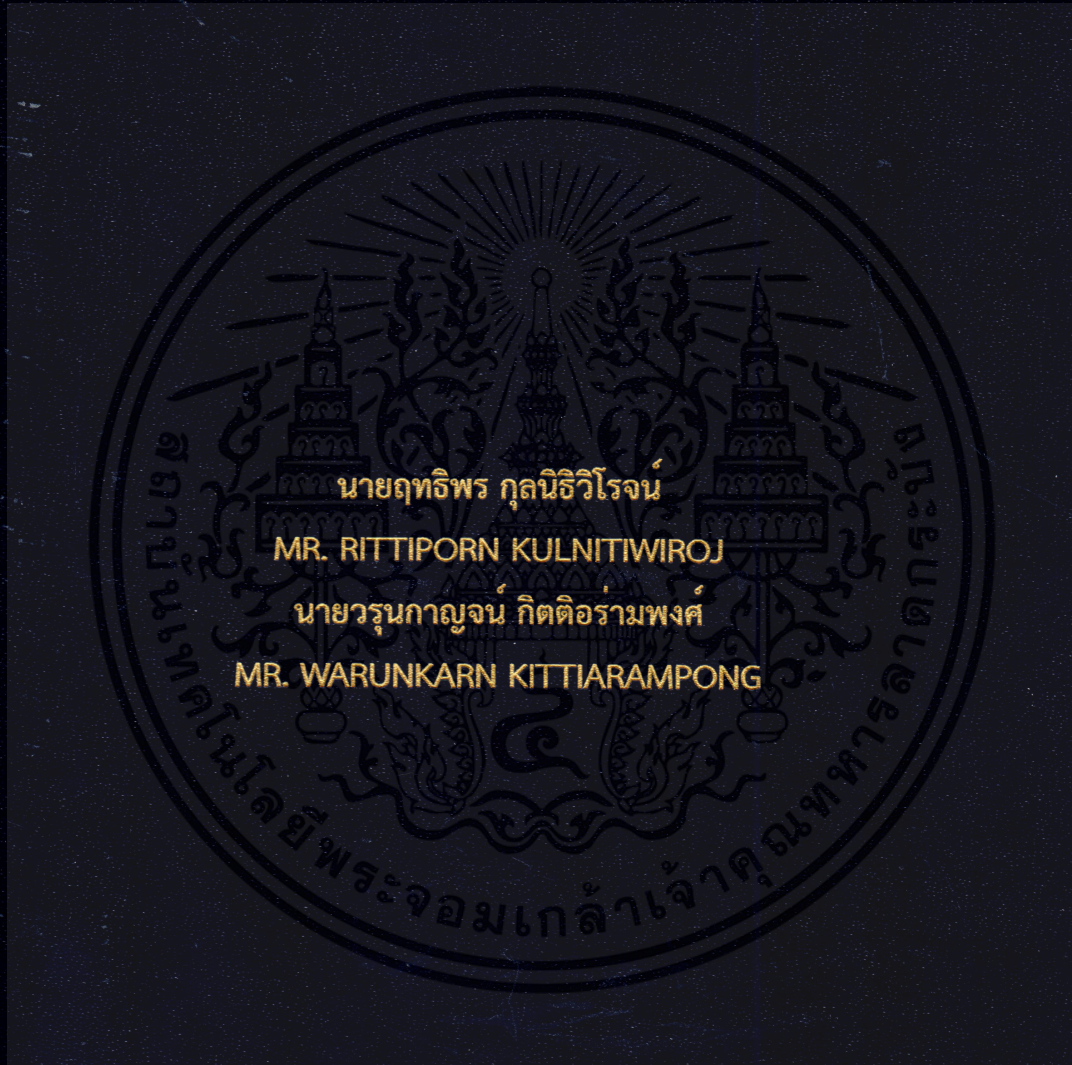


หุ่นยนต์แบบขนานช่วยในการทำกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วย

กล้ามเนื้อแขนอ่อนแรง

PARALLEL ROBOT AIDED PHYSICAL THERAPY FOR  
PARALYZED ARM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

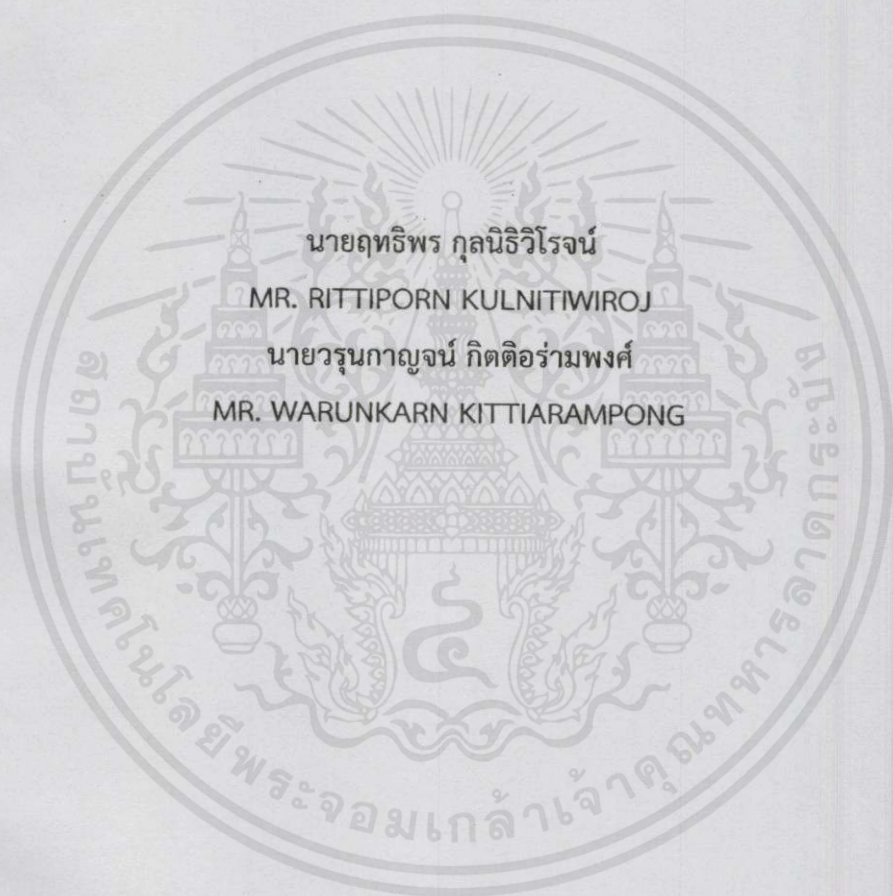
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

หุ่นยนต์แบบขนานช่วยในการทำกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วย

กล้ามเนื้อแขนอ่อนแรง

PARALLEL ROBOT AIDED PHYSICAL THERAPY FOR  
PARALYZED ARM



นายฤทธิพร กุลนิริวิโรจน์

MR. RITTIPORN KULNITWIROJ

นายวรุณกาญจน์ กิตติอร่ามพงศ์

MR. WARUNKARN KITTIARAMONG

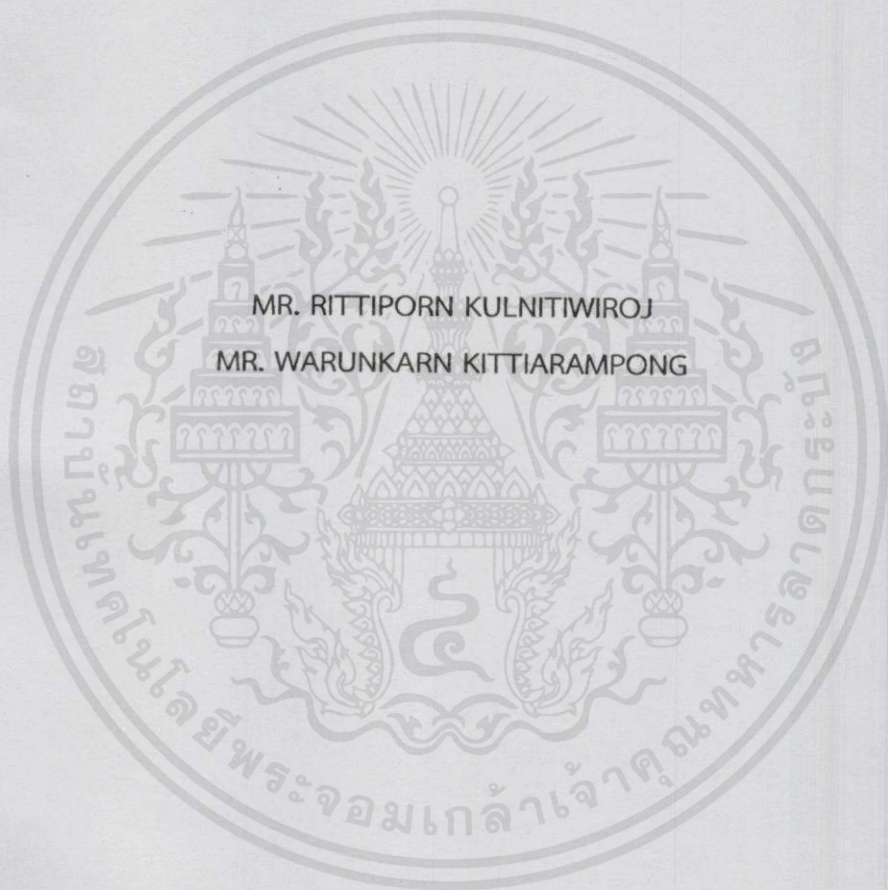
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปปีการศึกษา 2557 จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARALLEL ROBOT AIDED PHYSICAL THERAPY FOR  
PARALYZED ARM



MR. RITTIPORN KULNITIWIROJ

MR. WARUNKARN KITTIRAMPONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

หุ่นยนต์แบบขนานช่วยในการทำกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยกล้ามเนื้อ  
แขนอ่อนแรง

PARALLEL ROBOT AIDED PHYSICAL THERAPY FOR  
PARALYZED ARM

นักศึกษา

นายฤทธิพร กุลนิธิวิโรจน์ รหัสประจำตัว 54011092

นายวรุณกาญจน์ กิตติอร่ามพงศ์ รหัสประจำตัว 54011159

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(อาจารย์รณน เจียรตระกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หุ่นยนต์แบบขนานช่วยในการถ่ายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยกล้ามเนื้อ แขนอ่อนแรง
นักศึกษา	นายฤทธิพร กุณิธิวิโรจน์ นายวรุณกาญจน์ กิตติอร่ามพงศ์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อาจารย์รณน เจียรตระกูล

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน พร้อมทั้งเขียนซอฟต์แวร์สั่งการหุ่นยนต์แบบขนานสำหรับใช้ในการถ่ายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้ออ่อนแรง หุ่นยนต์จะทำงานโดยเคลื่อนที่พาแขนของผู้ป่วยให้เคลื่อนที่ไปในแนวระนาบตามหลักการถ่ายภาพบำบัด ในส่วนของการออกแบบหุ่นยนต์แบบขนานจะต้องออกแบบขนาดให้มีความเหมาะสมเพื่อทำการถ่ายภาพบำบัดได้ง่ายและมีความสะดวกในการใช้งาน ตัวหุ่นยนต์ทำขึ้นจาอะคริลิกซึ่งมีน้ำหนักเบา และมีมอเตอร์ที่เลือกใช้ได้ผ่านการคำนวณค่าทอร์กให้มีกำลังเพียงพอในการขับเคลื่อนแขนของผู้ป่วย สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สื่อสารกับคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์วางมือของผู้ป่วยได้มีการออกแบบให้เหมาะสมกับรูปร่างของมือมนุษย์เพื่อให้สะดวกต่อการจับ วัสดุที่ใช้เป็นเรซินเสริมใยแก้วเพื่อให้ความแข็งแรงเพียงพอในการรองรับน้ำหนักของมือผู้ป่วย โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แบบขนานถูกออกแบบให้เป็นแบบปิดหรือบ่อนกลับเพื่อตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่ และใช้ทฤษฎีการคำนวณพิกัดของหุ่นยนต์ทั้งทฤษฎีจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า ระบบโคออร์ดิเนตและกรอบอ้างอิงมาใช้ในการระบุตำแหน่งของวัตถุและระยะทางที่ต้องเคลื่อนที่ ณ เวลาใด ๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามความแม่นยำในการเคลื่อนที่และความสามารถในการทำซ้ำยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Parallel Robot Aided Physical Therapy for Paralyzed Arm
Student	Mr. Rittiporn Kulnitiwiroj Mr. Warunkarn Kittiaramong
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2014
Thesis Advisor	Mr. Ranon Jientrakul

### ABSTRACT

This thesis is to design, build and program a parallel robot which is used to help physical therapist in treating patients with muscle weakness. The robot works by repeatedly moving the patient's arm and hand horizontally left-to-right. The robots must appropriately be designed to match human physical. It must be easy and convenient to use, so we select acrylic which is a light-weight material to create a parallel robot. Motors are specified such that they are capable of driving a patient's arm. Two microcontrollers and a computer are used as a control unit. A hand supporter is attached to the end effector of the robot. It is designed to fit the shape of the human hand which is easy for grasping. The material used is glass fiber coated with resin which is strong enough to support the weight of a patient's hand. The control of the parallel robot system is programmed as a close-loop control system to continually track the accuracy of movement. Forward kinematics with coordinates system are used to identify the location and distance of the hand supporter. The results show that the robot can move in the desired direction. However, the precision of movement and the repeatability can be improved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง หุ่นยนต์แบบขนานช่วยในการทำกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรงสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ธมน เจียรตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษา รวมทั้งความรู้ ความช่วยเหลือ ความเอาใจใส่ และคอยให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังช่วยให้คำแนะนำ ช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ตลอดมา

ดร. พลชัย โชติป्राยานกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่คอยให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คำปรึกษาแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ของปริญญานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

พญ. เจณณัฐธญา พลังแสงวิไล แพทย์ประจำแผนกเวชศาสตร์การฟื้นฟู โรงพยาบาลกลาง กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการอนุญาตให้ผู้วิจัยได้เข้าไปศึกษากระบวนการทำงานของทางโรงพยาบาลกลาง ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คำแนะนำและคอยสนับสนุนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นางกนกวรรณ แสนใจ และนางสาววิรดา พิมพิลา นักกายภาพบำบัด คลินิกกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ ความรู้ เพื่อประยุกต์ใช้กับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

โครงการประกวดผลงานด้านหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติเพื่อกระบวนการผลิต กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับทุนสนับสนุน และความรู้ที่นำมาประยุกต์ใช้กับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้การอบรมสั่งสอนและให้ความช่วยเหลือต่างๆ อย่างดีมาโดยตลอดพร้อมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจเสมอมา จนทำให้ผู้จัดทำโครงการทำได้สำเร็จมาจนถึงจุดนี้

นายฤทธิพร กุลนิธิวิโรจน์

นายวรุณกาญจน์ กิตติอร่ามพงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป .....	ซ

## บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีทางการยศาสตร์และกายภาพของผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรง .....	3
2.1.1 อัมพาต.....	3
2.1.1.1 สาเหตุหลักของโรคอัมพาต.....	3
2.1.1.2 ผลของโรคอัมพาต.....	4
2.1.2 ระบบกล้ามเนื้อ.....	4
2.1.2.1 รูปแบบการเคลื่อนไหวของร่างกาย .....	5
2.1.2.2 การเคลื่อนไหวเบื้องต้นของหัวไหล่.....	5
2.1.2.3 การเคลื่อนไหวระนาบข้างของแกนแนวนอนลากให้ขนานขอบฟ้า .....	6
2.2 ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการออกแบบหุ่นยนต์แบบขนาน.....	7
2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชิงมุมกับปริมาณเชิงเส้น .....	7
2.2.2 ทอร์ก.....	7
2.2.2.1 ทอร์กของมอเตอร์.....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 พื้นที่การทำงานและความสัมพันธ์ของตัวแปร .....	9
2.2.4 ระบบควบคุม .....	10
2.2.4.1 นิยามคำต่าง ๆ ในระบบควบคุม .....	10
2.2.4.2 การควบคุมแบบปิด .....	11
2.2.4.3 บล็อกไดอะแกรม .....	12
2.2.4.3.1 เออโรดีเทคเตอร์ .....	12
2.2.4.3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบแบบปิด .....	13
2.2.5 ระบบโคออร์ดิเนตและกรอปอ้างอิง .....	14
2.2.6 หลักจลนศาสตร์ .....	18
2.2.6.1 ตำแหน่งและการเคลื่อนที่ .....	19
2.2.6.2 การกำหนดเป้าหมายและการหมุน .....	19
2.2.6.3 เมตริกซ์การแปลง .....	21
2.2.6.4 จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า .....	22
2.2.7 ทฤษฎีการแปลงสัมพรรค .....	24
2.2.8 ส่วนประกอบที่สำคัญของหุ่นยนต์ .....	25
<b>บทที่ 3</b> <b>วิธีการดำเนินงาน</b>	
3.1 การทดลองเพื่อหาแรงสำหรับใช้ในการเคลื่อนมือและแขนผู้ป่วย .....	28
3.2 การคำนวณเพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน .....	31
3.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์กำลังการขับเคลื่อนของเซอร์โวมอเตอร์ .....	32
3.4 ส่วนประกอบต่างๆสำหรับการสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน .....	33
3.4.1 หุ่นยนต์แบบขนานที่ใช้สำหรับการกายภาพบำบัด .....	33
3.4.2 เซอร์โวมอเตอร์ .....	36
3.4.3 อุปกรณ์รอมือผู้ป่วย .....	37
3.4.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	38
3.4.5 ชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ .....	39
3.4.6 แหล่งพลังงาน .....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวง วิทยาลัยการช่าง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณาไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ระบบการทำงานของโปรแกรมที่ใช้สั่งการหุ่นยนต์แบบขนาน .....	43
3.5.1 หลักการทำงานของการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์.....	44
3.5.2 หลักการทำงานของฟังก์ชันแบบไปข้างหน้า .....	46
3.5.3 หลักการทำงานของทฤษฎีการแปลงสัมพรรค.....	46
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน</b>	
4.1 การทดสอบแรงในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์แบบขนาน .....	47
4.2 การทดสอบพื้นที่สำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน .....	49
4.3 การทดสอบเพื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน .....	51
4.4 การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน .....	56
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	58
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	58
5.3 แนวทางการพัฒนา.....	59
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>61</b>
<b>ภาคผนวก ก .....</b>	<b>ผก1</b>
<b>ภาคผนวก ข .....</b>	<b>ผข1</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจากการทดลองที่ใช้ในการเคลื่อนมือและแขนของผู้ถูกทำการทดลอง.....	30
ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยของแรงโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย.....	30
ตารางที่ 3.3 ลักษณะของการจ่ายกระแสไฟเพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์ทำงานในรูปแบบต่างๆ.....	41
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นระหว่างหน่วย PWM กับ หน่วยกิโลกรัม.....	48
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลค่าตำแหน่งพิกัด (x, y) ที่วัดได้จริงและที่วัดได้จากโปรแกรม.....	51
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าตำแหน่งพิกัด (x, y) ก่อนและหลังใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรค.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเคลื่อนไหวเบื้องต้นของหัวไหล่.....	5
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนไหวแบบ Horizontal Flexion และ Horizontal Extension .....	6
รูปที่ 2.3 พื้นที่การทำงานและความสัมพันธ์ของตัวแปลง .....	9
รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมแบบปิด (Close-Loop Control) .....	12
รูปที่ 2.5 Block Diagram ของ Error Detector .....	12
รูปที่ 2.6 Block Diagram ของระบบแบบปิด .....	13
รูปที่ 2.7 Block Diagram ของระบบแบบปิดกรณีมีอุปกรณ์แปลงสัญญาณ.....	13
รูปที่ 2.8 จุดต่าง ๆ ในระบบโคออร์ดิเนตคาร์ทีเซียน .....	14
รูปที่ 2.9 ระบบโพลาไรโคออร์ดิเนต .....	14
รูปที่ 2.10 โครงสร้างและส่วนประกอบบนระบบพิกัดอ้างอิง.....	16
รูปที่ 2.11 ทฤษฎีของสมการวงกลม.....	17
รูปที่ 2.12 จุดตัด P และ P' ที่เกิดขึ้นที่ตัดกันของวงกลมทั้ง 2 วง.....	18
รูปที่ 2.13 ข้อต่อพื้นฐานทางจลนศาสตร์ ข้อต่อแบบหมุนและข้อต่อแบบเลื่อน.....	18
รูปที่ 2.14 ภาพแสดงโครงสร้างหุ่นยนต์ที่ประกอบด้วย 2 แกนโยงและ 2 ข้อต่อ .....	23
รูปที่ 2.15 ระบบควบคุมแบบปิดสำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ .....	26
รูปที่ 3.1 หลักการพีสิคส์กลศาสตร์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน.....	29
รูปที่ 3.2 การทดลองเพื่อหาแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่มือและแขนของผู้ถูกทำการทดลอง.....	29
รูปที่ 3.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์กำลังการขับเคลื่อนของเซอร์โวมอเตอร์ .....	33
รูปที่ 3.4 ภาพเขียนแบบขนาดต่างๆของหุ่นยนต์แบบขนานนอกแบบโดยโปรแกรม SOLIDWORKS ....	34
รูปที่ 3.5 ภาพเขียนแบบส่วนประกอบต่างๆและลำดับขั้นการประกอบของหุ่นยนต์แบบขนาน นอกแบบโดยโปรแกรม SOLIDWORKS .....	35
รูปที่ 3.6 ภาพจริงที่ทำการประกอบเสร็จสิ้นของหุ่นยนต์แบบขนาน.....	35
รูปที่ 3.7 คุณสมบัติเฉพาะของเซอร์โวมอเตอร์ รุ่น GR 53 x 58, 60 W .....	36
รูปที่ 3.8 ขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ รุ่น GR 53 x 58, 60 W (หน่วยมิลลิเมตร) .....	37
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์รอมือและแขนของผู้ป่วยโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ในการออกแบบ .....	38
รูปที่ 3.10 ภาพจริงของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรอมือและแขนของผู้ป่วย.....	38
รูปที่ 3.11 ET-BASE PIC32MX250F128B .....	39
รูปที่ 3.12 BOARD:H-BRIDGE D RIVER DC MOTOR 80A .....	40

