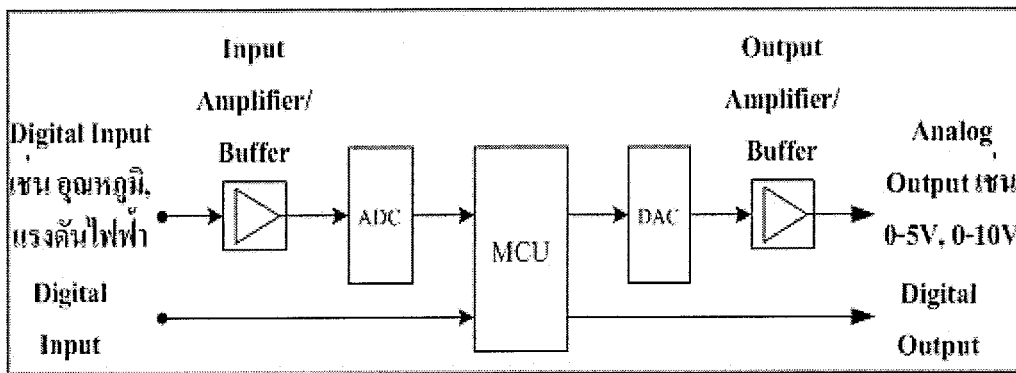
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้ผลิตชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบันนั้น มีอยู่มากมาย จึงทำให้เกิดการแข่งขันและพัฒนาความสามารถเพื่อให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ของตนเองมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เพื่อความได้เปรียบในเชิงการค้าเหนือคู่แข่ง จากอดีตการพัฒนาและใช้งานระบบไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น เป็นสิ่งที่ยุ่งยากและซับซ้อนยากต่อการศึกษาและทำความเข้าใจเป็นอย่างยิ่ง ประกอบกับความสามารถของชิพไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น เป็นสิ่งที่ยุ่งยากและซับซ้อนยากต่อการศึกษาและทำความเข้าใจเป็นอย่างยิ่ง ประกอบกับความสามารถของชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ในยุคแรก ๆ นั้นมีความสามารถในการประมวลผลได้เฉพาะสัญญาณลอจิกหรือสัญญาณดิจิทัลเท่านั้น ดังรูปที่ 2.5 โดยหากระบบใดมีความจำเป็นต้องติดต่อเชื่อมโยงเข้ากับสัญญาณอนาล็อก เช่น การวัดอุณหภูมิ, การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น ก็จำเป็นที่จะต้องเพิ่มเติมวงจรอินเทอร์เฟซเข้าไปเพื่อให้ระบบมีความสามารถที่จะรองรับการทำงานในส่วนที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.6 โดยจะเห็นได้ว่าการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีใช้เพียงแค่การศึกษาโครงสร้างและการเขียนโปรแกรมเท่านั้น หากแต่ยังจำเป็นต้องศึกษาถึงวงจรการอินเทอร์เฟซในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถใช้งานได้เต็มที่ประสิทธิภาพ และครอบคลุมความต้องการของงาน



รูปที่ 2.5 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีวงจรดิจิทัลเพียงอย่าง



รูปที่ 2.6 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีวงจรอินเตอร์เฟซกับสัญญาณอนาล็อก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 2.5 และ รูปที่ 2.6 จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความจำเป็นต้องทำงานร่วมกับสัญญาณอนาล็อกจากภายนอกนั้นจำเป็นต้องมีวงจรอินเตอร์เฟซเพิ่มเติมได้แก่ Input Amplifier / Buffer : วงจรขยายสัญญาณในกรณีที่สัญญาณอนาล็อกอินพุตมีขนาดต่ำ ๆ เช่น การวัดอุณหภูมิด้วย Thermo couple หรือ RTD

วงจร ADC : วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นดิจิทัล เพื่อป้อนให้แก่ดิจิทัลอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอนาล็อกได้ จากข้อมูลนี้ซึ่งโดยทั่วไปวงจรส่วนนี้ก็จะนิยมเลือกใช้ไอซีสำเร็จรูปที่ทำงานด้านนี้โดยเฉพาะมีทั้งความละเอียด 8 / 10 / 12 / 14 / 16 และ 24 bit ให้เลือกใช้งานตามความต้องการ

วงจร DAC : วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก เพื่อแปลงค่าการประมวลผลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปของสัญญาณดิจิทัลไปสู่สัญญาณอนาล็อก

Output Amplifier / Buffer : วงจรขยายสัญญาณ ในกรณีที่ต้องการสัญญาณเอาต์พุตที่มีระดับสัญญาณแตกต่างไปจากไฟเลี้ยงของระบบซึ่งโดยปกติแรงดันไฟเลี้ยงของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 5V แรงดันสูงสุดของวงจร DAC ก็จะมีค่าไม่เกิน 5V ด้วย ดังนั้นหากต้องการระดับแรงดันเอาต์พุตที่สูงกว่าก็จำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณเพิ่มเติมต่อไป

2.4.2.1 กำหนดไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC

จากรูปแบบของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เดิม ซึ่งสามารถรองรับการทำงานในรูปแบบเฉพาะสัญญาณทางดิจิทัลตลอดจนการขยายขีดความสามารถที่เพิ่มขึ้นทางด้านอนาล็อกซึ่งจำเป็นจะต้องอาศัยทักษะความรู้และความชำนาญในการออกแบบจึงได้มีการพัฒนาชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ขึ้น เพื่อเป็นการลดปัญหาและข้อจำกัดของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เดิมตามคอนเซ็ปต์ที่ว่า PSoC หรือ Programmable System On Chip ซึ่งหมายถึงการโปรแกรมชิพให้มีความสามารถที่สอดคล้องกับความต้องการของระบบที่ต้องการได้นั่นเอง หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าชิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PSoC นี้มีความสามารถโปรแกรมฟังก์ชันการทำงานที่จำเป็น สำหรับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น วงจรแปลงสัญญาณ ADC, DAC, DWM, Amplifier, Filter และอื่น ๆ อีกมากมาย ให้อยู่รวมกัน ภายในชิปเดียวกันได้จึงถือได้ว่าเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเป็นอย่างยิ่ง เพราะนั่นหมายถึงการลดความยุ่งยากในการจัดทำวงจรอินเทอร์เฟสเพิ่มเติม จึงไม่จำเป็นต้องสิ้นเปลืองสายสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์อินเทอร์เฟสต่าง ๆ และที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นก็คือต้นทุนในการผลิตสินค้าที่ลดต่ำลงตามไปด้วยนั่นเอง ณ จุดนี้เชื่อว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC คงเป็นอีกหนึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับนักพัฒนาที่ควรให้ความสนใจเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต

2.4.2.2 คุณสมบัติที่สำคัญของ PSoC

จากที่กล่าวมาในช่วงแรกเป็นเพียงกริ่นนำที่จะให้ผู้อ่านทุกท่านได้สังเกตเห็นถึงคุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญและโดดเด่นอยู่หลายประการดังนี้

- 1) มีโครงสร้างของระบบภายในแบบ Harvard Architecture ด้วยหน่วยประมวลผลภายในแบบ M&C และสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงถึง 24 MHz
- 2) มีวงจรคูณเลขภายในแบบ 8 X 8 Multiply (32 Bit cumulative)
- 3) สามารถทำงานได้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 3.0 ถึง 5.25V
- 4) มีโหมดการทำงานแบบ Switch Mode Pump (SMP) ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถทำงานกับแรงดันไฟเลี้ยงที่มีระดับต่ำถึง 1V ได้
- 5) สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานภาคอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี โดยสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40 C ถึง 85 C
- 6) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูง โดยสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการได้แก่
 - ก. ใช้วงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายใน 24/48 MHz โดยมีค่าความผิดพลาดที่ +/-2.5% โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ เช่น R-C เป็นต้น
 - ข. ทำงานร่วมกับ X-TAL 32.768 KHz ประกอบกับคุณสมบัติ PLL ที่มีอยู่ภายในชิปเพื่อกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ 24/48 MHz
 - ค. ทำงานร่วมกับ External Oscillator ได้ที่ความถี่สูงสุด 24 MHz
 - ง. มีวงจรถูกกำเนิดสัญญาณภายในอิสระ สำหรับการทำงานในโหมด Sleep และ Watch dog เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
- 7) หน่วยความจำโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นสูง
 - ก. 16 KB Flash Memory สำหรับเบอร์ CY27-Series และ 32 KB สำหรับเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CY29-Series ที่มีจำนวนรอบต่อการลบและเขียนข้อมูลใหม่ได้สูงสุด 50,000 ครั้ง

ข. หน่วยความจำ RAM ภายในขนาด 256 Byte สำหรับเบอร์ CY27-Series และ 2 KB สำหรับเบอร์ CY29-Series

ค. สามารถโปรแกรมข้อมูลลงสู่ชิพด้วยรูปแบบของ In – System Programming ได้ โดยไม่จำเป็นต้องถอดชิพออกจากบอร์ด

ง. สามารถโปรแกรมเพื่ออัปเดตข้อมูลบางส่วนได้ (Partial Flash Updates)

จ. หลากหลายกับโหมดการป้องกัน (Protection Mode)

ฉ. สามารถใช้งานพื้นที่ว่างของ Flash Memory เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหน่วยความจำชนิด EEPROM ได้ โดยไม่จำเป็นต้องอินเทอร์เฟสกับ EEPROM จากภายนอก

8) สามารถโปรแกรมฟังก์ชันการทำงานได้กับขาต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

ก. สามารถขับกระแสได้ 25 mA ทุกขาในโหมด GPIO

ข. สามารถเลือกรูปแบบการทำงานของแต่ละขาได้อย่างอิสระ ได้แก่ Pull Up, Pull Down, High Z, Strong, Open Drain High และ Open Drain Low

ค. ทุก ๆ ขาสัญญาสามารถกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพต์ได้

9) ทรัพยากรเพิ่มเติม ที่มีอยู่ภายในระบบ ได้แก่

ก. การสื่อสารแบบ I2C Slave, Master และ Multi – Master ได้ที่ความถี่

ข. มีวงจรการทำงานของ Watchdog และ Sleep Timer

ค. ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าระดับแรงดันในการทำงานได้

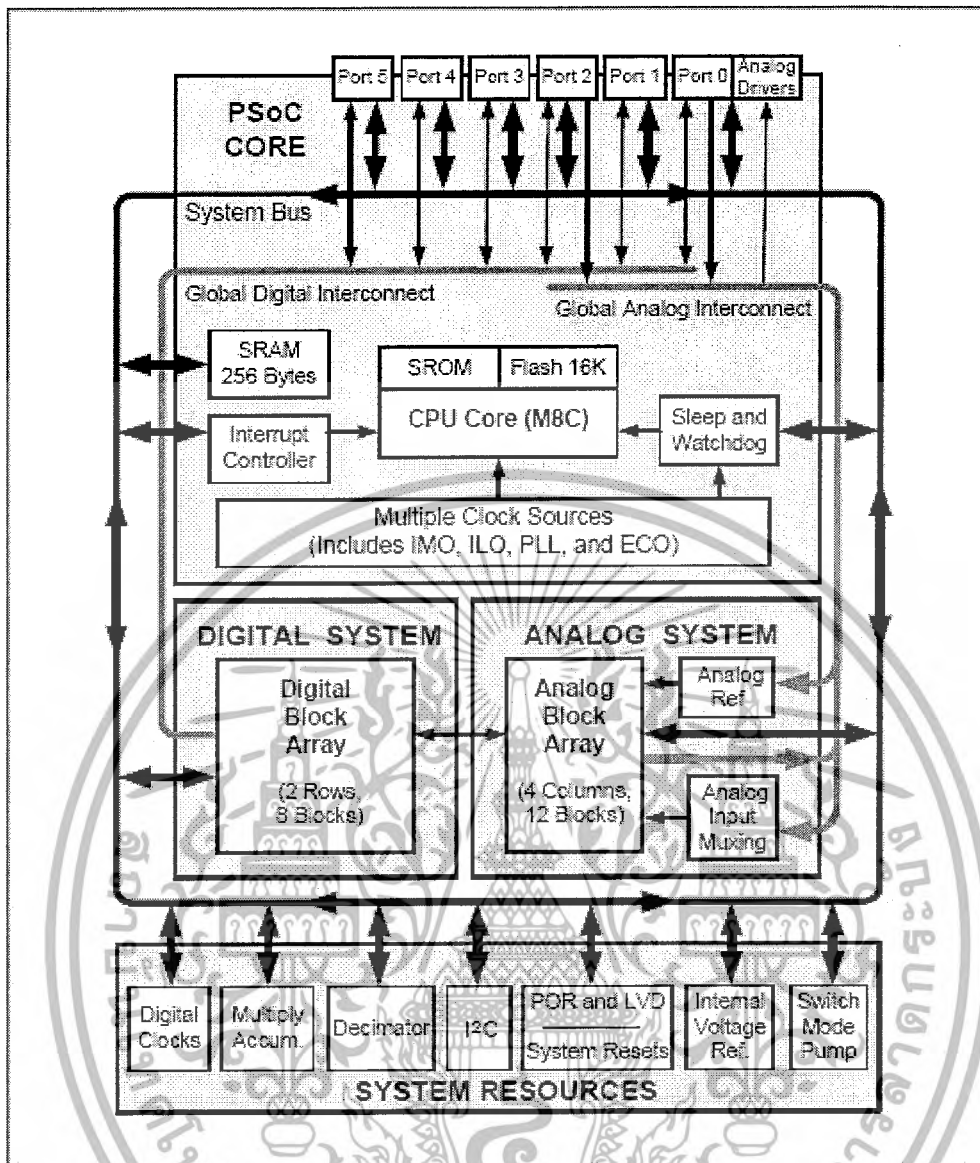
ง. มีวงจร Supervisory ประกอบอยู่ภายใน

จ. มีวงจรกำเนิดแรงดันอ้างอิงภายในที่มีความเที่ยงตรงสูง

10) มีซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาให้ใช้งานได้ทั้งภาษา C และ Assembly ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ฟรีจาก www.cypressmicro.com หากแต่การใช้งานฟรีนั้นจะอนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะภาษา Assembly ส่วนภาษา C นั้น จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อปลดล็อคซอฟต์แวร์ให้สามารถใช้งานภาษา C ได้

2.4.2.3 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

การศึกษาและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เกิดประโยชน์ และมีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีความรู้และทราบถึง องค์ประกอบและความสามารถภายในตัวชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมต่อไป สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC มีรูปแบบโครงสร้างของระบบภายในดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoc

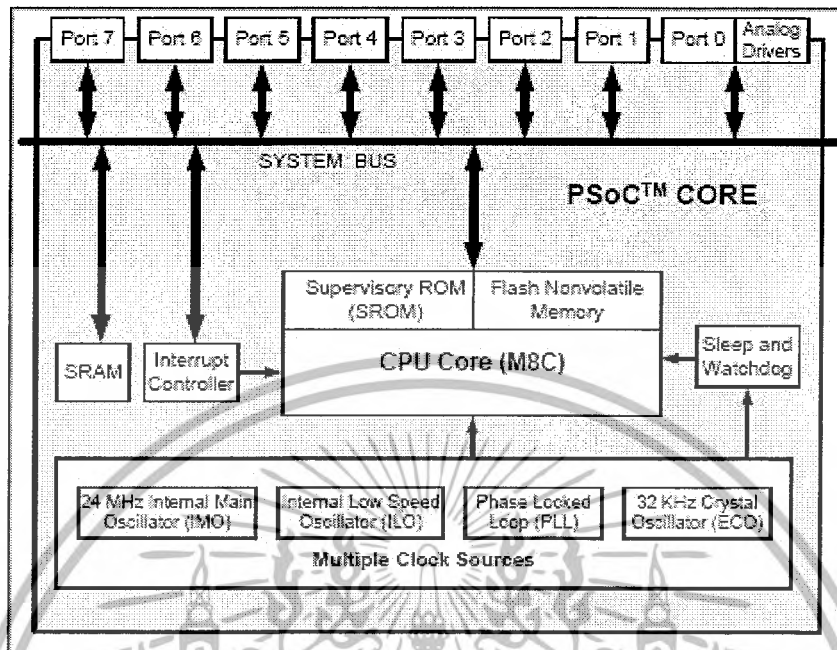
จากภาพแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบโดยรวมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoc ในตระกูล CY8C27XXX ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานภายในได้ดังนี้

1) PSoc Core

PSoc Core เป็นส่วนของแกนหลักในการประมวลผลและควบคุมการทำงานภายในทั้งหมด อันประกอบด้วย

- ก. หน่วยประมวลผลแบบ M&C
- ข. Flash Memory หรือหน่วยความจำโปรแกรม
- ค. Supervisory ROM (SROM) หน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 PSoC Core

โปรแกรมภายในที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบการทำงานภายในของ

ไมโครคอนโทรลเลอร์เช่น การ Boot ระบบ, การ Calibrate วงจรภายใน และการจัดการข้อมูลกับ Flash Memory

ง. SRAM หน่วยความจำ RAM ภายใน สำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน
ของโปรแกรมนอกจากนี้พื้นที่ของ Stack Pointer ก็เก็บไว้ในหน่วยความจำส่วนนี้ด้วย
เช่นกัน

จ. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาประกอบด้วย

24 MHz Internal Main Oscillator หรือ IMO เป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในที่มีความถี่ 24 MHz โดยไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณนาฬิกาหรือ X-TAL จากภายนอก ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีบทบาทและความสำคัญมาก เพราะนอกจากการใช้งานต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างครบถ้วนโดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์ในการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกแล้ว ยังสามารถกำเนิดความถี่ในการทำงานได้สูงถึง 24 MHz ประกอบด้วยค่า Error เพียง 2.5 % จึงสามารถใช้งานได้หลากหลายเช่นการสื่อสารข้อมูลอนุกรม (UART) ที่ baud rate 57600bps ได้เป็นต้น

Internal Low Speed Oscillator หรือ ILO เป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ต่ำอีกชุดหนึ่งซึ่งแยกออกมาเป็นอิสระเพื่อใช้เป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้กับการทำงานของ

Watchdog และ Sleep Timer การแยกวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาส่วนนี้ออกมาก็เพื่อต้องการให้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มั่นใจได้ว่าระบบจะมีเสถียรภาพที่คั่นเอง

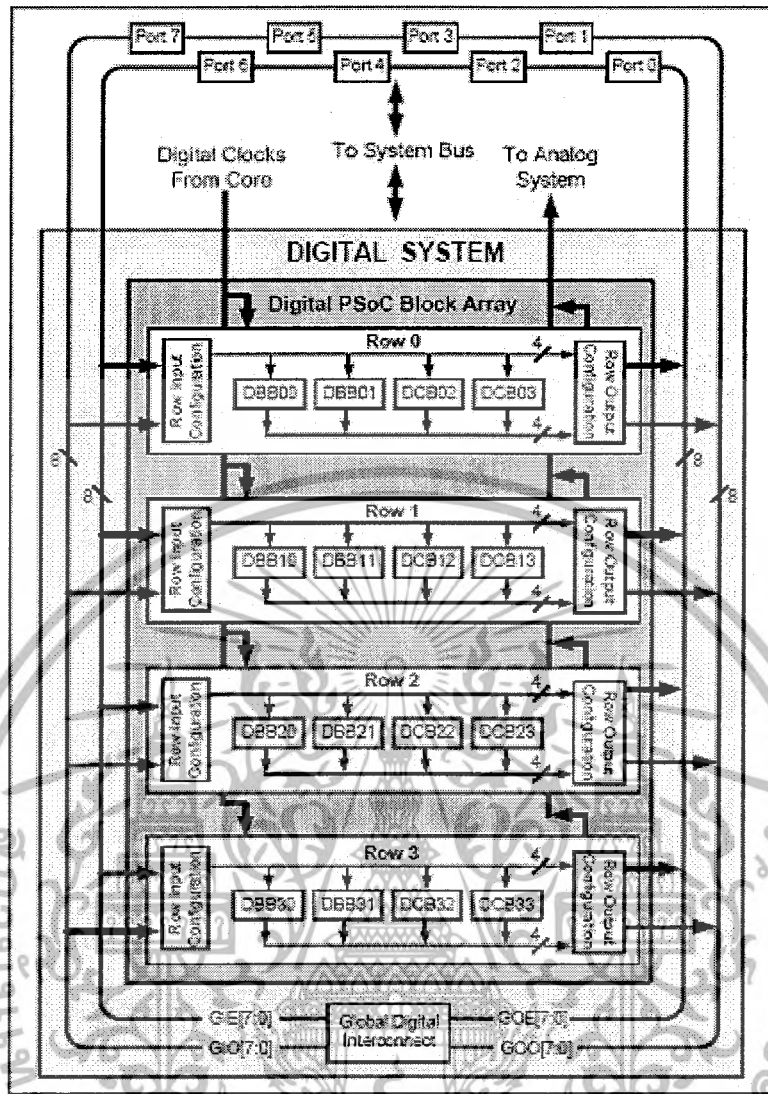
32 KHz Crystal Oscillator หรือ ECO เป็นโหมดการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาซึ่งจะต้องทำงานร่วมกับ X-TAL 32.768 KHz จากภายนอก การใช้งานรูปแบบนี้ก็เพื่อต้องการให้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายในมีค่าความเที่ยงตรงสูงสุดที่ 24MHz ซึ่งผู้อ่านหลายท่านอาจจะสงสัยว่าเหตุใด X-TAL 32.768 KHz จึงสามารถสร้างความถี่สัญญาณนาฬิกาภายในได้สูงสุดถึง 24 MHz เหตุที่สามารถทำงานเช่นนั้นได้ก็เพราะมีวงจร PLL (Phase Lock Loop) ประกอบอยู่ภายใน

Sleep and Watchdog เป็นโหมดควบคุมการทำงานในแบบ Sleep และระบบตรวจสอบการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย Watchdog]

Interrupt Controller หน่วยควบคุมการอินเตอร์รัพต์ โดยทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองต่ออินเตอร์รัพต์จากแหล่งต่างๆและการจัดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพต์

2.) Digital System

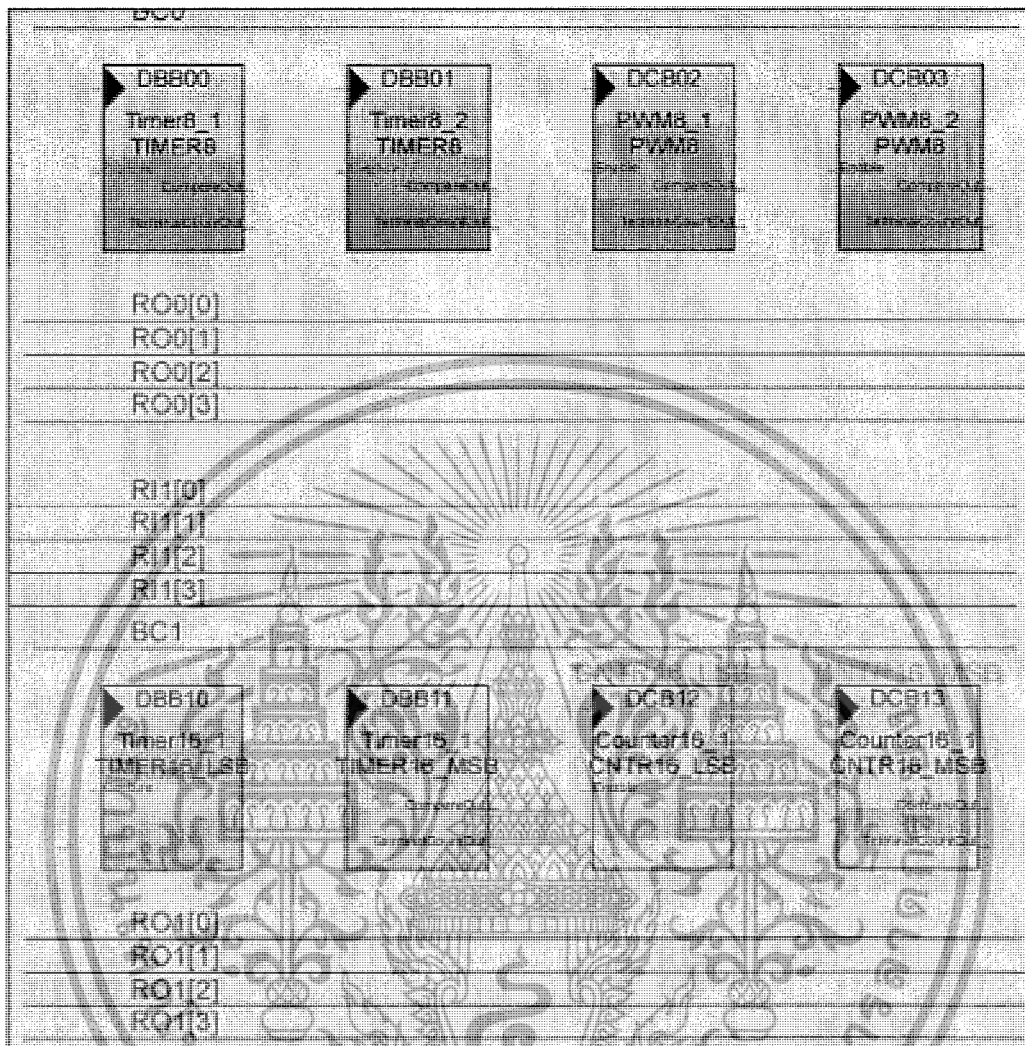
เป็นพื้นที่การทำงานของระบบดิจิทัลโดยเป็นส่วนการทำงานทาง Hardware ที่แยกเป็นอิสระจาก PSoC Core โครงสร้างส่วนนี้เองที่ผู้ใช้สามารถกำหนดคุณสมบัติฟังก์ชันทางด้านดิจิทัลลงให้แก่ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ เช่น Timer, Counter, PWM, I2C และ UART เป็นต้น เพื่อให้ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์มีคุณสมบัติทางด้านดิจิทัลตามต้องการ สำหรับชิพรุ่น CY27-Series มีให้ใช้งานได้ 8 Digital Block และชิพรุ่น CY29-Series สามารถใช้งานได้ถึง 16 Digital Block สำหรับคุณสมบัติพื้นฐานของแต่ละบล็อก คือ มีขนาดข้อมูลเท่ากับ 8 บิต เช่น Timer ขนาด 8 / 16 24 บิต จะใช้พื้นที่จำนวน 1, 2 และ 3 บล็อกตามลำดับ



รูปที่ 2.9 Digital System

ดังรูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการกำหนดฟังก์ชัน Timer ขนาด 8 บิต จำนวน 2 ชุด, PWM ขนาด 8 บิต จำนวน 2 ชุด, Timer ขนาด 16 บิต จำนวน 1 ชุด และ Counter ขนาด 16 บิต จำนวน 1 ชุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้อย่างมีประสิทธิภาพของ Digital Block ตามฟังก์ชันการทำงานที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

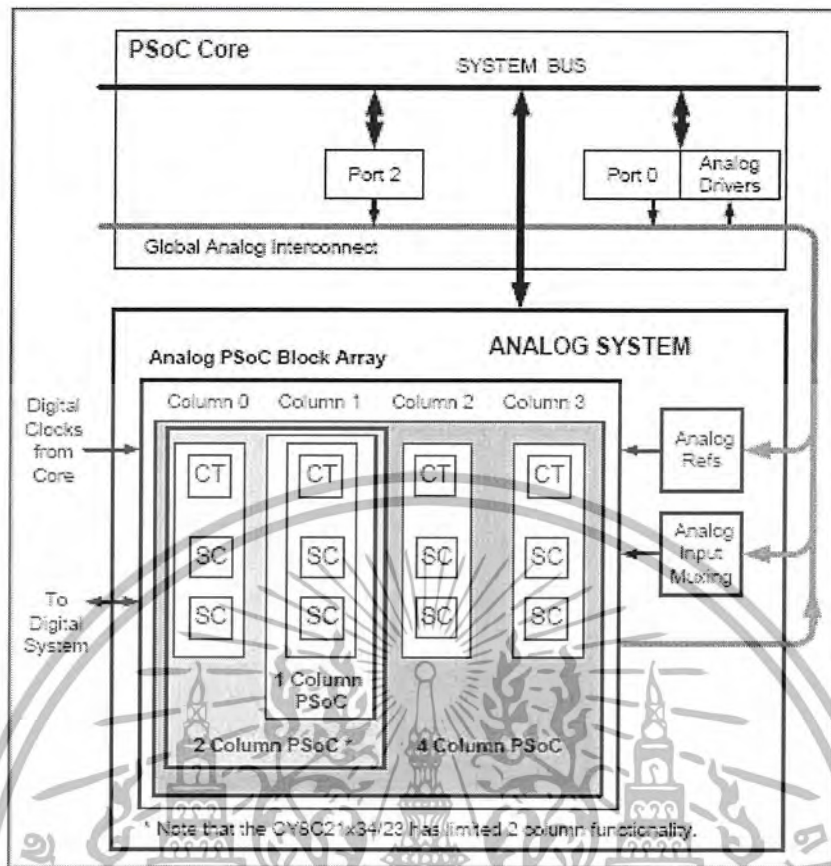


รูปที่ 2.10 แสดงการใช้งาน Digital Block

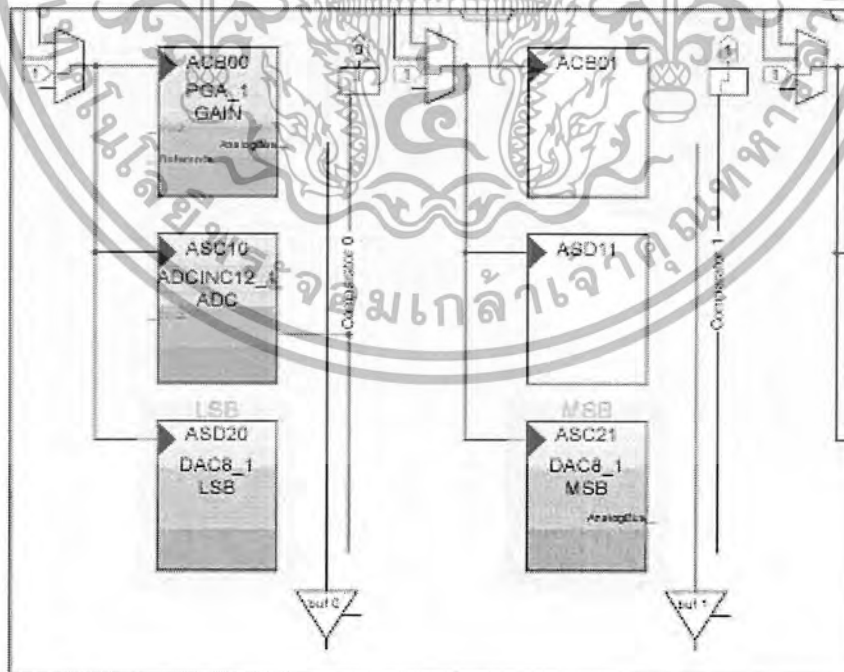
3) Analog System

เป็นพื้นที่การทำงานของระบบอนาล็อกโดยมีลักษณะเป็นส่วนการทำงานทาง Hardware ที่แยกเป็นอิสระจาก PSoC Core เช่นเดียวกับกับ Digital System โดยโครงสร้างในส่วนนี้ ผู้ใช้สามารถกำหนดคุณสมบัติฟังก์ชันทางด้านอนาล็อกให้แก่ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ เช่น Amplifier, ADC และ DAC เป็นต้น สำหรับชิพรุ่น CY27-Series และ CY29-Series มีพื้นที่ให้ใช้งานได้เท่ากันคือ 12 Analog Block, ดังรูปที่ 2.43 แสดงการกำหนดฟังก์ชันการทำงานของ Amplifier, ADC และ DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 Analog System



รูปที่ 2.12 แสดงการใช้งาน Analog Block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) System Resources

เป็นส่วนของทรัพยากรรวมภายในระบบ ซึ่งแต่ละส่วนของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อถึงกันได้ผ่านซิสเต็มบัส (System Bus) อันประกอบด้วย

ก. Digital Clocks สำหรับควบคุมการหารความถี่สัญญาณนาฬิกา

ข. Multiply Accumulate (MAC)

ค. Decimator

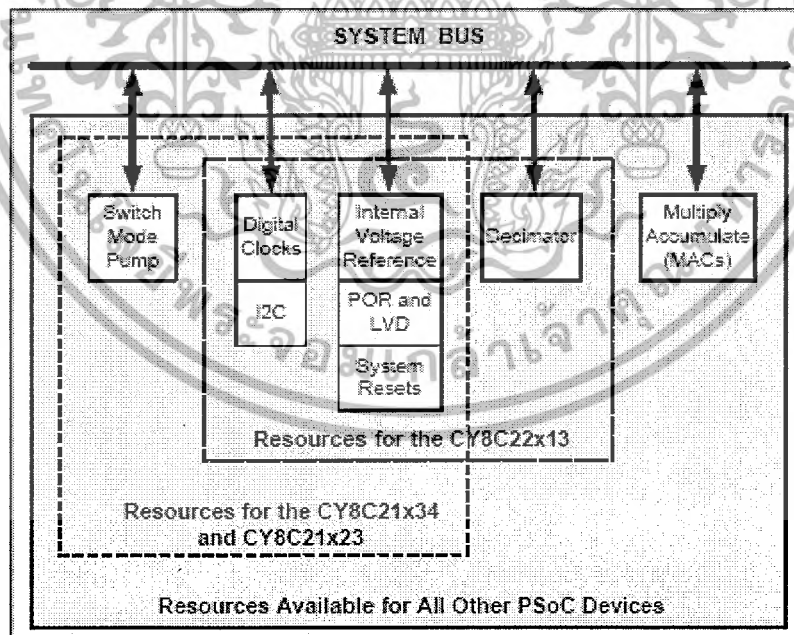
ง. I2C สำหรับการสื่อสารด้วยรูปแบบ I2C

จ. POR and LVD สำหรับควบคุมระบบ Reset และระบบตรวจสอบแรงดัน

ไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนด

ฉ. Internal Voltage Reference แรงดันอ้างอิงภายใน สามารถกำหนดใช้งานเป็นค่าแรงดันอ้างอิงภายในให้แก่วงจร ADC หรือส่งค่าแรงดันอ้างอิงออกมาสู่ขาสัญญาณเพื่อนำออกไปใช้งานภายนอกได้

ช. Switch Mode Pump โหมดควบคุมการทำงาน สำหรับบูตค่าแรงดันไฟเลี้ยงระดับที่มีค่าต่ำ ให้มีค่าแรงดันที่มีค่าสูงขึ้นและเพียงพอสำหรับการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ สำหรับการประยุกต์ใช้งานแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่



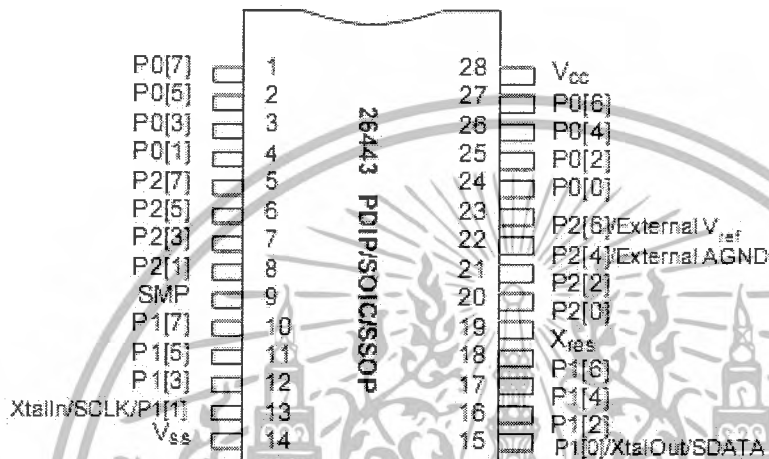
รูปที่ 2.13 System Resource

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) PORT

เป็นขาสัญญาณต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการอินเทอร์เฟซไปยังวงจรต่าง ๆ โดยจำนวนของพอร์ต จึงขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกนำมาใช้งาน โดยมีขนาดตั้งแต่ 8 / 20 / 28 / 44 และ 48 ขา ให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสมของการใช้งาน

การจัดขาสัญญาณต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ PSOC เบอร์ CY8C26443



รูปที่ 2.14 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoc เบอร์ CY8C26443

Table 4: Pin-out 28 Pin

Name	I/O	Pin	Description
P0[7]	I/O	1	Port 0[7] (Analog Input)
P0[5]	I/O	2	Port 0[5] (Analog Input/ Output)
P0[3]	I/O	3	Port 0[3] (Analog Input/ Output)
P0[1]	I/O	4	Port 0[1] (Analog Input)
P2[7]	I/O	5	Port 2[7]
P2[5]	I/O	6	Port 2[5]
P2[3]	I/O	7	Port 2[3] (Non-Multiplexed Analog Input)
P2[1]	I/O	8	Port 2[1] (Non-Multiplexed Analog Input)
SMP	O	9	Switch Mode Pump
P1[7]	I/O	10	Port 1[7]
P1[5]	I/O	11	Port 1[5]
P1[3]	I/O	12	Port 1[3]
P1[1]	I/O	13	Port 1[1] / XtalIn / SCLK
Vss	Power	14	Ground
P1[0]	I/O	15	Port 1[0] / XtalOut / SDATA
P1[2]	I/O	16	Port 1[2]
P1[4]	I/O	17	Port 1[4]
P1[6]	I/O	18	Port 1[6]
XRES	I	19	External Reset
P2[0]	I/O	20	Port 2[0] (Non-Multiplexed Analog Input)
P2[2]	I/O	21	Port 2[2] (Non-Multiplexed Analog Input)
P2[4]	I/O	22	Port 2[4] / External AGNDIn
P2[6]	I/O	23	Port 2[6] / External VREFIn
P0[0]	I/O	24	Port 0[0] (Analog Input)
P0[2]	I/O	25	Port 0[2] (Analog Input/Output)
P0[4]	I/O	26	Port 0[4] (Analog Input/Output)
P0[6]	I/O	27	Port 0[6] (Analog Input)
Vcc	Power	28	Supply Voltage

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงหน้าที่ต่างๆของแต่ละขาในไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoc เบอร์

CY8C26443

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZX – SERVO 16 สามารถต่อพ่วงกันได้ 2 บอร์ดเพื่อขับเซอร์โวมอเตอร์รวม 32 ตัว ผ่านทางจุด ต่อ K2 ซึ่งทำไว้ 2 แบบ คือ แบบ PCB 2 มม. และ IDC 2.5 มม. จึงต่อกับบอร์ดควบคุมหุ่นยนต์ใน รุ่น Stamp – BOX , RBX – 877 , RBX – 51AC2 และ AX – 11 ของบริษัท อินโนเวตีฟอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด (inex) ได้ทันที หรือจะต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของผู้ใช้งานเองก็ได้ เมื่อต่อพ่วงบอร์ด ZX – SERVO 16 เข้าด้วยกัน จะต้องมีกำหนดตำแหน่งช่องของเซอร์โวมอเตอร์ให้ต่างกัน โดยต่อจัมเปอร์ที่ตำแหน่ง AUX ถ้าเอาจัมเปอร์ออก ตำแหน่งช่องบนบอร์ด ZX – SERVO 16 ตัวนั้น ๆ จะเป็นช่อง CH0 ถึง CH15 ถ้าต่อจัมเปอร์ลงไป ตำแหน่งช่องจะเป็น CH16 – CH31 จะต้องให้แตกต่างกันจึงจะสามารถใช้คำสั่งระบุตัวเซอร์โวมอเตอร์ได้ตั้งแต่ CH0 ถึง CH31

บอร์ด ZX – SERVO 16 จะแยกแหล่งจ่ายไฟให้กับเซอร์โวมอเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ CY8C26443 ออกจากกัน โดยแหล่งจ่ายไฟ +5 V สำหรับ CY8C26443 สามารถใช้ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาต่อใช้งานด้วย ส่วนแหล่งจ่ายไฟสำหรับเซอร์โวมอเตอร์ต้องต่อเข้าที่เทอร์มินอลตำแหน่ง K 3 บนบอร์ด แรงดันที่ใช้ขับมอเตอร์ควรมีค่าระหว่าง 4 ถึง 7.5 V ส่วนความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับจำนวนมอเตอร์ที่นำมาต่อด้วย ปกติเซอร์โวมอเตอร์ 1 ตัวต้องการกระแสไฟฟ้าประมาณ 100 mA ในการทำงาน โดยแรงดันที่ใช้ขับมอเตอร์จะมีสวิทช์สำหรับตัดต่อด้วย

บนบอร์ด ZX – SERVO 16 มีไฟแสดงสถานะ 2 ตัวโดย LED สีแดง ใช้แสดงสถานะการณจ่ายไฟเลี้ยง +5V ให้กับวงจร ส่วน LED2 DATA ใช้แสดงการรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5.1 ขั้นตอนการใช้งาน

2.5.1.1 เลื่อนตำแหน่งสวิทช์ ON บนบอร์ด ZX – SERVO 16 ไปที่ตำแหน่ง

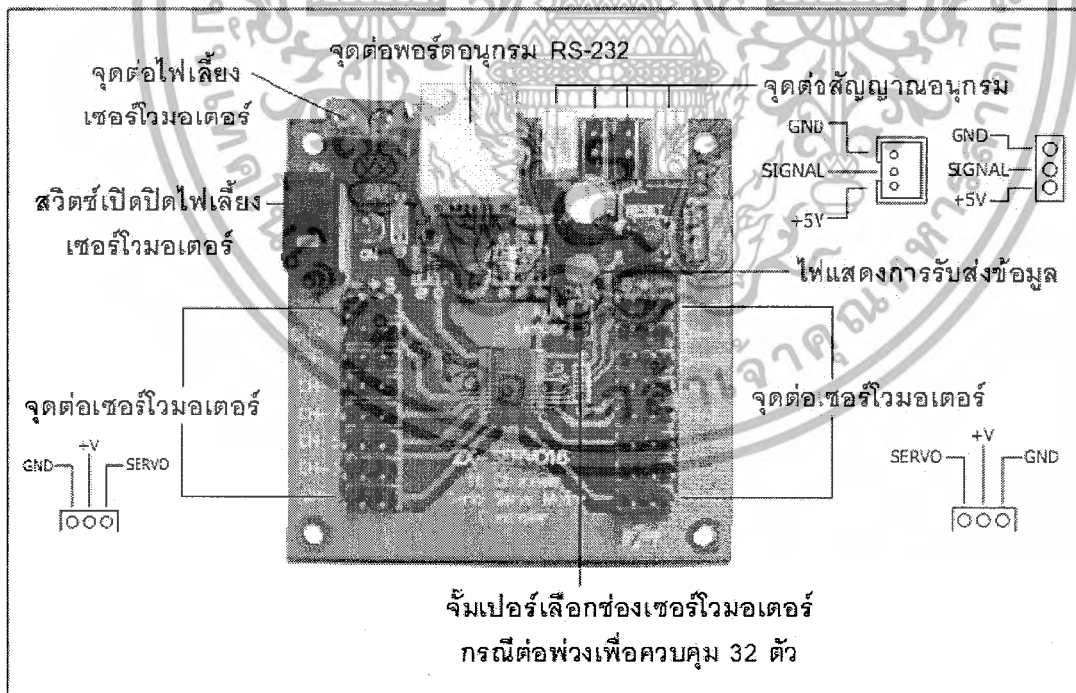
2.5.1.2 คลายสกรูของเทอร์มินอลบล็อกสีฟ้าในตำแหน่ง + Vmotor แล้วต่อสายไฟบวกและลบจาก แหล่งจ่ายไฟภายนอกเพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับเซอร์โวมอเตอร์เข้าไป ต้องระมัดระวังการต่อสายไฟจะต้องให้ถูกต้องตรงขั้ว

2.5.1.3 เสียบสายเซอร์โวมอเตอร์ที่ต้องการควบคุมเข้ากับจุดต่อเซอร์โวมอเตอร์ จะต้องสังเกตทิศทางของสายให้ถูกต้องโดย

สายสีดำเป็นไฟลบ(-)หรือกราวด์
 สายสีแดงเป็นไฟบวก(+)
 สายสีขาวเป็นสายสัญญาณ(s)



รูปที่ 2.16 การต่อแหล่งจ่ายไปบอร์ด ZX-SERVO16



รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบและการจัดขาของจุดต่อต่าง ๆ บนบอร์ด ZX - SERVO 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.4 ต่อสายสัญญาณและไฟเลี้ยงเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาควบคุมบอร์ด ZX – SERVO 16 โดยต้องไล่ลำดับสายให้ถูกต้อง ซึ่งแตกต่างจากสายของเซอร์โวมอเตอร์

2.5.1.5 จ่ายไฟให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมจะเห็น LED ที่ตำแหน่ง ON บนบอร์ด ZX – SERVO 16 ติดสว่างทันทีที่จ่ายไฟ

2.5.1.6 เขียนโปรแกรมติดต่อ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป
กรณีต้องการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ ผ่านพอร์ตอนุกรมให้ดูในหัวข้อ การควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์

2.5.2 การควบคุมบอร์ด ZX – SERVO 16 ผ่านคอมพิวเตอร์

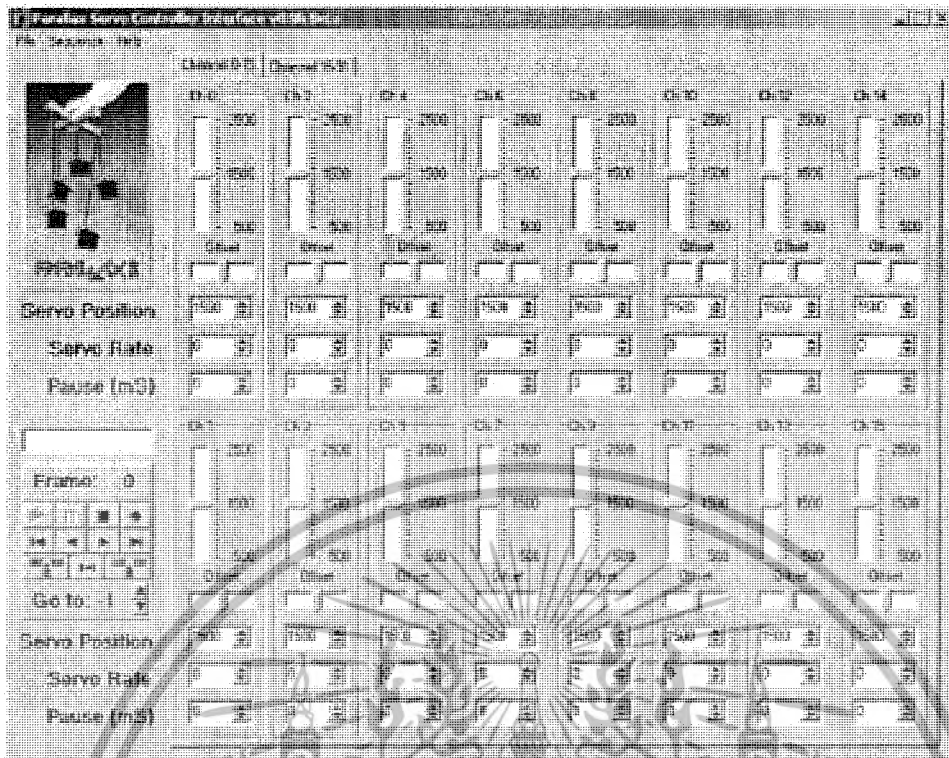
การสื่อสารระหว่างบอร์ด ZX – SERVO 16 กับคอมพิวเตอร์ จะกระทำผ่านพอร์ตอนุกรม โดยต่อสาย CX – 4 ดังแสดงในรูปที่ 4 จะต้องจ่ายไฟเลี้ยง + 5 V ให้กับบอร์ด ZX – SERVO 16 ด้วยจากรูปที่ 4 ใช้ไฟเลี้ยงผ่านมาจากบอร์ด Stamp – BOX ซึ่งไฟเลี้ยง + 5 V นี้จะใช้เลี้ยงเฉพาะส่วนควบคุมของบอร์ด ZX – SERVO 16 เท่านั้น สำหรับ ไฟเลี้ยงเซอร์โวมอเตอร์ยังคงต้องจ่ายตามปกติ