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 วิธีการต่อวงจรบอร์ดขับเซอร์โวมอเตอร์ดีซีแบบ H-Bridge 80 A เข้ากับ MCU และเซอร์โวมอเตอร์.....	40
รูปที่ 3.14 แหล่งจ่ายพลังงานที่มีขนาดอินพุต 230VAC เอาท์พุท 34VDC 50Hz .....	42
รูปที่ 3.15 แหล่งจ่ายพลังงานที่มีขนาดอินพุต 230VAC 50Hz เอาท์พุท 5VDC 350mA .....	42
รูปที่ 3.16 ภาพรวมของระบบการทำงานที่ใช้สั่งการหุ่นยนต์แบบขนาน.....	43
รูปที่ 3.17 Computer User Interfaces จากโปรแกรม Microsoft Visual Basic .....	44
รูปที่ 3.18 ระบบการทำงานของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ .....	44
รูปที่ 3.19 แผนภูมิการทำงานของระบบการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์.....	45
รูปที่ 3.20 ระบบการทำงานของฟังก์ชันแบบไปข้างหน้า .....	46
รูปที่ 3.21 ระบบการทำงานของทฤษฎีการแปลงสี่พหุคูณ .....	46
รูปที่ 4.1 การทดสอบเพื่อพิจารณาแรงที่เกิดขึ้น .....	47
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในหน่วย PWM กับ หน่วยกิโลกรัม.....	49
รูปที่ 4.3 ขอบเขตพื้นที่จากการคำนวณตามทฤษฎี.....	50
รูปที่ 4.4 ขอบเขตพื้นที่ที่ได้จากการวัดขนาดจริง.....	50
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงตำแหน่งที่กีดก่อนใช้ทฤษฎีการแปลงสี่พหุคูณ.....	55
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงตำแหน่งที่กีดหลังใช้ทฤษฎีการแปลงสี่พหุคูณ.....	56
รูปที่ 4.7 เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่าง 2 ตำแหน่งในรูปแบบเส้นตรง.....	57
รูปที่ 4.8 เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่าง 2 ตำแหน่งในรูปแบบเส้นโค้ง.....	57
รูปที่ 5.1 ระบบการทำงานที่ใช้สั่งการหุ่นยนต์แบบขนานหลังการปรับปรุง.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้มีผู้ประสบอุบัติเหตุเป็นจำนวนมากก่อให้เกิดการบาดเจ็บทั้งทางร่างกายและจิตใจ อาการบาดเจ็บของผู้ป่วยที่ได้รับนั้นมีความรุนแรงที่แตกต่างกันออกไป ตั้งแต่บาดเจ็บเล็กน้อยไปจนถึงการบาดเจ็บหรือสูญเสียที่ทำให้เกิดความพิการ อาการพิการหรือทุพพลภาพของผู้ป่วยอาจมีทั้งแบบทั่วทั้งร่างกายหรือพิการบางส่วน สำหรับผู้พิการทางอวัยวะบางส่วนนั้นสามารถฟื้นฟูสมรรถภาพของอวัยวะให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติหรือใกล้เคียงได้ด้วยการเข้ารับการกายภาพบำบัดจากนักกายภาพบำบัดที่มีความชำนาญในการดูแลและรักษาผู้ป่วยที่เกิดความผิดปกติทางร่างกาย โรคที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่พบบ่อย คือ โรคอัมพาต ผู้ที่เป็นโรคอัมพาตนั้นมีผลข้างเคียงคืออาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อซีกใดซีกหนึ่งของร่างกาย อาจเป็นแขนหรือขา หรืออาจถึงขั้นที่ไม่สามารถขยับแขนและขาได้ หรือที่เรียกว่า โรคอัมพาตครึ่งซีก อย่างไรก็ตามผู้ที่มีการป่วยเป็นโรคอัมพาตนั้นสามารถได้รับการฟื้นฟูสมรรถภาพของร่างกายให้กลับมาใช้งานได้ดียิ่งขึ้นได้ หากพูดถึงอวัยวะส่วนแขนนั้นถือได้ว่าแขนเป็นอวัยวะที่สำคัญเป็นอย่างมากในการดำรงชีวิตประจำวัน ซึ่งหากไม่สามารถใช้แขนได้ตามปกติ จะส่งผลให้ต้องใช้ชีวิตประจำวันอย่างยากลำบากรวมถึงเป็นภาระต่อครอบครัวและอาจส่งผลให้เสียขวัญกำลังใจในการดำรงชีวิต ดังนั้นในการกายภาพบำบัดแขนจึงถือเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างมากและควรให้ความสำคัญ

นอกจากการรักษาโดยนักกายภาพบำบัดแล้วยังมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการฟื้นฟูสมรรถภาพของผู้ป่วย หุ่นยนต์แบบขนานนั้นสามารถช่วยเหลือนักกายภาพบำบัดให้สามารถทำการฟื้นฟูสมรรถภาพของผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงแบ่งเบาภาระหน้าที่ของนักกายภาพบำบัดในการทำการกายภาพบำบัดแขนนั้นมีรูปแบบของการทำการกายภาพบำบัดอยู่หลายรูปแบบ โดยมีรูปแบบพื้นฐาน คือ การเคลื่อนนำแขนของผู้เข้ารับการรักษาไปในแนวระนาบกับพื้นเรียบ เพื่อให้แขนของผู้ป่วยได้มีการเคลื่อนไหวให้เกิดการพัฒนาและฟื้นตัวของกล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้สามารถแบ่งการกายภาพบำบัดได้เป็นระดับ 0-5 ตามความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ คือ

ระดับ 0 หมายถึง ไม่มีการเคลื่อนไหว

ระดับ 1 หมายถึง มีการหดตัวของกล้ามเนื้อเล็กน้อยแต่ไม่ใช้การเคลื่อนไหวของข้อ

ระดับ 2 หมายถึง เคลื่อนไหวได้แต่ไม่สามารถต้านแรงโน้มถ่วงได้

ระดับ 3 หมายถึง สามารถต้านแรงโน้มถ่วงได้แต่ไม่สามารถต้านแรงผู้ตรวจได้

ระดับ 4 หมายถึง ต้านแรงของผู้ตรวจได้ปานกลาง

ระดับ 5 หมายถึง กำลังแข็งแรงเป็นปกติ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบหุ่นยนต์แบบขนานเพื่อเป็นแนวทางต้นแบบในการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยกายภาพบำบัดแขน
2. ออกแบบหุ่นยนต์แบบขนานให้มีความสะดวกในการใช้งาน สามารถนำไปใช้ได้หลากหลายสถานที่
3. สร้างซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนานในการทากายภาพบำบัดแขน

## 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ออกแบบหุ่นยนต์แบบขนานต้นแบบให้มีการทำงานในรูปแบบมาตรฐานขั้นต้นของการกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยที่แขนเป็นอัมพาตและผู้ป่วยกล้ามเนื้ออ่อนแรงระดับ 0 ถึงระดับ 2
2. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น PIC32MX250F128B ร่วมกับ Microsoft Visual Basic 6.0 ในการควบคุมอุปกรณ์หุ่นยนต์แบบขนาน
3. งบประมาณสำหรับการทำปริญญานิพนธ์ ไม่เกิน 30,000 บาท

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีอุปกรณ์ช่วยในการทำกายภาพบำบัดที่สามารถใช้งานได้สะดวกทั้งภายในโรงพยาบาลสถานบำบัด ตลอดจนที่พักอาศัย
2. ช่วยลดการทำงานให้กับนักกายภาพบำบัด ทำให้มีความสามารถในการรองรับผู้เข้ารับการรักษาได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกรออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน พร้อมทั้งสร้างซอฟต์แวร์การทำงานสำหรับการกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรง โดยทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลวิธีการฟื้นฟูสมรรถภาพกล้ามเนื้อแขนจากผู้เข้ารับการรักษาจริงจากทางโรงพยาบาล และนำทฤษฎีทางวิศวกรรมศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบขนานขึ้น โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีทางด้านการยศาสตร์และกายภาพของผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรง
2. ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน

#### 2.1 ทฤษฎีทางด้านการยศาสตร์และกายภาพของผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรง

##### 2.1.1 อัมพาต

อัมพาต คือ ภาวะที่เกิดจากการที่เลือดไม่สามารถไปเลี้ยงสมอง ทำให้การทำงานของสมองหยุดชะงัก ถ้าสมองได้รับออกซิเจนและอาหารที่มีอยู่ในเลือดมาบำรุงเลี้ยง การทำงานของร่างกายจะเป็นปกติ หากมีเส้นเลือดบางส่วนที่ไปเลี้ยงสมองเกิดตีบลง อุดตัน เป็นโรคหรือบาดเจ็บ ผลที่ตามมาคืออาการอัมพาต เกิดอาการอ่อนแรงซีกใดซีกหนึ่งหรือทั้งสองซีกของร่างกาย อาจมีอาการร่วมกับตามองไม่เห็น หูไม่ได้ยินหรืออาจพูดไม่ได้ บ่อยครั้งที่การหมุนเวียนของเลือดชะงักไปเป็นเวลาสั้น ๆ ฉะนั้นภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงหรือไม่กี่สัปดาห์ อาการจะทุเลาลงซึ่งมักเรียกว่า อัมพฤกษ์ แต่บางครั้งความเสียหายร้ายแรงกว่านั้นและผู้ป่วยต้องได้รับการรักษาบำบัดอย่างดีจึงจะกลับมาช่วยเหลือตนเองได้อย่างเคย

##### 2.1.1.1 สาเหตุหลักของโรคอัมพาต

1. เกิดภาวะหลอดเลือดสมองตีบ มักเกิดขึ้นเนื่องจากหลอดเลือดมีการแข็งตัว จึงมีผลให้เลือดไปยังสมองได้น้อยและมีการตันในหลอดเลือด

2. เกิดการอุดตันในหลอดเลือด สาเหตุเพราะมีก้อนเลือดหลุดมาจากที่ต่าง ๆ ของร่างกาย

เช่น จากหัวใจแล้วมาอุดหลอดเลือดในสมองจึงทำให้สมองขาดเลือด

3. เกิดหลอดเลือดในสมองบางเส้นแตก เกิดจากการที่หลอดเลือดในสมองแข็งแล้วมีการแตกของหลอดเลือด

4. การอักเสบของหลอดเลือด เกิดจากภาวะที่มีการอักเสบในสมอง เช่น เยื่อหุ้มสมองอักเสบ วัณโรคของสมองและมีผลทำให้หลอดเลือดของสมองอักเสบตามมา ทำให้เลือดไปเลี้ยงสมองไม่พอ

5. อุบัติเหตุของสมอง ภาวะที่มีอุบัติเหตุต่อสมองหรือภัยอันตรายต่อสมองจะทำให้มีการฉีกขาดของหลอดเลือดและมีเลือดออกในสมองอาจจะกดหรือเบียด ทำให้เกิดอัมพาตขึ้นได้เช่นกัน

#### 2.1.1.2 ผลของโรคอัมพาต

สมองของคนเราแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ สมองซีกขวา (Right Cerebral Hemisphere) สมองซีกซ้าย (Left Cerebral Hemisphere) สมองน้อย (Cerebellum) และก้านสมอง (Brain Stem) โดยสมองแต่ละส่วนทำหน้าที่ต่างกัน

1. ผู้ป่วยที่มีพยาธิสภาพสมองซีกซ้าย สมองซีกซ้ายทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวร่างกายซีกขวา การพูด และภาษา ดังนั้นผู้ป่วยที่มีโรคทางสมองซีกนี้จะมีอาการอ่อนแรงข้างขวา บางคนไม่สามารถพูดไม่ได้แต่รับฟังรู้เรื่อง ถ้าเป็นมากจะไม่สามารถทั้งรับฟังและพูด

2. ผู้ป่วยที่มีพยาธิสภาพสมองซีกขวา สมองซีกขวาทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวร่างกายซีกซ้าย การกระดก และตำแหน่ง ดังนั้นผู้ป่วยที่มีโรคทางสมองซีกนี้จะมีอาการอ่อนแรงข้างซ้าย บางคนไม่สามารถใส่กระดุมเสื้อได้ หรือใส่เสื้อผ้า ผูกเชือกรองเท้า

3. ผู้ป่วยที่มีพยาธิสภาพที่สมองน้อย สมองน้อยทำหน้าที่การทรงตัว การประสานงานของกล้ามเนื้อ ผู้ป่วยที่สมองส่วนนี้เสียหายจะมีอาการทรงตัวไม่ได้ เวียนศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน

4. ผู้ป่วยที่มีพยาธิสภาพที่ก้านสมอง ก้านสมองเป็นทางผ่านของเส้นประสาทที่นำคำสั่งจากสมองไปยังร่างกาย นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ควบคุมการหายใจ ความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ ผู้ป่วยที่มีโรคตำแหน่งนี้อาจจะอ่อนแรงแขนขาข้างใดข้างหนึ่งหรืออ่อนแรงแขนขาทั้งสองข้าง

ผู้ป่วยที่มีอาการทางสมองส่วนใหญ่ในระยะแรกมักจะมีอาการแขนขาอ่อนแรงข้างใดข้างหนึ่ง ระยะต่อมาแขนขาที่อ่อนแวมักจะเริ่มมีการเกร็งเกิดขึ้น ซึ่งการเกร็งที่เกิดนาน ๆ นั้นจะมีผลทำให้กล้ามเนื้อหดสั้น ก่อให้เกิดความเจ็บปวดตามมาและยังนำมาซึ่งการไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการรักษาเพื่อลดอาการเกร็งและยืดกล้ามเนื้อที่หดสั้นอยู่ ซึ่งทำได้โดยการขจัดท่ายืดกล้ามเนื้อที่เกิดการเกร็งตัวค้างไว้ นอกจากนี้ยังต้องฝึกกำลังกล้ามเนื้อที่ทำงานในทิศทางตรงข้ามกับกล้ามเนื้อที่มักทำให้เกิดการเกร็งตัวให้มีกำลังเพิ่มขึ้น

#### 2.1.2 ระบบกล้ามเนื้อ

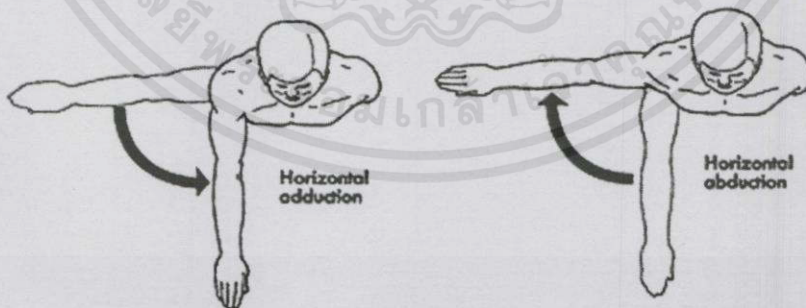
การเคลื่อนไหวนับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของมนุษย์ เกิดจากประสาทสั่งงานให้กล้ามเนื้อหดตัวหรือเหยียดตัวเป็นผลให้เกิดแรงต่อเอ็นและข้อต่อที่กล้ามเนื้อยึดเกาะอยู่โดยรอบ ทำให้ร่างกายเกิดการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่าง ๆ กัน ซึ่งการเคลื่อนไหวนี้รวมไปถึงการเคลื่อนไหวของร่างกาย

หมดทุกส่วนและเฉพาะส่วนที่มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระในตัวเอง จึงกล่าวได้ว่าระบบกล้ามเนื้อเป็นระบบที่ทำให้เกิดแรงที่มีผลทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย

### 2.1.2.1 รูปแบบการเคลื่อนไหวของร่างกาย

1. Flexion คือ การงอ เป็นการเคลื่อนไหวในระนาบหน้า-หลัง ในลักษณะของการลดมุมของข้อต่อ เช่น การงอข้อศอก งอข้อเข่า
2. Extension คือ การเหยียด เป็นการเคลื่อนไหวที่ตรงกันข้ามกับการงอ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การกลับสู่ท่ากายวิภาคเป็นการเคลื่อนไหวในระนาบหน้า-หลังเช่นเดียวกัน
3. Abduction คือ การเคลื่อนไหวของข้อต่อที่ทำให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายเคลื่อนที่ออกห่างจากเส้นกึ่งกลางของลำตัวเป็นการเคลื่อนไหวในระนาบข้าง เช่น การกางแขน การกางขาออกด้านข้างลำตัว
4. Adduction คือ การเคลื่อนไหวในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับการกาง เช่น การหุบแขน การหุบขา
5. Rotation คือ การเคลื่อนไหวในลักษณะบิดรอบแกนตั้งในระนาบตามขวาง เช่น การบิดคอไปทางซ้ายหรือทางขวา การบิดลำตัว
6. Circumduction คือ การเคลื่อนไหวที่มีลักษณะเป็นรูปกรวยกลม โดยมีส่วนใกล้ตัวยึดอยู่กับที่และส่วนที่ไกลจากลำตัวเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ เช่น การหมุนไหล่ การหมุนสะโพก ซึ่งเป็นการรวมการเคลื่อนไหวทุกรูปแบบเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการงอ การเหยียด การกางและหุบ

### 2.1.2.2 การเคลื่อนไหวเบื้องต้นของหัวไหล่



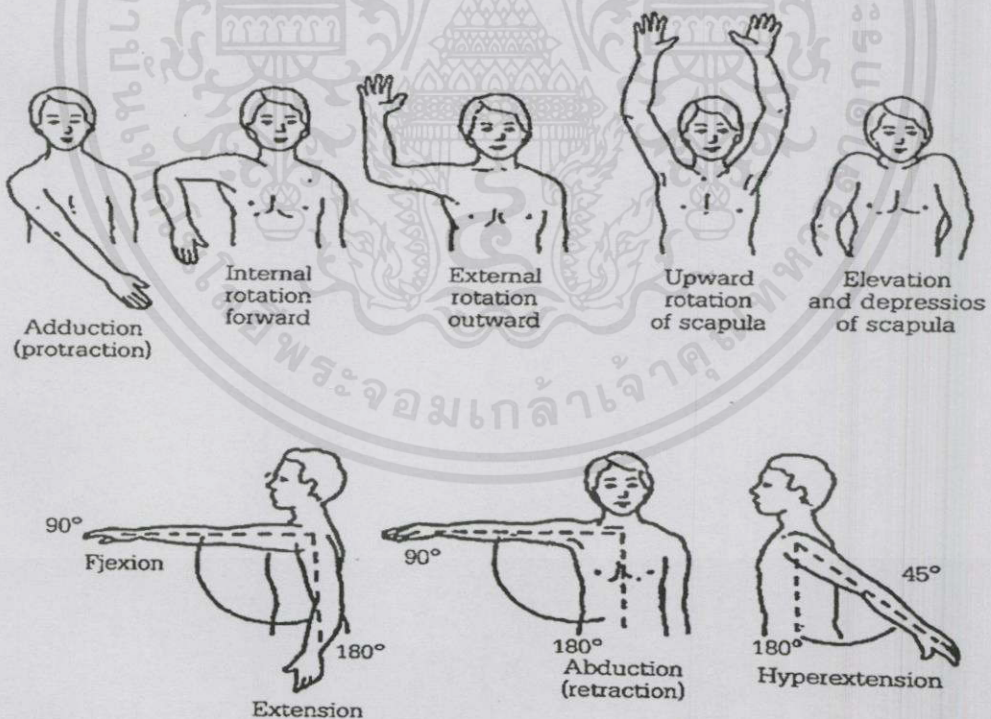
รูปที่ 2.1 การเคลื่อนไหวเบื้องต้นของหัวไหล่ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 เป็นท่าการเคลื่อนไหวเบื้องต้นของหัวไหล่ จากการศึกษาวิธีการกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรงทางโรงพยาบาลกลาง โรงพยาบาลได้ใช้หลักการกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรงที่มีกล้ามเนื้อในระดับ 0 - 2 ในท่าทางที่ลากแขนไปในแนวขนานขอบฟ้า ซึ่งตรงกับหลักของการเคลื่อนไหวเบื้องต้นของหัวไหล่ดังรูปที่ 2.1

### 2.1.2.3 การเคลื่อนไหวระนาบข้างของแกนแนวนอนลากให้ขนานขอบฟ้า

การกางและการหุบของแขน (Abduction - Adduction) การเคลื่อนไหวทั้งสองแบบนี้เกิดขึ้นในระนาบข้าง (Frontal Plane) ของข้อต่อแบบ Biaxial เช่น ข้อต่อบริเวณข้อมือ และแบบ Multiaxial เช่น ข้อต่อบริเวณหัวไหล่ โดยที่การกางของนิ้วมือและนิ้วเท้า เป็นการเคลื่อนที่ออกจากจุดกลาง ส่วนการหุบเป็นการเคลื่อนที่กลับเข้าจุดกลาง การเคลื่อนไหวของแขนแบบ Horizontal Flexion จะเริ่มจากการกาง การเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในระนาบขนานขอบฟ้าและเคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยผ่านร่างกายส่วนบน เช่น การกางแขนขวาออกไปทางด้านหน้า แล้วเคลื่อนแขนขวากลับผ่านร่างกายส่วนบนไปทางซ้ายมือ Horizontal Extension เป็นการเคลื่อนไหวที่ตรงกันข้ามกับ Horizontal Flexion การเคลื่อนไหวแบบ Horizontal Flexion นี้ นักกายภาพบำบัดนิยมใช้คำว่า Horizontal Adduction เพราะว่าแขนเคลื่อนที่ผ่านเส้นกลางของร่างกาย การเคลื่อนไหวทั้งสองแบบนี้เกิดรอบ ๆ แกนอันเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้ารูปที่ 2.2 การเคลื่อนไหวแบบ Horizontal Flexion และ Horizontal Extension [3] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุผลข่งเนื่อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ป่วยที่เป็นโรคอัมพาตเมื่อทำการรักษาตามลักษณะความผิดปกติที่เกิดขึ้นของเส้นเลือดในสมองเพื่อลดโรคแทรกซ้อนและลดอัตราการเสียชีวิตที่อาจเกิดขึ้นแล้ว จะยังคงมีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นอยู่ จึงต้องทำการกายภาพบำบัดฟื้นฟูในขั้นต่อมา ซึ่งขอบเขตของปริญญานิพนธ์นี้ คือ กล้ามเนื้อแขน ทาการแพทย์จึงได้นำการเคลื่อนไหวของหัวไหล่เบื้องต้นในลักษณะดังรูปที่ 2.2 มาใช้ในการฟื้นฟูสมรรถภาพของผู้ป่วย เนื่องจากเป็นการเคลื่อนไหวของแขนในระนาบที่มีการใช้งาน (Functional Plane) มากที่สุดในการดำรงชีวิตประจำวัน

เมื่อทำการกายภาพบำบัดผู้ป่วยอัมพาตจะทำให้เกิดการเรียนรู้ทางสมองขึ้นหรือเป็นการสอนให้สมองเกิดการเรียนรู้ของลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้ขั้นใหม่ (Re-Learning) จากนั้นจะส่งผลให้กล้ามเนื้อแขนทุกส่วนของผู้ป่วยที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงฟื้นฟูจนมีประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อที่ดีขึ้นถึงระดับ 2 โดยที่ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในเส้นเลือดสมองหนัก เบา หรือเกิดขึ้นกับส่วนที่สำคัญของเส้นเลือดในสมองของผู้ป่วยนั้นจะมีผลต่อระยะเวลาในการฟื้นฟูสมรรถภาพของผู้ป่วย

## 2.2 ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน

### 2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชิงมุมกับปริมาณเชิงเส้น

การหมุนของวัตถุรอบแกนที่คงที่ อนุภาคทุกอนุภาคในวัตถุนี้จะเคลื่อนที่เป็นวงกลมโดยศูนย์กลางอยู่บนแกนหมุน เมื่อล้อรัศมี  $r$  หมุนรอบตัวเอง การเคลื่อนที่ของจุดใด ๆ บนขอบล้อโดยการบอกระยะทางตามเส้นรอบวง  $s$  ที่จุดนั้นเคลื่อนไป อัตราเร็วตามแนวสัมผัส  $v$  และความเร่งตามแนวสัมผัส  $a$  ปริมาณเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณเชิงมุม  $\theta$ ,  $\omega$  และ  $\alpha$  ซึ่งบรรยายการหมุนของล้อตามมีความสัมพันธ์ตามสมการต่อไปนี้ (โดยที่ค่าของ  $\theta$ ,  $\omega$  และ  $\alpha$  จะต้องใช้หน่วยเรเดียน)

$$s = \theta r \quad (2.1)$$

$$v = \omega r \quad (2.2)$$

$$a = \alpha r \quad (2.3)$$

### 2.2.2 ทอร์ก

ทอร์ก (หรือโมเมนต์) รอบแกนหนึ่งเนื่องจากแรง ๆ หนึ่ง คือ ปริมาณที่วัดความมีประสิทธิภาพของแรงในการก่อให้เกิดการหมุนรอบแกนนั้น เราให้นิยามทอร์กดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ห้ามการเผยแพร่เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Torque} = \tau = (r) (F) (\sin \theta) \quad (2.4)$$

โดยที่  $r$  คือ ระยะทางตามแนวรัศมีจากแกนไปยังจุดที่แรงกระทำ และ  $\theta$  คือ มุมแหลมระหว่างแนวของ  $r$  และ  $F$  ซึ่งโดยทั่วไปมักเขียนนิยามนี้ในรูปแขนคานของแรงซึ่งคือระยะทางที่ลากจากแกนไปตั้งฉากกับแนวแรง เนื่องจากแขนคาน คือ  $r \sin \theta$  ดังนั้นทอร์กกลายเป็น

$$\tau = F \times \text{ความยาวแขนของคาน} \quad (2.5)$$

หน่วยของทอร์ก คือ นิวตัน-เมตร (N-m) เรากำหนดให้ทอร์กมีเครื่องหมายบวกและลบ โดยทอร์กที่พยายามทำให้เกิดการหมุนรอบแกนในทิศทางเข็มนาฬิกาให้มีเครื่องหมายบวก ขณะที่ทอร์กที่พยายามทำให้เกิดการหมุนตามเข็มนาฬิกาให้มีค่าเป็นลบ