จากนั้นทำการติดตั้งโปรแกรม Parallax Servo Controller Interface เปิดโปรแกรม PSCI โดยหน้าต่างของโปรแกรม → PSCI จะแสดงในรูปที่ 5 จากนั้นเลือกพอร์ตอนุกรมที่เชื่อมต่อด้วย โดยไปที่เมนู File Select Comm Port แล้วเลือกพอร์ตอนุกรมที่เชื่อมต่อ หน้าต่างแสดงสถานะของโปรแกรมข้อความ Opening Comm Port และ Comm port Open ตามลำดับเพื่อแสดงการเปิดพอร์ตอนุกรมตำแหน่งที่กำหนดเพื่อสื่อสารข้อมูล



รูปที่ 2.18 แสดงการต่อบอร์ด ZX – SERVO 16 เข้ากับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



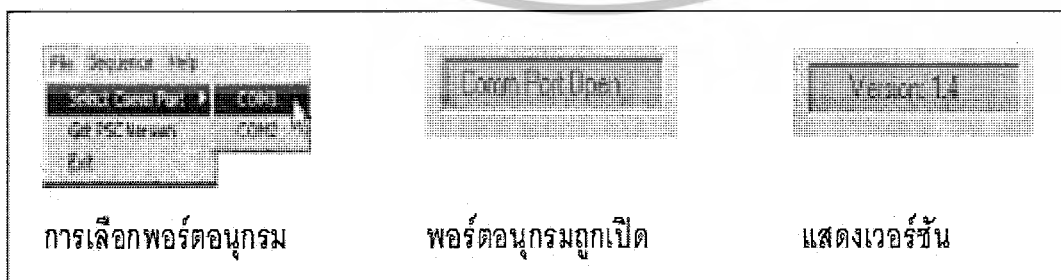
รูปที่ 2.19 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม PSCI

2.5.3 การตรวจสอบเวอร์ชันของบอร์ด ZX – SERVO 16

เพื่อเป็นการตรวจสอบการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และบอร์ด ZX – SERVO 16 ในเบื้องต้นสามารถใช้คำสั่ง Get PSC Version ในเมนู File เพื่ออ่านค่าเวอร์ชันของบอร์ด ZX – SERVO 16 ได้

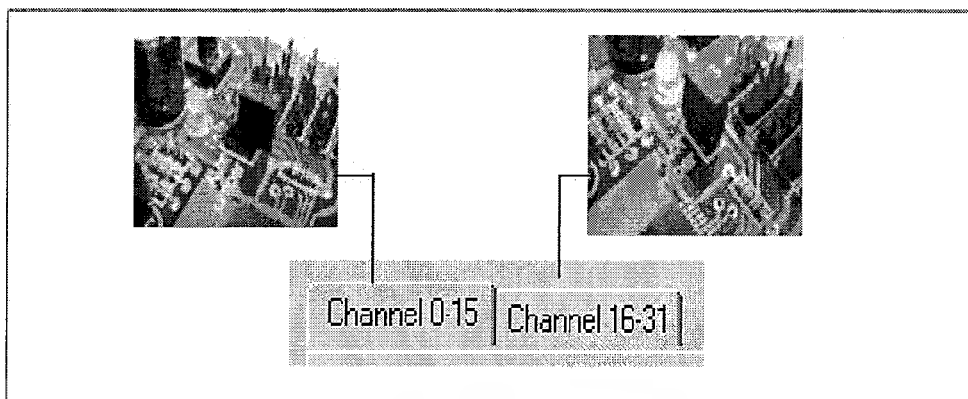
ถ้าการเชื่อมต่อถูกต้อง หน้าต่างแสดงสถานะจะแสดงข้อมูลเวอร์ชันออกมาดังรูปที่ 2.21

ถ้าไม่สามารถติดต่อกันได้ โปรแกรมจะแสดงข้อความ PSC Not Found จะต้องตรวจสอบตำแหน่ง พอร์ตอนุกรมที่ใช้เชื่อมต่อและทำการเลือกตำแหน่งพอร์ตที่ต้องการอีกครั้ง รวมถึงตรวจสอบการจ่ายไฟให้กับตัวบอร์ด ZX – SERVO 16 ด้วย



รูปที่ 2.20 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบเวอร์ชันของ ZX – SERVO 16 ผ่านโปรแกรม PSCI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



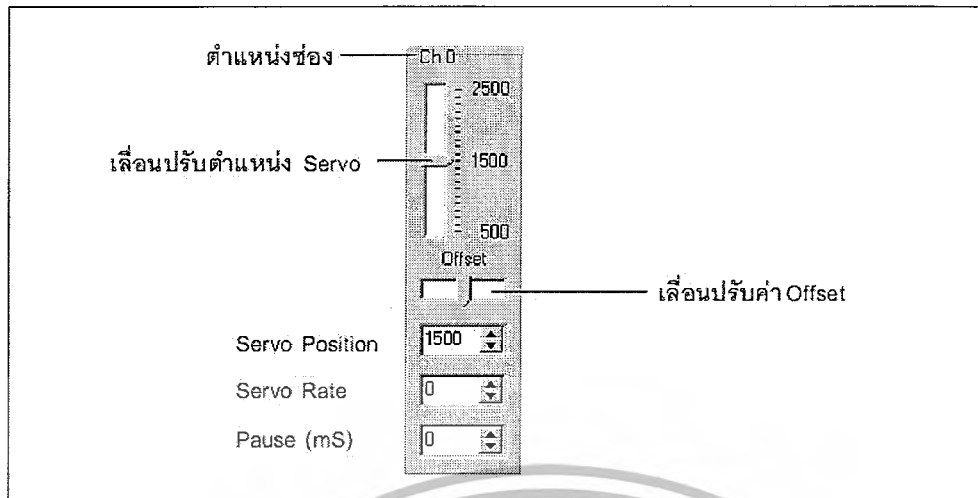
รูปที่ 2.21 แสดงการเลือกช่องสัญญาณเซอร์โวมอเตอร์ผ่านจัมเปอร์ AUX ของ บอร์ด ZX – SERVO 16

2.5.4 การสั่งงานควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

PSCI สามารถสั่งงานเซอร์โวมอเตอร์ได้ 2 รูปแบบ คือ การสั่งงานโดยตรงแบบทันทีทันใด และ สั่งงานผ่านการบันทึกรูปแบบล่วงหน้า ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบสามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้พร้อมกัน ถึง 32 ตัวโดยต่อพ่วงบอร์ด ZX – SERVO 16 ทั้ง 2 บอร์ดเข้าด้วยกัน แล้วเลือกไม่ต่อจัมเปอร์ AUX สำหรับบอร์ดกำหนดให้เป็นช่อง 0 ถึง 15 และต่อจัมเปอร์ AUX สำหรับบอร์ดที่กำหนดให้เป็นช่อง 16 ถึง 31 ดังแสดงในรูปที่ 2.22

2.5.4.1 การสั่งงานแบบทันทีทันใด

การสั่งให้ทำงานแบบนี้ เซอร์โวมอเตอร์ จะทำงานทันทีเมื่อมีการเลื่อนปรับปุ่มที่ใช้แทนตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ในโปรแกรมขึ้นลง หรือกำหนดค่าตัวเลขลงในช่อง Servo Position โดยผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะเกิดกับเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวจะแยกอิสระออกจากกัน ขึ้นอยู่กับ การปรับค่าที่ตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ นอกจากนี้ยังมีรายละเอียดการปรับแต่งปลีกย่อยอีกดังนี้



รูปที่ 2.22 แสดงกรอบคุม CH0 เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในช่อง CH0 แบบทันทีทันใด

2.5.4.2 การปรับค่า Offset

สำหรับเซอร์โวมอเตอร์บางตัวตำแหน่งกึ่งกลางของเซอร์โวอาจไม่ใช่ตำแหน่ง 1,500 ไมโครวินาทีเสมอไป หรือ สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ที่มีการปรับแต่งให้หมุนได้รอบตัว การปรับค่า Offset ก็เพื่อให้มอเตอร์หยุดนิ่งเมื่อกำหนดตำแหน่งไปที่ 1,500 ไมโครวินาที มากหรือน้อยกว่าเดิม ขึ้นอยู่กับว่า ปรับเลื่อน ไปทางด้านซ้ายหรือขวา ถ้าปรับไปทางซ้าย แสดงค่าน้อยลง ถ้าปรับไปทางขวา แสดงว่า ค่าเพิ่มขึ้น

การปรับค่า Servo Rate

2.5.4.3 การปรับค่าเซอร์โว Servo Rate

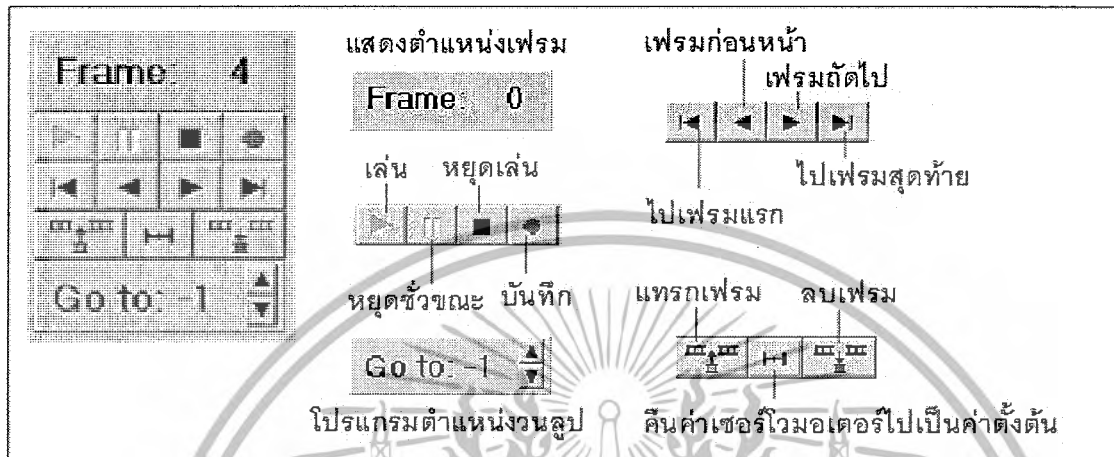
การเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์ จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งนั้น ถ้าเป็นการตั้งงานปกติ แกนของมอเตอร์จะเคลื่อนที่เร็วที่สุดที่เป็นไปได้เพื่อไปยังตำแหน่งที่กำหนด แต่ถ้ามีการกำหนดค่า Rate แกนของเซอร์โวมอเตอร์จะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ไปยังตำแหน่งที่กำหนด โดยระยะเวลาเคลื่อนที่ที่กำหนดได้ตั้งแต่ 0 ถึง 63 เป็นค่าสูงสุดที่ใช้เวลาประมาณ 45 วินาทีเพื่อเคลื่อนที่ 180 องศาสำหรับค่า 0 เซอร์โวมอเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด

2.5.4.4 การปรับค่านานเวลา Pause (ms)

สำหรับรูปแบบคำสั่งนี้จะเห็นผลก็ต่อเมื่ออยู่ในโหมดบันทึกข้อมูลเท่านั้น โดยจะทำการหน่วงเวลาหลังจากทำคำสั่งในเฟรมนั้น ๆ เรียบร้อยแล้ว โดยค่าที่กำหนดเป็นค่าตัวเลขหน่วยเป็นมิลลิวินาทีค่าสูงสุดที่กำหนดได้คือ 65,535

2.5.5 การบันทึกรูปแบบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การบันทึกรูปแบบหรือการโปรแกรมรูปแบบล่วงหน้านั้น ช่วยให้สามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ตามขั้นตอนที่กำหนดได้ โดยสามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้ทั้ง 32 ตัว โดยรายละเอียดของปุ่มต่าง ๆ สำหรับการบันทึกแสดงใน รูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 ปุ่มคำสั่งต่างๆสำหรับช่วยในการบันทึกรูปแบบการหมุนของเซอร์โว

2.5.6 ขั้นตอนการบันทึกรูปแบบเซอร์โวมอเตอร์

การบันทึกข้อมูลจะบันทึกข้อมูลอยู่ในรูปแบบของเฟรม จำนวนเฟรมสูงสุดที่บันทึกได้คือ 128 เฟรม (0 ถึง 127) ขั้นตอนการบันทึกเฟรมทำได้ดังนี้

2.5.6.1 เลือกช่องเซอร์โวที่ต้องการปรับค่า ปรับตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์, ค่า Servo Rate และ Pause ตามที่ต้องการ


2.5.6.2 กดปุ่มบันทึก  เพื่อบันทึกการปรับตั้งค่าเซอร์โวตำแหน่งนั้น

2.5.6.3 ทำปรับตำแหน่งเซอร์โวในช่องถัดไป หรือช่องเดิมแต่ปรับแต่งตำแหน่งใหม่ แล้วก็กดปุ่มบันทึกเฟรม จนครบถ้วนเฟรมที่ต้องการ



2.5.6.4 ถ้าต้องการให้การทำงานเป็นแบบวนลูปทำงานซ้ำ ให้กำหนดค่าตำแหน่งของการกระโดดกลับ ตามหลังมาด้วย เช่นถ้าต้องการกระโดดกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น ให้กำหนด Goto 0 เป็นต้น

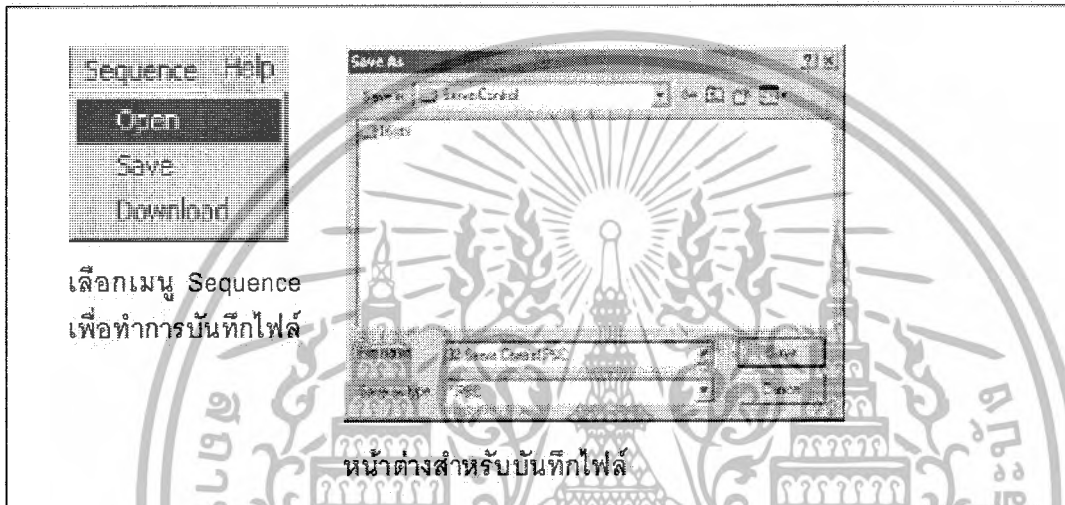
2.5.7 การเล่นกลับรูปแบบที่บันทึกไว้แล้ว

เมื่อต้องการเล่นกลับ สามารถกดปุ่มเล่นกลับ  โปรแกรมจะกระโดดที่ตำแหน่งเฟรม

แรกสุดแล้วเริ่มแล้วเริ่มเล่นกลับอยู่นั้นถ้าต้องการหยุดชั่วขณะสามารถกดปุ่มหยุดชั่วขณะ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้และต้องการให้การทำงานของหมรทำงานต่อไปก็กดที่ปุ่มถ้าต้องการให้โปรแกรมทำ → งาน
 ต่อจะต้องกดปุ่มเล่นกลับ  อีกครั้ง ถ้ามีการหยุดการทำงานของโปรแกรมจะต้องกดปุ่ม
 หยุด  เพื่อหยุดการทำงาน ผู้ใช้งานสามารถบันทึกโปรแกรมที่สร้างขึ้นลงแผ่นดิสก์ได้ โดยไป
 ที่เมนู Sequence Save
 โดยไฟล์ที่ Save จะมีนามสกุล. PSC หรือ ถ้าต้องเปิดไฟล์เดิมที่มีอยู่แล้วก็ไปที่ → Sequence
 Open เพื่อเปิด



รูปที่ 2.24 แสดงการบันทึกไฟล์ของการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ของ โปรแกรม PSCI


2.5.8 ตัวอย่างการบันทึกรูปแบบของเซอร์โวมอเตอร์


ตัวอย่างนี้จะทำกับเซอร์โวมอเตอร์โวมอเตอร์ที่ต่อกับช่อง CH0 และ กำหนดให้มีการ
 ทำงานแบบวนซ้ำโดยในแต่ละเฟรมมีการหน่วงเวลาทุก ๆ 0.5 วินาที มีขั้นตอนดังนี้

2.5.5.1 ที่ตำแหน่ง CH0 กำหนดช่วงการหน่วงเวลาเท่ากับ 500


2.5.5.2 กดปุ่ม  เพื่อบันทึกเฟรม 0 เฟรมจะเลื่อน ไปยังเฟรมถัดไปคือเฟรมที่ 1

การกด  จะคัดลอกข้อมูลของเฟรมก่อนหน้า มาด้วย ดังนั้นค่า 500 จะยังคงอยู่ที่เฟรมที่ 1


2.5.5.3 เลื่อนตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ช่อง CH0 ไปที่ 2500 จากนั้นกดปุ่ม 
 เพื่อบันทึก เฟรมที่ 1

2.5.5.4 เลื่อนตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ช่อง CH0 ไปที่ 500 จากนั้นกดปุ่ม 
 เพื่อบันทึก เฟรมที่ 2

2.5.5.5 เลื่อนตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ช่อง CH0 ไปที่ 1500 ที่ช่อง Goto

กำหนดค่า Goto 0 จากนั้นกดปุ่ม  เพื่อบันทึกเฟรมที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จบขั้นตอนการบันทึกรูปแบบการทำงานอย่างง่าย ๆ หลังจากนั้น สามารถใช้ปุ่ม  เพื่อเริ่มต้นขั้นตอนการส่งงานเซอร์โวได้แล้ว

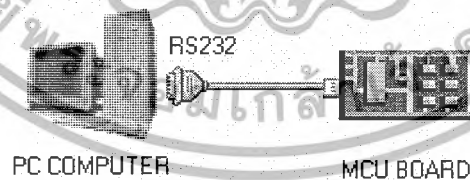
2.6 มาตรฐาน RS-232

RS-232 ย่อมาจาก Recommended Standard-232 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม กำหนดโดย EIA (Electronics Industry Association) หรือ สมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา ใช้กับการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยใช้สายเชื่อมต่อ DB แบบ 25 และ 9 เข็ม ที่ไม่ประสานจังหวะระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วง มีการทำงานแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมเพื่อทำแฮนด์เชค (Hand-shake) หรือไม่ได้

ทั้งนี้มาตรฐาน RS-232 จำกัดความยาวสายไว้ที่ 50 ฟุต (หรือประมาณ 15 เมตร) สำหรับการส่งสัญญาณที่ความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที โดยที่ความยาวสายจะต้องสั้นลงถ้าต้องการสื่อสารที่ความเร็วสูงขึ้น ตัวมาตรฐานจะกำหนดสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อนี้ด้วยกันทั้งหมด 4 หัวข้อหลักๆ ด้วยกันคือ

1. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสัญญาณ
2. คุณสมบัติทางกลของการเชื่อมต่อ ซึ่งหมายถึงตัวคอนเน็คเตอร์นั่นเอง
3. หน้าที่การทำงานของวงจรสำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูล
4. มาตรฐานการเชื่อมต่อสำหรับระบบสื่อสารเฉพาะอย่าง

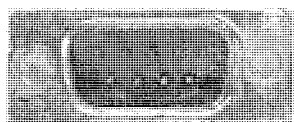
2.6.1 การใช้งานพอร์ตอนุกรม RS232



รูปที่ 2.25 การต่อใช้งานพอร์ตอนุกรม RS232

การสื่อสารแบบอนุกรม นับว่ามีความสำคัญ ต่อการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะสามารถใช้เป็นพินพ์ และจอภาพของ PC เป็น อินพุต และ เอาต์พุต ในการติดต่อ หรือควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยสัญญาณอย่างน้อย เพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 พอร์ตอนุกรมของ PC DB9 ตัวผู้ (Male)



รูปที่ 2.27 พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย (Female)

- พอร์ตอนุกรมของ PC จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวผู้ (Male)
- พอร์ตอนุกรม ของอุปกรณ์ภายนอก จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวเมีย (Female)

2.6.2 แสดงการจัดขา ของคอนเน็คเตอร์ อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งานต่างๆ



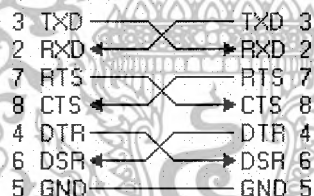
รูปที่ 2.28 DB9 ตัวผู้ เมื่อมองจากด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

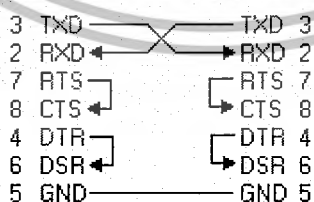
Pin Description	Type
1 Data Carrier Detect (DCD)	Input
2 Received Data (RXD)	Input
3 Transmitted Data (TXD)	Output
4 Data Terminal Ready (DTR)	Output
5 Signal Ground (GND)	Input
6 Data Set Ready (DSR)	Input
7 Request To Send (RTS)	Output
8 Clear to Send (CTS)	Input
9 Ring Indicator (RI)	Input

ตารางที่ 2.2 แสดงการจัดขาของคอนเน็กเตอร์อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งานต่าง

2.6.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9



รูปที่ 2.29 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem



รูปที่ 2.30 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 การทำงานของขาสัญญาณ DB9

TXD เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล

RXD เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล

DTR แสดงสถานะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน ,**DSR** ตรวจสอบว่าพอร์ต ที่ติดต่อด้วย เปิดอยู่หรือไม่

- เมื่อเปิดพอร์ตอนุกรม ขา DTR จะ ON เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าการติดต่อด้วย

- ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา DSR ว่าอุปกรณ์พร้อมหรือไม่

RTS แสดงสถานะพอร์ตว่าต้องการส่งข้อมูล ,**CTS** ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อด้วย ต้องการส่งข้อมูลหรือไม่

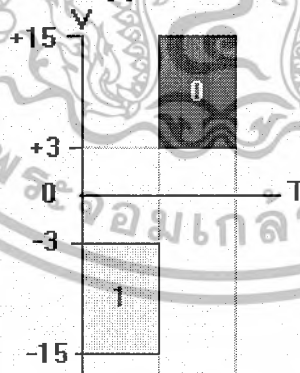
- เมื่อต้องการส่งข้อมูลขา RTS จะ ON และจะส่งข้อมูลออกที่ขา TXD เมื่อส่งเสร็จก็จะ OFF

- ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือไม่

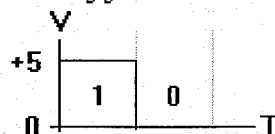
GND ขา ground

2.6.5 ระดับสัญญาณของ RS232

ระดับสัญญาณของ RS232



ระดับสัญญาณของ TTL



รูปที่ 2.31 ระดับสัญญาณของ RS232C และระดับสัญญาณของ TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ในสายนำสัญญาณ มักจะมีแรงดันเป็นบวก เมื่อเทียบกับกราวด์
- เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนนี้ จึงออกแบบแรงดัน ของโลจิก "1" เป็นลบ คืออยู่ในช่วง -3V ถึง -15V
- ส่วนแรงดัน ของโลจิก "0" อยู่ในช่วง +3V ถึง +15V
- และเหตุที่ ระดับสัญญาณ ของ RS232 อยู่ในช่วง +15V ถึง -15V ก็เพื่อให้ต่อสายสัญญาณไปได้ไกลขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันของ RS232 มาเป็นระดับแรงดันของ TTL

2.6.6 อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate)

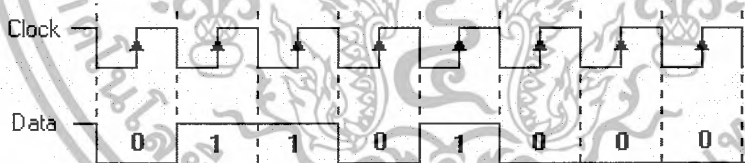
- คือความเร็วของการรับ-ส่งข้อมูล เป็นจำนวนบิตต่อวินาทีเช่น 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600, 14,400, 19,200, 38,400, 56,000 เป็นต้น การเลือกอัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายสัญญาณ, ระยะทาง, และปริมาณสัญญาณรบกวน

2.6.7 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือแบบซิงโครนัส (Synchronous) และแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

2.6.7.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)

การรับส่งข้อมูล จะมีสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็นตัวกำหนด จังหวะเวลา การส่งข้อมูล ร่วมอยู่ด้วยอีกเส้นหนึ่ง ใช้คู่กับสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด



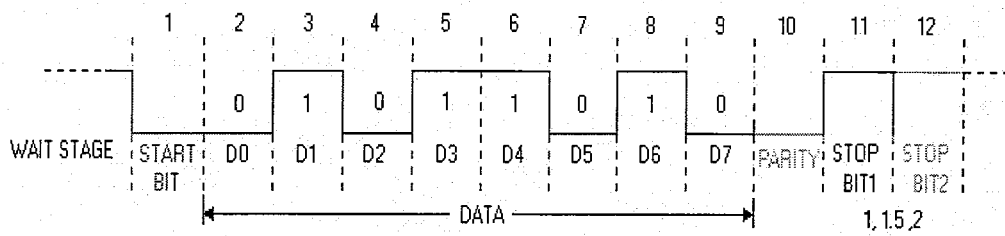
รูปที่ 2.32 สัญญาณการสื่อสารแบบซิงโครนัส

2.6.7.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

การรับส่งข้อมูล โดยที่ไม่จำเป็นต้อง มีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วย แต่จะใช้ให้ตัวส่ง และตัวรับ มีอัตราส่งข้อมูล ที่เท่ากัน รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูล (Data) มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (Parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 สัญญาณการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

- เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา data จะมีสถานะเป็น โลจิก "1" หรือ สถานะหยุดรอ (Waiting stage)

- เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลจะให้ขา data เป็น โลจิก "0" เป็นจำนวน 1 บิต เรียกว่าบิตเริ่มต้น (Start bit)

- จากนั้นก็จะเริ่มต้นส่งข้อมูล โดยส่งบิตต่ำไปก่อน (LSB)
 - แล้วตามด้วยพาริตีบิต (จะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการติดตั้งค่า ของทั้งสองฝ่าย)
 - สุดท้ายตามด้วยโลจิก "1" อย่างน้อย 1 บิต (มีขนาด 1, 1.5, หรือ 2 บิต) เพื่อแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

2.6.8 การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมยังแบ่งออกเป็นลักษณะการใช้งานได้ 3 แบบคือ

1. แบบซิมเพลกซ์ (Simplex) เป็นการส่ง หรือรับข้อมูล แบบทิศทางเดียว เท่านั้น
2. แบบฮาล์ฟดูเพลกซ์ (Half Duplex) เป็นการส่งและรับข้อมูลแบบสลับกันคือเมื่อด้านหนึ่งส่ง อีกด้านหนึ่ง เป็นฝ่ายรับ สลับกัน ไม่สามารถรับ-ส่งในเวลาเดียวกันได้
3. แบบฟูลดูเพลกซ์ (Full Duplex) สามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้

บทที่ 3

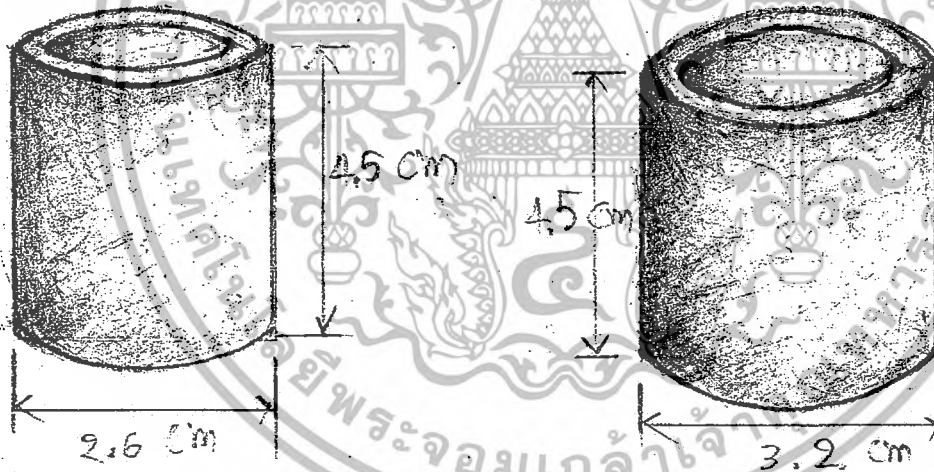
การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์หอน

บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการออกแบบส่วนประกอบและโครงสร้างโดยรวมของหุ่นยนต์สำรวจที่มีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายๆ หอน จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของหอนและการออกแบบออกแบบ โครงสร้างต่างๆ จึงทำให้สามารถแยกหลักการการทำงานของตัวหุ่นยนต์สำรวจที่มีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายๆ หอน ได้ดังนี้

3.1 โครงสร้างและองค์ประกอบต่างๆของตัวหุ่นยนต์ทางด้านฮาร์ดแวร์

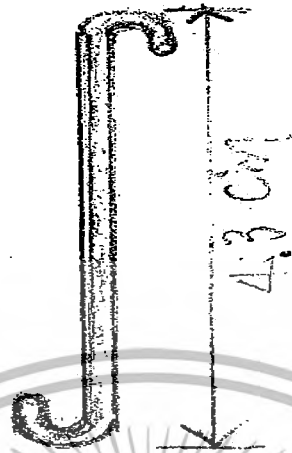
3.1.1 ขนาดและการออกแบบส่วนประกอบ

อลูมิเนียมที่นำมาเป็นชิ้นส่วนในการประกอบตัวของหุ่นยนต์นั้นมีความหนาประมาณ 0.3 มิลลิเมตร ท่อพีวีซีที่นำมาประกอบส่วนเคลื่อนที่นั้นใช้ขนาด 2.6 และ 3.2 เซนติเมตร แสดงชิ้นส่วนต่างๆดังรูปต่อไปนี้

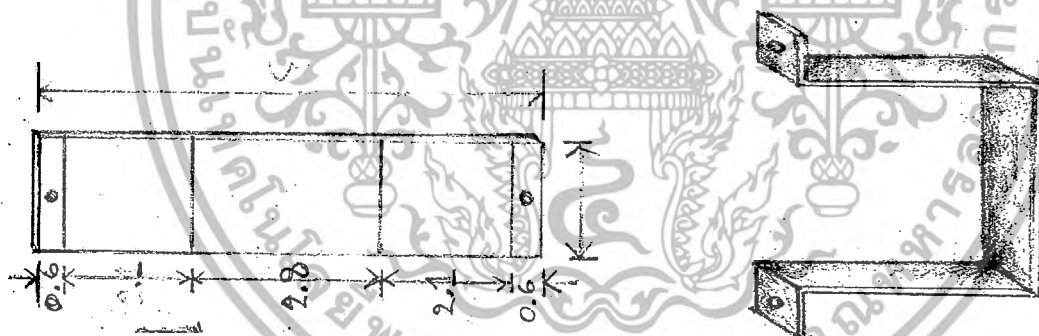


รูปที่ 3.1 ท่อพีวีซี ขนาด 2.6 และ 3.2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

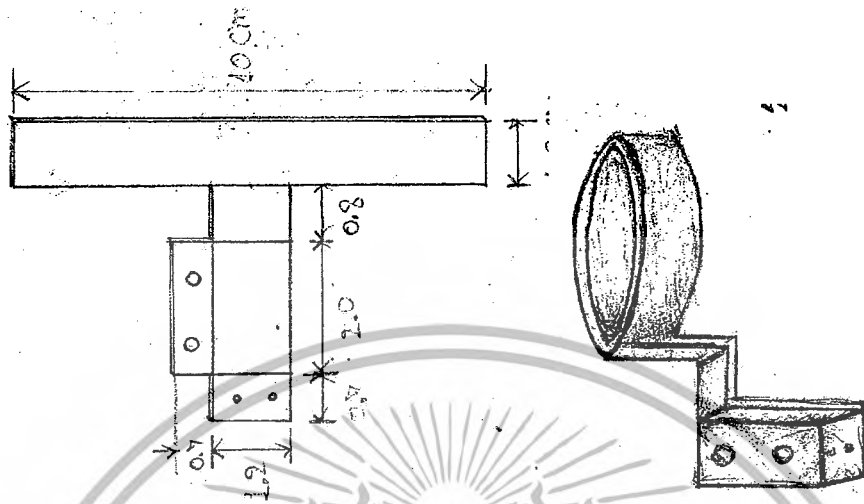


รูปที่ 3.2 ลวดที่ใช้ในการตั้งให้ตัวหุ่นเคลื่อนที่

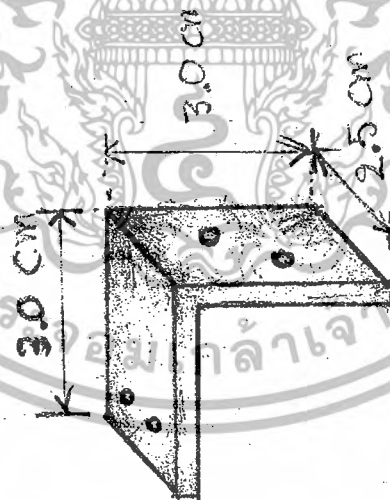


รูปที่ 3.3 ส่วนยึดติดเซอร์โว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

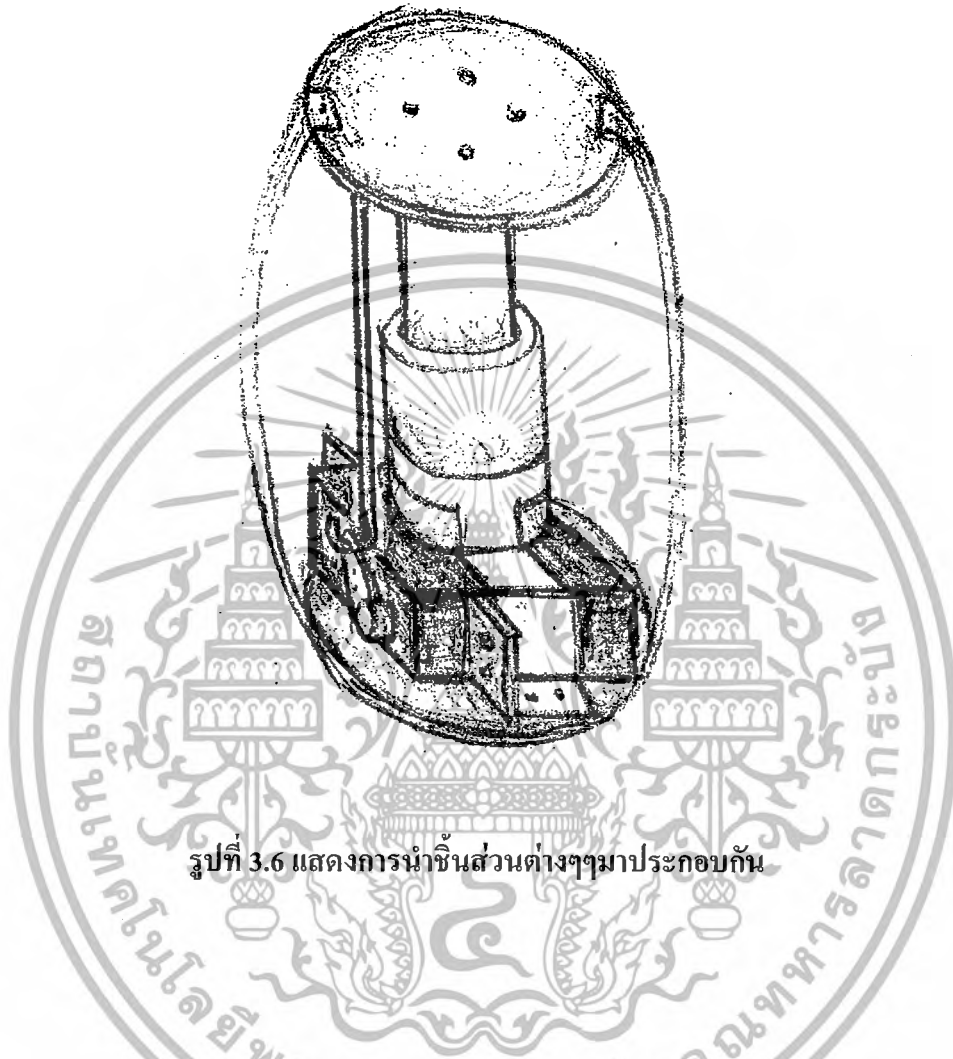


รูปที่ 3.4 ส่วนยึดติดท่อพีวีซีกับเซอร์โว



รูปที่ 3.5 ส่วนยึดติดข้อต่อแต่ละข้อให้ติดกับเซอร์โว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงการนำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบกัน



รูปที่ 3.7 แสดงการนำตัวข้อต่อแต่ละข้อมาประกอบเข้าด้วยกัน

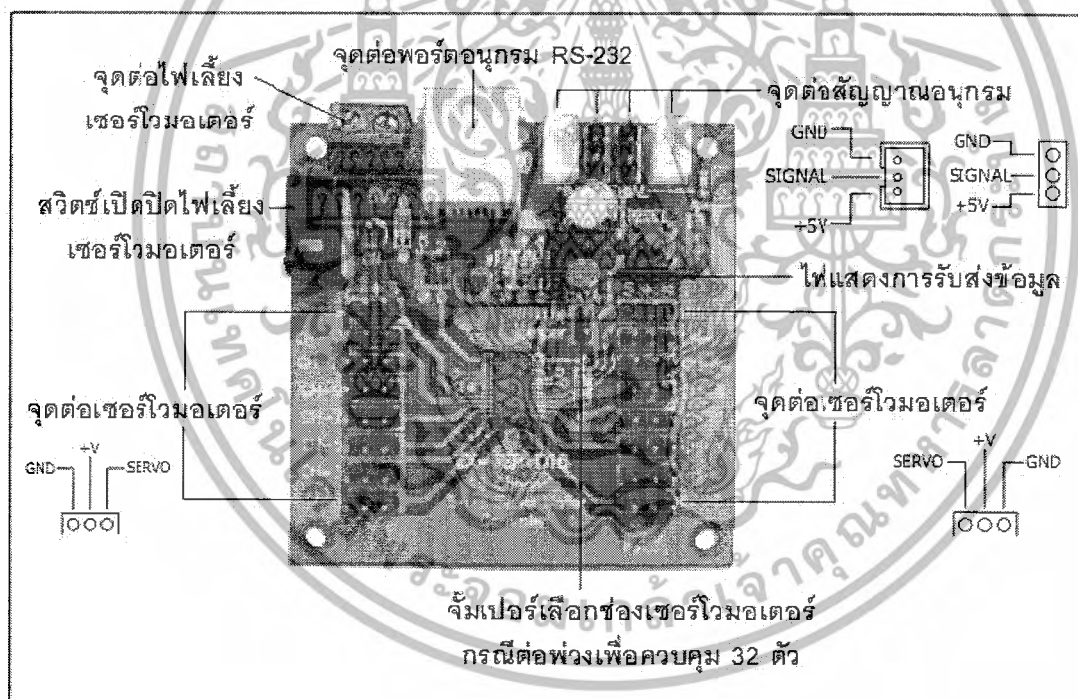
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 บอร์ดควบคุมการทำงาน

3.2.1 บอร์ดควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ZX – SERVO 16

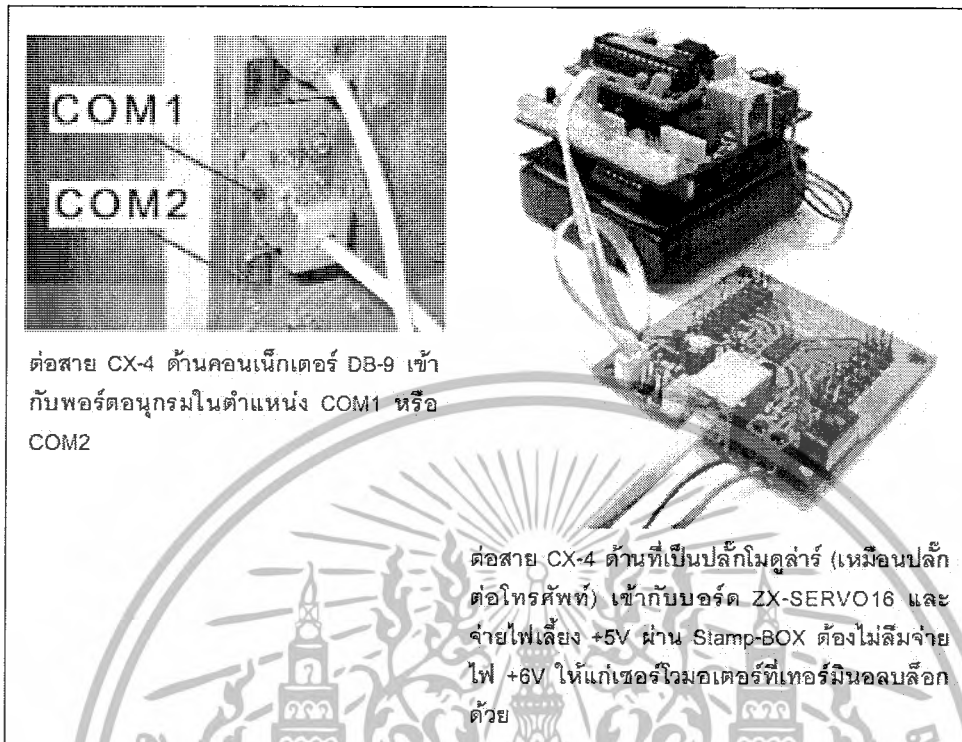
บอร์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ZX – SERVO 16 มีไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC เบอร์ CY8C26443 ที่บรรจุโปรแกรมควบคุมพิเศษอยู่ภายในเป็นหัวใจหลักในการทำงาน สื่อสารรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ภายนอกหรือคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS – 232 โดยใช้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียว ซึ่งสายสัญญาณนี้ ทำหน้าที่ทั้งรับและส่งข้อมูลดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดการชนกันของข้อมูลจะต้องมีการขับสถานะเอาต์พุตเพียงสถานะเดียวเท่านั้น คือ สถานะลอจิก “0”

ในสภาวะปกติ ขา Serial (ขา 2) จะมีสถานะลอจิก “1” จากตัวต้านทาน R3 ที่ต่อพ่วงเอาไว้ LED 2 DATA จะติดสว่างก็ต่อเมื่อมีการรับส่งข้อมูลลอจิก “0” ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือคอมพิวเตอร์ภายนอกกับ บอร์ด ZX – SERVO 16



รูปที่ 3.8 แสดงส่วนประกอบการใช้งานบอร์ด ZX – SERVO 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



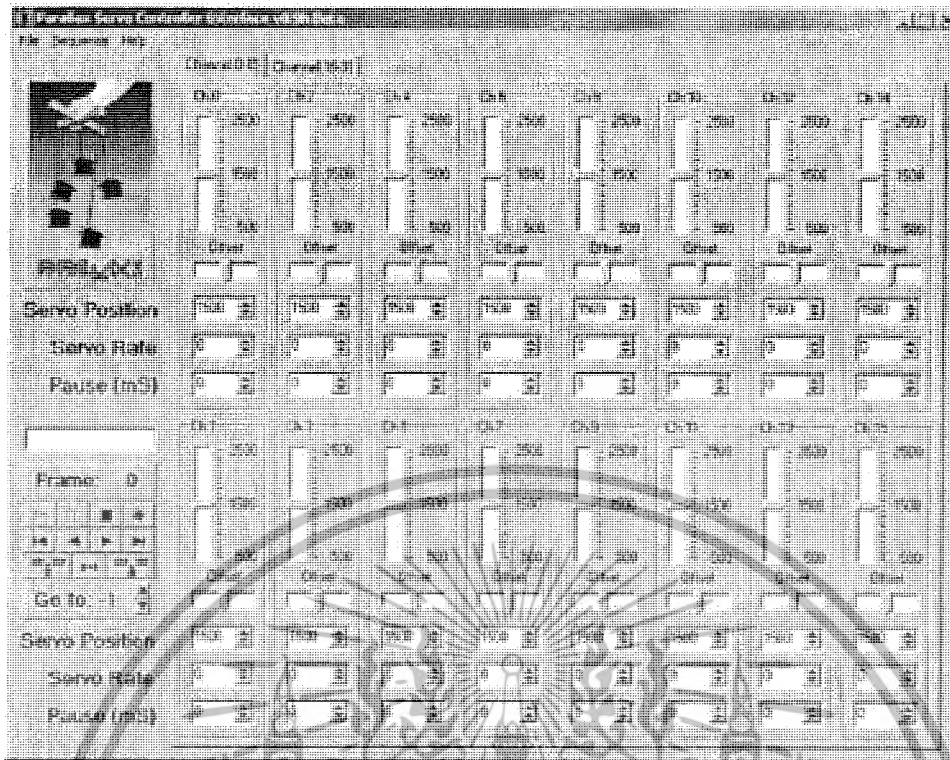
รูปที่ 3.9 แสดงการต่อบอร์ด ZX – SERVO 16 เข้ากับคอมพิวเตอร์

3.2.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และบอร์ด ZX – SERVO 16 ในเบื้องต้นสามารถใช้คำสั่ง Get PSC Version ในเมนู File เพื่ออ่านค่าเวอร์ชันของบอร์ด ZX – SERVO 16 ได้

ถ้าการเชื่อมต่อถูกต้อง หน้าต่างแสดงสถานะจะแสดงข้อมูลเวอร์ชันออกมาดังรูปที่ 2.21

ถ้าไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โปรแกรมจะแสดงข้อความ PSC Not Found จะต้องตรวจสอบตำแหน่ง พอร์ตอนุกรมที่ใช้เชื่อมต่อและทำการเลือกตำแหน่งพอร์ตที่ต้องการอีกครั้ง รวมถึงตรวจสอบการจ่ายไฟให้กับตัวบอร์ด ZX – SERVO 16 ด้วย



รูปที่ 3.10 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม PSCI

3.2.2.1 การสั่งงานควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

PSCI สามารถสั่งงานเซอร์โวมอเตอร์ได้ 2 รูปแบบ คือ การสั่งงานโดยตรงแบบทันทีทันใด และ สั่งงานผ่านการบันทึกรูปแบบล่วงหน้า ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบสามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้พร้อมกัน ถึง 32 ตัวโดยต่อพ่วงบอร์ด ZX – SERVO 16 ทั้ง 2 บอร์ดเข้าด้วยกัน แล้วเลือกไม่ต่อจัมเปอร์ AUX สำหรับบอร์ดกำหนดให้เป็นช่อง 0 ถึง 15 และต่อจัมเปอร์ AUX สำหรับบอร์ดที่กำหนดให้เป็นช่อง 16 ถึง 31 ดังแสดงในรูปที่ 2.22

3.2.2.2 การสั่งงานแบบทันทีทันใด

การสั่งให้ทำงานแบบนี้ เซอร์โวมอเตอร์ จะทำงานทันทีเมื่อมีการเลื่อนปรับปุ่มที่ใช้แทนค่าของเซอร์โวมอเตอร์ใน โปรแกรมขึ้นลง หรือกำหนดค่าตัวเลขลงในช่อง Servo Position โดยผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะเกิดกับเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวจะแยกอิสระออกจากกัน ขึ้นอยู่กับการปรับค่าที่ตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ นอกจากนี้ยังมีรายละเอียดการปรับแต่งปลีกย่อยอีกดังนี้