### 2.2.2.1 ทอร์กของมอเตอร์

ทอร์กมอเตอร์มีความหมายอยู่ 2 รูปแบบ แบบแรก คือ ทอร์กของตัวมอเตอร์ คือ แรงบิดที่มอเตอร์สามารถให้ในการขับโหลดได้ ที่เรียกว่า มอเตอร์ทอร์ก ซึ่งเป็นแรงบิดที่แกนเพลลาของมอเตอร์ปกติจะกำหนดค่าเป็น ฟุต-ปอนด์ แบบที่สอง คือ โหลดทอร์ก (Load Torque) คือ แรงบิดที่แกนเพลลาของโหลดที่ต้องการในการหมุนให้ได้รอบที่ถูกต้อง ซึ่งทอร์กของมอเตอร์มี 3 ประการที่จะต้องนำมาพิจารณา คือ

#### 1. ทอร์กในสภาวะการใช้งานปกติ

ทอร์กในสภาวะการใช้งานปกติของโหลดนั้น คือ ทอร์กที่โหลดต้องการสำหรับการทำงานอย่างต่อเนื่อง มีผลเกี่ยวกับความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นมอเตอร์จะต้องสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ค่าแรงม้าที่ระบุไว้บนแผ่นป้ายของมอเตอร์เป็นสิ่งรับประกันว่าโหลดที่มีค่าดังกล่าวนี้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจนเกินกว่าค่าที่ฉนวนของมอเตอร์ทนได้

#### 2. ทอร์กสำหรับการเร่งรอบความเร็ว

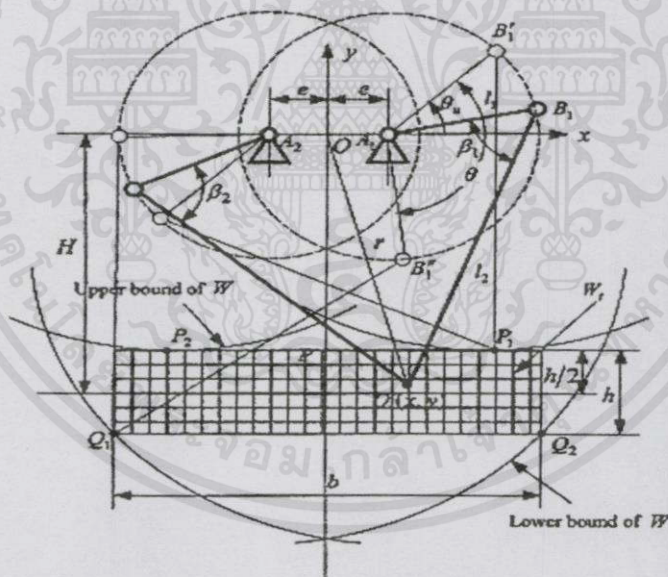
การเร่งรอบความเร็วของโหลดส่วนใหญ่ นั้น โดยปกติแล้วจะไม่มีปัญหา ยกเว้นในกรณีที่โหลดซึ่งถูกขับนั้นมีค่าความเฉื่อยสูง ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งรอบความเร็วจากสภาวะหยุดนิ่งจนถึงรอบความเร็วปกตินั้นอาจกลายเป็นปัญหาที่สำคัญได้ หากเกิดปัญหาขึ้นมอเตอร์จะดึงกระแสไฟฟ้าสูงมาก ในขณะที่เริ่มหมุน จนกว่ามันจะมีรอบความเร็วตามปกติ ถ้ากระแสที่มีค่าสูงของมอเตอร์นี้มีอยู่ยาวนานเกินไป ค่าการสูญเสียจะทำให้มอเตอร์เกิดความร้อนจัดหรือเกิดการทริป (Trip) บ่อยครั้งได้ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งรอบความเร็วนี้จะขึ้นกับค่าความเฉื่อยของอุปกรณ์ที่หมุนเป็นหลัก รวมถึงค่าความแตกต่างของทอร์กที่โหลดต้องการในการหมุนและทอร์กที่มอเตอร์สามารถจ่ายให้ได้ในแต่ละความเร็วรอบ

### 3. ทอร์กสำหรับการเริ่มต้นหมุน

โหลดบางประเภทอาจจะก่อให้เกิดปัญหาในด้านของทอร์กสำหรับการเริ่มต้นของการหมุน ค่าความเสียดทานในขณะที่ชิ้นส่วนเริ่มเกิดการหมุน (Static Friction) จะมีค่าสูงกว่าความเสียดทานในขณะที่มีการหมุน (Rolling Friction) ซึ่งก่อนที่แกนเพลลาของโหลดจะหมุนไปได้ นั้น ทอร์กของมอเตอร์จะต้องสามารถเอาชนะค่าทอร์กที่โหลดต้องใช้ในขณะที่เริ่มต้นหมุน ซึ่งมีค่าสูงกว่าทอร์กในขณะที่โหลดได้หมุนไปแล้ว

#### 2.2.3 พื้นที่การทำงานและความสัมพันธ์ของตัวแปร

ดังรูปที่ 2.3 ให้ขอบเขตโดยประมาณของมุมของ Link เป็น  $\theta$  และขอบเขตของมุมส่วนบนเป็น  $\theta_u$  ให้  $\theta_u$ ,  $\theta$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  และ  $e$  ตำแหน่งพื้นที่การทำงานที่สามารถไปได้ตั้ง  $w$  จากจุดอ้างอิง  $o$  ของแทนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ คือ ส่วนที่ติดกันร่วมกับการเคลื่อนไหวที่สอดคล้องเนื่องจากรูปแบบแขนแบบขนาน พื้นที่ส่วนย่อยแต่ละส่วนเป็นพื้นที่ที่ถูกล้อมรอบด้วยเส้นโค้ง 2 เส้น ซึ่งมีรัศมี  $l_2$ ,  $\beta_1'$  และ  $\beta_1''$  คือ จุดโดยประมาณที่มุมของ Link สามารถขึ้นได้สูงสุดและลงได้ต่ำสุดตามลำดับ ซึ่งในทางปฏิบัติตำแหน่งของการเคลื่อนที่จะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างมากแต่ความสูงน้อย



รูปที่ 2.3 พื้นที่การทำงานและความสัมพันธ์ของตัวแปร [6]

สามารถสังเกตได้จากสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง  $b$  และความสูง  $h$  ใน  $W$  ที่มีขอบพื้นที่ด้านบนจากส่วนโค้งที่จุด  $P_1$  และ  $P_2$  และมีขอบพื้นที่ด้านล่างจากการตัดกันที่มุมตรงจุด  $Q_1$  และ  $Q_2$  การคำนวณตามลำดับ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงกำหนดพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้านี้ได้เป็นพื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งแสดงได้โดย W จึงเกิดเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรดังต่อไปนี้

$$H = l_2 + \frac{h}{2} - l_1 \sin \theta_u \quad (2.6)$$

เมื่อ H คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางของ W ไปถึงจุดอ้างอิง O

$$A \sin(\theta - \theta_u) + B \cos(\theta - \theta_u) + C = 0 \quad (2.7)$$

เมื่อ

$$A = -2 \left( H + \frac{h}{2} \right) l_1$$

$$B = 2 \left( \frac{b}{2} + e \right) l_1$$

$$C = \left( \frac{b}{2} + e \right)^2 + \left( H + \frac{h}{2} \right)^2 + l_1^2 + l_2^2$$

ดังนั้น การปะติดปะต่อกันของตัวแปรของหุ่นยนต์แบบขนานจึงพิจารณาโดยการกำหนดค่า b และ h ของ W เพื่อคำนวณหา  $l_1, l_2, e$  และ H ที่เหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพตามต้องการ

## 2.2.4 ระบบควบคุม

การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control) มีบทบาทต่ออุตสาหกรรมอย่างมากที่จำเป็นต้องมีการควบคุม อุณหภูมิ หรือเครื่องยนต์กลไกต่าง ๆ ให้ทำงานตามที่ต้องการ ซึ่งความรู้ทางด้านทฤษฎีและการทดลองเกี่ยวกับการควบคุมอัตโนมัติจะทำให้สามารถควบคุมระบบให้มีสมรรถนะ (Performance) ดีที่สุด

### 2.2.4.1 นิยามคำต่าง ๆ ในระบบควบคุม

จะให้นิยามหรือคำจำกัดความของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบควบคุมเบื้องต้น

- Plant หมายถึงระบบที่ถูกควบคุม (Controlled System) หรือหมายถึงวัตถุทางกายภาพที่ถูกควบคุม เช่น เครื่องจักร
- System หรือระบบ หมายถึง การรวบรวมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำงานร่วมกันเข้าด้วยกัน เพื่อทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง

- Disturbance หมายถึง สัญญาณที่ไม่ต้องการที่มารบกวนแพลนท์ หรือระบบที่จุด ๆ หนึ่งทำให้เอาต์พุตของระบบเปลี่ยนแปลงไป ถ้า Disturbance เกิดขึ้นในระบบซึ่งอาจจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วจะเรียกว่า Internal Disturbance แต่ถ้า Disturbance เกิดขึ้นภายนอกระบบ ถือว่า Disturbance นั้นเป็นอินพุตอันหนึ่งของระบบ

- ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control System) เป็นระบบการควบคุมที่พยายามรักษาให้เอาต์พุตมีค่าตามที่ต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับมาเทียบกับสัญญาณอินพุต การป้อนกลับนี้เป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) เพื่อให้เกิดสัญญาณผลต่างระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต จากนั้นนำเอาสัญญาณผลต่างนี้ไปใช้ในการควบคุม

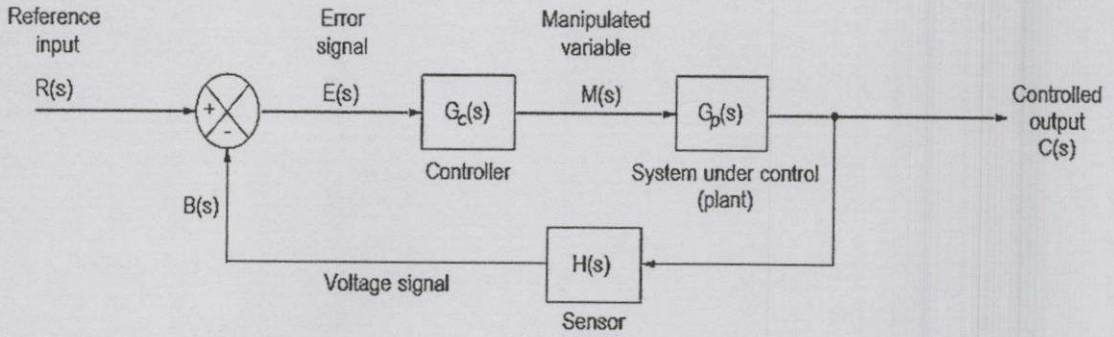
- Servomechanism เป็นระบบควบคุมป้อนกลับโดยที่เอาต์พุตที่ต้องการจะต้องเป็นตำแหน่งเชิงกล (Mechanical Position) ความเร็ว และความเร่ง

- Regulator หรือ Automatic Regulating System เป็นระบบควบคุมป้อนกลับที่เอาต์พุตต้องไม่ใช่ตำแหน่งเชิงกล อินพุตของระบบต้องมีค่าคงที่หรืออาจเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างช้า ๆ และเอาต์พุตของระบบนั้นจะต้องสามารถควบคุมหรือรักษาไว้ให้มีค่าตามต้องการได้ถึงแม้จะมี Disturbance เกิดขึ้น

#### 2.2.4.2 การควบคุมแบบปิด

ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-Loop Control) เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่งซึ่งสัญญาณเอาต์พุตมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบปิด คือ ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control System) สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณป้อนกลับ จะถูกป้อนให้กับตัวควบคุม (Controller) เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงและทำให้เอาต์พุตของระบบมีค่าตามที่ต้องการ สัญญาณป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณเอาต์พุตโดยตรงหรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณเอาต์พุต หรือเป็นค่าอนุพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุตก็ได้ รูปที่ 2.4 คือ รูปแสดง Block Diagram ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของสัญญาณระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบปิด ซึ่งจะเห็นว่าเทอม Closed-Loop หมายถึงการนำเอาวิธีการป้อนกลับมาใช้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



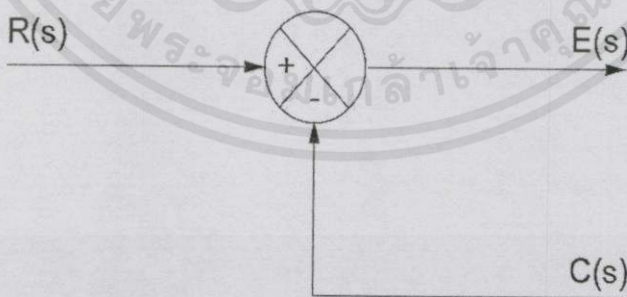
รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมแบบปิด (Close-Loop Control) [2]

### 2.2.4.3 บล็อกไดอะแกรม

ระบบควบคุมแต่ละระบบอาจประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลาย ๆ ส่วน ดังนั้นจึงนิยมใช้บล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ในการแสดงถึงฟังก์ชันของส่วนประกอบต่าง ๆ ในระบบ ตลอดจนทิศทางของการไหลของสัญญาณในระบบนั้น โดยที่บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมนั้นแต่ละบล็อกจะประกอบไปด้วย Transfer Function ของส่วนประกอบแต่ละส่วนของระบบและแต่ละบล็อกจะถูกนำมาต่อเข้าด้วยกัน

#### 2.2.4.3.1 ออโรดิเทคเตอร์

ออโรดิเทคเตอร์ (Error Detector) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณซึ่งเป็นสัญญาณผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุตอ้างอิงกับสัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตของระบบควบคุม รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ Error Detector

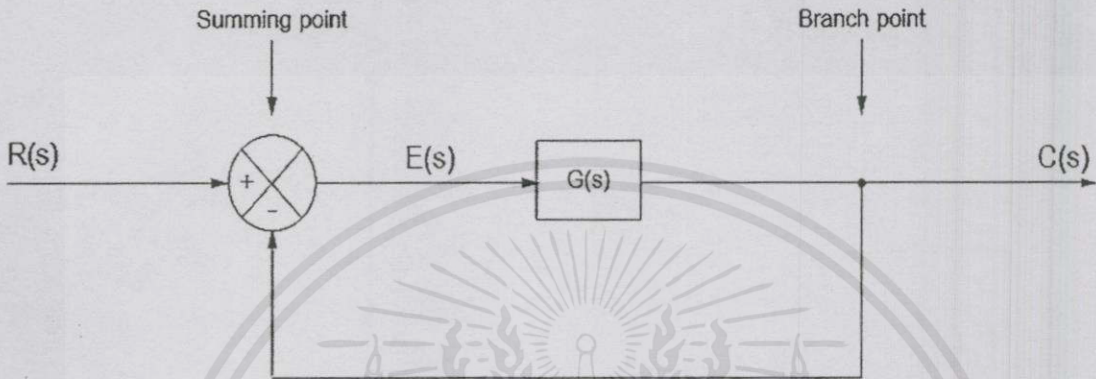


รูปที่ 2.5 Block Diagram ของ Error Detector [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เครื่องหมาย (+) และ (-) ที่แสดงอยู่ในวงกลมสัญลักษณ์ของ Error Detector นั้นเป็นเครื่องหมายแสดงให้ทราบว่าสัญญาณจะถูกนำมาบวกกันหรือลบกัน

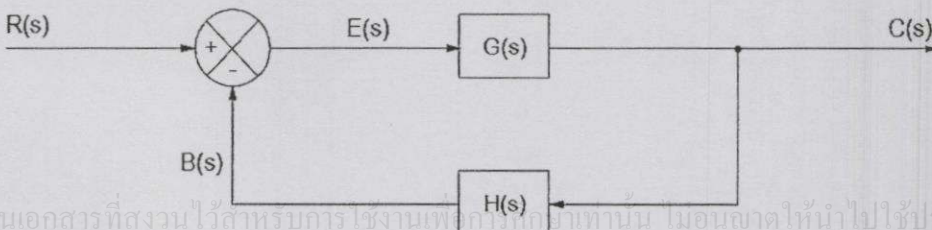
2.2.4.3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบแบบปิด

รูปที่ 2.6 เป็นตัวอย่างหนึ่งของ Block Diagram ของระบบแบบปิด จากรูปเอาต์พุต  $C(s)$  จะถูกป้อนกลับไปยังจุดรวมสัญญาณ (Summing Point) เพื่อทำการเปรียบเทียบกับอินพุตอ้างอิง  $R(s)$  และเอาต์พุตของระบบ Closed-Loop ในกรณีนี้จะมีค่าเท่ากับผลคูณของ Transfer Function  $G(s)$  กับ อินพุตของ Block  $E(s)$



รูปที่ 2.6 Block Diagram ของระบบแบบปิด [2]

ระบบควบคุมเชิงเส้นแต่ละระบบสามารถแทนได้ด้วย Block Diagram ที่ประกอบด้วย หลาย ๆ บล็อก จุดรวมสัญญาณและจุดแยกสัญญาณ (Branch Point) เมื่อสัญญาณเอาต์พุตถูกป้อนกลับ ไปยังจุดรวมสัญญาณเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตนั้น สิ่งที่ต้องทำอย่างหนึ่งคือต้องทำการแปลง สัญญาณเอาต์พุตให้เป็นสัญญาณชนิดเดียวกับสัญญาณอินพุต ซึ่งอุปกรณ์แปลงสัญญาณนี้จะต่ออยู่ใน Feedback Path และในที่นี้สมมติให้ Transfer Function ของอุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็น  $H(s)$  ดังรูปที่ 2.7 แสดง Block Diagram ของระบบ Closed-Loop ที่มีอุปกรณ์แปลงสัญญาณรวมอยู่ โดยที่  $B(s)$  คือ สัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) และ  $E(s)$  คือ สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) นอกจากนี้  $H(s)$  ยังอาจจะรวมถึงตัวขยายสัญญาณเพื่อให้ขนาดเพียงพอที่จะนำไปเปรียบเทียบกับ สัญญาณอินพุต

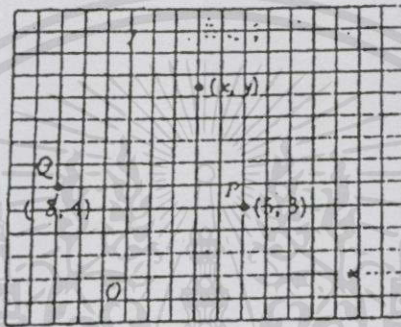


รูปที่ 2.7 Block Diagram ของระบบแบบปิดกรณีมีอุปกรณ์แปลงสัญญาณ [2]

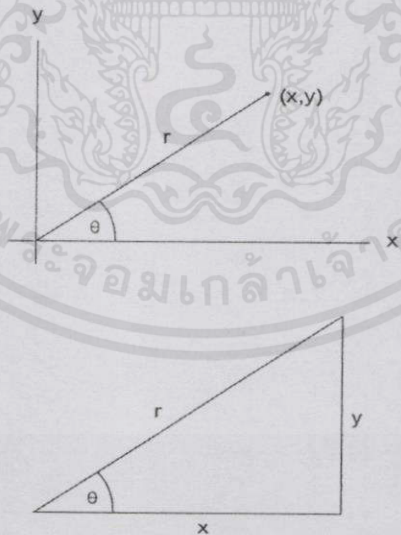
## 2.2.5 ระบบโคออร์ดิเนตและกรอบอ้างอิง

เป็นการใช้หลักคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุ กล่าวคือ การอธิบายตำแหน่งของวัตถุที่เวลาต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องระบุตำแหน่งโดยมีกรอบอ้างอิง (Frame of Reference) หรือนำมาใช้ระบุตำแหน่งพื้นที่ด้วยการกำหนดระบบโคออร์ดิเนต (Coordinate Systems)

ระบบโคออร์ดิเนตที่ใช้กันบ่อย คือ ระบบคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 จุดในระบบโคออร์ดิเนตจะระบุเป็น  $(x, y)$  โดยให้ทิศ  $+x$  ชี้ไปทางขวามือและทิศ  $+y$  ชี้ขึ้นแนวดิ่ง ส่วนทิศ  $-x$  ชี้ไปทางซ้ายมือ ขณะที่ทิศ  $-y$  ชี้ลงในแนวดิ่ง จากรูปเห็นได้ว่าจุด  $P$  มีโคออร์ดิเนต  $(5,3)$  ซึ่งจุดดังกล่าวอยู่ที่ 5 หน่วยสเกลทางแกน  $+x$  และ 3 หน่วยสเกลอยู่ทาง  $+y$



รูปที่ 2.8 จุดต่าง ๆ ในระบบโคออร์ดิเนตคาร์ทีเซียน [4]



รูปที่ 2.9 ระบบโพลาร์โคออร์ดิเนต [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบางกรณีจะระบุตำแหน่ง P บนระนาบ (Plane) โดยใช้ระบบโพลาร์โคออร์ดิเนต (Polar Coordinate) ดังแสดงในรูป 2.9 โดยระบุตำแหน่งเป็น  $(r, \theta)$  ซึ่งในระบบโคออร์ดิเนตนี้  $r$  คือ ระยะจากจุดเริ่มต้น 0 ไปยังจุด P และมุม  $\theta$  คือ มุมที่  $r$  ทำกับแกน  $x$  และวัดมุมในทิศทวนเข็มนาฬิกา พบว่า  $\sin \theta = \frac{y}{r}$  และ  $\cos \theta = \frac{x}{r}$  ดังนั้นจึงได้ความสัมพันธ์

$$x = r \cos \theta \quad (2.8)$$

$$y = r \sin \theta \quad (2.9)$$

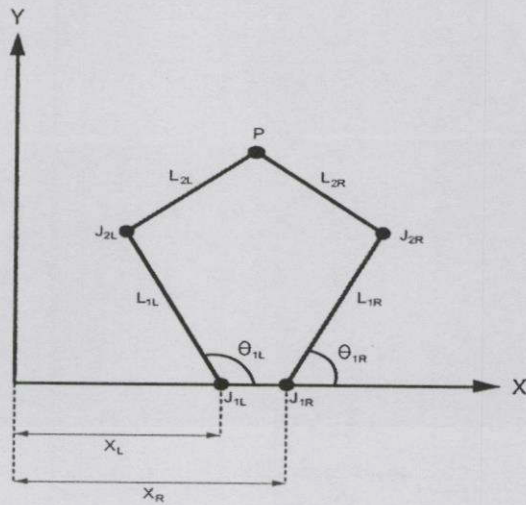
เมื่อนำไปคำนวณจะทำให้ทราบตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ของจุด P ได้จากนั้นนำไปใช้ร่วมกับความรู้ทางด้านตรีโกณมิติ (Trigonometry) จะได้ความสัมพันธ์

$$\tan \theta = \frac{y}{x} \quad (2.10)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.8 ถึง 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของโคออร์ดิเนต  $(x, y)$  กับโคออร์ดิเนต  $(r, \theta)$  จากทฤษฎีข้างต้นเรื่องระบบโคออร์ดิเนตและกรอบอ้างอิงได้นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับงานปริณญาณิพนธ์ เพื่อใช้ในการหาดำแหน่งพิกัดในแนวแกน  $(x, y)$  ของแต่ละจุดหมุน รวมถึงการหาดำแหน่งพิกัดของปลายแขนหุ่นยนต์แบบขนาน เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ณ เวลาใด ๆ โดยมีโครงสร้างและส่วนประกอบบนระนาบพิกัดอ้างอิงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โครงสร้างและส่วนประกอบบนระบบพิกัดอ้างอิง

กำหนดให้

$$J_{1Lx} = x_L$$

$$J_{1Rx} = x_R$$

$$J_{1Ly} = 0$$

$$J_{1Ry} = 0$$

$$J_{2Lx} = x_L + L_{1L} \cos \theta_{1L} \tag{2.12}$$

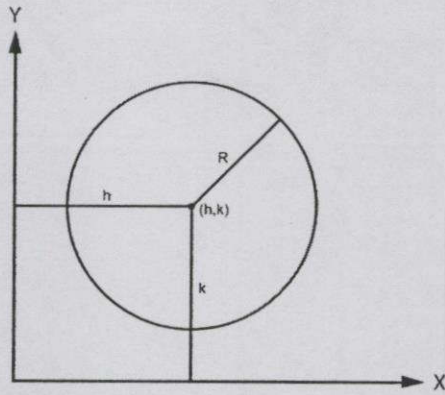
$$J_{2Ly} = L_{1L} \sin \theta_{1L} \tag{2.13}$$

$$J_{2Rx} = x_R + L_{1R} \cos \theta_{1R} \tag{2.14}$$

$$J_{2Ry} = L_{1R} \sin \theta_{1R} \tag{2.15}$$

จากทฤษฎีของสมการวงกลมที่มีจุดศูนย์กลาง  $C(h, k)$  และมีรัศมี  $r$  หน่วยดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ทฤษฎีของสมการวงกลม