3.2.2.3 การปรับค่า Offset

สำหรับเซอร์โวมอเตอร์บางตัวตำแหน่งกึ่งกลางของเซอร์โวอาจไม่ใช่ตำแหน่ง 1,500 ไมโครวินาทีเสมอไป หรือ สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ที่มีการปรับแต่งให้หมุนได้รอบตัว การปรับค่า Offset ก็เพื่อให้มอเตอร์หยุดนิ่งเมื่อกำหนดตำแหน่งไปที่ 1,500 ไมโครวินาที มากหรือน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าเดิม ขึ้นอยู่กับว่า ปรับเลื่อนไปทางด้านซ้ายหรือขวา ถ้าปรับไปทางซ้าย แสดงค่าน้อยลง ถ้าปรับไปทางขวา แสดงว่า ค่าเพิ่มขึ้น

การปรับค่า Servo Rate

3.2.2.4 การปรับค่าเซอร์โว Servo Rate

การเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์ จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งนั้น ถ้าเป็นการสั่งงานปกติ แกนของมอเตอร์จะเคลื่อนที่เร็วที่สุดที่เป็นไปได้เพื่อไปยังตำแหน่งที่กำหนด แต่ถ้ามีการกำหนดค่า Rate แกนของเซอร์โวมอเตอร์จะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ไปยังตำแหน่งที่กำหนด โดยระยะเวลาเคลื่อนที่ที่กำหนดได้ตั้งแต่ 0 ถึง 63 เป็นค่าสูงสุดที่ใช้เวลาประมาณ 45 วินาทีเพื่อเคลื่อนที่ 180 องศาสำหรับค่า 0 เซอร์โวมอเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด

3.2.2.5 การปรับค่านั่งเวลา Pause (ms)

สำหรับรูปแบบคำสั่งนี้จะเห็นผลก็ต่อเมื่ออยู่ในโหมดบันทึกข้อมูลเท่านั้น โดยจะทำการนั่งเวลาหลังจากทำคำสั่งในเฟรมนั้น ๆ เรียบร้อยแล้ว โดยค่าที่กำหนดเป็นค่าตัวเลขหน่วยเป็นมิลลิวินาทีค่าสูงสุดที่กำหนดได้คือ 65,535



บทที่ 4

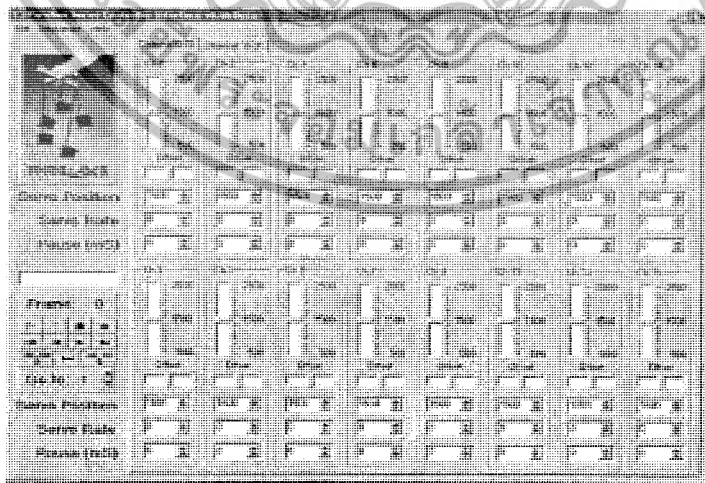
ผลการทดลอง

จากการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อหาข้อสรุปในการทำงานของตัวหุ่นยนต์ เพื่อจะได้ทราบถึงปัญหาที่เกิดจากการทำงานของหุ่นยนต์ และจะได้นำข้อผิดพลาดจากการทำงานมาปรับปรุงแก้ไขให้หุ่นยนต์สำรวจทำงานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองให้หุ่นยนต์สำรวจเคลื่อนที่ในท่อทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มม. โดยควบคุมจากการทำงานจากบอร์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ZX – SERVO 16 โดยควบคุมตัวหุ่นยนต์ผ่านคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232

4.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

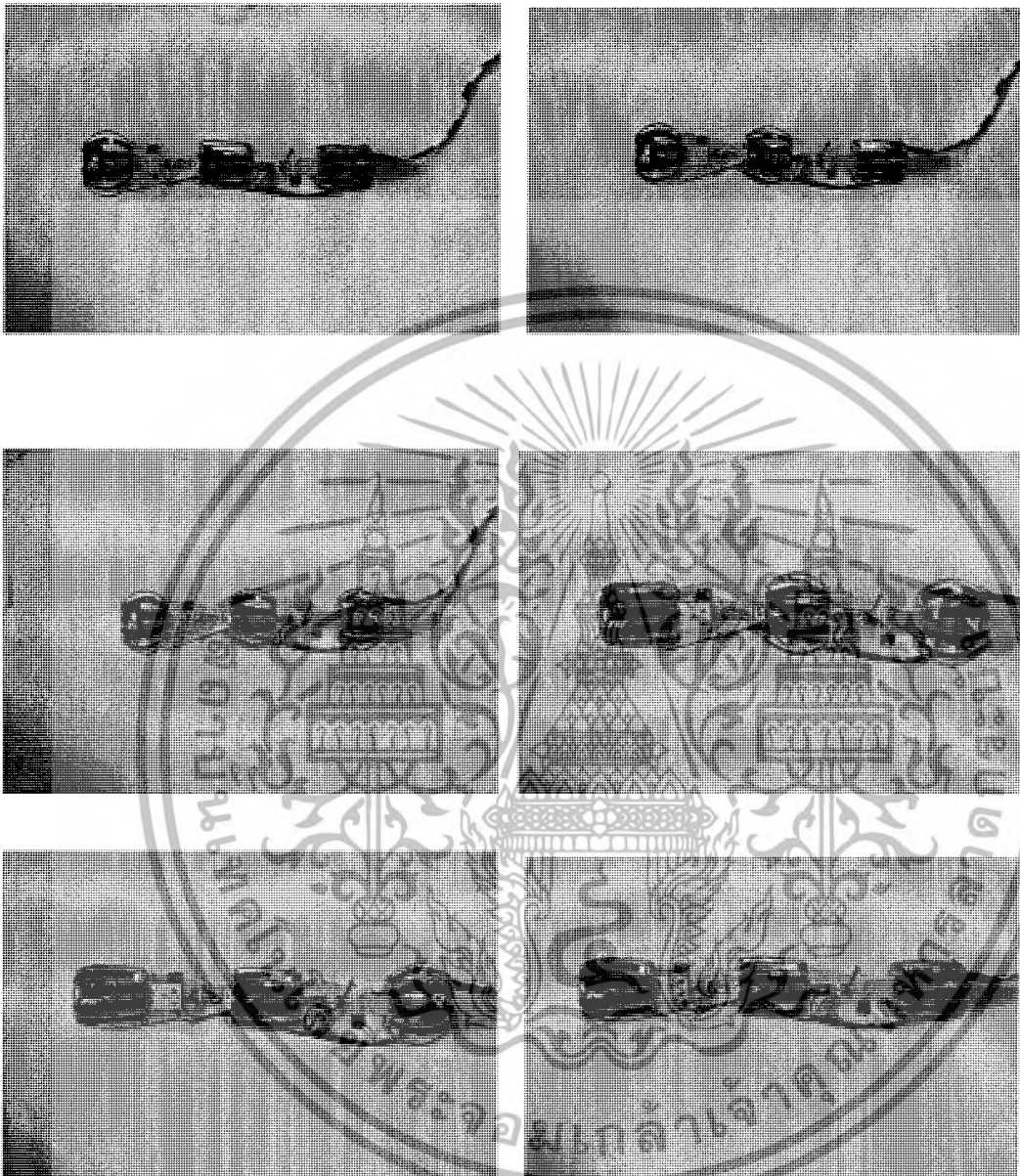
ขั้นตอนการทดลองนั้นจะควบคุมให้ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในท่อทรงกลมใส โดยใช้สายเชื่อมต่อจากวงจรที่ตัวหุ่นยนต์ มายังบอร์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ZX – SERVO 16 การเริ่มต้นการทำงานของหุ่นยนต์นั้นจะเริ่มจาก การใส่หุ่นยนต์เข้าไปในท่อทั้งตัวจากนั้นเริ่มสั่งงานให้หุ่นยนต์ทำงานโดยการป้อนคำสั่งจากโปรแกรม PSCI ให้ส่วนของตัวยึดให้ติดกับท่อ ในส่วนของลำตัวหุ่นยนต์ทำให้ลำตัวหดเข้าไป ต่อมาก็ยึดส่วนท้ายของหุ่นยนต์ให้ติดกับท่อ เมื่อยึดในส่วนท้ายของหุ่นยนต์แล้ว ก็ปล่อยในส่วนของตัวยึดติดท่อในส่วนข้างหน้าแล้วก็ยึดลำตัวของหุ่นยนต์ออกไป ด้านหน้าและก็ยึดติดกับท่อเหมือนเดิม ต่อมาก็ปล่อยตัวยึดติดท่อในส่วนท้ายของหุ่นยนต์ ทำอย่างนี้ซ้ำไปเรื่อยๆ



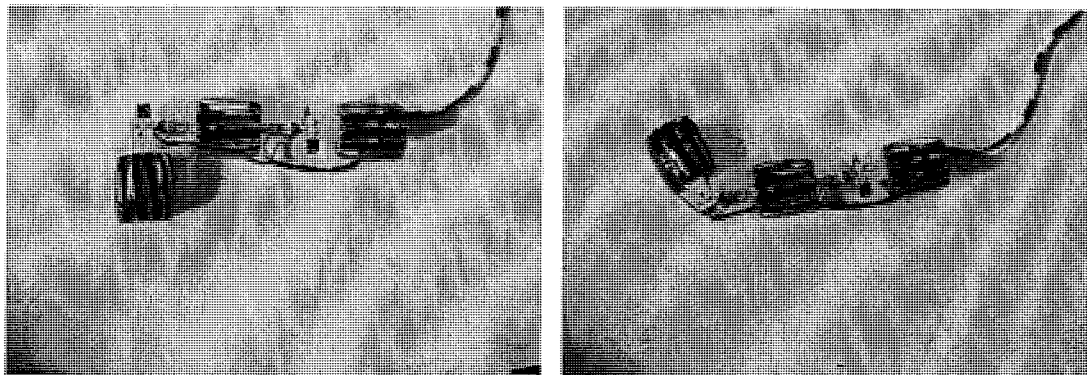
รูปที่ 4.1 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม PSCI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์



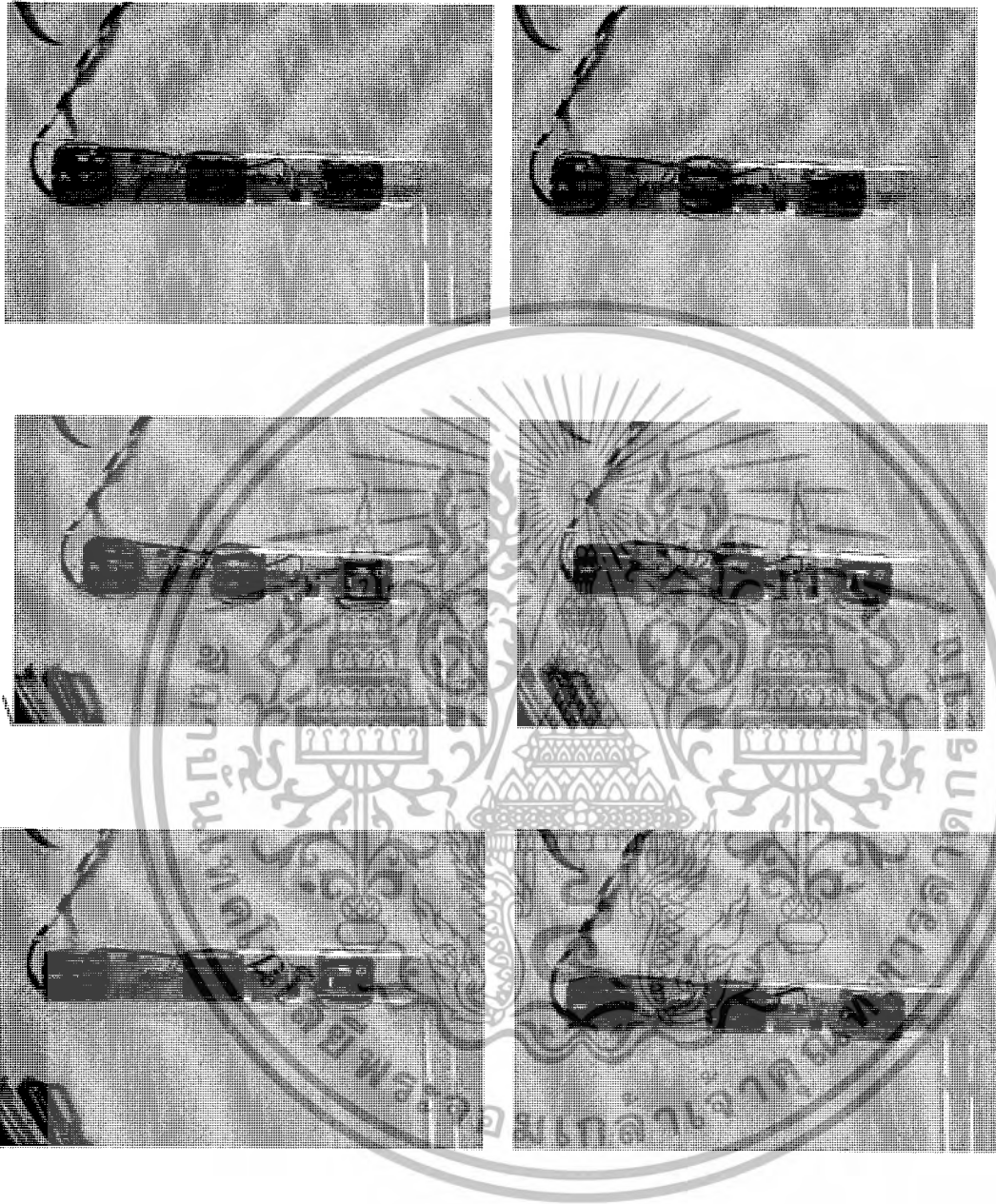
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

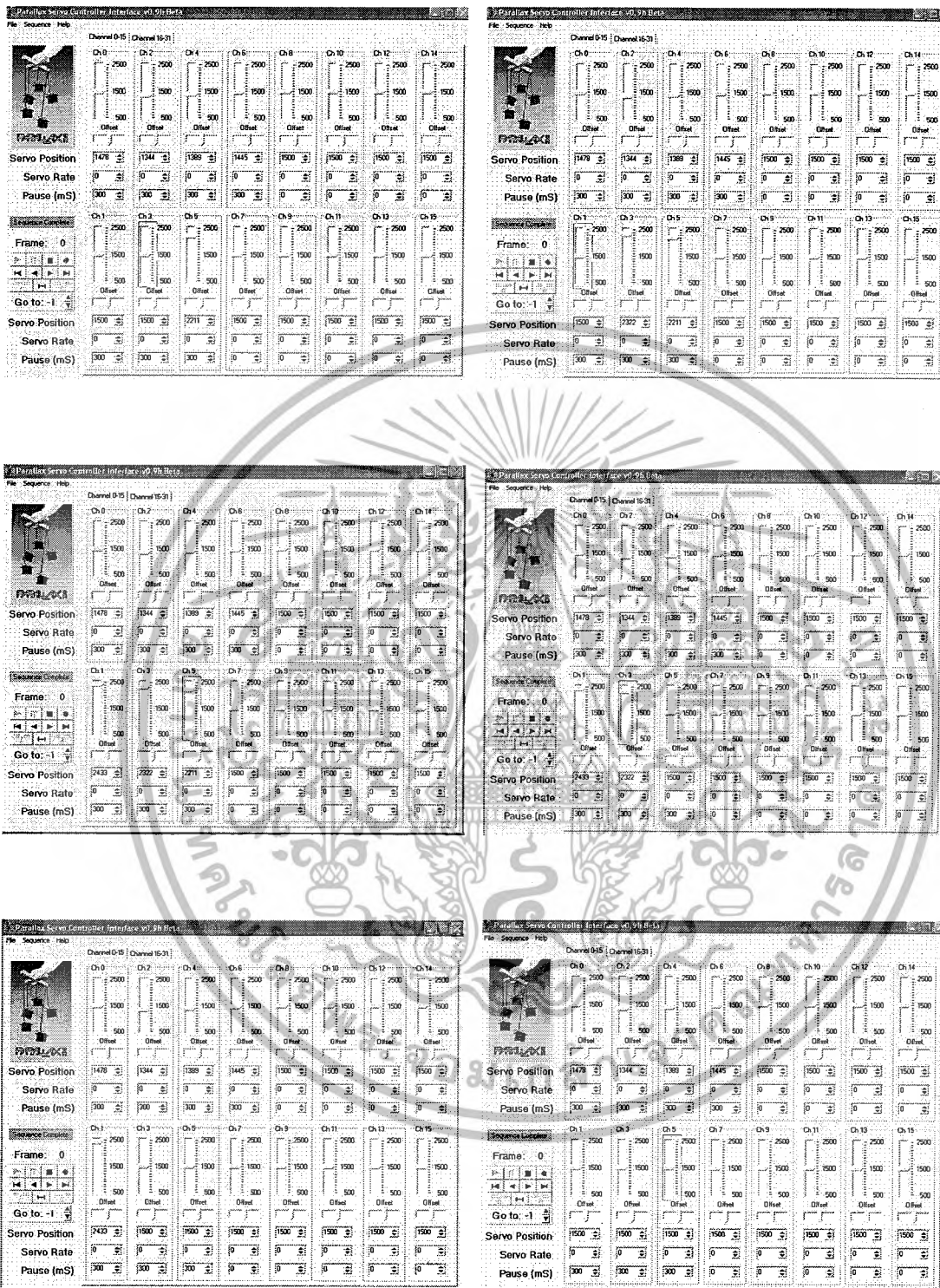
4.1.2 การเคลื่อนที่ภายในท่อ



รูปที่ 4.3 การเคลื่อนที่ภายในท่อ

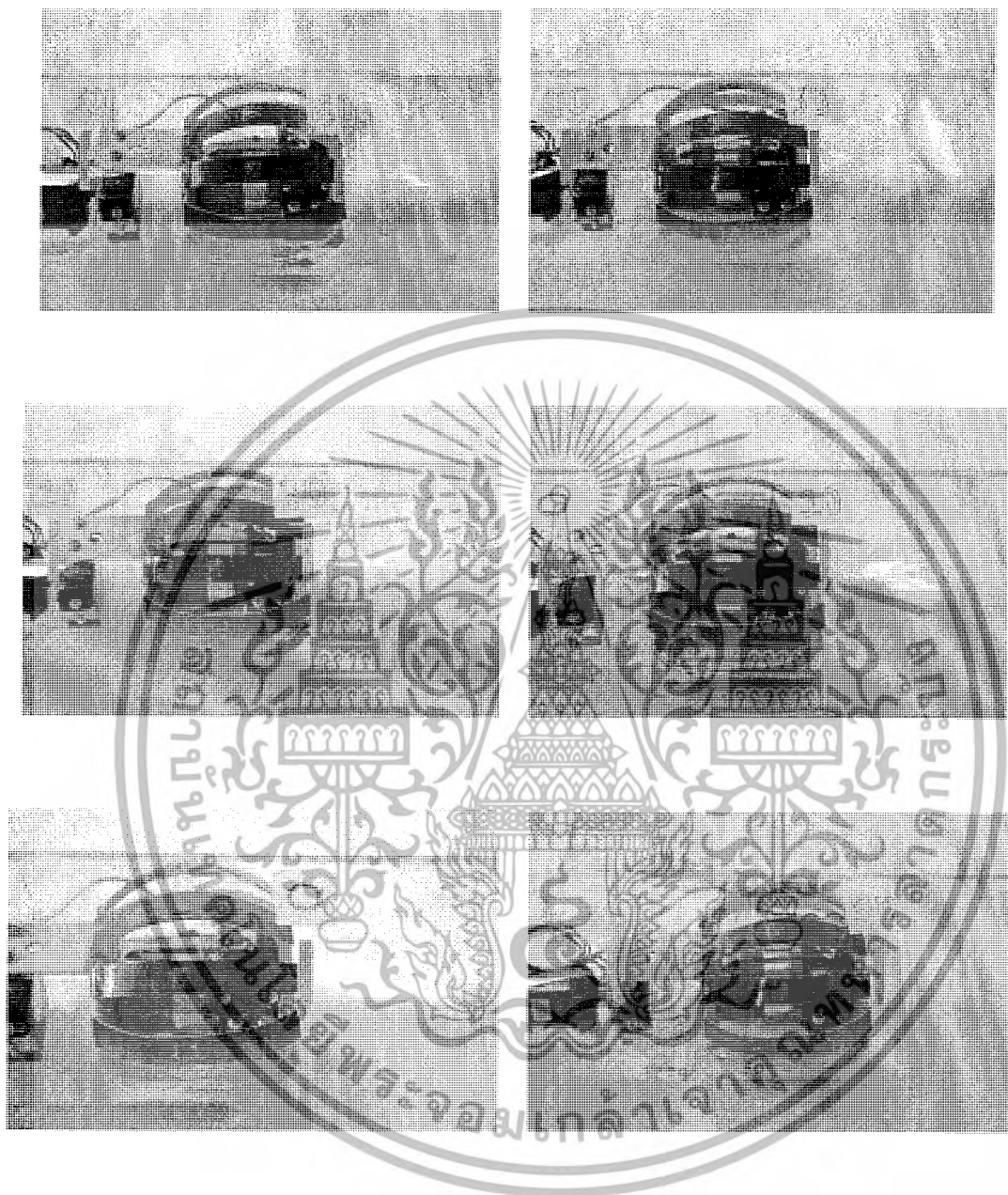
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์เดินหน้า



รูปที่ 4.4 ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์เดินหน้า

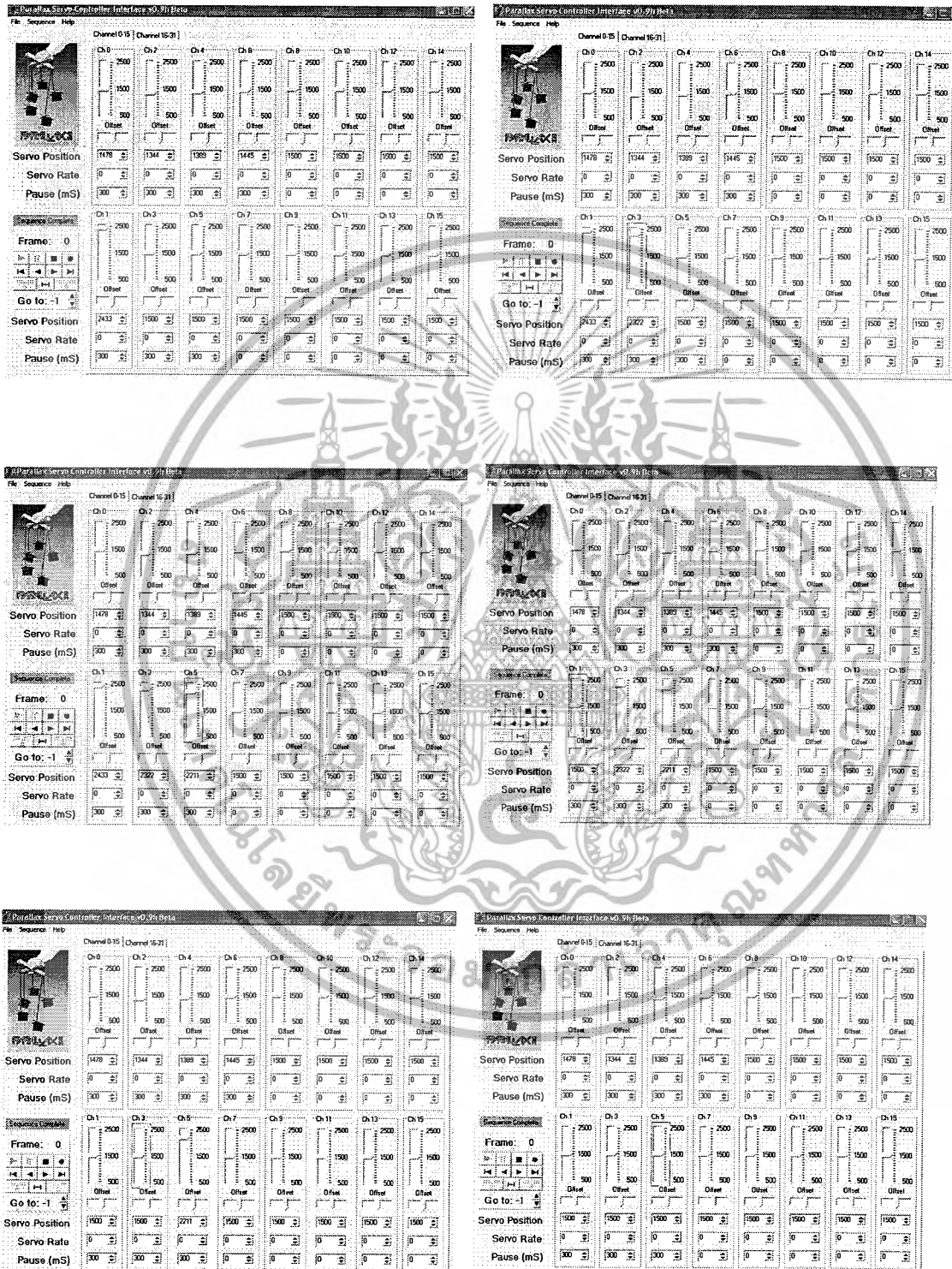
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 หุ่นยนต์เดินหน้า

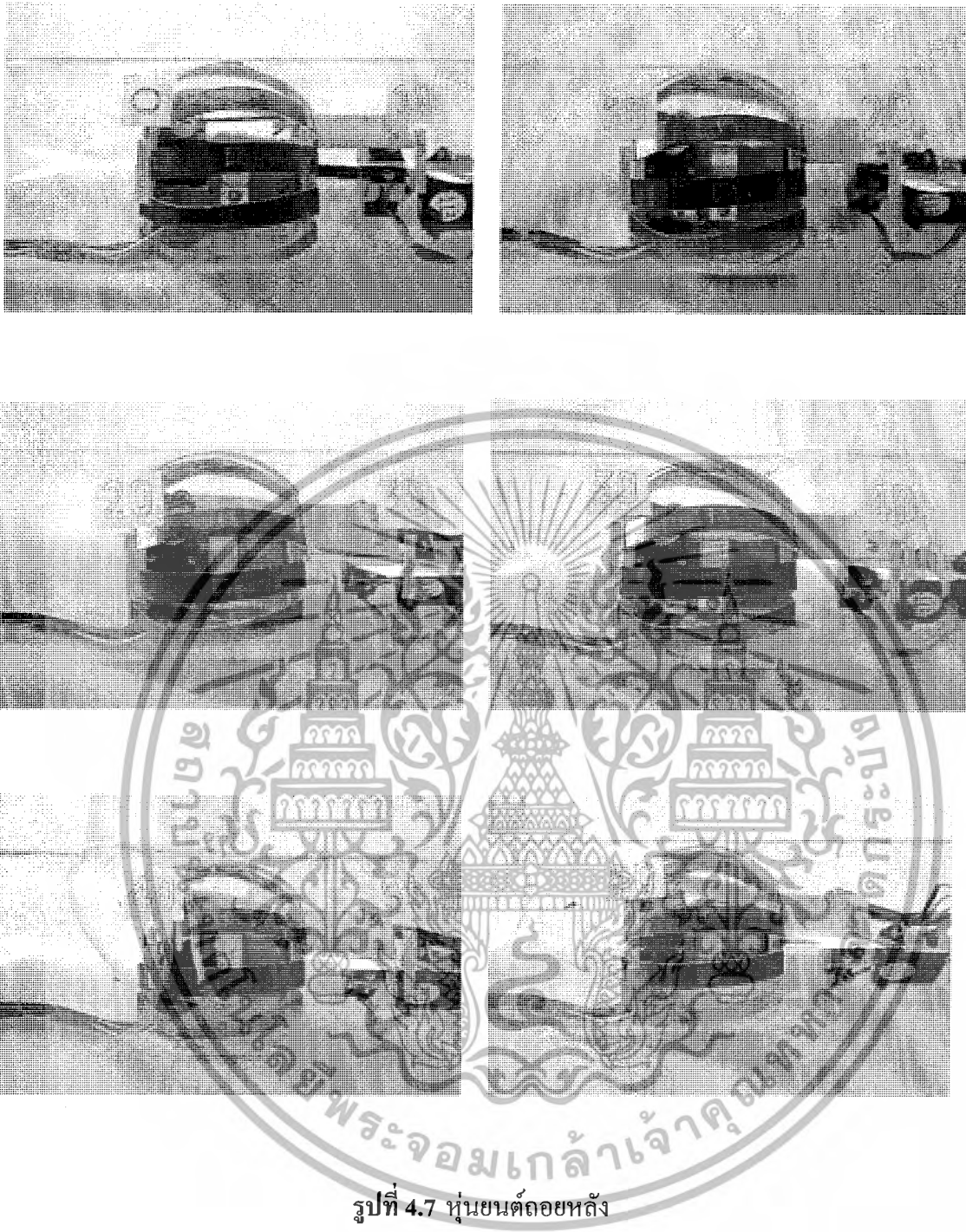
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์ถอยหลัง



รูปที่ 4.6 ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์ถอยหลัง

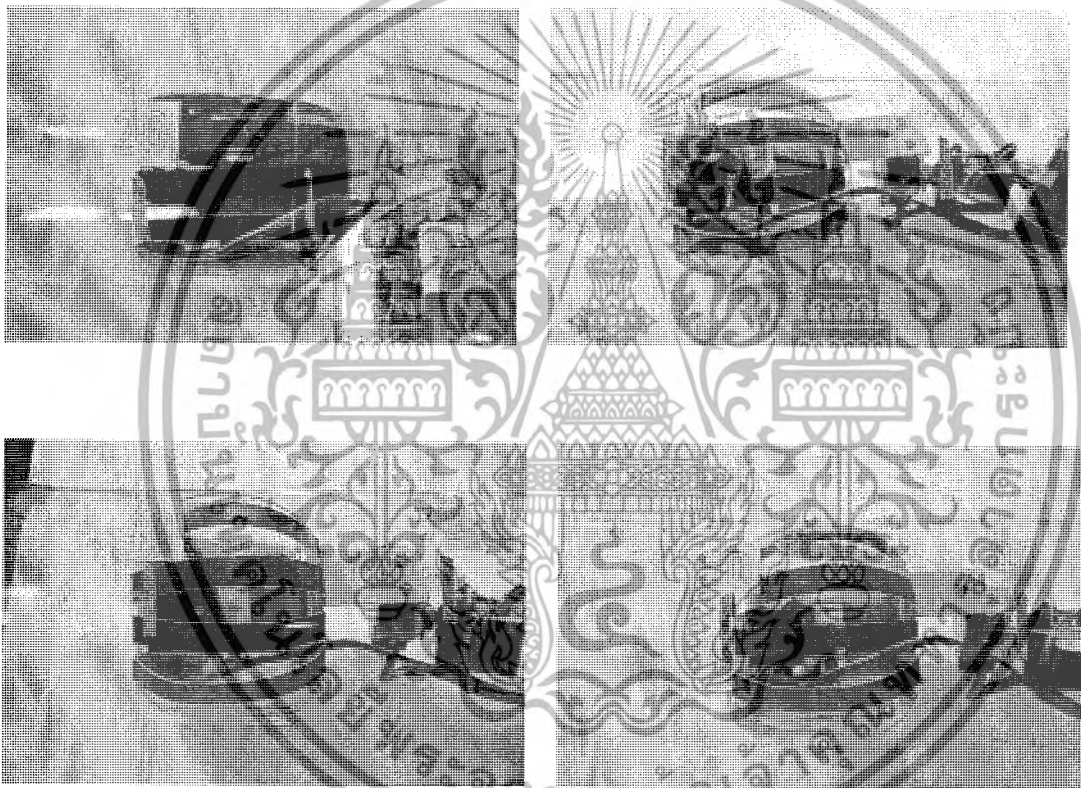
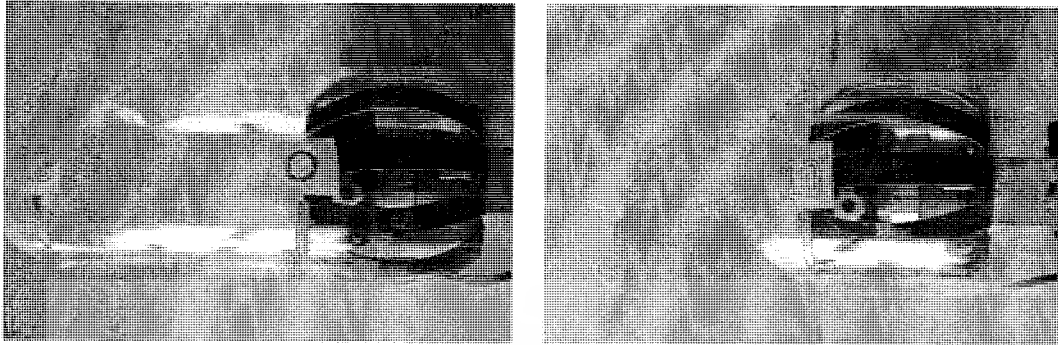
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 หุ่นยนต์ลอยหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

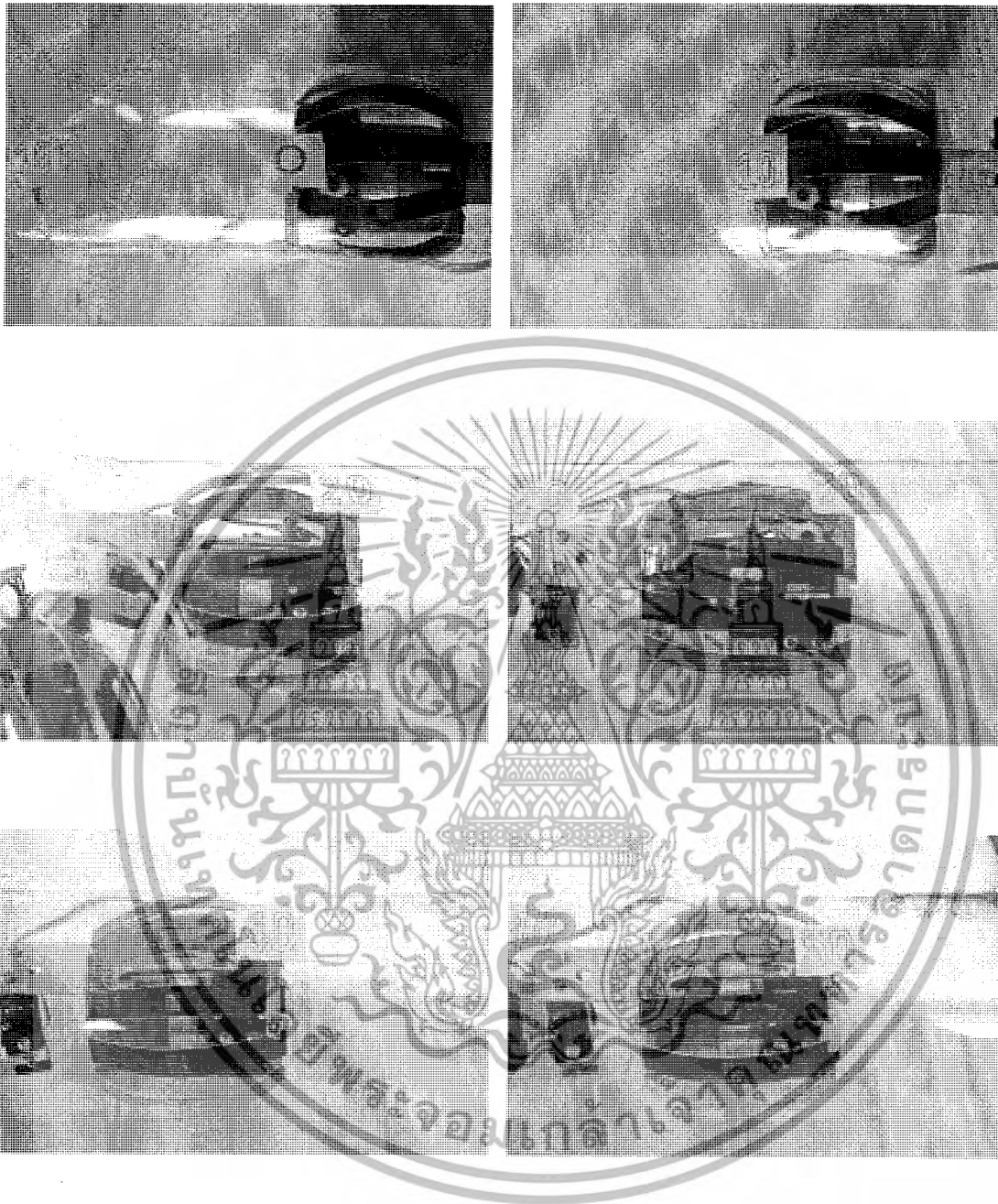
4.1.4 เดินหน้า เลี้ยวซ้าย



รูปที่ 4.8 หุ่นยนต์ถอยหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

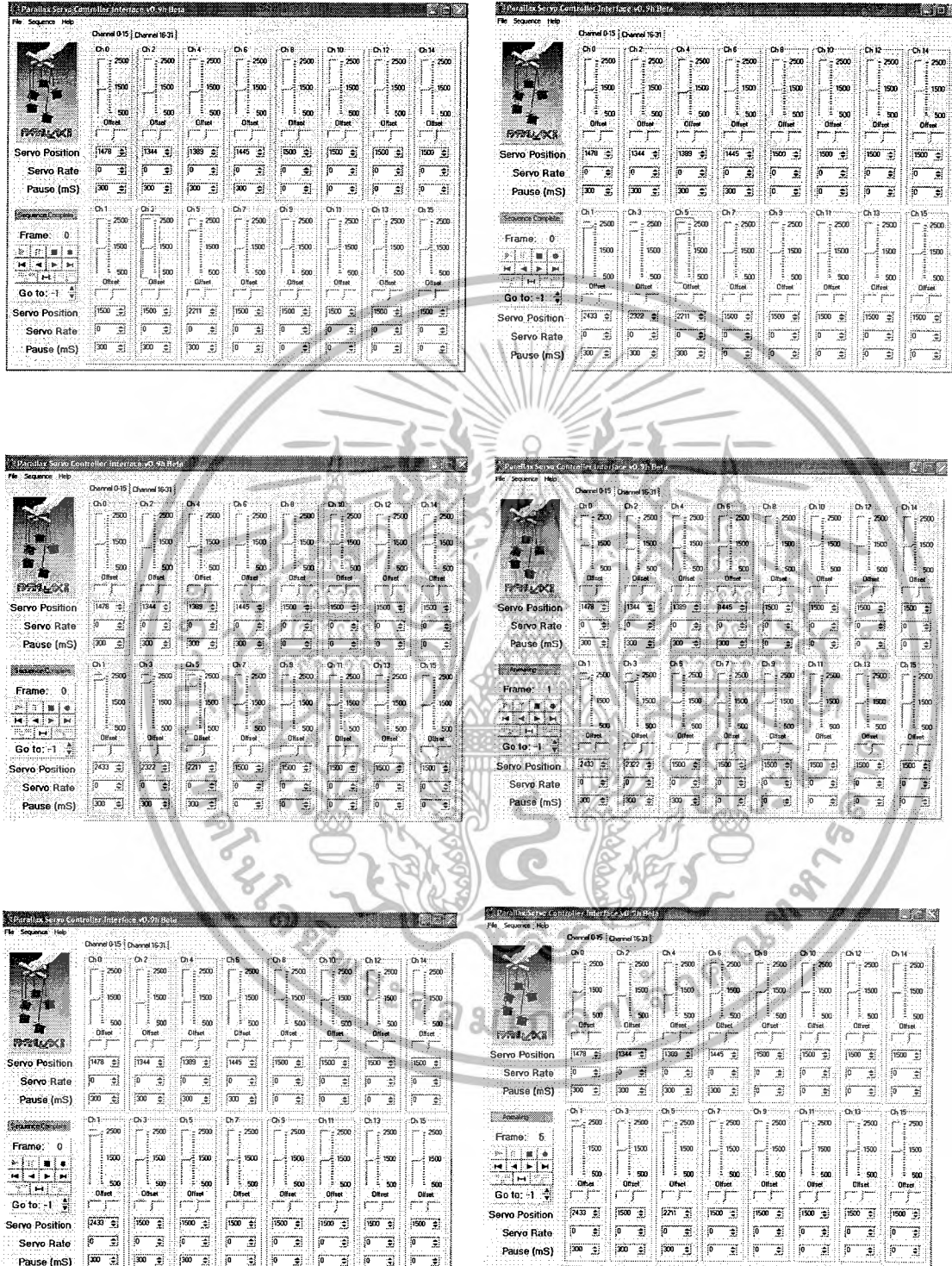
4.1.5 เติมน้ำ เลี้ยวขวา



รูปที่ 4.9 หุ่นยนต์เติมน้ำ เลี้ยวขวา

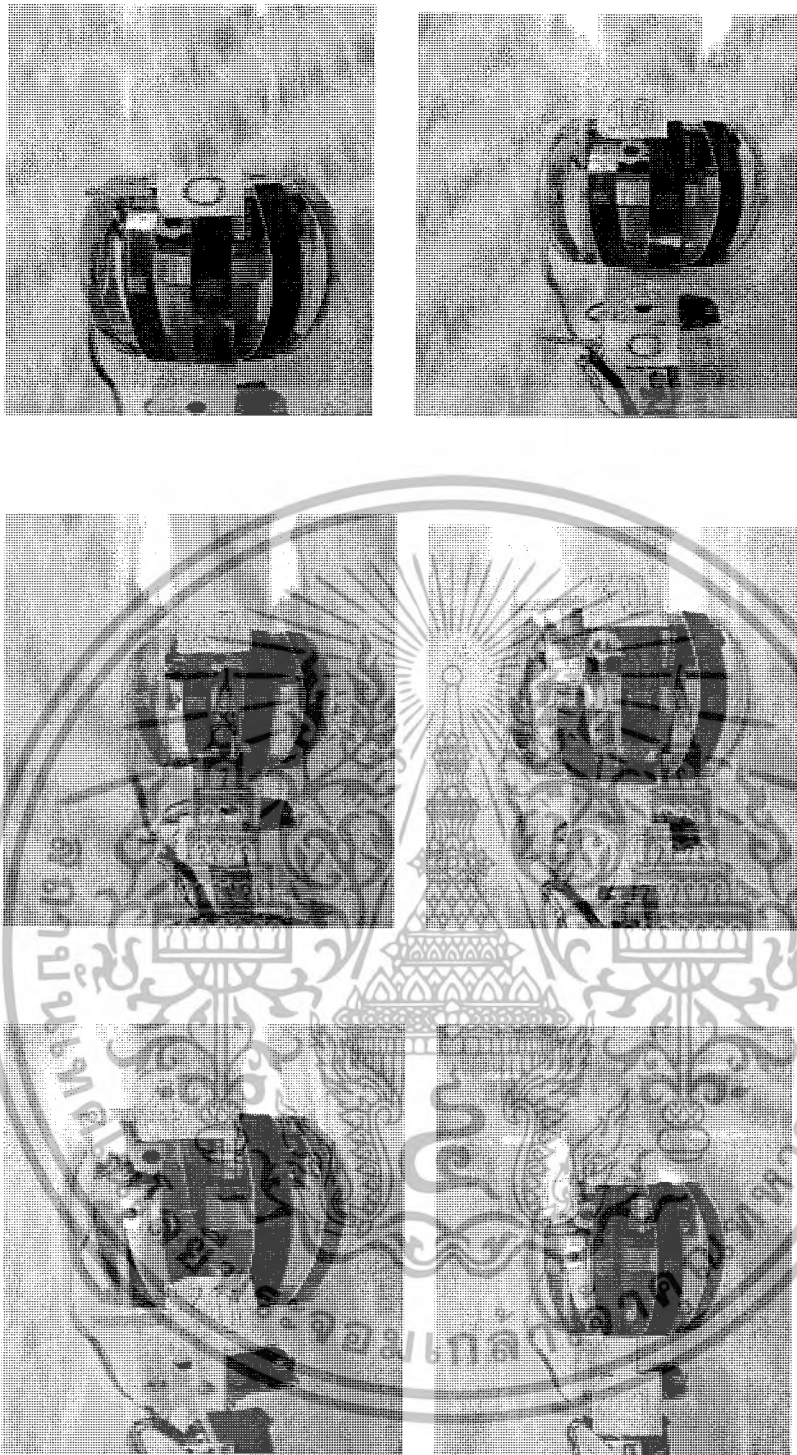
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์จั้นบน



รูปที่ 4.10 ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์จั้นบน

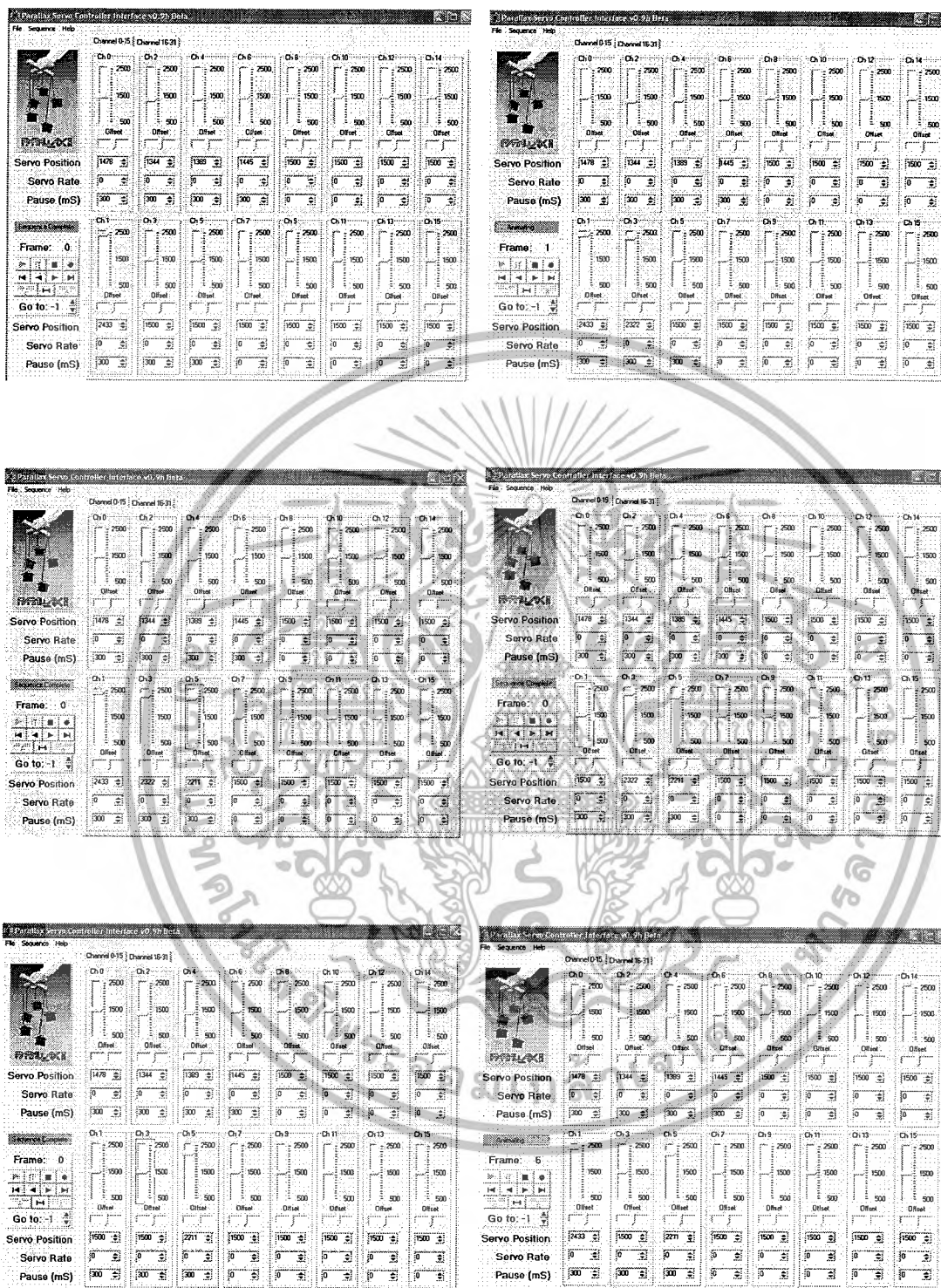
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 หุ่นยนต์ขึ้นบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์ลงล่าง