โดย

$$R_y^2 = (x - h)^2 + (y - k)^2 \quad (2.16)$$

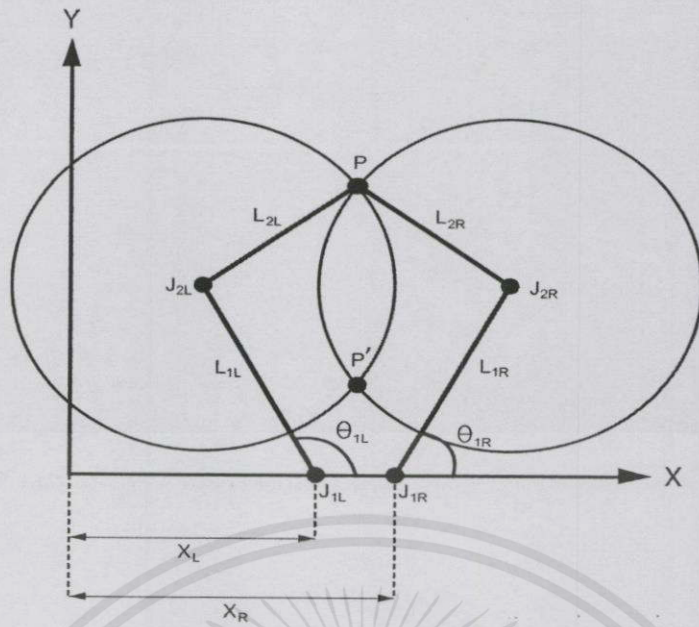
ดังนั้น

$$L_{2L}^2 = (x - J_{2Lx})^2 + (y - J_{2Ly})^2 \quad (2.17)$$

$$L_{2R}^2 = (x - J_{2Rx})^2 + (y - J_{2Ry})^2 \quad (2.18)$$

ขั้นตอนต่อมาทำการจัดรูปสมการ 2.17 และ 2.18 ให้อยู่ในเทอมของ  $\theta$  โดยทำการแทนค่าของสมการ 2.12 ถึง 2.15 ลงในสมการ 2.17 และ 2.18 จากนั้นกำหนดสมการ 2.17 เท่ากับ 2.18 เพื่อคำนวณหาสมการเส้นตรงที่ตัดผ่านจุด P และ P' ดังรูป 2.12 โดยกำหนดให้สมการเส้นตรง คือ สมการ H และนำสมการเส้นตรง H แทนลงในสมการ 2.17 หรือ สมการ 2.18 เพื่อแก้สมการหาค่าพิกัด (x, y) ของจุดตัดทั้ง 2 จุดของวงกลมที่ตัดกันและทำการเลือกจุดตัดทั้ง 2 จุดของวงกลมที่ตัดกัน โดยทำการเลือกในตำแหน่งที่มีค่าของแนวแกน y สูงที่สุด ซึ่งจุดที่สูงที่สุดในแนวแกน y จะเป็นตำแหน่งของปลายแขนหุ่นยนต์แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 จุดตัด P และ P' ที่เกิดขึ้นที่ตัดกันของวงกลมทั้ง 2 วง

### 2.2.6 หลักจลนศาสตร์

หลักจลนศาสตร์ (Kinematics) คือ การศึกษาทางด้านเรขาคณิตโดยเฉพาะการเคลื่อนที่ของแขนกลในหุ่นยนต์โดยไม่คิด แรง รูปร่าง ขนาด และน้ำหนัก การศึกษาจะคำนวณหาตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ของแขนกลผ่านระบบก้านโยง (Linkages) หรือกลไกหากพิจารณา หุ่นยนต์หรือแขนกลในทางจลนศาสตร์แขนกลเกิดจากต่อกันของก้านโยงตั้งแต่ 2 ก้านขึ้นไป ซึ่งเป็นชิ้นส่วน คู่ทางจลนศาสตร์โดยชิ้นส่วนที่คู่กันจะเกิดที่บริเวณข้อต่อ (Joints) ซึ่งการต่อที่บริเวณข้อต่อจะมีอยู่ 2 แบบ คือ ข้อต่อแบบหมุน (Revolute Joint) และข้อต่อแบบเลื่อน (Prismatic Joint) แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ข้อต่อพื้นฐานทางจลนศาสตร์ ข้อต่อแบบหมุนและข้อต่อแบบเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.6.1 ตำแหน่งและการเคลื่อนที่

ตำแหน่งเริ่มต้นของระยะพิกัดเฟรม  $i$  ที่มีความสัมพันธ์กับระบบพิกัดเฟรม  $j$  สามารถถูกกำหนดได้โดยเวกเตอร์  $3 \times 1$

$${}^j p_i = \begin{pmatrix} {}^j p_i^x \\ {}^j p_i^y \\ {}^j p_i^z \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

ส่วนประกอบที่อยู่ในเวกเตอร์นี้ คือ ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ของ  $O_i$  ในเฟรม  $j$  ซึ่งเป็นภาพฉายของเวกเตอร์  ${}^j p_i$  บนภาพตัดเดียวกัน ส่วนประกอบของเวกเตอร์ยังสามารถอธิบายถึงระบบพิกัดทรงกลมหรือทรงกรวยของ  $O_i$  ในเฟรม  $j$  สิ่งเหล่านี้มีความสำคัญในการวิเคราะห์กลไกของหุ่นยนต์ที่มีข้อต่อเป็นทรงกลมหรือทรงกรวย

การแปลงระบบ คือ การเคลื่อนที่ที่ไม่มีจุดใดในวัตถุแข็งเกร็งคงอยู่ในตำแหน่งเดิม และส่วนของเส้นตรงทั้งหมดในวัตถุแข็งเกร็งยังคงขนานกับเส้นทางเดิม (จุดและเส้นตรงไม่จำเป็นต้องประกอบไปด้วยวัตถุแข็งเกร็งที่มีขอบเขตจำกัดแต่ควรที่จะมีจุดหรือเส้นตรงที่สามารถเป็นจุดยึดให้กับข้อต่อ) การแปลงระบบของข้อต่อ สามารถอธิบายได้โดยการรวมกันของตำแหน่งก่อนหน้าและการแปลงในลำดับถัดไปในทางกลับกันตำแหน่งของข้อต่อ สามารถอธิบายได้โดยการแปลงระบบของข้อต่อ จากตำแหน่งที่มีระบบพิกัดยึดกับข้อต่อ เกิดขึ้นพร้อมกับระบบพิกัดที่ยึดไว้เป็นตำแหน่งปัจจุบันที่ทั้งสองเฟรมไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน ดังนั้นการแทนที่ของตำแหน่งสามารถใช้สร้างการแทนที่ของการเคลื่อนที่และอื่น ๆ ได้

### 2.2.6.2 การกำหนดเป้าหมายและการหมุน

1. การกำหนดเป้าหมาย (Orientation) นั้นมีความสำคัญกว่าการระบุตำแหน่งมาก ในหมวดนี้จะไม่รวมถึงการสรุปอย่างรวดเร็วแต่จะให้ความสำคัญไปที่การแทนที่ที่ใช้กันทั่วไปในกลไกของหุ่นยนต์

2. การหมุน (Rotation) เป็นการเคลื่อนที่ที่อย่างน้อยหนึ่งจุดของวัตถุแข็งเกร็ง ยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมของมันและไม่ใช้ส่วนของเส้นตรงทั้งหมดในข้อต่อ ที่ยังคงขนานอยู่กับเป้าหมายเดิมของมัน ตัวอย่างเช่น ข้อต่อที่มีการหมุนในขอบเขตของวงกลมใกล้กับแกนของจุดกึ่งกลางเส้นทางวงกลมและทุกจุดบนแกนของการหมุนเป็นจุดในข้อต่อที่ยังคงตำแหน่งเดิม ในกรณีของตำแหน่งและการแปลงระบบ ในทุกการแทนที่ของการกำหนดเป้าหมายสามารถใช้สร้างการแทนที่ของการหมุนและอื่น ๆ ได้

3. เมทริกซ์ของการหมุน ในการกำหนดเป้าหมายของระยะพิกัดเฟรม  $i$  ที่มีความสัมพันธ์กับระยะพิกัดเฟรม  $j$  สามารถแสดงได้จากการอธิบายเบสิสเวกเตอร์  $(\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i)$  ในเทอมของเบสิสเวกเตอร์  $(\hat{x}_j, \hat{y}_j, \hat{z}_j)$  ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำมาใช้

$(\hat{x}_j, \hat{y}_j, \hat{z}_j)$  ผลลัพธ์ของ  $(\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i)$  ซึ่งเขียนเมทริกซ์  $3 \times 3$  คือ เมทริกซ์ของการหมุน ส่วนประกอบของ  ${}^jR_i$  เป็นดอทโปรดักของเบสิสเวกเตอร์ของระยะพิกัดเฟรม

$${}^jR_i = \begin{pmatrix} \hat{x}_i \cdot \hat{x}_j & \hat{y}_i \cdot \hat{x}_j & \hat{z}_i \cdot \hat{x}_j \\ \hat{x}_i \cdot \hat{y}_j & \hat{y}_i \cdot \hat{y}_j & \hat{z}_i \cdot \hat{y}_j \\ \hat{x}_i \cdot \hat{z}_j & \hat{y}_i \cdot \hat{z}_j & \hat{z}_i \cdot \hat{z}_j \end{pmatrix} \quad (2.20)$$

เพราะเบสิสเวกเตอร์เป็นยูนิตเวกเตอร์และดอทโปรดักของสองยูนิตเวกเตอร์ใด ๆ คือ Cosine ของมุมระหว่างสองเวกเตอร์นั้นและส่วนประกอบในเวกเตอร์ คือ เส้นทางของ Cosine หลักของการหมุนเบื้องต้นของระบบ  $i$  บนแกน  $\hat{z}_j$  ผ่านมุม  $\theta$  คือ

$$R_Z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

ในขณะการหมุนรอบแกน  $\hat{y}_j$  คือ

$$R_Y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

และการหมุนรอบแกน  $\hat{x}_j$  คือ

$$R_X(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2.23)$$

เมทริกซ์การหมุน  ${}^jR_i$  มีตัวประกอบทั้งหมด 9 ตัว ในขณะที่มีพารามิเตอร์เพียง 3 ตัวที่ต้องใช้เพื่อกำหนดเป้าหมายของบอดี้ ดังนั้นจึงมี 6 ความสัมพันธ์ที่เสริมเข้ามาระหว่างตัวประกอบของเมทริกซ์ เพราะเบสิสเวกเตอร์ของระยะพิกัด  $j$  เป็นออร์โธโนมอลเช่นเดียวกับเบสิสเวกเตอร์ของระยะพิกัด  $i$  ในคอลัมน์ของ  ${}^jR_i$  เกิดจากดอทโปรดักของเวกเตอร์ที่เป็นออร์โธโนมอล เมทริกซ์ที่ประกอบไปด้วยเวกเตอร์ที่เป็นออร์โธโนมอล เรียกว่า เมทริกซ์ออร์โธโกนอลและมีคุณสมบัติ คือ อินเวิร์สตรงไปตรง

มากับทรานสโพอส คุณสมบัตินี้ทำให้เกิดความสัมพันธ์ 6 ความสัมพันธ์ที่เสริมเข้ามา 3 ส่วนต้องการคอลัมน์เวกเตอร์เพื่อให้ได้ความยาวอีก 3 ส่วนต้องการคอลัมน์เวกเตอร์เพื่อให้ได้ออร์โทโนมอล ในอีกทางเลือกหนึ่ง ออร์โทโนมอลของเมทริกซ์การหมุนสามารถสังเกตได้จากการพิจารณาระยะพิกัดในรูปอินเวิร์ส

### 2.2.6.3 เมทริกซ์การแปลง

วิชาหุ่นยนต์จุดสนใจจุดหนึ่งโดยทั่วไป คือ ตำแหน่งของวัตถุในระนาบ 3 มิติ จากเมทริกซ์การหมุน ซึ่งบอกถึงการหมุนของวัตถุใน 3 มิติ และเพิ่มการบอกตำแหน่งพิกัดเข้าไปอีก 1 หลักจะได้เมทริกซ์ใหม่นี้เรียกว่า เมทริกซ์การแปลง (Transformation Matrix) โดยมีขนาด 4x4 มีลักษณะ ดังนี้

$$T_{NA} = \begin{pmatrix} \text{Rotation}_{(3 \times 3)} & \text{Translation}_{(3 \times 1)} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R & P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.24)$$

โดย N คือ แกนอ้างอิงเริ่มต้น และ A คือ แกนอ้างอิงสุดท้าย

เช่น วัตถุมีการหมุนรอบแกน x เป็นมุม  $\theta$  และเลื่อนไปยังตำแหน่ง (1,1,0) ที่ตำแหน่งของแกนอ้างอิงที่ 1 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$T_{01} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 1 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.25)$$

เมทริกซ์การแปลงนั้นมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับเมทริกซ์หมุน คือ สามารถนำมาต่อกันสำหรับ กรณีที่มีการเคลื่อนย้ายวัตถุในหลาย ๆ แกนอ้างอิง

$$T_{03} = T_{01} T_{12} T_{23} \quad (2.26)$$

จากสมการข้างต้นแสดงถึง  $T_{03}$  สามารถอ้างอิงจากแกนอ้างอิงที่ 1 ไปยังแกนอ้างอิงที่ 2 และแกนอ้างอิงที่ 3 อย่างไรก็ตามการหาอินเวอร์สของ T นั้นไม่เหมือนกับเมทริกซ์การหมุนเพราะเมทริกซ์การแปลงไม่มีคุณสมบัติออร์โทโนมัลการหาอินเวอร์สเมทริกซ์ T

จากเมทริกซ์การแปลงเราสามารถแยกเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์การเคลื่อนย้าย (Translation Matrix) เพียงอย่างเดียวดังสมการด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Trans}_{(P_x, P_y, P_z)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & P_x \\ 0 & 1 & 0 & P_y \\ 0 & 0 & 1 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.27)$$

ในทำนองเดียวกันยังสามารถแยกเขียนเป็นเมทริกซ์การหมุนในแนวแกน X, Y และ Z เพียงอย่างเดียวได้เช่นกัน

$$\text{Rot}(Z) = \begin{pmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.28)$$

$$\text{Rot}(Y) = \begin{pmatrix} \cos \theta_y & 0 & \sin \theta_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.29)$$

$$\text{Rot}(X) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\sin \theta_x & 0 \\ 0 & \sin \theta_x & \cos \theta_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.30)$$

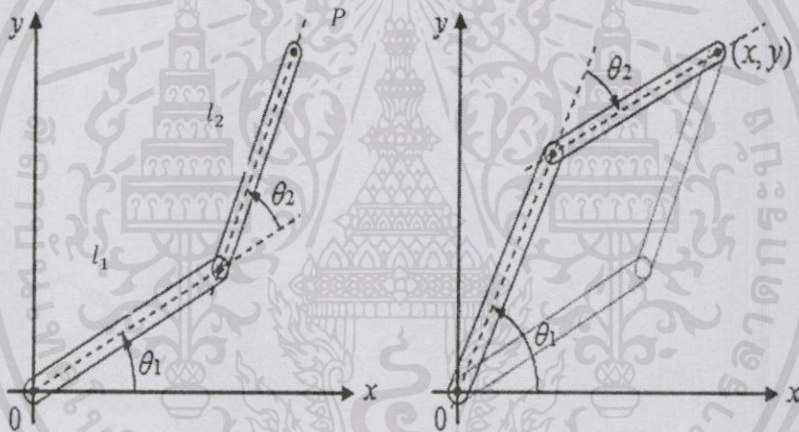
#### 2.2.6.4 จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า

จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward Kinematics) มีการเคลื่อนที่เป็นห่วงโซ่เพื่อหาตำแหน่งและกำหนดเป้าหมายของปลายแขนหุ่นยนต์ (End-Effector) ที่มีความสัมพันธ์กับฐานที่ถูกบิดตำแหน่งให้กับทุกข้อต่อ (Joint) และผลทางเรขาคณิตของพารามิเตอร์ บ่อยครั้งที่เฟรมที่ถูกยึดกับปลายแขนหุ่นยนต์ถูกเรียกว่า ทุลเฟรม (Tool Frame) ขณะที่ถูกยึดกับก้านแขน (Link) สุดท้าย N ซึ่งโดยปกติแล้วมักจะเกิดการออฟเซต (Offset) คือ มีระยะห่างทั้งในส่วนของตำแหน่งและการกำหนดเป้าหมายจากเฟรม N นอกจากนั้นแล้วสเตชันเฟรมยังถูกตั้งไว้ที่ฐานเพื่อสร้างตำแหน่งในการทำงาน เฟรมนี้มักมีค่าออฟเซตที่คงที่ในตำแหน่งนั้นกับเฟรม 0 ซึ่งถูกยึดกับฐานเช่นกัน

การอธิบายของจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าโดยทั่วไป คือ การหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งและเป้าหมายของตัวเลขสองค่าที่กำหนดให้โครงสร้างทางเรขาคณิตของการโยกย้ายและค่าของตำแหน่งข้อต่อให้เป็นสมการกับลำดับของกลไกที่เป็นอิสระของหุ่นยนต์ ซึ่งจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้ามีความจำเป็นในการพัฒนาการโยกย้ายร่วมกันของชุดคำสั่งที่ตั้งไว้ เพราะตำแหน่งของข้อต่อสามารถวัดได้

จากตัวเซนเซอร์ที่ติดอยู่กับข้อต่อและเป็นสิ่งสำคัญในการคำนวณหาตำแหน่งของข้อต่อที่มีความสัมพันธ์กับเฟรมอ้างอิง

ในทางปฏิบัติจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าสามารถแก้ได้โดยการคำนวณการแปลงระบบระหว่างเฟรมอ้างอิงที่ปลายแขนหุ่นยนต์และเฟรมอ้างอิงอีกหนึ่งจุดซึ่งยึดอยู่กับฐาน หรือหมายถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างทูลเฟรมกับสเตชันเฟรม วิธีนี้เป็นวิธีการคิดอย่างตรงไปตรงมาของท่วงโซ่อนุกรม เพราะการแปลงระบบที่อธิบายตำแหน่งของปลายแขนหุ่นยนต์มีความสัมพันธ์กับฐานเป็นการรับมาจากการเชื่อมโยงการแปลงระหว่างเฟรมที่ยึดติดกับก้านแขนของท่วงโซ่ กล่าวคือ เป็นการคำนวณหาตำแหน่งที่ปลายของแขนกล (End Effectors) โดยคำนวณจากสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์คำตอบที่ออกมาอยู่ในรูปของจุด  $(x, y, z)$  หรือระบบคาร์ทีเซียน โดยต้องทราบตัวแปรที่ข้อต่อของแต่ละข้อต่อ (Joint Variables) กรณีข้อต่อแบบหมุนตัวแปรที่ต้องทราบค่า คือ มุม ซึ่งค่าที่ทราบในแต่ละข้อต่อนำไปคำนวณหาตำแหน่งที่ปลายของแขนกล



รูปที่ 2.14 ภาพแสดงโครงสร้างหุ่นยนต์ที่ประกอบด้วย 2 ก้านโยงและ 2 ข้อต่อ

การคำนวณหาตำแหน่ง  $(x, y)$  ที่จุด P สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = R_{(z,0)} \cdot T_{(0)} \cdot R_{(z,1)} \cdot T_{(1)} \quad (2.31)$$

โดยที่

$$T_{(0)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.33)$$

$$R_{(z,0)} = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.34)$$

$$R_{(z,1)} = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.35)$$

### 2.2.7 ทฤษฎีการแปลงสัมพรรค

การแปลงสัมพรรค (Affine Transformation) คือ การแปลงสภาพซึ่งตำแหน่งของรูปเปลี่ยนแปลงไปแต่เส้นและจุดยังคงเป็นตามเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการแปลงอย่างง่ายคือการวัดในแต่ละจุดของระบบพิกัดและอธิบายได้จากการใช้เมทริกซ์

หากเรากำหนดจุดจุดหนึ่งโดยให้  $p = (x,y)$  ในระนาบ จะได้เวกเตอร์ของจุดจุดนั้นเป็น

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

จากนั้นเราจะกำหนดการแปลง  $M$  ขึ้นมา เป็นเวกเตอร์ขนาด  $2 \times 2$

$$M = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

จะได้ความสัมพันธ์ของ  $p$  และ  $M$  ซึ่งทำให้เกิดจุดใหม่ที่เกิดจากการแปลงขึ้น

$$p' = Mp \quad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
 $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$  (2.38)  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงได้สมการ 2 สมการ คือ  $x' = ax + by$  (2.39)

$$y' = cx + dy \quad (2.40)$$

หากกำหนดให้  $u = [a \quad c]^T$

$$v = [b \quad d]^T$$

จะได้ความสัมพันธ์ใหม่ คือ  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = [u \quad v] \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$  (2.41)

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = xu + yv \quad (2.42)$$

หากคิดการแปลงที่เปลี่ยนไปจากจุดตั้งต้น  $t = (t_x, t_y)$  ฉะนั้นการแปลงที่สมบูรณ์ คือ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & t_x \\ c & d & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = xu + yv + t \quad (2.44)$$

โดยค่านิ่งว่า  $[a \quad c \quad 0]^T$  และ  $[b \quad d \quad 0]^T$  เป็นเวกเตอร์

ในขณะที่  $[t_x \quad t_y \quad 1]^T$   $[x \quad y \quad 1]^T$  และ  $[x' \quad y' \quad 1]^T$  เป็นจุด

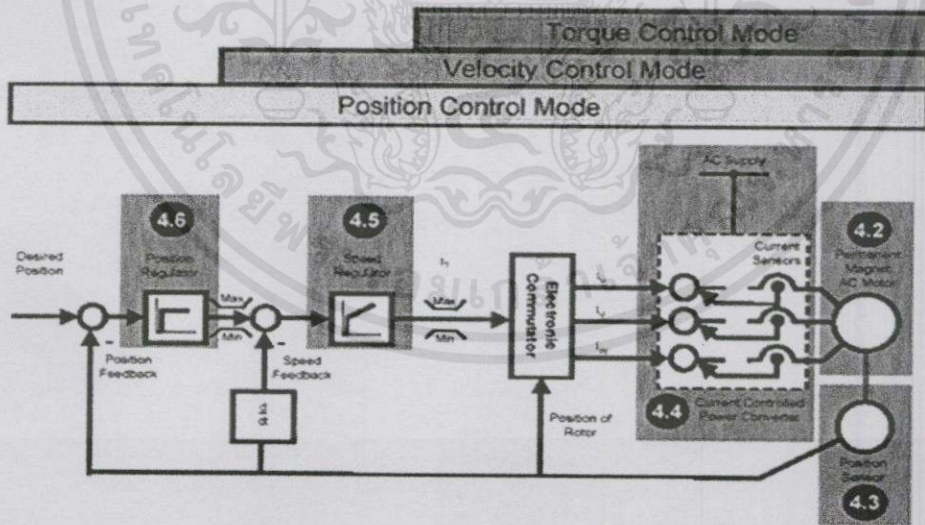
## 2.2.8 ส่วนประกอบที่สำคัญของหุ่นยนต์

1. Manipulator หรือ Rover เป็นส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์ ประกอบด้วยชิ้นส่วน ก้านต่อโยง (Links) คือ ชื่อเรียกชิ้นส่วนของวัตถุที่นำมาเชื่อมต่อ เพื่อสร้างการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ ซึ่ง หากนำก้านต่อโยงหลาย ๆ อันมาต่อรวมกันจะเรียกว่า กลไกก้านต่อโยง และข้อต่อ (Joint) คือ อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกันส่วนที่เคลื่อนที่อย่างสัมพันธ์กันของหุ่นยนต์ โดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ข้อต่อหมุน (Rotational

Joint) เป็นข้อต่อที่ต่อกับชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ในลักษณะที่มีการหมุนรอบข้อต่อ และข้อต่อเชิงเส้น (Linear Joint) เป็นข้อต่อที่ต่อกับชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ในลักษณะเป็นเชิงเส้นและโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์

2. ปลายแขนหุ่นยนต์ (End-Effector) คือ ส่วนปลายสุดท้ายต่อกับข้อต่อสุดท้ายของแขนกล โดยปกติจะใช้หยิบจับวัตถุหรือทำงานเฉพาะทาง ขึ้นอยู่กับหน้าที่การทำงานที่ผู้ใช้ต้องการ

3. ชุดขับ (Actuators) เปรียบเสมือนกล้ามเนื้อ หรือชุดขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ รูปแบบที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ เซอร์โวมอเตอร์ เซอร์โวมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ผู้ใช้งานสามารถควบคุมความเร็ว (Speed Control) แรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์ (Torque Control) ระยะทางในการเคลื่อนที่ (หมุน) (Position Control) ควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control) ของตัวเซอร์โวมอเตอร์ได้ ซึ่งเซอร์โวมอเตอร์ทั่วไปไม่สามารถ ควบคุมในลักษณะงานเบื้องต้นได้ และมีหน้าที่ขับเคลื่อนอุปกรณ์ของเครื่องจักรกลหรือระบบของการทำงานนั้น ๆ ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ได้รับคำสั่งจาก Servo Driver พร้อมกับส่งสัญญาณป้อนกลับให้กับ Servo Driver ว่า Servo Motor เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไรและระยะทางในการเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าไรจากสัญญาณของ Encoder ที่อยู่ในเซอร์โวมอเตอร์ ทำให้การเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์นั้นมีความแม่นยำสูง โดยที่ลักษณะของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เป็นระบบควบคุมแบบปิด ซึ่งประกอบด้วย 3 โหมดการควบคุม คือ โหมดการควบคุมแรงบิด (Torque Control Mode) ซึ่งอยู่วงรอบหรือรูปในสุด โหมดการควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control Mode) และ โหมดการควบคุมตำแหน่ง (Position Control Mode) ซึ่งอยู่รูปด้านนอกสุดโดยมีองค์ประกอบที่สำคัญดังรูปที่ 2.15



ที่ 2.15 ระบบควบคุมแบบปิดสำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4. เซนเซอร์ (Sensors) คือ อุปกรณ์ตรวจจับโดยเปรียบเสมือนประสาทสัมผัสในการทำงานของมนุษย์ เพื่อใช้วัดข้อมูลของหุ่นยนต์ในการรับรู้สภาพแวดล้อม เช่น ชุดควบคุมต้องการทราบตำแหน่ง

ของชิ้นส่วนของแขน ว่าอยู่ที่ ณ ตำแหน่งใด หรือที่เรียกกันว่า Encoder ซึ่งใช้ในการวัดมุมเพลลาของเซอร์โวมอเตอร์ โดยมีหลักการคล้ายกับมนุษย์ที่สามารถรู้ว่าแขนของคนเราอยู่ที่ใดแม้ยูนิที่มีด โดยที่ชุดเครื่องมือวัดย้อนกลับของมนุษย์อยู่ที่กล้ามเนื้อ แล้วส่งข้อมูลผ่านระบบประสาทไปยังสมอง ซึ่งหุ่นยนต์มีหลักการเช่นเดียวกัน โดยชุดเครื่องมือวัดย้อนกลับ (Feedback Sensors) แล้วส่งข้อมูลจากแต่ละข้อต่อไปยังชุดควบคุมต่อไป

5. ชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Driver) เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้เซอร์โวมอเตอร์เกิดการหมุนเหมือนกับการทำงานของสวิตช์เปิด-ปิด และมีหน้าที่รับสัญญาณมาจากชุดควบคุม (Controller) และสั่งการให้กับเซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ตามที่ชุดควบคุมสั่งการมา โดยที่ชุดขับเซอร์โวมอเตอร์จะเป็นตัวปรับตั้งค่าเซอร์โวมอเตอร์ให้ทำงานตามรูปแบบของการควบคุมไม่ว่าจะเป็นการควบคุม ความเร็ว (Speed Control) แรงบิด (Torque) และตำแหน่ง (Position Control) ก่อนที่จะจ่ายให้กับเซอร์โวมอเตอร์ โดยชุดขับเซอร์โวมอเตอร์จะเป็นตัวกำหนดค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้กับเซอร์โวมอเตอร์ให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพราะฉะนั้นเมื่อใช้เซอร์โวมอเตอร์จะต้องมีชุดขับเซอร์โวมอเตอร์เสมอ เช่น การขับเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ความเร็วของการหมุนขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่เซอร์โวมอเตอร์ แต่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ ต้องไม่เกินค่าที่เซอร์โวมอเตอร์สามารถรับได้ส่วนทิศทางการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับขั้วของแหล่งจ่ายที่ป้อนเข้าไป

6. ชุดควบคุม (Processor and Controller) สมองกลที่ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์คล้ายสมองมนุษย์โดยได้รับข้อมูลจากเซนเซอร์ เช่น เครื่องควบคุมขนาดเล็ก (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมและประมวลผล โดยในส่วนควบคุมนี้จะบรรจุโปรแกรมควบคุมที่ผู้ใช้งานเขียนขึ้นลงในหน่วยความจำและสั่งการไปยังชุดขับ (Actuators) เพื่อให้เคลื่อนที่ตามที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้

7. โปรแกรม (Software) คือ กลุ่มที่เป็นโปรแกรมของหุ่นยนต์ (Robotic Software) ซึ่งทำการคำนวณการเคลื่อนที่ของข้อต่อ

8. แหล่งพลังงาน (Power Supply) เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการจ่ายพลังงานไปชุดควบคุมและ Manipulator เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้า และแหล่งจ่ายพลังงานในการขับเคลื่อน

9. RS-232 ซึ่งมีตัวย่อมาจาก Recommended Standard-232 ใช้ในการสื่อสารแบบอนุกรม นับว่ามีความสำคัญต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะสามารถใช้แป้นพิมพ์และจอภาพของ PC เป็นอินพุตและเอาต์พุตในการติดต่อหรือควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์จากสัญญาณอย่างน้อยเพียง 3 เส้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

การจัดทำปริญญานิพนธ์เรื่อง หุ่นยนต์แบบขนานช่วยในการทำกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรง ทางคณะผู้จัดทำมีการวางแผนลำดับวิธีการดำเนินงานในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบขนานเพื่อช่วยกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรง ดังนี้

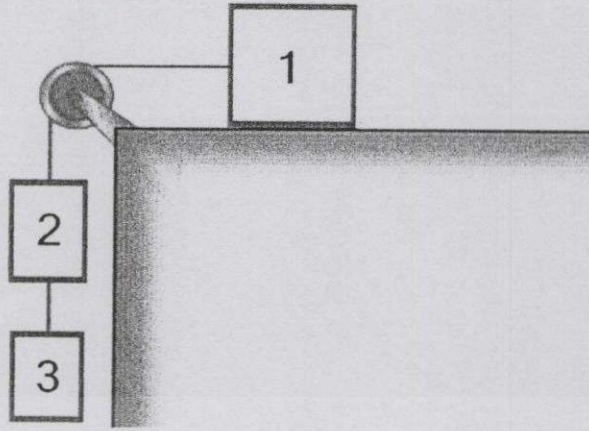
1. การทดลองเพื่อหาแรงสำหรับใช้ในการเคลื่อนมือและแขนผู้ป่วย
2. การคำนวณเพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน
3. การทดลองเพื่อวิเคราะห์กำลังการขับเคลื่อนของเซอร์โวมอเตอร์
4. ส่วนประกอบต่าง ๆ สำหรับการสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน
5. ระบบการทำงานของโปรแกรมที่ใช้สั่งการหุ่นยนต์แบบขนาน

#### 3.1 การทดลองเพื่อหาแรงสำหรับใช้ในการเคลื่อนมือและแขนผู้ป่วย

การเคลื่อนที่พามือและแขนของผู้ป่วยกล้ามเนื้ออ่อนแรงให้เคลื่อนไหวนั้นจำเป็นต้องทราบค่าแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้สำหรับการสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน การทดลองได้เลือกใช้หลักวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับความเป็นจริงของการกายภาพบำบัด โดยเลือกใช้หลักทางฟิสิกส์กลศาสตร์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันดังรูปที่ 3.1 มาใช้ในการทดลอง

การทดลองทำการเลือกผู้ทดลองทั้งหมด 10 คน แบ่งเป็นชาย 5 คน และหญิง 5 คน การเตรียมการทดลองจะใช้เชือกผูกร้อยเข้ากับนิ้วทั้ง 5 นิ้วของผู้ถูกทำการทดลอง วางมือของผู้ถูกทำการทดลองลงบนโต๊ะในตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ โดยให้มือและแขนยึดเหยียดตรง และนำปลายเชือกอีกด้านหนึ่งผูกเข้ากับเครื่องชั่งน้ำหนัก ส่วนปลายอีกด้านของเครื่องชั่งน้ำหนักมีการคล้องถึงน้ำหนักเล็กติดไว้ ในการทดลองจะทำการเหนี่ยวนำในถึงน้ำที่เตรียมไว้โดยมีอัตราการไหลของน้ำคงที่ และผู้ถูกทำการทดลองต้องปล่อยมือให้เหยียดตรงอย่างอิสระไม่มีการต้านทิศทางของแรงโดยเด็ดขาด ในขณะที่เดียวกันตราชั่งน้ำหนักที่แขวนไว้จะทำการวัดน้ำหนักของน้ำที่ไหลไปในถังภาชนะเรื่อย ๆ จนกระทั่งมือและแขนของผู้ถูกทำการทดลองเกิดการเคลื่อนที่จนถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ จากนั้นจะทำการหยุดเหนี่ยวนำทันทีและอ่านค่าจากตราชั่งน้ำหนักที่เกิดจากน้ำหนักของน้ำในถังภาชนะ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าแรงที่จำเป็นต้องใช้เมื่อให้เซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนแขนของผู้ป่วยกล้ามเนื้ออ่อนแรงที่ไม่สามารถขยับมือและแขนได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ หงสน อีทีหงส หักคแปรงเนอหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 หลักการฟิสิกส์กลศาสตร์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน



รูปที่ 3.2 การทดลองเพื่อหาค่าแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่มือและแขนของผู้ถูกทำการทดลอง

โดยที่หมายเลข 1 2 และ 3 ดังรูปที่ 3.1 คือ ตำแหน่งของมือและแขนของผู้ทดลอง ตำแหน่งของตาชั่งน้ำหนัก และตำแหน่งของถ่วงน้ำ ตามลำดับ

หลังจากทำการทดลองกับผู้ทดลองทั้งหมด 10 คน ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการเก็บข้อมูลจากการทดลอง โดยการทดลองของแต่ละคนจะทำการทดลองคนละ 3 ครั้งเพื่อหาค่าแรงเฉลี่ย เนื่องจากต้องการให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด และทำการเก็บข้อมูลของน้ำหนักตัวผู้ทดลองเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจจัดตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจากการทดลองที่ใช้ในการเคลื่อนมือและแขนของผู้ถูกทำการทดลอง

	Force1 (kg)	Force2 (kg)	Force3 (kg)	Avg. Force (kg)	Weight (kg)
M1	0.18	0.20	0.20	0.193	59
M2	0.22	0.16	0.14	0.173	57
M3	0.32	0.28	0.31	0.303	76
M4	0.32	0.26	0.24	0.273	64
M5	0.20	0.12	0.14	0.153	57
F1	0.14	0.14	0.10	0.127	42
F2	0.12	0.14	0.14	0.133	53
F3	0.16	0.10	0.16	0.140	50
F4	0.20	0.16	0.14	0.167	58
F5	0.10	0.16	0.16	0.140	49

ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยของแรงโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย

	Avg. Force (kg)	Weight (kg)
M3	0.303	76
M4	0.273	64
M1	0.193	59
M2	0.173	57
F4	0.167	58
M5	0.153	57
F3	0.140	50
F5	0.140	49
F2	0.133	53
F1	0.127	42

จากตารางที่ 3.1 นำข้อมูลค่าแรงเฉลี่ยมาเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังตารางที่ 3.2 พบว่าแรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการเคลื่อนมือและแขนของผู้ถูกทดลองมีค่าเท่ากับ 0.303 กิโลกรัม และเมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่าน้ำหนักตัวของผู้ถูกทดลองมีผลต่อขนาดของแรงที่ใช้ในการเคลื่อนมือและแขนของผู้ถูกทดลอง โดยน้ำหนักตัวจะแปรผันตรงกับขนาดแรงที่ใช้ในการเคลื่อนมือและ

แขนของผู้ถูกทดลอง ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปพิจารณาในการเลือกขนาดของเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้ในการสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน

### 3.2 การคำนวณเพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน

พื้นที่ในการทำงานและความสัมพันธ์ของตัวแปร สามารถนำมาออกแบบขนาดของความยาวแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ได้ตามขอบเขตที่เหมาะสมหรือพอเพียงสำหรับการกายภาพบำบัด และเมื่อนำขนาดของตัวแปรต่าง ๆ มาแก้สมการความสัมพันธ์จากทฤษฎีแล้วจะทำให้สามารถคำนวณหาพื้นที่ที่หุ่นยนต์แบบขนานสามารถเคลื่อนที่ได้ ดังรูป 2.3 ชั้นแรกทำการกำหนดค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ โดยกำหนดให้ค่า  $e = 100$ ,  $l_1 = 250$ ,  $l_2 = 400$ ,  $\theta = 110^\circ$  และ  $\theta_u = 25^\circ$  จากรูปที่ 2.3 จะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ  $H$  กับ  $l_2$  กล่าวคือ  $H = l_2 - \frac{h}{2}$  เมื่อแทนค่าของตัวแปร  $H$  ลงในสมการจะสามารถคำนวณหาค่า  $h$  ได้ดังนี้

$$H = l_2 + \frac{h}{2} - l_1 \sin \theta_u \quad (3.1)$$

$$l_2 - \frac{h}{2} = l_2 + \frac{h}{2} - l_1 \sin \theta_u \quad (3.2)$$

$$H = l_1 \sin \theta_u \quad (3.3)$$

$$H = (250) (\sin 25^\circ)$$

$$h = 105.65 \text{ มิลลิเมตร}$$

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาค่า  $b$  ได้จากสมการ

$$A \sin (\theta - \theta_u) + B \cos (\theta - \theta_u) + C = 0 \quad (3.4)$$

$$[(-200012.5) \sin 85^\circ] + [(250b + 50000) \cos 85^\circ] + \left[ \frac{b^2}{4} + 100b + 72520.18 \right] = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก  $-199251.89 + 21.79b + 4357.79 + \frac{b^2}{4} + 100b + 72520.18 = 0$  ที่มีการนำไปใช้

$$\frac{b^2}{4} + 121.79b - 122373.92 = 0$$

$$b^2 + 487.16b - 489495.68 = 0$$

โดยที่

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.5)$$

$$b = \frac{-487.16 \pm \sqrt{487.16^2 - 4(1)(-489495.68)}}{2(1)}$$

$$b = \frac{-487.16 \pm \sqrt{2195307.59}}{2}$$

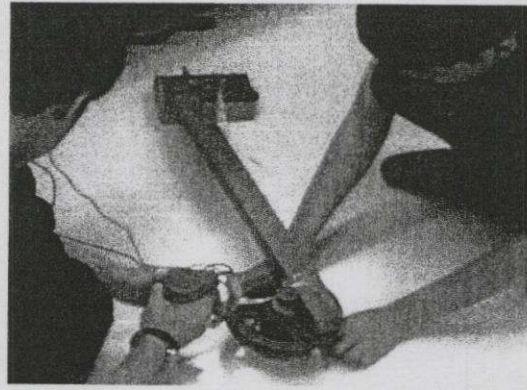
$$b = 497.25, -984.41$$

จากการแก้สมการพบว่า  $b$  มีค่าเท่ากับ 497.25 และ -984.41 จึงสรุปได้ว่าพื้นที่ที่หุ่นยนต์แบบขนานสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในแนวพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดของระยะ  $b$  เท่ากับ 497.25 มิลลิเมตร และขนาดของระยะ  $h$  มีค่าเท่ากับ 105.65 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างหุ่นยนต์แบบขนานที่ใช้สำหรับการกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรงระดับ 0 - 2

### 3.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์กำลังการขับเคลื่อนของเซอร์โวมอเตอร์

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.303 กิโลกรัม จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหา กำลังการขับเคลื่อนของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์แบบขนาน เพื่อพิจารณาว่ากำลังของเซอร์โวมอเตอร์สามารถขับเคลื่อนวัตถุที่มีน้ำหนัก 0.303 กิโลกรัมได้หรือไม่ โดยทำการทดลอง ดังรูปที่ 3.3 นำวัตถุที่มีน้ำหนักมากกว่า 0.303 กิโลกรัมมาพิจารณาและผูกเข้ากับไม้ที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวแขนของหุ่นยนต์ที่ได้ออกแบบไว้ตอนต้น ต่อมานำเชือกพันเข้ากับเบรคที่มีขนาดใกล้เคียงกับอัตราทดของหุ่นยนต์ (ขนาดของอัตราทดที่เลือกใช้ต้องให้ผลลัพธ์ของแรงในการขับเคลื่อนที่สูงแต่มีความเร็วในการขับเคลื่อนที่ต่ำเป็นหลัก) จากนั้นนำเชือกพันต่อเข้ากับแกนเซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาพิจารณา เมื่อจ่ายกระแสไฟให้กับเซอร์โวมอเตอร์วัตถุต้องสามารถเคลื่อนที่ไปตำแหน่งอื่นได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์กำลังการขับเคลื่อนของเซอร์โวมอเตอร์

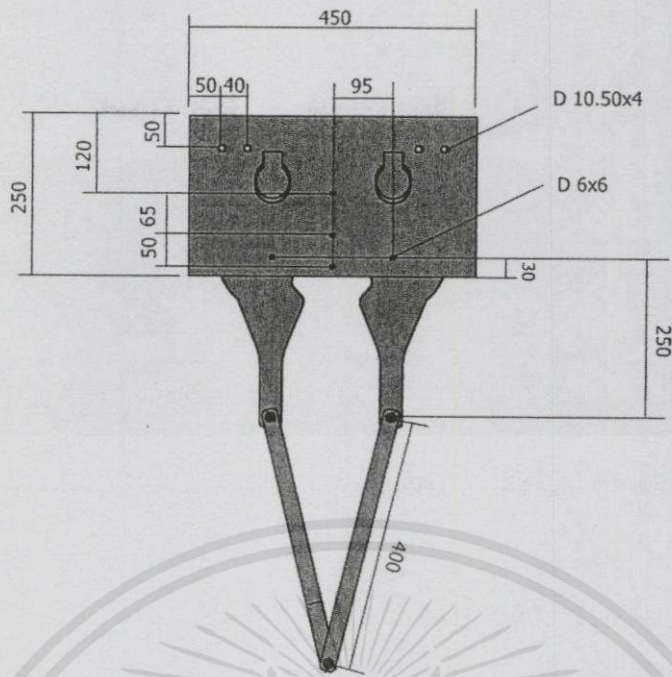
จากการทดลองขับเคลื่อนวัตถุที่มีน้ำหนักมากกว่า 0.303 กิโลกรัม โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ DUNKERMOTOREN รุ่น GR 53x58, 60 W ร่วมกับชุดทดกำลังที่ได้กำหนดไว้ พบว่ามอเตอร์สามารถขับเคลื่อนวัตถุได้ จึงเลือกมอเตอร์รุ่นนี้มาใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์แบบขนาน

### 3.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ สำหรับการสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน

#### 3.4.1 หุ่นยนต์แบบขนานที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพบำบัด

แผ่นอะคริลิกถูกเลือกมาใช้ในการสร้างทั้งส่วนฐานและแขนของหุ่นยนต์แบบขนาน ซึ่งการกำหนดรูปร่างและขนาดจะคำนึงถึงรูปแบบของการถ่ายภาพบำบัดและพื้นที่ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน รวมถึงความเหมาะสมในการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ขนาดของหุ่นยนต์แบบขนานถูกกำหนด ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

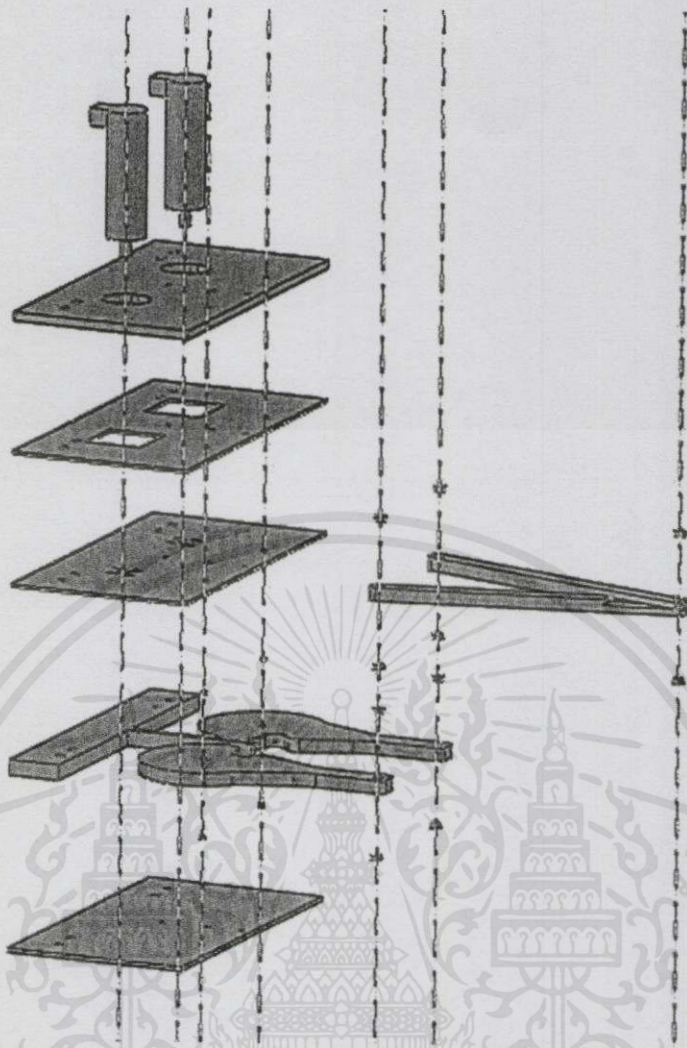


รูปที่ 3.4 ภาพเขียนแบบขนาดต่าง ๆ ของหุ่นยนต์แบบขนาน  
ออกแบบโดยโปรแกรม SOLIDWORKS

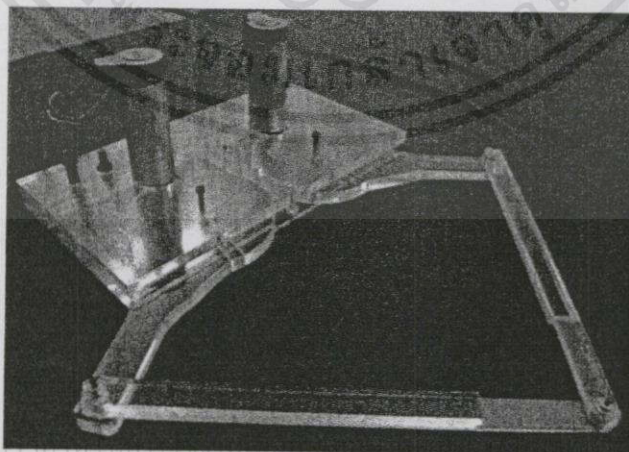
ฐานของหุ่นยนต์แบบขนานมีขนาดเท่ากับ 450 x 250 มิลลิเมตร และลักษณะทางกายภาพของแขนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยท่อนที่ติดกับตัวฐานจะใช้แผ่นอะคริลิกขนาดความยาว 400 มิลลิเมตร และแขนท่อนปลายจะใช้แผ่นอะคริลิกขนาดความยาว 250 มิลลิเมตรประกอบเข้าหากัน และปลายแขนทั้ง 2 ส่วนจะยึดติดร่วมกันเพื่อเป็นปลายแขนของหุ่นยนต์แบบขนาน ส่วนวงกลมที่ส่วนต้นของแขนท่อนที่ยึดติดกับฐานของหุ่นยนต์มีหน้าที่ทดกำลังจากมอเตอร์ โดยมีอัตราทดระหว่างเฟืองขับและเฟืองตามขนาด 1 : 30 ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์แบบขนานจะเคลื่อนที่ด้วยสายสะลิงที่เป็นตัวส่งกำลังจากเซอร์โวมอเตอร์ให้กับแขนของหุ่นยนต์ที่ เมื่อมีการสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนแขนของหุ่นยนต์แบบขนานจะถูกขับเคลื่อนไปในทิศทางตรงกันข้ามกับแกนเซอร์โวมอเตอร์และมีการเคลื่อนที่เป็นแนวรัศมีวงกลม