รูปที่ 4.12 ตั้งค่าองศาเซอร์โวให้หุ่นยนต์ลงล่าง

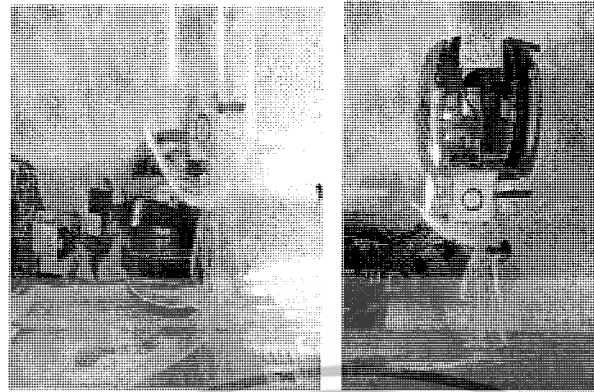
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 หุนยนต์ล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

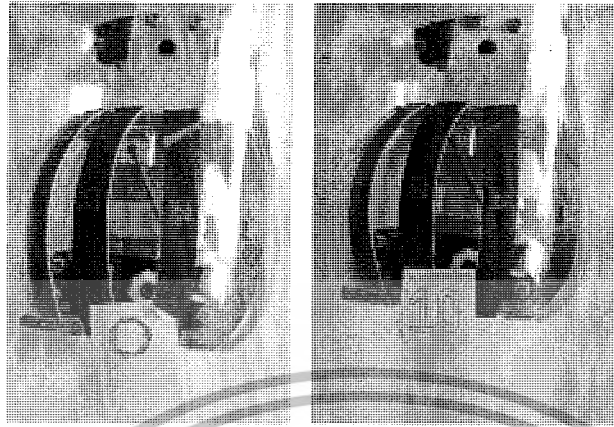
4.1.9 เดินหน้า ขึ้นบน



รูปที่ 4.14 หุ่นยนต์เดินหน้า ขึ้นบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

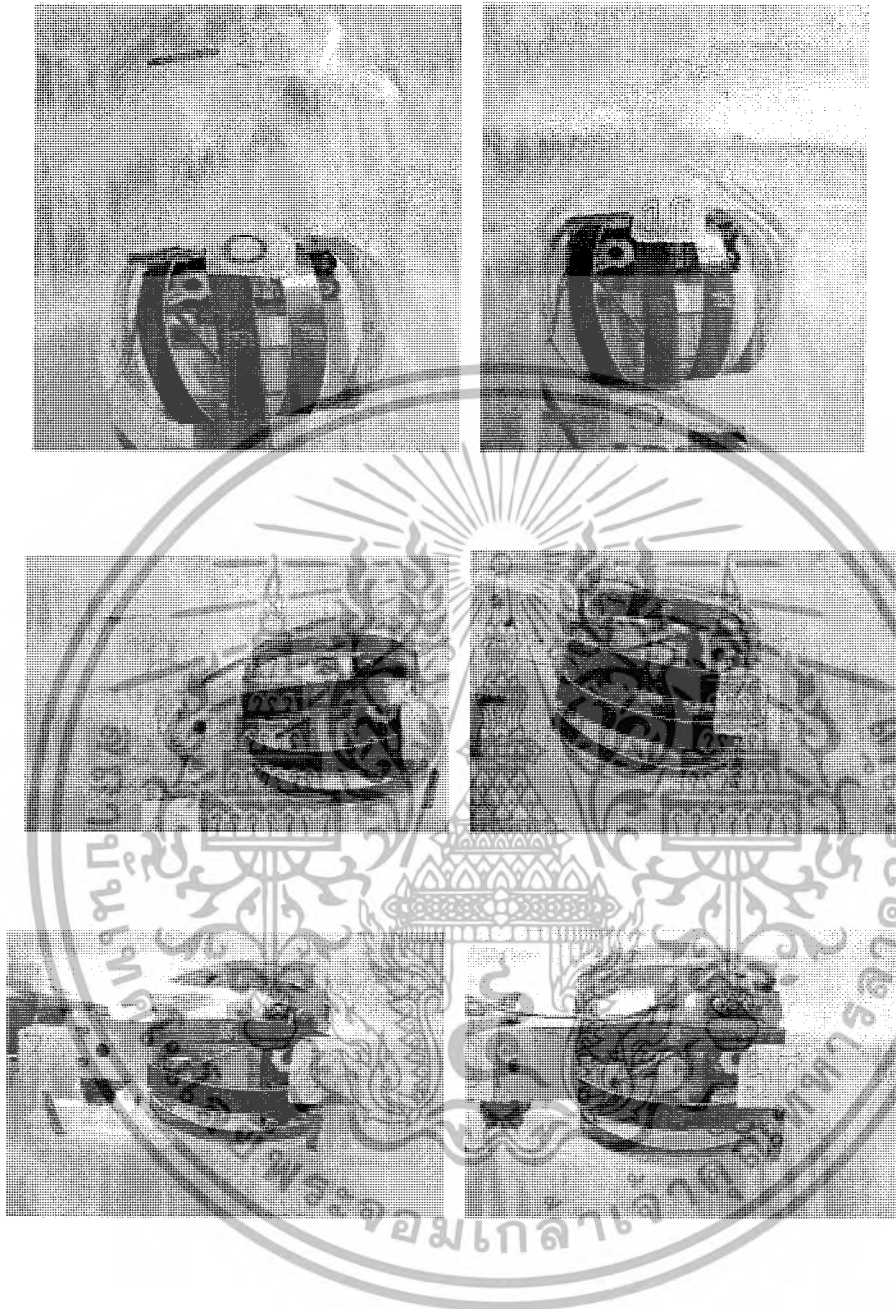
4.1.10 เติมน้ำ ลงล่าง



รูปที่ 4.15 หุ่นยนต์เติมน้ำ ลงล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

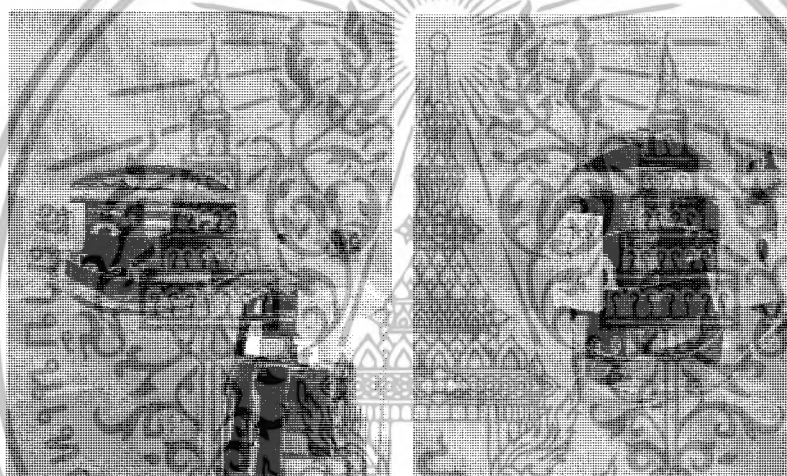
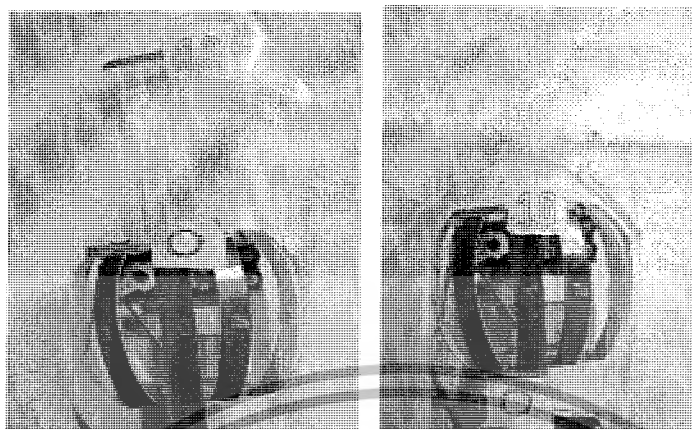
4.1.11 ขันบน เลี้ยวขวา



รูปที่ 4.16 หุ่นยนต์ขันบน เลี้ยวขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

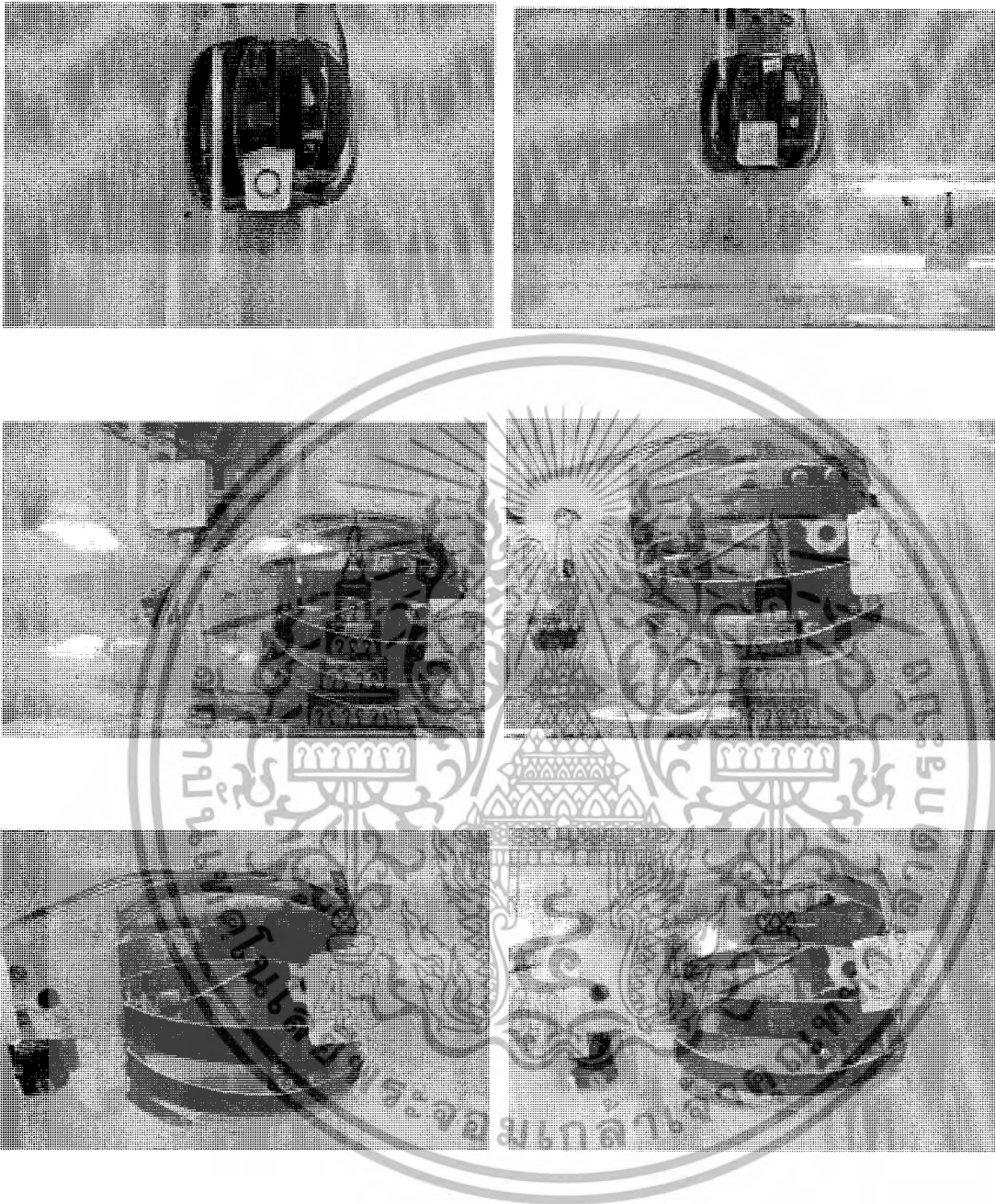
4.1.11 ขันบน เลี้ยวซ้าย



รูปที่ 4.17 หุ่นยนต์ขันบน เลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

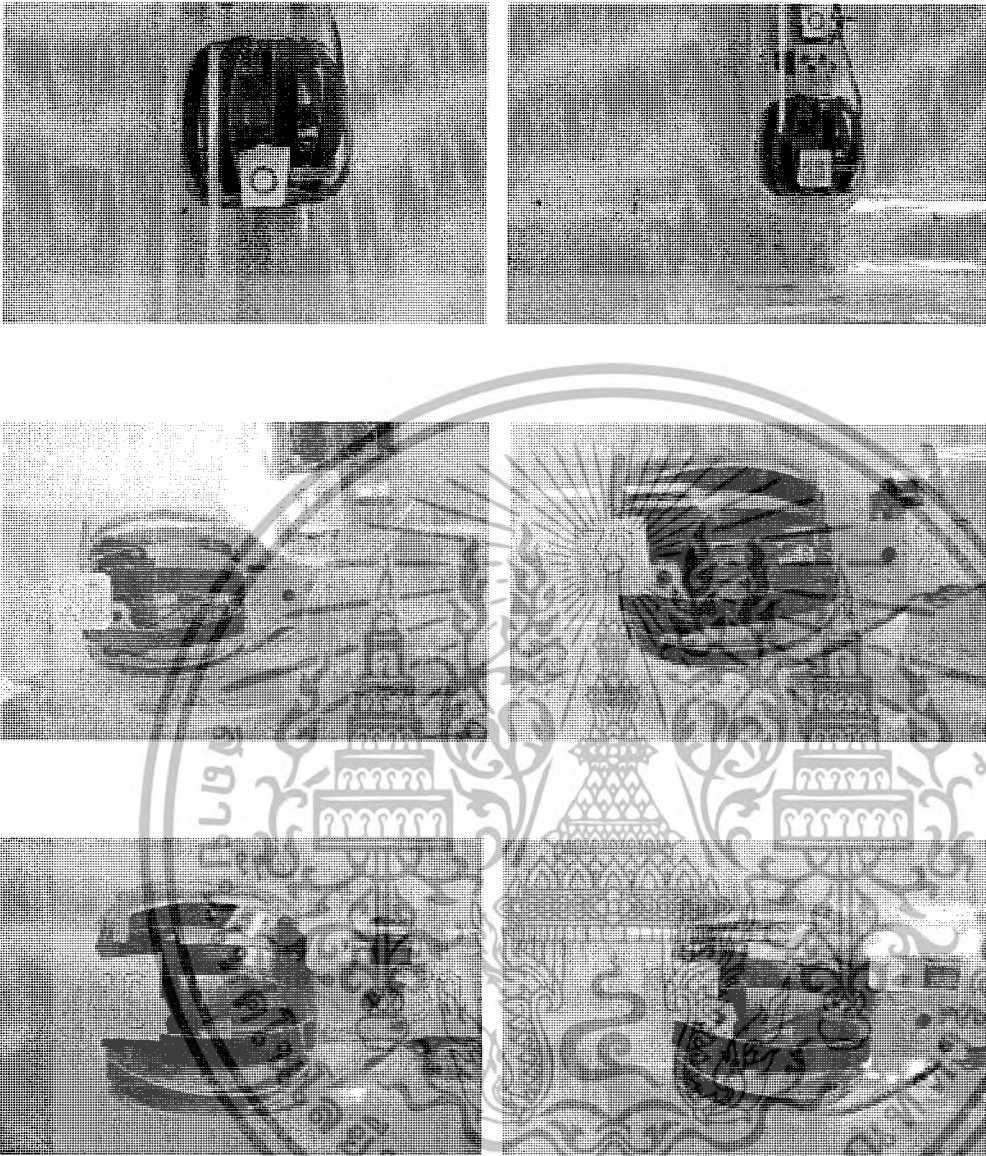
4.1.12 ล่งล่าง เลี้ยวขวา



รูปที่ 4.18 หุ่นยนต์ล่งล่าง เลี้ยวขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.13 ลงล่าง เลี้ยวซ้าย



รูปที่ 4.19 หุ่นยนต์ลงล่าง เลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

หุ่นยนต์หอนเป็นการสร้างขึ้นมาจากการนำเอา Servo Moter มาทำเป็นชุดขับเคลื่อนและการเคลื่อนของตัวหุ่นยนต์ โดยการนำเอา Servo Moter จำนวน 7 ตัว มาต่อกันโดยทำให้ เซอร์โว มอเตอร์แต่ละตัวทำหน้าที่ที่แตกต่างกันไปในแต่ละตัว โดยการควบคุมการทำงานจากบอร์ด ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ZX – SERVO 16 รับผิดชอบมาจากคอมพิวเตอร์

5.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงาน

5.1.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการสร้างตัวหุ่นยนต์

- ผู้จัดทำหาอุปกรณ์ในการสร้างหุ่นยนต์ได้ยากมาก
- มีข้อผิดพลาดในการออกแบบตัวหุ่นยนต์และส่วนประกอบต่าง
- การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ
- ส่วนยึดยึดตัวหุ่นยนต์กับท่อไม่สามารถยึดหุ่นยนต์ให้ติดกับท่อได้
- วัสดุที่นำมาสร้างหุ่นยนต์มีน้ำหนักค่อนข้างมาก

5.1.2 ปัญหาในการควบคุม

- หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ช้า
- เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหุ่นยนต์ไม่สามารถหมุนได้ตามต้องการ
- ความสับสนในการเปิดปิดสวิทซ์ที่วงจรควบคุม
- การเคลื่อนของหุ่นยนต์ยังไม่เป็นไปตามที่ต้องการ
- ปัญหาของแบตเตอรี่เซอร์โวมอเตอร์

5.2 แนวทางการแก้ไขปัญหาคือข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะและการแก้ไขปัญหาเป็นแนวทางในการพัฒนาหุ่นยนต์สำรวจ เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นมีดังต่อไปนี้

1. การออกแบบให้ตัวหุ่นยนต์มีน้ำหนักน้อยลง
2. ข้อต่อของมอเตอร์แต่ละตัวควรทำให้ขนาดเท่ากันทุกตัว
3. ขอคำปรึกษาและข้อเสนอแนะจากผู้ชำนาญที่มีความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. www.happymcu.com
2. www.inex.co.th
3. www.ieee.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
ออกแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics of In-pipe Mobile Robot with Wheel Drive Mechanism using Planetary Gears

Toyomi Miyagawa

Corporate Research and Development Center
Toshiba Corporation

1, Komukai Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki, Japan

toyomi.miyagawa@toshiba.co.jp

Nobuyuki Iwatsuki

Department of Mechanical Sciences and Engineering
Tokyo Institute of Technology

2-12-1, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan

nob@mep.titech.ac.jp

Abstract - This paper describes the running static analysis of an in-pipe mobile robot using a wheel drive mechanism for straight piping. The wheel mechanism, which is driven by planetary gears and worm gears, can both drive the wheels and press them against the pipe wall using only an actuator and simple mechanisms. The relation among the size of the load, carrier angle, and the pressing load against the pipe wall is theoretically analyzed and experimentally examined. The traction force of the robot is calculable with motor driving torque, and the maximum traction force is estimated with no-load driving torque of robot and torque constant of the motor. From the running experiments by the prototype robot, which is 45mm in diameter and 130mm in length, the maximum traction force was at least 20 times the weight of the robot.

Index Terms - In-pipe mobile robot, Planetary gears, Pressing load, Wheel mechanism, Micro robot

I. INTRODUCTION

The inspection and maintenances system for nuclear powers plant and petrochemical plant are of great importance for society. The narrow spaces, which a human cannot inspect directly are inspected by an industrial endoscope and checked by dismantling. However, it is anticipated that the advent of the in-pipe mobile robots capable of running and inspection will lead to automation of the inspection process and improved efficiency. Some basic research on mobile robots able to travel in pipes smaller than 2-inch diameter has been reported. These examples are driven by wheels [1]- [2] or by pneumatic actuators [3]-[4]. The wheel mechanism obtains driving power by friction drive force to the pipe wall, and it requires a mechanism that presses the wheels against the wall. It is difficult to equip the robot with this pressed mechanism owing to the restricted space and mechanisms employing springs are extensively used. However, in these mechanisms the pressed force to the wall of the wheel changes as the pipe diameter changes, and there was a problem that the traction force decreases when the pipe diameter becomes large.

The authors proposed a wheel drive mechanism using planetary gears. This mechanism has a large pressing load against the pipe wall and it can correspond to the change in pipe diameter. This mechanism is used for a 2-inch mobile robot combined with pneumatic actuators [5], and a 1-inch mobile robot combined with a flexible link made of rubber [6]. The effectiveness of these robots in negotiating vertical pipes and elbows has been confirmed experimentally.

However, the running static analysis of an in-pipe mobile robot using a wheel drive mechanism has not been examined. In order to design an in-pipe mobile robot, a theoretical analysis and experimental examination of the running static analysis and driving torque of the wheel drive mechanism are necessary. In this paper, we focus on the running static analysis of the wheel drive mechanism for straight piping. It was clarified that the traction force of this mechanism was at least 10 times the weight of the robot.

II. DRIVING PRINCIPLE OF WHEEL DRIVE MECHANISM

A. Configuration

The driving principle of the wheel drive mechanism is shown schematically in Figure 1. The torque of the small motor is converted into the friction drive power to the pipe wall through the planetary gear mechanism and the wheels and running in the pipe is achieved. The wheel drive mechanism consists of an electromagnetic motor, a worm gear and a planetary gear mechanism, and wheels are fixed to the axis shared with the planetary gears. The sun gears and the planetary gears are the helical gears. The electromagnetic motor drives the worm gear and rotation of the worm gear is transmitted to the sun gear. The planetary gear and the wheel driven by the sun gear are supported by the carrier that rotates around the sun gear, which makes it revolve around the sun gear. Two planetary gears mesh with one sun gear and each planetary gear is equipped with two wheels. A unit consisting of this sun gear, the planetary gear, and the wheel composes a wheel module, and the motor, the worm gear, and plural wheel module arranged in circumferential direction are called a wheel drive mechanism. The robot is composed of three or four wheel modules usually.

B. Driving principle

The wheel drive mechanism is a structure such that the wheel rotates when it wheel can revolve around the sun gear and the revolution is locked. To drive the wheel drive mechanism forward as shown in Figure 1, each gear rotates as indicate in the figure. The planetary gear revolves around the sun gear until the wheel touches the pipe wall. It moves to rotate the wheel by generating the driving force between the wheel and the pipe wall. The wheel drive mechanism moves by pressing the rear wheels against the wall. The carrier angle changes according to the change in the pipe diameter.

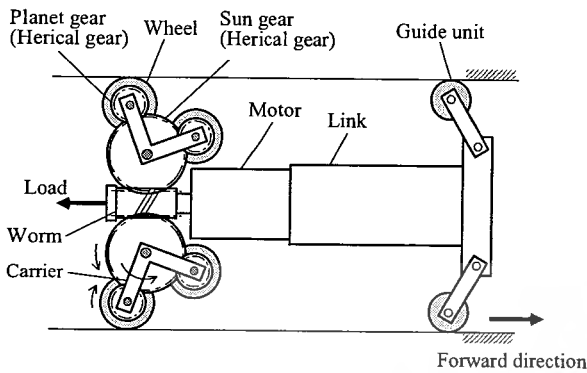


Fig. 1. Structure of the wheel drive mechanism

Therefore, the wheel can touch the pipe wall at all times by changing carrier angle in according to the change in the pipe diameter. When the load acts in the opposite direction to the forward direction, the moment acts on the carrier and the wheel is pressed against the pipe wall. This moment acts on the direction in which the angle of the carrier is enlarged. Therefore, the pressing load against the pipe wall of the wheel is controlled according to the axial load acting on the robot.

The wheels are fixed to the same shaft at the planetary gear. The relationship between the angular velocity of the wheel ω_w and the angular velocity of the motor ω_M is obtained as follows:

$$\frac{\omega_w}{\omega_M} = \frac{1}{Z_G} \frac{Z_G}{Z_P} = u_G \cdot u_P \quad (1)$$

where Z_P and Z_G represent the tooth numbers of the planetary gear and the sun gear, respectively. u_G and u_P represent the velocity ratio between the worm gear and the sun gear and between the sun gear and the planetary gear, respectively. Equation (1) leads to (2) by considering the energy conservation:

$$\frac{\tau_w}{\tau_M} = \frac{\eta_G \eta_P}{u_G u_P} \quad (2)$$

where τ_w and τ_M represent the rotational torque of the wheel and the torque of the motor, and η_G and η_P represent the efficiency of the gear meshing between the worm gear and the sun gear and between the sun gear and the planetary gear, respectively.

III. RUNNING STATIC ANALYSIS

A model of the static analysis is shown in Figure 2. The analysis model was assumed to be the planar model of 1/4 of the wheel drive mechanism. The point B represents the fixed point of the body and the planetary gear, the point G represents the rotational center of the sun gear, the point C represents the center of gravity of the carrier, and the point W represents the rotational center of the wheel, and these

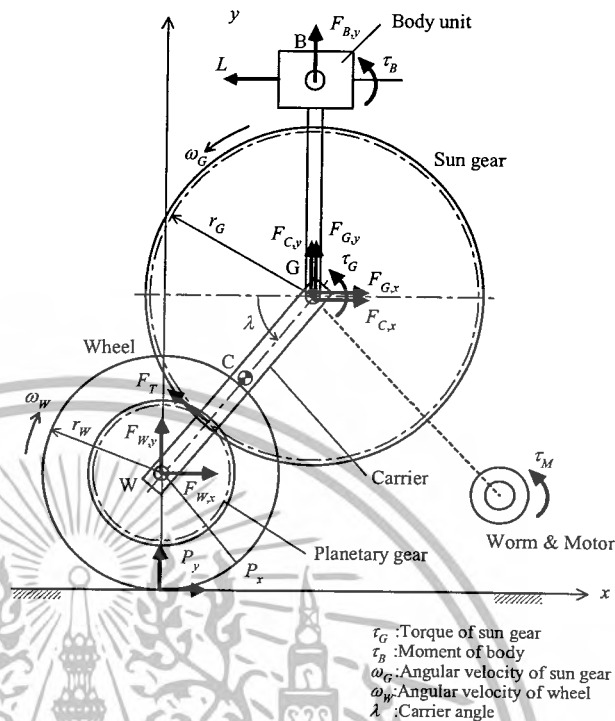


Fig. 2. Static analysis model of the wheel drive mechanism

coordinate values represent (x_B, y_B) , (x_G, y_G) , (x_C, y_C) , and (x_W, y_W) , respectively. λ and l represent the angle and length of the carrier, and r_w and r_G represent the radius of the wheel and the pitch circles of the sun gear, respectively. τ_G and ω_G represent the driving torque and angular velocity of the sun gear, respectively.

When the load L acts on the body, the forces acting on the wheel mechanism are defined as shown in Figure 2. P_x and P_y represent the forces in the x direction and the y direction acting on the contact point of the wheel and the pipe wall. $F_{W,x}$ and $F_{W,y}$ represent the forces in the x direction and the y direction acting on the rotational center of the wheel; and $F_{C,x}$ and $F_{C,y}$ represent the forces in the x direction and the y direction acting on the carrier in the supported point of the carrier and the sun gear; and $F_{G,x}$ and $F_{G,y}$ represent the forces in the x direction and the y direction acting on the sun gear in the supported point of the carrier and the sun gear. $F_{B,y}$ represents the forces in the y direction acting on the body; τ_B represents the moment of the body; and F_T represents the forces in the tangential direction acting on the sun gear and the planetary gear. m_B and I_B represent the mass and moment of inertia of the body, and m_G and I_G represent the mass and moment of inertia of the sun gear; m_W and I_W represent the mass and moment of inertia of the wheel; and m_C and I_C represent the mass and moment of inertia of the carrier.

When the wheel drive mechanism moves, the motion equation of the body, the sun gear, the carrier, and the wheel is calculated as follows:

$$\begin{cases}
m_B \ddot{x}_B = -F_{G,x} - F_{C,x} - L \\
m_B \ddot{y}_B = F_{B,y} - F_{G,y} - F_{C,y} = 0 \\
I_B \ddot{\theta}_B = \tau_B - \tau_G + b(-F_{G,x} - F_{C,x}) + a(-F_{G,y} - F_{C,y}) = 0 \\
m_C \ddot{x}_C = F_{C,x} - F_{W,x} \\
m_C \ddot{y}_C = F_{C,y} - F_{W,y} \\
I_C \ddot{\lambda} = l_h F_{C,y} C_\lambda - l_h F_{C,x} S_\lambda + l_h F_{W,y} C_\lambda - l_h F_{W,x} S_\lambda \\
m_G \ddot{x}_G = F_{G,x} - F_T S_\lambda \\
m_G \ddot{y}_G = F_{G,y} + F_T C_\lambda \\
I_G \ddot{\theta}_G = \tau_G - F_T r_G \\
m_W \ddot{x}_W = F_{W,x} + F_T S_\lambda + P_x \\
m_W \ddot{y}_W = F_{W,y} - F_T C_\lambda + P_y \\
I_W \ddot{\theta}_W = -F_T (l - r_G) + r_W P_x
\end{cases} \quad (3)$$

where \ddot{x} , \ddot{y} , and $\ddot{\theta}$ represent the subscript of the acceleration in the x direction and the y direction, and the acceleration of y element, and angular acceleration in the center of gravity. $\ddot{\lambda}$ represents the angular acceleration around the point G of the carrier. a and b represent the length between point B and C in the x direction and the y direction, respectively. S_λ , C_λ and l_h represent $S_\lambda = \sin \lambda$, $C_\lambda = \cos \lambda$, and $l_h = l/2$, respectively.

As shown in Figure 4, the relationship between the sun gear and the wheel is obtained as follows:

$$\left. \begin{cases}
\Delta \theta_W = \frac{r_G}{r_P} \Delta \theta_G + \Delta \theta_G \\
\omega_W = -\frac{r_G}{r_P} \omega_G + \left(\frac{r_G}{r_P} + 1 \right) \dot{\lambda}
\end{cases} \right\} \quad (4)$$

where r_P represents the radius of the pitch circles of the planetary gear; $\Delta \theta_G$ and $\Delta \theta_W$ represent the small displacement of the sun gear and wheel, respectively; and $\dot{\lambda}$ represents the angular velocity of the carrier.

The wheel is assumed to move without slipping and (3) is transformed to the following equations by using (4):

$$\left. \begin{cases}
-F_{G,x} - F_{C,x} = L \\
-F_{G,y} - F_{C,y} + F_{B,y} = 0 \\
\tau_B - \tau_G - bF_{G,x} - aF_{G,y} - bF_{C,x} - aF_{C,y} = 0 \\
F_{C,x} - F_{W,x} = 0 \\
F_{C,y} - F_{W,y} = 0 \\
-l_h S_\lambda F_{C,x} + l_h C_\lambda F_{C,y} - l_h S_\lambda F_{W,x} + l_h C_\lambda F_{W,y} = 0 \\
F_{G,x} - F_T S_\lambda = 0 \\
F_{G,y} + F_T C_\lambda = 0 \\
\tau_G - F_T r_G = 0 \\
F_{W,x} + F_T S_\lambda + P_x = 0 \\
F_{W,y} - F_T C_\lambda + P_y = 0 \\
-r_P F_T + r_W P_x = 0
\end{cases} \right\} \quad (5)$$

The forces P_x and P_y are calculated as follows:

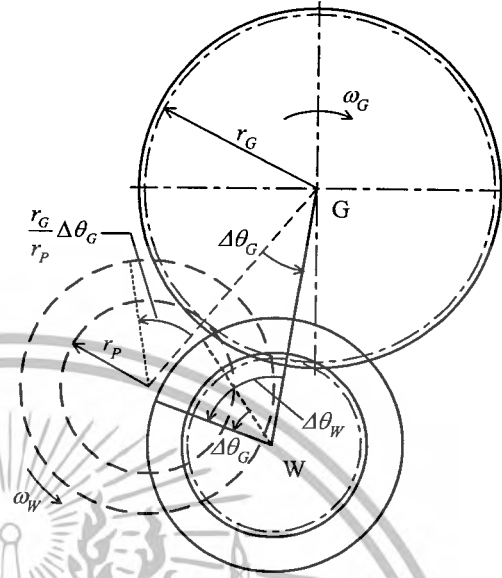


Fig. 3. Kinematics analysis model of planetary gear drive

$$\left. \begin{cases}
P_x = L \\
P_y = L \left[\tan \lambda + \frac{r_W}{r_P} (\sin \lambda \tan \lambda + \cos \lambda) \right]
\end{cases} \right\} \quad (6)$$

The friction coefficient μ_f between the wheel and the pipe wall is calculated as follows;

$$\mu_f > L/P_y \quad (7)$$

The torque of the sun gear τ_G and the driving torque of the wheel τ_W are calculated as follows:

$$\tau_G = F_T r_G = \frac{r_W r_G}{r_P} L \quad (8)$$

$$\tau_W = \tau_G \frac{r_P}{r_G} = L r_W \quad (9)$$

IV. PROTOTYPE AND EXPERIMENTS

A. Prototype designs

The prototype shown in Figure 4 was designed, fabricated, and tested. The robot is 45mm in diameter, 130mm in length, and 95g in weight. The worm is module 0.5, article number 1, and addendum circle diameter 6mm. The sun gears and the planetary gears of the wheel mechanism are used the spur gears, and there module are both 0.5 and number of teeth are 30 and 10, respectively. All gears used are made of synthetic resins. The motor is a DC servomotor in which the gear head and the encoder are fitted, and it is 14mm in diameter, and 43mm in length. The motor characteristic is torque constant of 229mNm/A at the rated voltage of 6V. The

wheels are coated by rubber, and they are 2.5mm in width and 9.7mm in diameter. The wheel used for the guide unit is a structure composed of a ball bearing and it is pressed by the helical torsion coil spring. The cable supplied to the motor was fixed to the link and connected with the controller. Figure 5 shows the outline of the in-pipe mobile robot.

B. Transmission efficiency of gear train

The transmission efficiency η_G of the worm gear and the sun gear was measured. For this purpose, a torque measurement device was used to apply the load with the hysteresis brake. The sun gears use the spur gear and the helical gear, and the gear dimensions, such as the module, the number of teeth, and tooth pressure angle, were the same, respectively. The spur gear and the helical gear are module 0.5, teeth number 30, 20 degrees in tooth pressure angle and made of synthetic resins, and the relations between their output torque and efficiency are shown in Figure 6. The efficiency of the helical gear, 24%, was slightly higher than that of the spur gear, 20%, respectively.

The transmission efficiency η_P of the sun gear and the planetary gear was calculated from Reference [7]. And, it was assumed $\eta_P = 0.95$ from $u_P = 0.5$ to $u_P = 3$.

C. Basic running experiment

A constant load was applied to the in-pipe mobile robot, and moving speed V and moved distance D of the robot were measured with the encoder for the measurement with a wire and pulley. The angular velocity of the motor and the torque of the motor are measured from the encoder with built-in motor and from the current of the motor, respectively. The measurement data was stored in a personal computer, and processed.

The motor was driven by the speed control and the running characteristic was examined in straight piping. When the carrier angle of the wheel drive mechanism was changed from 47 to 70 degrees, moving speed V , moved distance D of the robot to load L , and the motor torque τ_M were measured. The moved distance of the reference was set at 100mm and radius of the wheel to 4.7mm.

The relations between the load L and the moving speed V and between the load L and the motor torque τ_M are shown in Figures 7 and 8, respectively. As the slipping of the wheel and the elastic deformation of the wheel do not occur, and the movement of the wheel is a rolling motion, moving speed of the robot V is

$$V = r_w \omega_w u_G u_P \tag{10}$$

The broken line in Figure 7 is plotted by using the value of the angular velocity of the motor obtained in the experiment and (10). The moving speed is constant regardless of the size of the load. Considering the energy conservation, equation (10) leads to (11) :

$$\tau_M \omega_M = LV + F_D V \tag{11}$$

where F_D represent the equivalent force of loss resistance. Equation

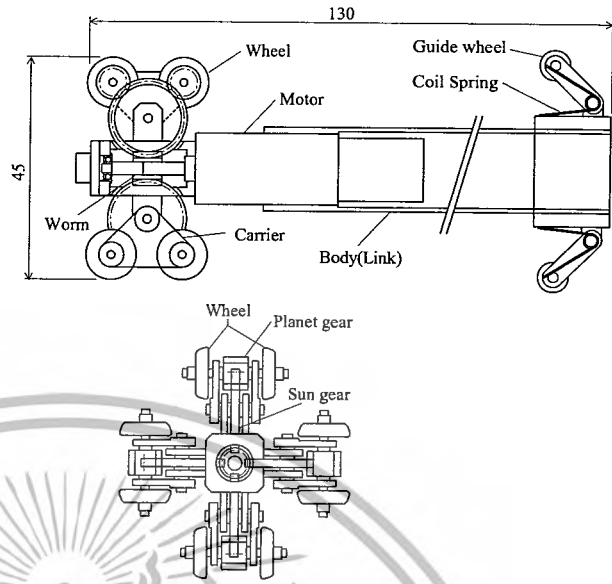


Fig. 4 Structure of the in-pipe mobile robot

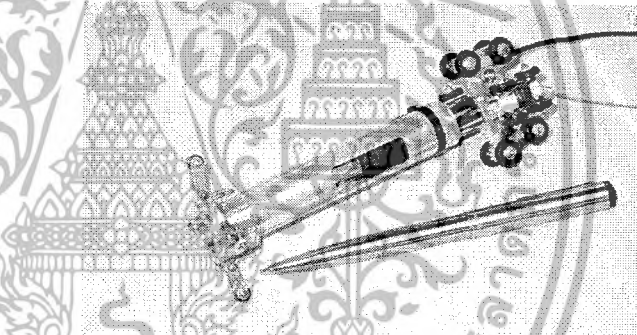


Fig. 5 Photograph of the in-pipe mobile robot

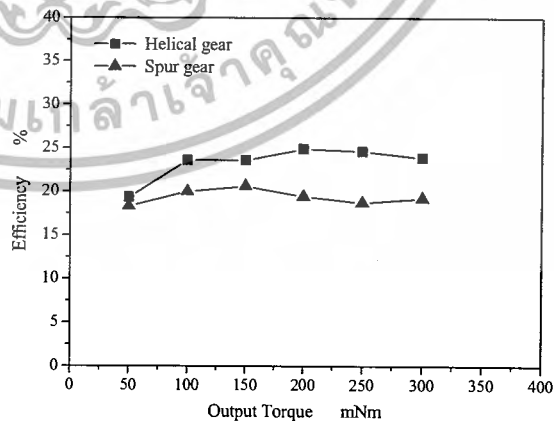


Fig. 6 The efficiency between worm and sun gear

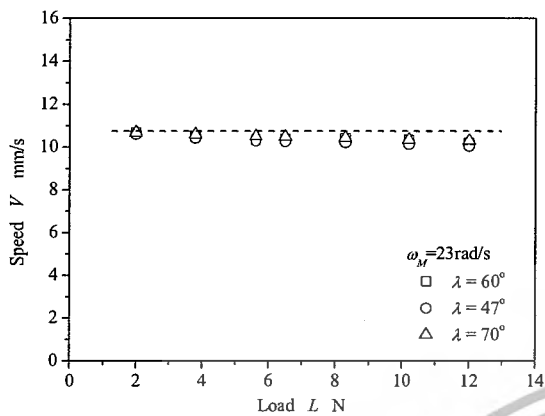


Fig. 7 Relations between load and speed of mobile robot

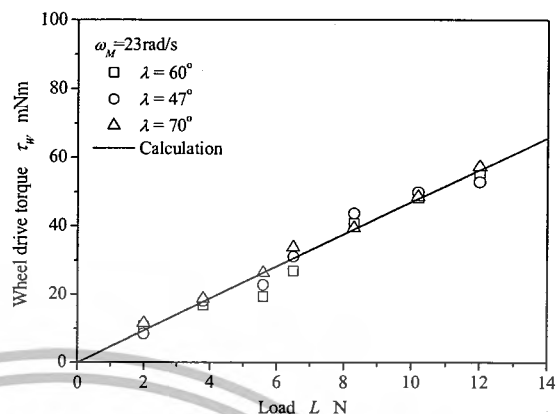


Fig. 9 Relations between load and wheel drive torque of mobile robot

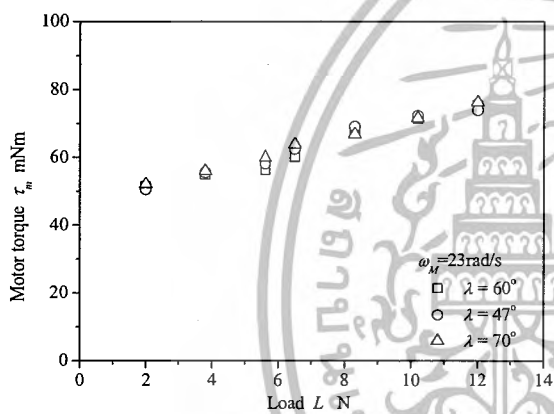


Fig. 8 Relations between load and motor torque of mobile robot

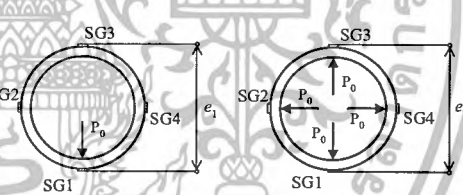
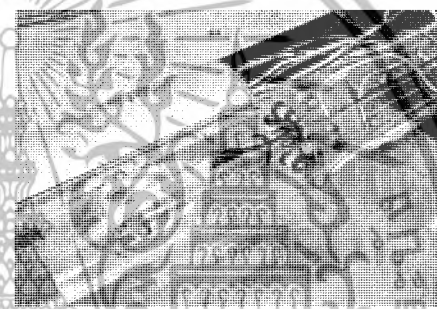


Fig. 10 Measurement of pressing load

(11) is transformed to the following equations.

$$\tau_M = \frac{V}{\omega_M} L + \frac{V}{\omega_M} F_D \quad (12)$$

As a result from the slope and the intercept of (12) calculated from Figure 8, the intercept is 46.1mNm, and force of loss resistance $F_D=23\text{mNm}$. Driving torque of the wheel is calculated from Figure 12 and (2). The result is shown in Figure 9. The results calculated by (9) are in good agreement with the experimental results.

D. The pressing load against the pipe wall

The strain gauge was bonded at four places as shown in Figure 10 on the outer side in the acrylic piping. And, the pressing load against the pipe wall was measured from the output of those gauges. The strain gauge bonded to the position of SG1 and SG3, and composed the bridge circuit. The output signals were measured through the amplifier device. The calibration of the strain gauge is calculated by the

stress at point SG1 and at SG3 by using the finite element method analysis as shown in Figure 15, in the case of one-point concentrated load acting and in the case of four-point concentrated load acting on the pipe wall. And the relation between the load and the gauge output voltages is measured by the experiment in the case of one-point concentrated load acting on the pipe wall. The calibration factor of the strain gauge was decided in the case of four-point concentrated load acting on the pipe wall.

The wheels of the robot passed over the positions of the strain gauge. Figure 11 shows the experimental and calculated characteristics of the pressing load against the pipe wall. The pressing load is proportional to the load and the carrier rotational angle. And the results calculated by (6) are in good agreement with the experimental results. The pressing load is a function of the carrier rotational angle and the load, and

these are unrelated to the motor torque. The moving velocity of the robot doesn't drop the pressing load becomes 80 times the weight of the robot.

E. The maximum traction force

The maximum traction force of the robot is the impellent force generated by the wheels and this is equivalent with load L . The relationship between the motor torque and the traction force of robot F_R is calculated as follows:

$$F_R = \frac{\eta_G \eta_P}{u_G u_P} + \frac{\tau_M - \tau_{M,0}}{r_W} \tag{13}$$

where $\tau_{M,0}$ represent the no-load driving torque of the motor, which is the intercept of (12). Figure 12 shows the relationship between the motor torque and the traction force of robot with the carrier angle $\lambda = 60^\circ$. The results calculated by (13) are in good agreement with the experimental results. With the prototype robot, which is 45mm in diameter and 130mm in length, the maximum traction of 20N is obtained at moving velocity of 10.1mm/s, and the value was at least 20 times the weight of the robot.

The specifications and characteristics of the prototype are shown in Table 1.

V. CONCLUSIONS

The characteristics of an in-pipe mobile robot using a wheel drive mechanism for straight piping were theoretically analyzed and experimentally examined. As a result, the following results were achieved:

- (1) The relation among the size of the load, carrier angle, and the pressing load against the pipe wall is theoretically analyzed and experimentally examined.
- (2) The traction force of the robot is calculable with motor driving torque, and the maximum traction force is estimated with no-load driving torque of the robot and torque constant of the motor.
- (3) From the running experiments performed with the prototype robot, which is 45mm in diameter and 130mm in length, the maximum traction force was at least 20 times the weight of the robot.

REFERENCES

[1] S. Hirose, H. Ohno, T. Mitsui, K. Suyama, "Design of in-pipe inspection vehicles for $\phi 25$, $\phi 50$, $\phi 150$ pipes", *Proc. of IEEE Int. conf. on Robotics and Automation*, 1999, pp 2309-2314.
 [2] I. Hayashi, N. Iwatsuki, S. Iwashina, "The Running Characteristics of a Screw-Principle Microrobot in a Small Pipe", *Proc. of Sixth Int. Symposium on Micro Machine and Human Science*, 1995, pp. 225-228.
 [3] M. Takahashi, I. Hayashi, N. Iwatsuki, K. Suzumori, N. Ohki, "The Development of an In-Pipe Microrobot Applying the Motion of an Earthworm", *Proc. of Fifth Int. Symposium on Micro Machine and Human Science*, 1994, pp. 41-45.
 [4] M. Ono, T. Hamano, and S. Kato, "Development of an In-pipe Inspection Robot Movable for a Long Distance", *Proc. of First Asian Conference on Multibody Dynamics*, 2002, pp. 255- 258.

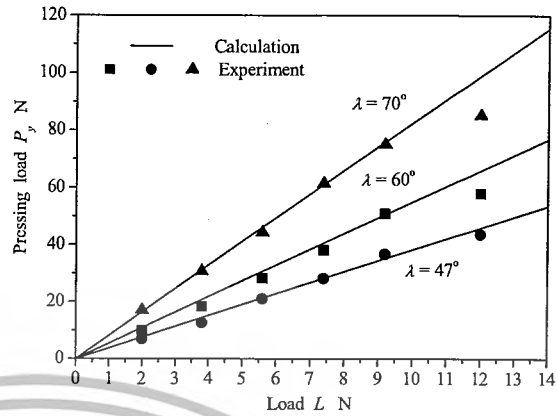


Fig. 11 Relations between load and pressing load

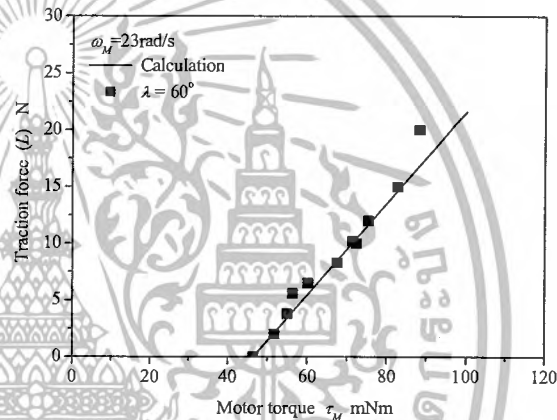


Fig. 12 Traction force of mobile robot

Table 1 Specification of prototype

Application piping (mm)	48	
Robot size	Diameter (mm)	45
	Length (mm)	130
Motor size	Diameter (mm)	14
	Length (mm)	46
Wheel diameter (mm)	9.4	
Running speed (mm/s)	11	
Traction force (N)	20	

[5] K. Suzumori and T. Abe, "Applying Flexible Microactuators to Pipeline Inspection Robots", *Trans. of the IMACS/SICE International Symposium on Robotics and Manufacturing Systems*, 1993, pp515-520.
 [6] K. Suzumori, T. Miyagawa, M. Kimura, Y. Hasegawa, "Micro Inspection Robot for 1-in Pipes", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 1999, pp. 286-292.
 [7] M. Morozumi, "Theory and design calculation method of planetary gears and differential gears", NIKKAN KOGYO SHIMBUN,LTD, 1989, in Japanese.