การประกอบฐานเข้ากับแขนของหุ่นยนต์แบบขนานทำได้โดยการเจาะรูทั้งที่ฐานและที่แขนของหุ่นยนต์ จากนั้นเชื่อมต่อกันด้วยน็อตและตลับลูกปืนเพื่อให้แขนของหุ่นยนต์หมุนได้อย่างอิสระ โดยลำดับการประกอบของหุ่นยนต์แบบขนานเป็นดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



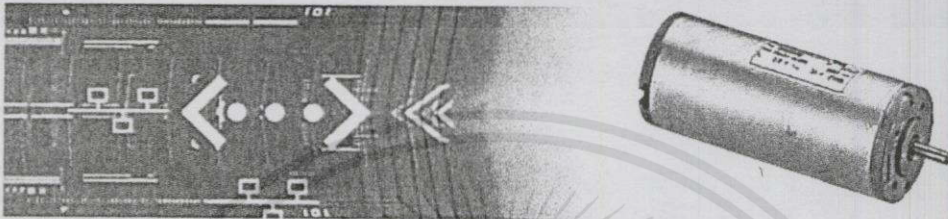
รูปที่ 3.5 ภาพเขียนแบบส่วนประกอบต่างๆ และลำดับขั้นการประกอบ  
ของหุ่นยนต์แบบขนานนอกแบบโดยโปรแกรม SOLIDWORKS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ 3.6 ภาพจริงที่ทำการประกอบเสร็จสิ้นของหุ่นยนต์แบบขนาน

### 3.4.2 เซอร์โวมอเตอร์

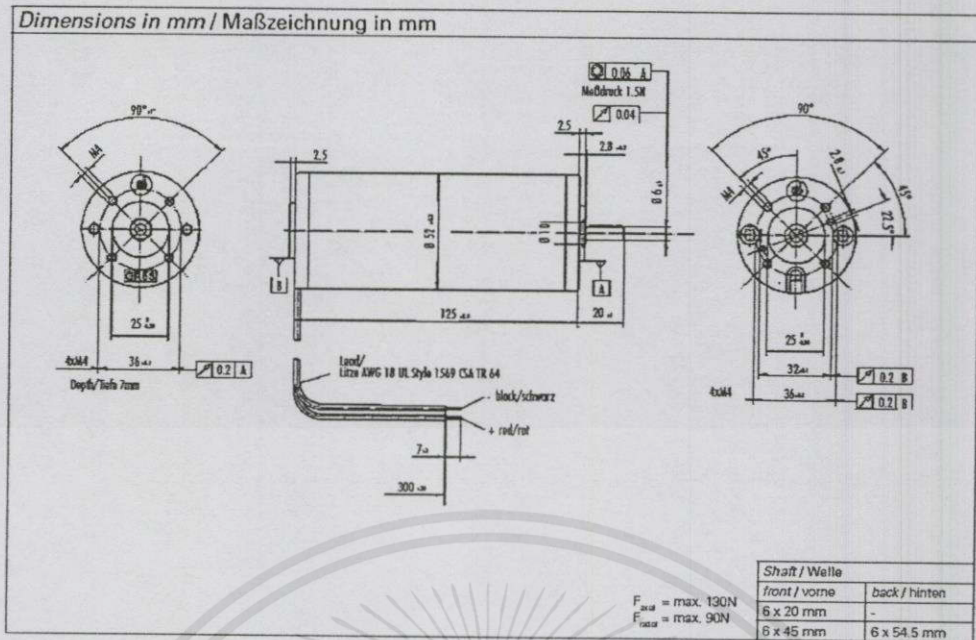
เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) มีหน้าที่ขับเคลื่อนมือและแขนของผู้ป่วยให้มีการเคลื่อนที่ไปตามแนวระนาบและตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการ โดยการเลือกขนาดของเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพิจารณาในการเลือกขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ทำการเลือกใช้ DUNKERMOTOREN รุ่น GR 53 x 58, 60 W คุณสมบัติและขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8



Data / Technische Daten		GR 53x58			
Rated voltage/ Nennspannung	VDC	12	24	40	60
Continuous rated speed/ Nenn-drehzahl	rpm*)	3000	3000	3300	3450
Continuous rated torque/ Nenn-drehmoment	Ncm*)	15.5	17	17	17
Continuous current/ Nennstrom	A*)	5.5	2.9	1.9	1.3
Starting torque/ Anlaufmoment	Ncm**)	114	143	139	144
Starting current/ Anlaufstrom	A**)	35.3	22.8	14.4	10.3
No load speed/ Leerlauf-drehzahl	rpm**)	3200	3250	3450	3600
No load current/ Leerlaufstrom	A**)	0.44	0.2	0.14	0.1
Demagnetization current/ Entmagnetisierstrom	A**)	61	31	20	13.5
Rotor inertial/ Trägheitsmoment	gcm <sup>2</sup>	460	460	460	460
Weight of motor/ Motorgewicht	g	1160	1160	1160	1160

รูปที่ 3.7 คุณสมบัติเฉพาะของเซอร์โวมอเตอร์ รุ่น GR 53 x 58, 60 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

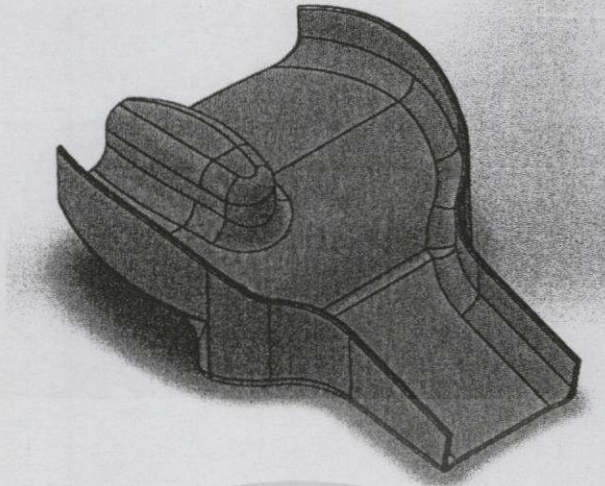


รูปที่ 3.8 ขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ รุ่น GR 53 x 58, 60 W (หน่วยมิลลิเมตร)

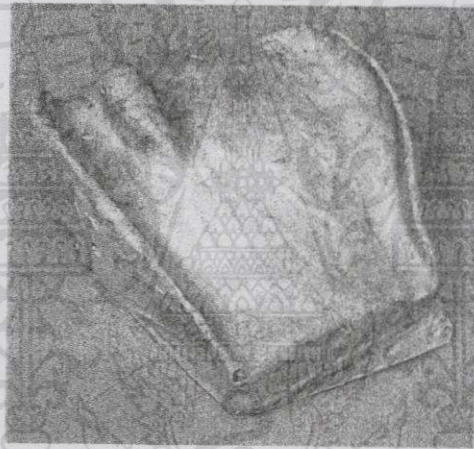
### 3.4.3 อุปกรณ์รองมือผู้ป่วย

ปลายแขนของหุ่นยนต์แบบขนาน (End Effector) มีการนำอุปกรณ์ในการรองมือผู้เข้าทำการรักษาหรือผู้ป่วยเข้ามาติด เพื่อเป็นตัวประคองมือของผู้ป่วยให้เคลื่อนที่ไปได้ตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ อุปกรณ์รองมือผู้ป่วยต้องสามารถยึดจับมือของผู้ป่วยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเหตุมือของผู้ป่วยหลุดออกจากอุปกรณ์ขณะเคลื่อนที่ เนื่องจากที่ผู้ป่วยกล้ามเนื้ออ่อนแรงระดับศูนย์ไม่สามารถออกแรงจับอุปกรณ์รองมือได้ ผู้จัดทำได้ทำการเก็บข้อมูลขนาดของมือและแขนของคนให้มีความเหมาะสมที่สามารถใช้ร่วมกับผู้ป่วยที่มีขนาดของมือและแขนที่แตกต่างกัน และใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ช่วยในออกแบบดังรูปที่ 3.9 และสร้างขึ้นโดยการใช้ดินน้ำมันปั้นเป็นรูปทรงที่ได้ออกแบบไว้ โดยที่ขนาดของแบบเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นนำปูนปลาสเตอร์ทำให้ทั่วดินน้ำมันเพื่อทำเป็นแม่พิมพ์ของอุปกรณ์รองมือ เมื่อปูนปลาสเตอร์แข็งตัวจะทำการแกะดินน้ำมันที่ทำการปั้นเป็นรูปร่างของอุปกรณ์ออก ขั้นตอนสุดท้ายทำการเทเรซินลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์โดยมีการตีแผ่นใยแก้วลงไปตามรูปร่างของอุปกรณ์รองมือเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเรซิน เมื่อเรซินแข็งตัวจะทำการแกะออกจากแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ชัดเกลาและเคลือบผิวเรซินอีกครั้ง แล้วทำการลงสีเป็นขั้นตอนสุดท้าย ดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์รองมือและแขนของผู้ป่วยโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ในการออกแบบ

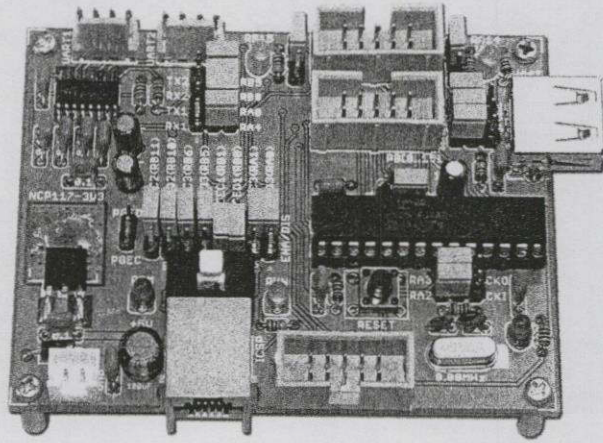


รูปที่ 3.10 ภาพจริงของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรองมือและแขนของผู้ป่วย

#### 3.4.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกนำมาใช้งานจะต้องมีการประมวลผลของโปรแกรมและมีความถี่ในการรับ-ส่งข้อมูลที่เร็วเพียงพอ เพื่อให้หุ่นยนต์แบบขนานมีประสิทธิภาพในเคลื่อนที่ที่ดี จึงเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัท ETT ตระกูล PIC32MX เบอร์ PIC32MX250F128B รุ่น 28 PIN เป็น MCU ขนาด 32 BIT ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ET-BASE PIC32MX250F128B

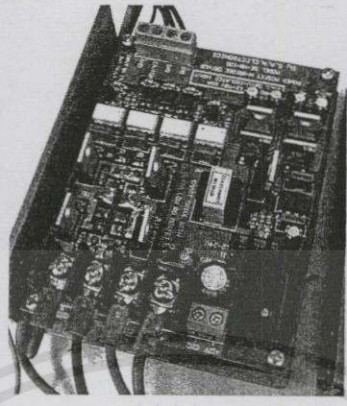
#### คุณสมบัติของบอร์ด

1. ใช้ MCU เบอร์ PIC32MX250F128B ขนาด 28 PIN DIP
  - 32 BIT CORE 50 MHz / 83 DMIPS MIPS32M4K
  - INTERNAL OSCILLATOR 8 MHz, PHASE LOCK LOOP
  - 128 KBYTE FLASH PROGRAM, 3 KBYTE FLASH BOOT MEMORY
  - 32 KBYTE SRAM, WATCHDOG TIMER
  - 21 I/O PIN 19 PIN REMAPPABLE I/O, 5 TIMER / 5 CAPTURE / 5 COMPARE, 2 UART, 2SPI, 5 EXTERNAL INTERRUPT, 2I<sup>2</sup>C, 9 CH ADC 10 BIT, 1 USB
  - 2.3V TO 3.6V RUN
2. ใช้ CRYTAL ค่าความถี่ 8.00 MHz ในการทำงาน
3. ขั้วต่อ RS232 PORT แบบ 4 PIN ETT จำนวน 2 ช่อง
4. ขั้วต่อ I/O PORT 10 PIN ETT 3 ชุด, RA0-4, RB0-7, RB8-15
5. LED สำหรับทดสอบบนบอร์ด 2 ตัว RB14, RB15
6. ขั้วต่อ RJ11, ICSP สำหรับใช้เชื่อมต่อกับเครื่องโปรแกรมและดีบั๊ก ตามมาตรฐาน ICSP ของ MICROCHIP ใช้กับ ICD3 หรือ PICKIT3

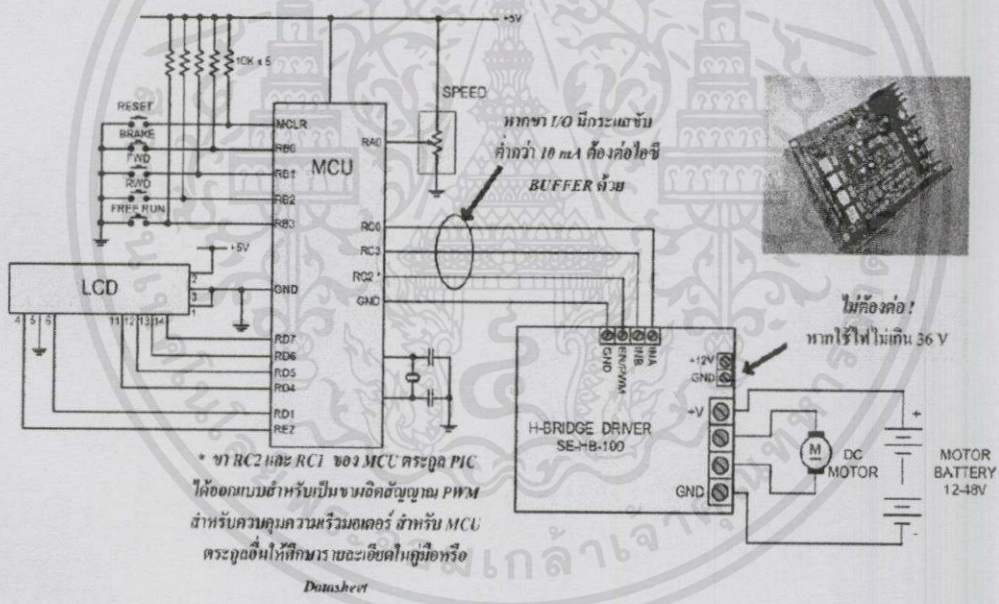
#### 3.4.5 ชุดขับเซอร์โวมอเตอร์

ชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Driver) ต้องมีความสามารถในการปรับตั้งค่าความกว้างของพัลส์เพื่อควบคุมกำลังเซอร์โวมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่ ทางผู้จัดทำเลือกใช้ชุดขับเซอร์โวมอเตอร์รุ่น BOARD:H-BRIDGE DRIVER DC MOTOR 80A จากบริษัท อิเลคทรอนิคส์ ซอร์ซ จำกัด ดังรูปที่ 3.12

จำนวน 2 ตัว สำหรับสั่งการเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว โดยมีรายละเอียดการใช้งานและรายละเอียดทางเทคนิคของบอร์ดขับเซอร์โวมอเตอร์ดีซีแบบ H-Bridge 80 A ดังนี้



รูปที่ 3.12 BOARD:H-BRIDGE D RIVER DC MOTOR 80A



รูปที่ 3.13 แสดงวิธีการต่อวงจรบอร์ดขับเซอร์โวมอเตอร์ดีซีแบบ H-Bridge 80 A เข้ากับ MCU และเซอร์โวมอเตอร์

**หมายเหตุ**

1. ตัว JUMPER ในบอร์ด หากต่อไฟใช้งานไม่เกิน 36 V ให้เสียบต่อไว้ที่ตำแหน่งเดิม คือ

12-36 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บอร์ดขับเซอร์โวมอเตอร์แบบ H-Bridge รุ่นนี้ได้ออกแบบให้สัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตแยกกันทางแสง ดังนั้นจึงสามารถแยกขา GND แหล่งจ่ายไฟขับเซอร์โวมอเตอร์ ออกจากไฟเลี้ยง MCU ได้

3. ที่ขาอินพุต INA, INB, EN/PWM ต้องการกระแสไม่ต่ำกว่า 10 mA ที่ 5V  
รายละเอียดทางเทคนิค

1. Output: Single motor driver

- Motor DC Supply 12-48 V 80A (Max. กระแสพัลส์)

- Full-Complementary Power MOSFET Driver With ultra-fast reverse recovery protection diodes

2. Input:

- Full Opto-isolated input interface signals

- 5V 8 mA TTL – Level

3. Drive Mode: independently with:

- ON – OFF Control

- Direction Control

- Speed Control (PWM Drives)

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

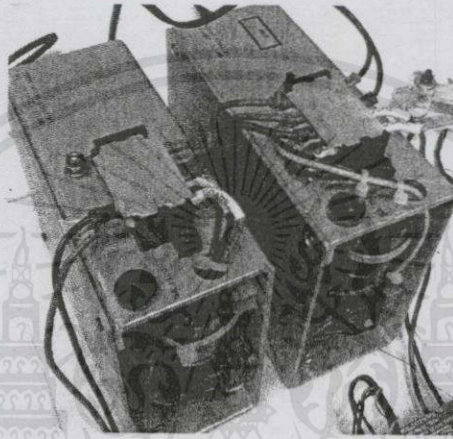
ตารางที่ 3.3 ลักษณะของการจ่ายกระแสไฟเพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์ทำงานในรูปแบบต่างๆ

EN / PWM	INB	INA	การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์
0V	X	X	Free Run Stop (หยุดเมื่อหมดแรงเฉื่อย)
5V	0V	5V	หมุนเดินหน้า
5V	5V	0V	หมุนกลับทาง
5V	5V	5V	Fast Stop หรือ Break
5V	0V	0V	Fast Stop หรือ Break

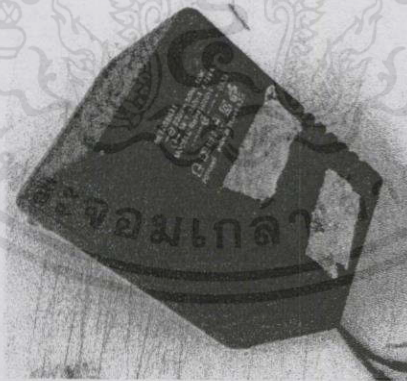
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.6 แหล่งพลังงาน

แหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply) ที่นำมาใช้ต้องคำนึงถึงเอาต์พุตที่จ่ายไฟฟ้าออกมาของตัวแหล่งพลังงาน เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ มีค่าแรงดันอินพุตที่ต่างกัน หากจ่ายแรงดันเกินขนาดที่อุปกรณ์จะรับได้จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ ซึ่งแหล่งจ่ายพลังงานที่นำมาใช้มี 2 ส่วน คือ แหล่งพลังงานที่จ่ายให้กับชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ โดยอินพุตของชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ที่ต้องการเท่ากับ 36 VDC ทั้งหมด 2 ตัว ดังรูปที่ 3.14 และแหล่งพลังงานที่จ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีค่าอินพุตที่ต้องการเท่ากับ 5 VDC โดยใช้แหล่งพลังงานเพียง 1 ตัว ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 แหล่งจ่ายพลังงานที่มีขนาดอินพุต 230VAC เอาต์พุต 36VDC 50Hz

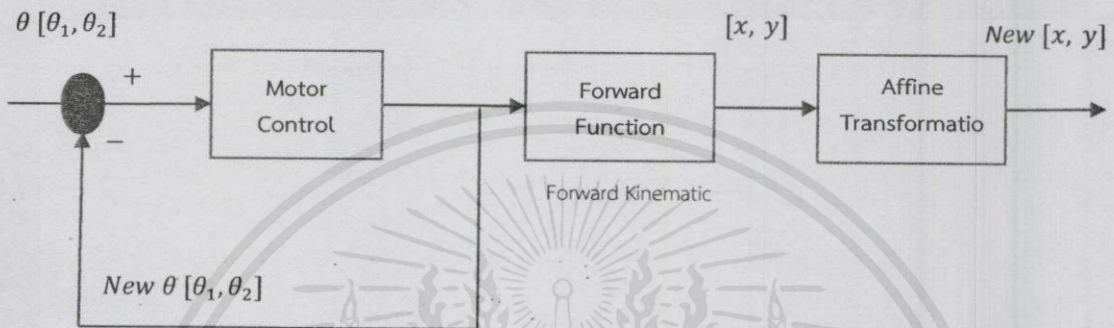


รูปที่ 3.15 แหล่งจ่ายพลังงานที่มีขนาดอินพุต 230VAC 50Hz เอาต์พุต 5VDC 350mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 ระบบการทำงานของโปรแกรมที่ใช้สั่งการหุ่นยนต์แบบขนาน

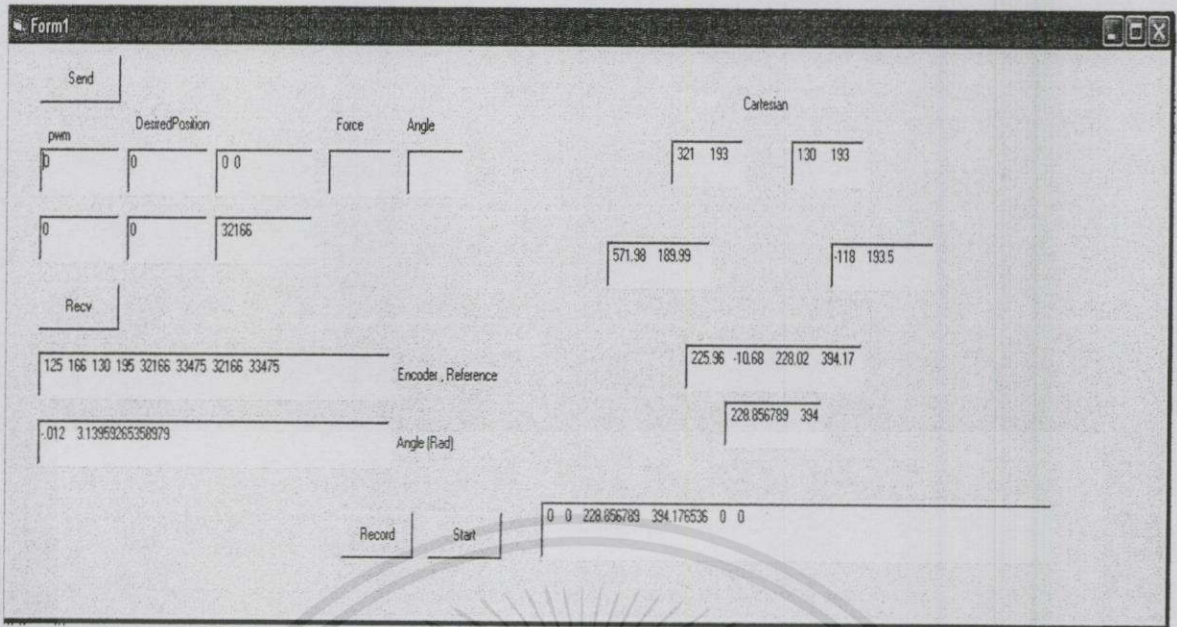
จากทฤษฎีของระบบการควบคุมแบบปิด ทฤษฎีจลนศาสตร์ และทฤษฎีการแปลงสัมพรรค (Affine Transformation) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์แบบขนาน โดยกำหนดให้ Block Diagram ของส่วนต่าง ๆ ในระบบ คือ การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ (Motor Control) จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward Kinematic) และการแปลงสัมพรรค ถูกนำมาต่อเข้าด้วยกันและมีทิศทางไหลของสัญญาณในระบบเป็นไปตามลำดับดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ภาพรวมของระบบการทำงานที่ใช้สั่งการหุ่นยนต์แบบขนาน

หลักการการทำงาน คือ คอมพิวเตอร์จะป้อนสัญญาณอินพุตอ้างอิงในรูปของพิกัดมุมของจุดหมาย โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบค่ามุมของพิกัดปัจจุบันและจุดหมาย และแปลงค่ามุมส่วนต่างไปเป็นจำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) จากนั้นโปรแกรมจะสั่งให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปเป็นจำนวนพัลส์ที่ต้องการ ระหว่างที่มอเตอร์เคลื่อนที่นั้น โปรแกรมจะทำการตรวจสอบค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์ โดยส่งค่าที่ตรวจสอบต่อไปยังจุดรวมสัญญาณ เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุตอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับ ว่าเซอร์โวมอเตอร์ได้ขับเคลื่อนไปในตำแหน่งที่อ้างอิงหรือยัง หากเซอร์โวมอเตอร์ยังขับเคลื่อนไม่ถึงตำแหน่งอ้างอิงระบบจะทำการวนลูปการทำงานซ้ำอีกครั้ง จนกระทั่งผลต่างระหว่างอินพุตอ้างอิงกับเอาต์พุตป้อนกลับมีค่าเท่ากับ 0 ขณะเดียวกันค่าเอาต์พุตที่ได้จากส่วนของการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ณ เวลาต่าง ๆ จะใช้วิธีจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าเพื่อทำการแปลงค่ามุมให้อยู่ในรูปของตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  แทน เพื่อใช้สำหรับระบุตำแหน่งปัจจุบันข้อต่อของหุ่นยนต์แบบขนานที่เคลื่อนที่ ณ เวลาต่าง ๆ และนำค่าตำแหน่งพิกัดที่ได้มาทำการแปลงสัมพรรคต่อเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากค่าที่วัดได้จากโปรแกรมให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงก่อนนำไปใช้งาน

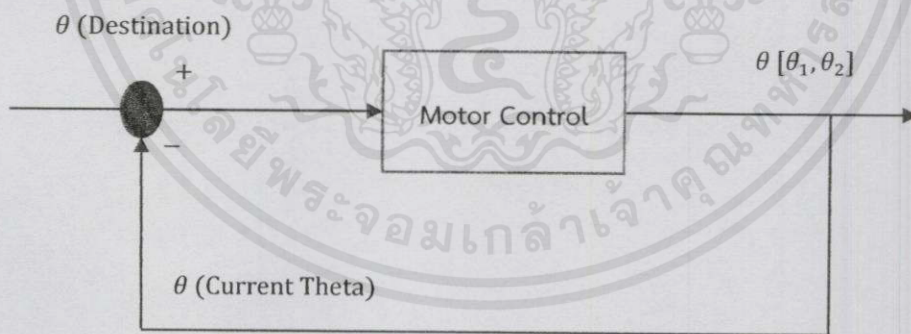
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 Computer User Interfaces จากโปรแกรม Microsoft Visual Basic

### 3.5.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

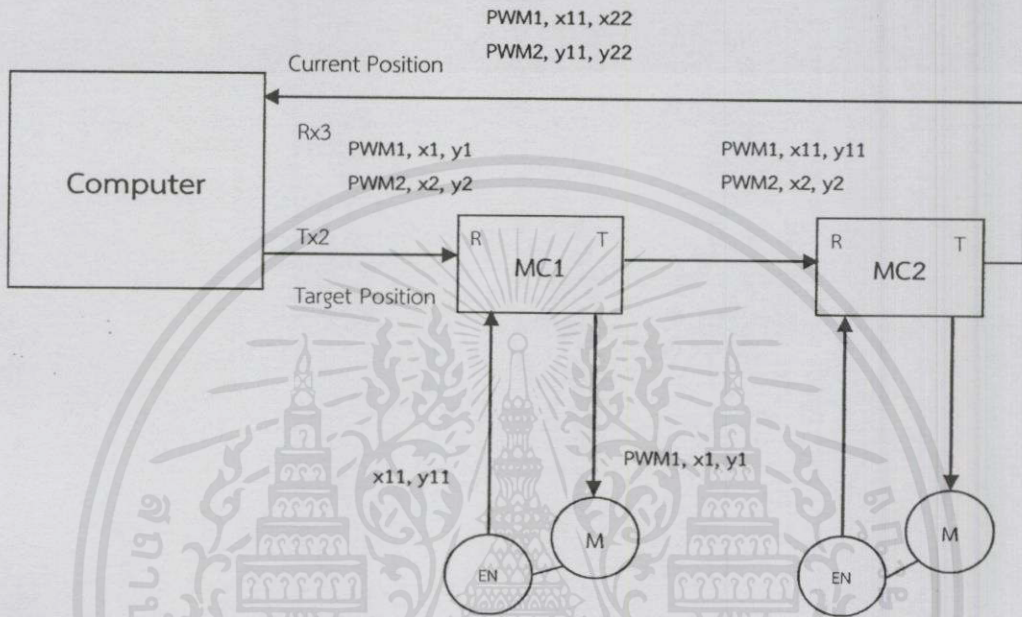
ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการแยกระบบการทำงานของโปรแกรมออกมาเป็นส่วน ๆ เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรม โดยที่ในส่วนนี้จะอธิบายถึงการทำงานของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ที่มีการป้อนค่าอินพุตและเอาต์พุตในรูปของพิกัดมุม ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ระบบการทำงานของระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

โปรแกรมจะแปลงค่ามุมให้อยู่ในรูปของจำนวนพัลส์ (Pulse) หรือตำแหน่งอ้างอิงขนาด 2 ไบต์ และขนาดของแรงในการขับเคลื่อน (PWM) ขนาด 1 ไบต์ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการให้เซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนแขนของหุ่นยนต์แบบขนาน ฉะนั้นคอมพิวเตอร์จะมีการส่งข้อมูลทั้งหมด 7 ไบต์ ได้แก่ ตำแหน่งของเอ็นโค้ดเดอร์สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 จำนวน 2 ไบต์ และตำแหน่งของเอ็นโค้ดเดอร์

สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2 จำนวน 2 ไบต์ และอีกหนึ่งไบต์ คือ สัญลักษณ์ A เพื่อเป็นเฮดเตอร์ไบต์ในการเช็คข้อมูลที่รับมา โดยกำหนดให้ค่าขนาดของแรงในการขับเคลื่อนและค่าตำแหน่งของเอ็นโค้ดเดอร์สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 คือ PWM1, x1, y1 ตามลำดับ ส่วนค่าขนาดของแรงในการขับเคลื่อนและค่าตำแหน่งของเอ็นโค้ดเดอร์สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2 คือ PWM2, x2, y2 ตามลำดับ โดยการรับ-ส่งข้อมูลจะใช้ rs-232 เป็นสื่อกลางไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์



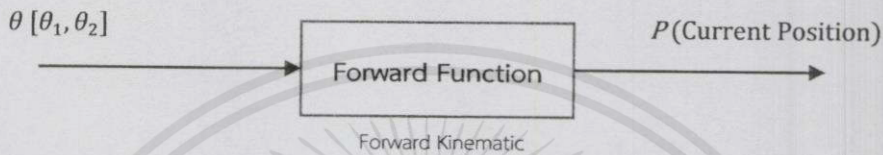
รูปที่ 3.19 แผนภูมิการทำงานของระบบการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

รูปที่ 3.19 คือ ขั้นตอนการทำงานของระบบการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ โดยเริ่มจากคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 (MC1) ก่อน MC1 จะรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์มาทั้งหมด 3 ไบต์ คือ PWM1, x1, y1 จากนั้น MC1 จะสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์ขับเคลื่อนแกนของหุ่นยนต์แบบขนานให้เคลื่อนที่ไปจนกระทั่งเอ็นโค้ดเดอร์มีค่าเท่ากับ x1, y1 ระหว่างที่มอเตอร์กำลังขับเคลื่อนหุ่นยนต์นั้น MC1 จะทำการอ่านค่าและส่งค่าตำแหน่งปัจจุบันของเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 และนำค่าไปแทน x1, y1 จากนั้นข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งผ่านจาก MC1 ต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 (MC2) และโปรแกรมจะนำข้อมูลมาประมวลผลเพียง 3 ไบต์ PWM2, x2, y2 โดยหลักการการทำงานจะเป็นเช่นเดียวกับ MC1 จากนั้น MC2 จะทำการส่งข้อมูลทั้ง 6 ไบต์กลับไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงค่าตำแหน่งของเอ็นโค้ดเดอร์ปัจจุบันของเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวบนหน้าจคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของพิกัดมุมขนาด 2 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะฉีกใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 หลักการทำงานของจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า

หัวข้อของจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้านี้เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงค่าในรูปของพิกัดมุมให้เป็นตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ปัจจุบัน เพื่อนำค่าเอาต์พุตที่ได้มาพิจารณาตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ของหุ่นยนต์แบบขนานในแต่ละข้อต่อเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ ณ เวลาต่าง ๆ โดยที่จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าจะสามารถทำงานได้ต้องมีการเขียนสมการในการคำนวณให้กับตัวโปรแกรม จึงได้นำทฤษฎีเรื่องระบบโคออร์ดิเนตและกรอบอ้างอิงมาใช้ในการคำนวณระบุตำแหน่งแนวแกน  $(x, y)$  ของข้อต่อหุ่นยนต์แบบขนาน

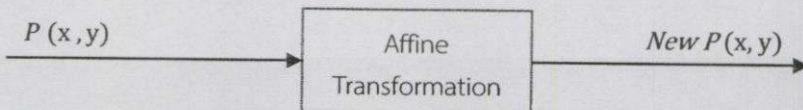


รูปที่ 3.20 ระบบการทำงานของจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า

เมื่อโปรแกรมคำนวณหาค่าตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ของแต่ละข้อต่อ ผลลัพธ์ที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ต้องมีค่าที่ใกล้เคียงหรือเป็นค่าที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากผู้ทำการทดลอง จึงถือว่าสมการของการคำนวณตำแหน่งพิกัดในแนวแกน  $(x, y)$  นั้นถูกต้อง ซึ่งในทางปฏิบัติผลลัพธ์ที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ

### 3.5.3 หลักการทำงานของทฤษฎีการแปลงสัมพรรค

ในการระบุตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ของหุ่นยนต์นั้น อาจมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเกิดขึ้น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากขนาดของชิ้นส่วนที่นำมาประกอบเป็นหุ่นยนต์ หรือความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการประกอบหุ่นยนต์ จึงได้นำทฤษฎีการแปลงสัมพรรคมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ใหม่เพื่อชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.21 ระบบการทำงานของทฤษฎีการแปลงสัมพรรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การสร้างเมทริกซ์สัมพรรคขึ้นมาเพื่อใช้ในการปรับค่าพิกัดนั้น ทางคณะผู้จัดทำต้องเก็บไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้อัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ข้อมูลค่าตำแหน่งพิกัดที่วัดได้จากโปรแกรมเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง

## บทที่ 4

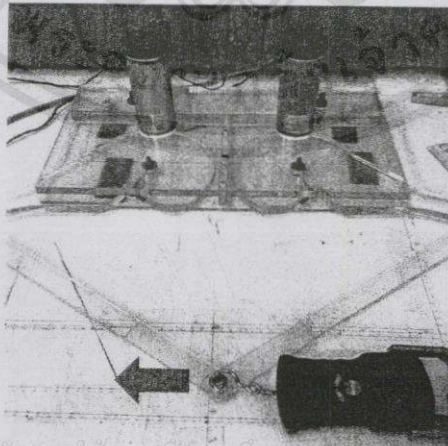
### ผลการดำเนินงาน

หลังจากทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน พร้อมทั้งสร้างซอฟต์แวร์การทำงานเสร็จสิ้น ทางคณะผู้จัดทำต้องทำการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์แบบขนาน รวมถึงวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นก่อนนำไปใช้งานจริง โดยวิธีการประเมินและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานมีดังต่อไปนี้

1. การทดสอบแรงในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์แบบขนาน
2. การทดสอบพื้นที่สำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน
3. การทดสอบค่าความคลาดเคลื่อน
4. การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน

#### 4.1 การทดสอบแรงในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์แบบขนาน

การคำนวณหาแรงที่หุ่นยนต์แบบขนานสามารถขับเคลื่อนได้ วิธีการทดสอบคือทำการเขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์แบบขนานเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวา และทำการวัดโดยใช้ตาชั่งวัดแรงคล้องเข้ากับปลายแขนหุ่นยนต์ขณะเคลื่อนที่ในระนาบแนวแกน  $x$  จากนั้นออกแรงดึงในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่เพื่อวัดแรงที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.1 (การเคลื่อนที่ในทิศทางดังกล่าวทำให้เซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวต้องออกแรงที่มีขนาดเท่ากัน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า และอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและเนื้อหาอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 การทดสอบเพื่อพิจารณาแรงที่หุ่นยนต์แบบขนานสามารถขับเคลื่อนได้

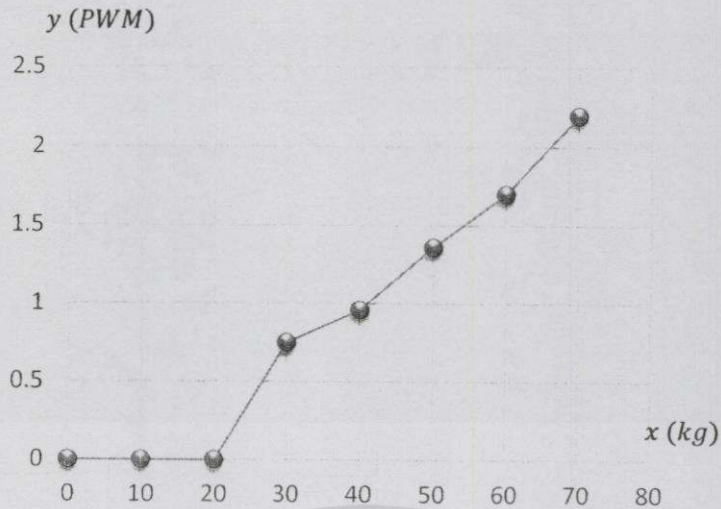
โดยเก็บข้อมูลจากค่าของ PWM ระดับต่าง ๆ ที่ได้ทำการป้อนให้กับโปรแกรม เพื่อวัดค่าแรงที่เกิดขึ้นจริงในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนานในหน่วยกิโลกรัม ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นระหว่างหน่วย PWM กับ หน่วยกิโลกรัม

PWM	kg
0	0
10	0
20	0
30	0.75
40	0.96
50	1.36
60	1.7
70	2.2

จากนั้นทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในหน่วย PWM กับ หน่วยกิโลกรัม ดังรูปที่ 4.2 โดยที่แกน x คือ แรงที่เกิดขึ้นในหน่วยของ PWM และแกน y คือ แรงที่เกิดขึ้นในหน่วยของกิโลกรัม พบว่าค่า PWM ในระดับที่มากขึ้นจะทำให้แรงในหน่วยกิโลกรัมมากขึ้นตาม แต่ในช่วง PWM ที่ 0 - 20 พบว่าหุ่นยนต์แบบขนานไม่สามารถออกแรงขับเคลื่อนได้ เนื่องจากมอเตอร์ไม่สามารถเอาชนะแรงดึงขอลวดสลิงและน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ได้ และค่า PWM สูงที่สุดที่ทำการทดลอง คือ ระดับที่ 70 เนื่องจากหากกำหนดค่า PWM สูงกว่า 70 จะส่งผลให้เกิดแรงในขับเคลื่อนแขนหุ่นยนต์แบบขนานมีค่าที่สูงเกินไปทำให้ไม่สามารถควบคุมหุ่นยนต์แบบขนานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในหน่วย PWM กับ หน่วยกิโลกรัม

จากรูปที่ 4.2 สามารถนำความสัมพันธ์ของแรงในหน่วย PWM และหน่วยกิโลกรัมมาคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนานในแนวแกน  $x$  ดังสมการ 4.1 โดยกำหนดให้

$F$  คือ แรงในหน่วยกิโลกรัม

$t$  คือ หน่วยเวลามีค่าเท่ากับ 1 วินาที

$V_x$  คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวแกน  $x$  ที่มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

$m$  คือ น้ำหนักมือและแขนของผู้ป่วย

ในส่วนของแรงเสียดทานได้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากก่อนสั่งการให้หุ่นยนต์แบบขนานเกิดการเคลื่อนที่ ทางคณะผู้จัดทำมีการโรยแป้งให้ทั่วบริเวณพื้นที่การทำงานของร่างกายภาพบำบัดเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นโต๊ะกับอุปกรณ์รองมือและแขนของผู้ป่วยให้มีค่าน้อย

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} \quad (4.1)$$

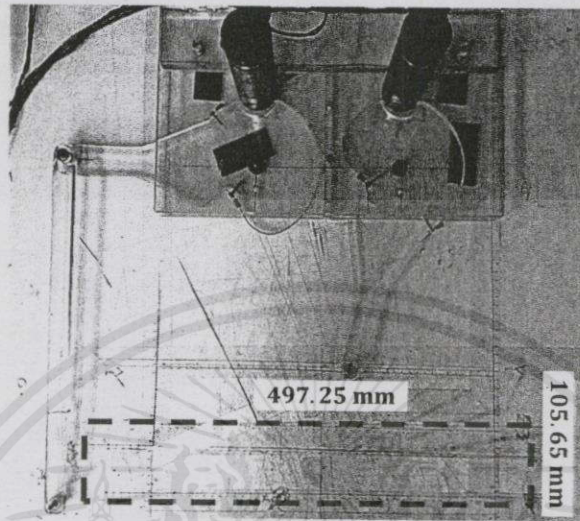
โดยที่

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{V_x(t + \delta t) - V_x(t)}{\delta t}$$

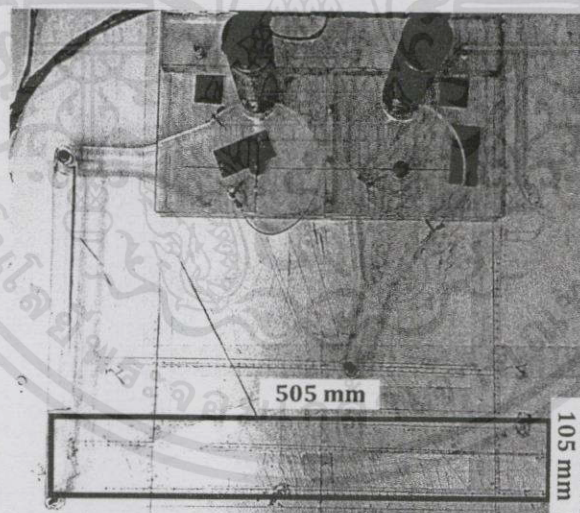
#### 4.2 การทดสอบพื้นที่สำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน

หลังการคำนวณหาพื้นที่ที่เหมาะสมและสร้างหุ่นยนต์แบบขนานเสร็จสิ้น ทางคณะผู้จัดทำจึงทำการทดสอบหาขอบเขตการเคลื่อนที่จริงของหุ่นยนต์แบบขนานในแนวพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า ไม่สามารถวัดค่าทั้งสี่ด้านอีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ ไปใช้วิธีการทดสอบ คือ ทำการเคลื่อนปลายแขนของหุ่นยนต์แบบขนานไปยังขอบเขตบนและขอบเขตล่างตาม

ทฤษฎีพื้นที่การทำงานและความสัมพันธ์ของตัวแปร จากนั้นทำการวัดขนาดความกว้าง  $h$  และความยาว  $b$  ของขอบเขตพื้นที่ที่สีเหลี่ยมผืนผ้า ดังรูป 4.3 และ 4.4 โดยที่กำหนดให้สีเหลี่ยมเส้นปะเป็นพื้นที่จากการคำนวณ และสีเหลี่ยมเส้นทึบเป็นพื้นที่ที่ได้จากการวัดขนาดจริง



รูปที่ 4.3 ขอบเขตพื้นที่จากการคำนวณตามทฤษฎี



รูปที่ 4.4 ขอบเขตพื้นที่ที่ได้จากการวัดขนาดจริง

โดยค่าที่ได้ต้องมีค่าความกว้างและความยาวใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี พบว่าขนาดความกว้างและความยาวของพื้นที่ที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี คือ 105.65 มิลลิเมตร และ 497.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนความกว้างและความยาวของพื้นที่ที่ได้จากการวัดขนาดจริงมีขนาดโดยประมาณเท่ากับ 105 มิลลิเมตร และ 505 มิลลิเมตร ตามลำดับ หากเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่า

ขอบเขตการเคลื่อนที่จริงของหุ่นยนต์แบบขนานมีขนาดของความกว้างใกล้เคียงกับที่คำนวณจากทฤษฎี แต่ขนาดของความยาวมีค่าที่มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 7.75 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากมุมที่หุ่นยนต์หมุนได้จริงมีค่ามากกว่ามุมที่ทำการออกแบบไว้เล็กน้อย

#### 4.3 การทดสอบเพื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน

ในขั้นตอนการพิจารณา ได้ทำการเขียนโปรแกรมคำนวณตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  เพื่อวัดตำแหน่งจากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่วัดได้จริงเพื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นก่อนนำไปใช้งานจริง โดยพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของตำแหน่งพิกัดก่อนและหลังใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรคของโปรแกรม ขั้นตอนแรกเริ่มจากการสร้างเมทริกซ์สัมพรรค เพื่อนำเมทริกซ์ที่ได้มาใช้สำหรับเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณหาตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ใหม่ตามทฤษฎีแปลงสัมพรรค วิธีการคือเคลื่อนปลายแขนหุ่นยนต์แบบขนานไปในตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นทั้งหมด 18 ตำแหน่งทั่วพื้นที่ขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์แบบขนาน โดยทำการวัดทั้งหมด 4 ครั้งต่อตำแหน่งและหาค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง โดยมีข้อมูลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลค่าตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ที่วัดได้จริงและที่วัดได้จากโปรแกรม

ตำแหน่ง	ค่าที่วัดได้จริง		ค่าที่วัดได้จากโปรแกรม	
	x	y	x'	y'
1	510	530	507.34	530.22
2	510	580	507.2	580.93
3	450	570	449.44	570.95
4	420	580	419.1	580.95
5	320	580	318.54	579.17
6	280	600	277.77	598.64
7	170	600	169.2	597.64
8	130	580	129.01	576.8
9	30	580	30.87	577.12
10	0	570	1.34	569.7
11	-60	580	-58.28	577.8
12	-60	530	-56.97	534.25
13	0	510	2.06	511.58
14	60	530	60.5	530.92

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลค่าตำแหน่งพิกัด (x, y) ที่วัดได้จริงและที่วัดได้จากโปรแกรม (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าที่วัดได้จริง		ค่าที่วัดได้จากโปรแกรม	
	x	y	x'	y'
15	230	530	229.26	530.57
16	390	530	387.62	530.39
17	450	510	448.76	511.58
18	230	430	229.16	428.62

จากสมการ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

กำหนดให้

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \text{ คือ เมทริกซ์ของค่าที่วัดได้จริง}$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \text{ คือ เมทริกซ์ของค่าที่วัดได้จากโปรแกรม}$$

จากนั้นแทนค่าตำแหน่งพิกัดดังตารางที่ 3.4 ลงในสมการที่ 3.6 ทำให้สามารถทราบค่า

$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  ได้ โดยค่าของ a, b, c และ d คือ ค่าของตัวประกอบที่ใช้ในการลดค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งพิกัด เมื่อทำการคำนวณแก้สมการพบว่าค่า a, b, c และ d มีค่าเท่ากับ 1.0073, -0.0021, -0.0017 และ 1.001 ตามลำดับ

จากสมการ

$$x' = ax + by \quad (3.7)$$

$$y' = cx + dy \quad (3.8)$$

ค่าของตัวประกอบที่ได้จะถูกแทนลงในสมการที่ 3.7 และ 3.8 จากนั้นนำสมการทั้ง 2 ไปใช้ในส่วนของการคำนวณตำแหน่งพิกัด (x, y) ที่รับค่าจากจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า เพื่อให้ได้

ตำแหน่งพิกัด (x, y) ใหม่ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำลงจากตอนต้น ก่อนนำไปใช้บนหน้าต่างแสดงผล

หลักจากทราบค่าของตัวประกอบที่นำมาใช้ลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ทางคณะผู้จัดทำ ได้ทำการทดสอบเพื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นหลังการใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรค โดยมีวิธีการ

ทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบข้างต้นและกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่ให้ครอบคลุมพื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์แบบขนานให้ทั่วขอบเขตพื้นที่มากที่สุด และเก็บข้อมูลดังตารางที่ 4.3 โดยที่กำหนดให้ โปรแกรม1 คือ ค่าพิกัด  $(x, y)$  ที่วัดได้จากโปรแกรมก่อนใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรค และ โปรแกรม2 คือ ค่าพิกัด  $(x, y)$  ที่วัดได้จากโปรแกรมหลังใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรค

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ก่อนและหลังใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรค

ตำแหน่ง	ค่าที่วัดได้จริง		โปรแกรม1		โปรแกรม2	
	x	y	x'	y'	x'	y'
1	510	530	507.12	531.46	509.71	531.13
2	500	580	496.74	581.84	499.14	581.58
3	490	580	487.58	581.84	489.91	581.59
4	480	530	478.87	531.96	481.25	531.68
5	470	530	469.12	531.59	471.43	531.32
6	460	580	458.72	581.48	460.84	581.28
7	450	480	448.61	481.94	450.87	481.65
8	440	500	438.14	501.81	440.28	501.57
9	430	500	427.90	501.58	429.97	501.35
10	420	580	419.18	581.01	421.02	580.88
11	410	530	408.25	530.89	410.11	530.72
12	400	530	398.45	530.86	400.24	530.71
13	390	580	388.64	580.23	390.26	580.15
14	380	530	378.11	530.87	379.75	530.76
15	370	500	367.33	501.90	368.96	501.77
16	360	500	357.41	501.47	358.97	501.36
17	350	530	348.38	530.66	349.80	530.60
18	340	500	337.64	500.83	339.05	500.76
19	330	500	327.04	500.15	328.38	500.09
20	320	500	317.43	499.98	318.69	499.94
21	310	530	307.98	529.85	309.11	529.86
22	300	580	299.03	578.97	300.00	579.04
23	290	580	288.61	578.75	289.50	578.83

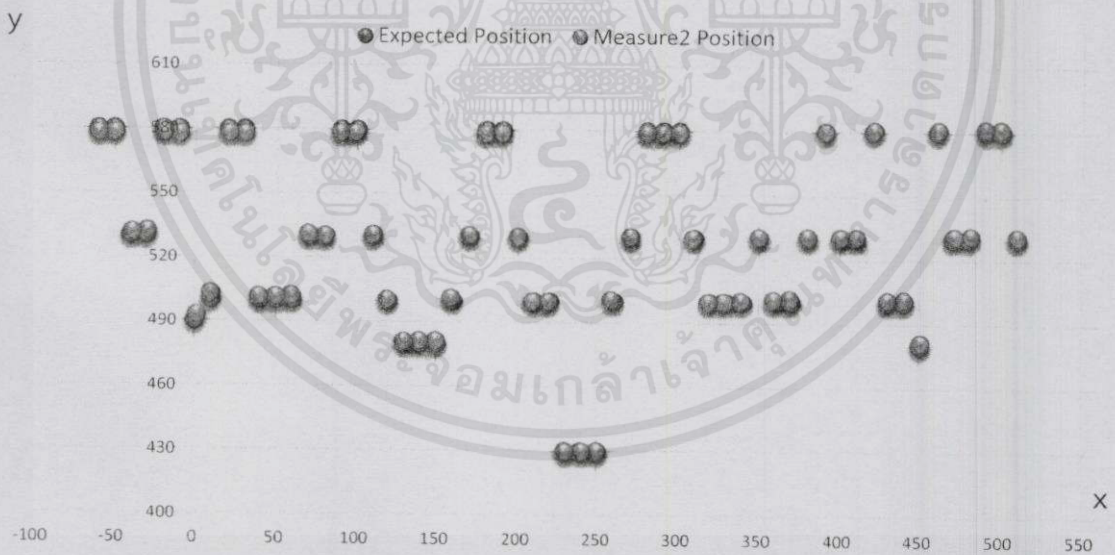
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าตำแหน่งพิกัด (x, y) ก่อนและหลังใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรค (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าที่วัดได้จริง		โปรแกรม1		โปรแกรม2	
	x	y	x'	y'	x'	y'
24	280	580	278.68	578.71	279.50	578.81
25	270	530	269.22	530.32	270.07	530.39
26	260	500	257.27	500.82	258.10	500.88
27	250	430	249.42	429.75	250.34	429.75
28	240	430	239.74	429.86	240.58	429.88
29	230	430	229.31	429.59	230.08	429.62
30	220	500	218.30	499.67	218.84	499.80
31	210	500	208.43	499.63	208.90	499.78
32	200	530	199.52	529.95	199.86	530.14
33	190	580	188.86	578.02	189.02	578.28
34	180	580	179.13	577.74	179.22	578.01
35	170	530	169.83	530.70	169.95	530.94
36	160	500	158.71	501.22	158.81	501.45
37	150	480	149.51	481.30	149.59	481.52
38	140	480	139.35	481.07	139.35	481.31
39	130	480	129.88	480.81	129.82	481.07
40	120	500	119.35	500.36	119.17	500.65
41	110	530	110.72	530.65	110.41	530.99
42	100	580	99.23	577.89	98.74	578.29
43	90	580	89.87	577.90	89.31	578.32
44	80	530	80.97	530.03	80.44	530.42
45	70	530	70.50	530.71	69.90	531.12
46	60	500	60.16	501.94	59.55	502.33
47	50	500	50.51	501.43	49.82	501.85
48	40	500	40.05	501.40	39.29	501.83
49	30	580	31.16	577.40	30.17	577.92
50	20	580	21.55	577.40	20.49	577.94
51	10	500	10.78	502.78	9.80	503.26

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าตำแหน่งพิกัด (x, y) ก่อนและหลังใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรค (ต่อ)

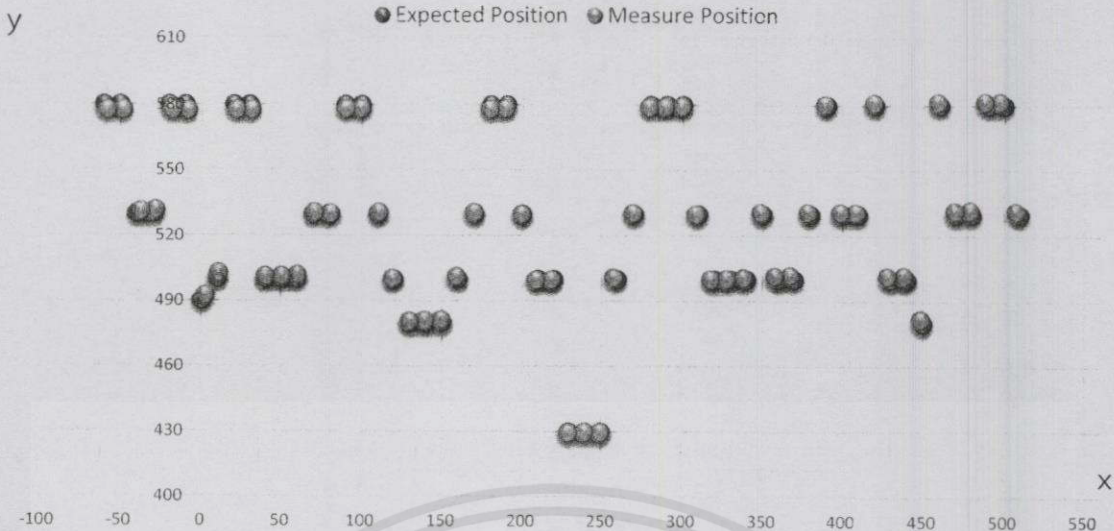
ตำแหน่ง	ค่าที่วัดได้จริง		โปรแกรม1		โปรแกรม2	
	x	y	x'	y'	x'	y'
52	0	490	2.32	492.43	1.30	492.92
53	-10	580	-8.55	577.03	-9.82	577.62
54	-20	580	-18.20	577.41	-19.54	578.01
55	-30	530	-27.96	531.75	-29.28	532.32
56	-40	530	-37.24	531.17	-38.63	531.76
57	-50	580	-48.36	577.39	-49.93	578.04
58	-60	580	-58.39	577.27	-60.03	577.95

จากนั้นทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบตำแหน่งพิกัดทั้ง 2 แบบ เพื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 โดยที่แกน x คือ ตำแหน่งพิกัดในแนวแกน x และแกน y คือ ตำแหน่งพิกัดในแนวแกน y



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงตำแหน่งพิกัดก่อนใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



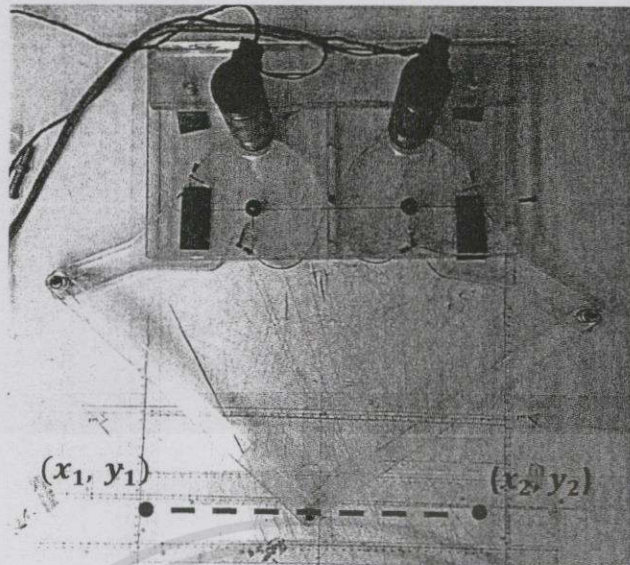
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงตำแหน่งพิกัดหลังใช้ทฤษฎีแปลงสัมพรรค

จากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นบนกราฟดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ทางคณะผู้จัดทำได้คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในเชิงปริมาณออกมา พบว่าทฤษฎีแปลงสัมพรรคทำให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error : MAE) ที่เกิดขึ้นจาก 1.383 มิลลิเมตร ในแนวแกน x และ 1.294 มิลลิเมตร ในแนวแกน y ลดลงเหลือ 0.613 มิลลิเมตรในแนวแกน x และ 1.248 มิลลิเมตรในแนวแกน y

#### 4.4 การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน

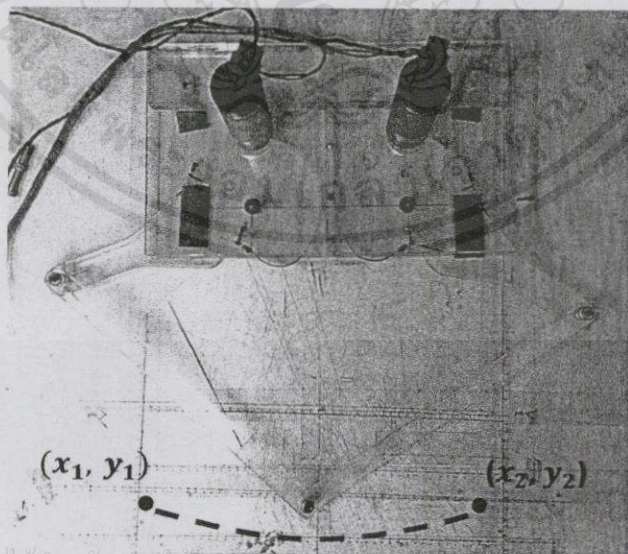
ขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณาความสามารถในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนานในรูปแบบของการกายภาพบำบัด โดยสั่งการให้หุ่นยนต์แบบขนานเคลื่อนที่ไปกลับระหว่าง 2 ตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ โดยมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 4.7 วิธีการคือเคลื่อนปลายแขนของหุ่นยนต์แบบขนานไปในตำแหน่งที่ 1 และทำการบันทึกค่าตำแหน่งของเอ็นโคดีเตอร์ของเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวในตำแหน่งนั้น จากนั้นเคลื่อนปลายแขนของหุ่นยนต์แบบขนานไปในตำแหน่งที่ 2 และทำการบันทึกค่าตำแหน่งของเอ็นโคดีเตอร์ของเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวเช่นกัน และเริ่มโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์แบบขนานเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่าง 2 ตำแหน่งในรูปแบบเส้นตรง

หลังจากทำการทดลองสังการให้หุ่นยนต์แบบขนานเคลื่อนที่ พบว่าการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนานไม่เป็นเส้นตรง แต่เส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนานเป็นไปในรูปแบบของเส้นโค้ง ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งเกิดจากโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยที่แนวทางการพัฒนาต่อไปคือการใช้ระบบควบคุมในพิกัดคาร์ทีเซียนแทนที่ระบบโพลาร์ และนอกจากพิจารณาจุดหมายในการเคลื่อนที่แล้ว ยังต้องพิจารณาทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนาน รวมถึงการนำจลนศาสตร์แบบย้อนกลับเข้ามาช่วยในการควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิได้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่าง 2 ตำแหน่งในรูปแบบเส้นโค้ง

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบขนานเพื่อช่วยในการกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อแขนอ่อนแรงและผู้ป่วยอัมพาต จากการศึกษาและเก็บข้อมูลของการกายภาพบำบัดจริง รวมถึงทำการทดลองเพื่อหาแรงที่ใช้ในการเคลื่อนมือและแขนของผู้ป่วย ข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบขนาน โดยให้ขนาดและรูปแบบเหมาะสมต่อการกายภาพบำบัด ทำการเขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์แบบขนานเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่ต้องการ โดยมีลักษณะการเคลื่อนที่ตรงตามหลักการกายภาพบำบัดขั้นต้น และทำการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์แบบขนาน

ผลการดำเนินจากการทดสอบและประเมินผล พบว่า ขอบเขตการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนานที่ได้จากการวัดขนาดจริงมีความยาวมากกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี ทั้งนี้สาเหตุเกิดจากมุมในการหมุนของแขนหุ่นยนต์ที่ติดกับแกนมอเตอร์มีมุมในการหมุนมากกว่าขอบเขตของมุมส่วนบนที่ได้กำหนดไว้ ส่งผลให้พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความยาวของขอบเขตในการเคลื่อนที่มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ การคำนวณระยะบุตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหลังจากใช้ทฤษฎีการแปลงสัมพรรคในแนวแกน  $x$  อยู่ที่ 0.613 มิลลิเมตร และในแนวแกน  $y$  อยู่ที่ 1.248 มิลลิเมตร ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ในลักษณะการใช้งานของหุ่นยนต์แบบขนานประเภทนี้ เช่นเดียวกับแรงในการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์แบบขนานมีแรงที่เพียงพอที่จะเคลื่อนมือและแขนของผู้ป่วยเมื่อเทียบกับค่าของแรงที่ได้ทำการทดลองในตอนต้น ในส่วนของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนานสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการได้ แต่การเคลื่อนที่ไปกลับระหว่าง 2 จุดนั้นเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง แบบ Non-Interpolation ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไม่เป็นเส้นตรง

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

สำหรับปัญหาที่พบแบ่งออกเป็นหลายส่วน ดังนี้

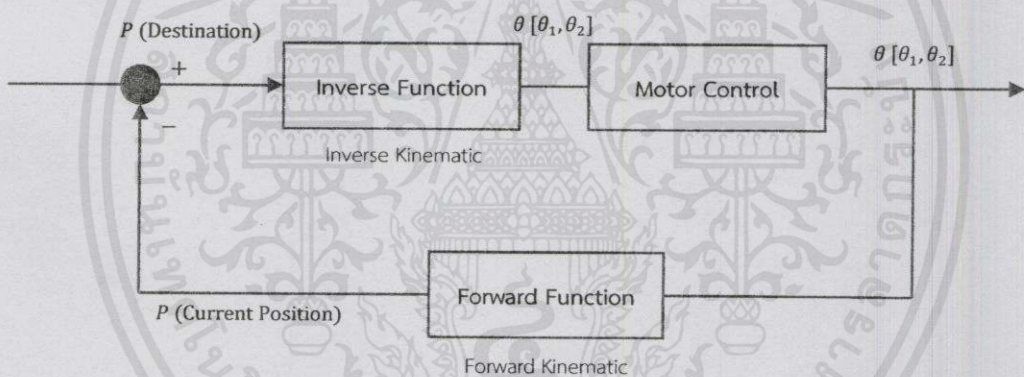
1. จากการสร้างหุ่นยนต์แบบขนานพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ผลมาจากการออกแบบหุ่นยนต์แบบขนานตอนต้นที่ไม่เหมาะสม คณะผู้จัดทำจึงมีการแก้ไขปัญหานี้โดยปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการยึดติดระหว่างชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เหมาะสม รวมถึงการปรับแต่งขนาดของเกียร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนชิ้นส่วนของอุปกรณ์

2. ลวดสลิงที่ใช้ในการส่งกำลังจากแกนมอเตอร์ไปยังแขนหุ่นยนต์แบบขนานมีความแข็งแรงที่ไม่มากพอ ทำให้เกิดการยืดตัวของลวดสลิง ส่งผลให้การส่งกำลังเป็นไปอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงทำการแก้ไขโดยการเปลี่ยนลวดสลิงที่มีความแข็งแรงมากขึ้นกว่าตอนต้น

3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในตอนต้นถูกออกแบบและสร้างขึ้นโดยคณะผู้จัดทำ ส่งผลให้การประมวลผลมีความถี่ในการรับ-ส่งข้อมูลที่ไม่มากพอ ทำให้หุ่นยนต์แบบขนานมีการเคลื่อนที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ จึงทำการแก้ไขโดยการจัดซื้อไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีอยู่ทั่วไปและมีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการมาใช้แทนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้น

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

แนวทางการพัฒนาหุ่นยนต์แบบขนานสามารถทำได้หลายส่วน ทั้งในด้านการออกแบบและการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ เช่นการสร้างฐานยึดระหว่างหุ่นยนต์แบบขนานกับโต๊ะที่ใช้สำหรับการกายภาพบำบัดเพื่อไม่ให้ฐานของหุ่นยนต์เกิดการเคลื่อนที่ หรือออกแบบให้หุ่นยนต์แบบขนานมีขนาดเล็กลงเพื่อสามารถรองรับกับโต๊ะขนาดต่าง ๆ ได้มากขึ้น



รูปที่ 5.1 ระบบการทำงานที่ใช้สั่งการหุ่นยนต์แบบขนานหลังการปรับปรุง

ในส่วนของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบขนานจะทำการปรับเปลี่ยนระบบการทำงานใหม่ขึ้น โดยการนำทฤษฎีจลนศาสตร์แบบย้อนกลับเข้ามาช่วยในระบบควบคุมแบบปิด ดังรูปที่ 5.1 เพื่อแทนที่การใช้วิธี Interpolation ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

1. รับค่าอินพุทอ้างอิงเป็นพิกัด (x, y) ของเป้าหมาย
2. โปรแกรมทำการเปรียบเทียบพิกัดปัจจุบันของหุ่นยนต์กับพิกัดของเป้าหมายเพื่อ

คำนวณหาระยะและทิศทางที่หุ่นยนต์ต้องเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้วิธีจลนศาสตร์แบบย้อนกลับ (Inverse Kinematics) เพื่อแปลงค่าตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ของเป้าหมายให้อยู่ในรูปของพิกัดมุม  $[\theta_1, \theta_2]$  และโปรแกรมจะแปลงค่ามุมไปเป็นจำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์

4. นำทิศทางที่ต้องเคลื่อนที่มาคำนวณสัดส่วนกำลังของมอเตอร์แต่ละตัว

5. สั่งการให้มอเตอร์ขับเคลื่อน

6. ตรวจสอบพิกัดปัจจุบันจากเอ็นโค้ดเดอร์ และส่งค่าต่อไปยังจลนศาสตร์แบบไป

ข้างหน้าเพื่อทำการแปลงค่ามุมให้อยู่ในตำแหน่งพิกัด  $(x, y)$  ปัจจุบัน จากนั้นโปรแกรมจะย้อนกลับไปทำข้อ 2 จนกว่าหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปถึงจุดหมาย

วิธีนี้จะทำให้การเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์แบบขนานมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ. กานดา ใจภักดี, 2542. วิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์  
ดวงกมล.
- [2] กิตติ ตีระเศรษฐ์, 2545. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม. กรุงเทพมหานคร : แผนกตำรา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] กรรวิ บุญชัย, 2540. คิเนสิโพลีเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] Bueche, F. J., 1989. Theory and Problems of College Physics. 8th ed. New York:  
McGraw-Hill.
- [5] Don Fussell.2010. Affine Transformations. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :  
[http://www.cs.utexas.edu/users/fussell/courses/cs384g/lectures/lecture07-  
Affine.pdf](http://www.cs.utexas.edu/users/fussell/courses/cs384g/lectures/lecture07-Affine.pdf)
- [6] Tian Huang., Zhanxian Li., Meng Li., Chetwynd, D. G. & Gosselin, C. M., 2004.  
Conceptual Design and Dimensional Synthesis of a Novel 2-DOF Translational  
Parallel Robot for Pick-and-Place Operations. Journal of Mechanical Design 449-  
455

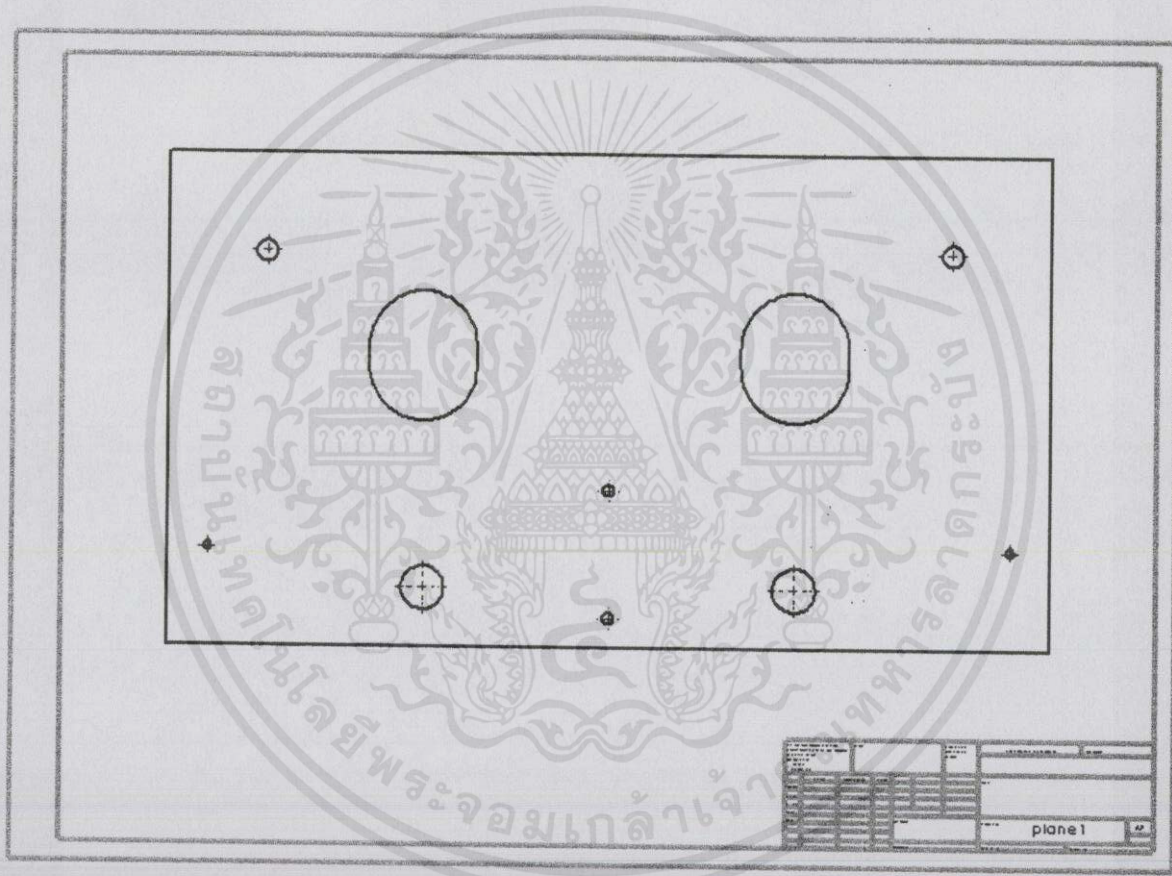
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



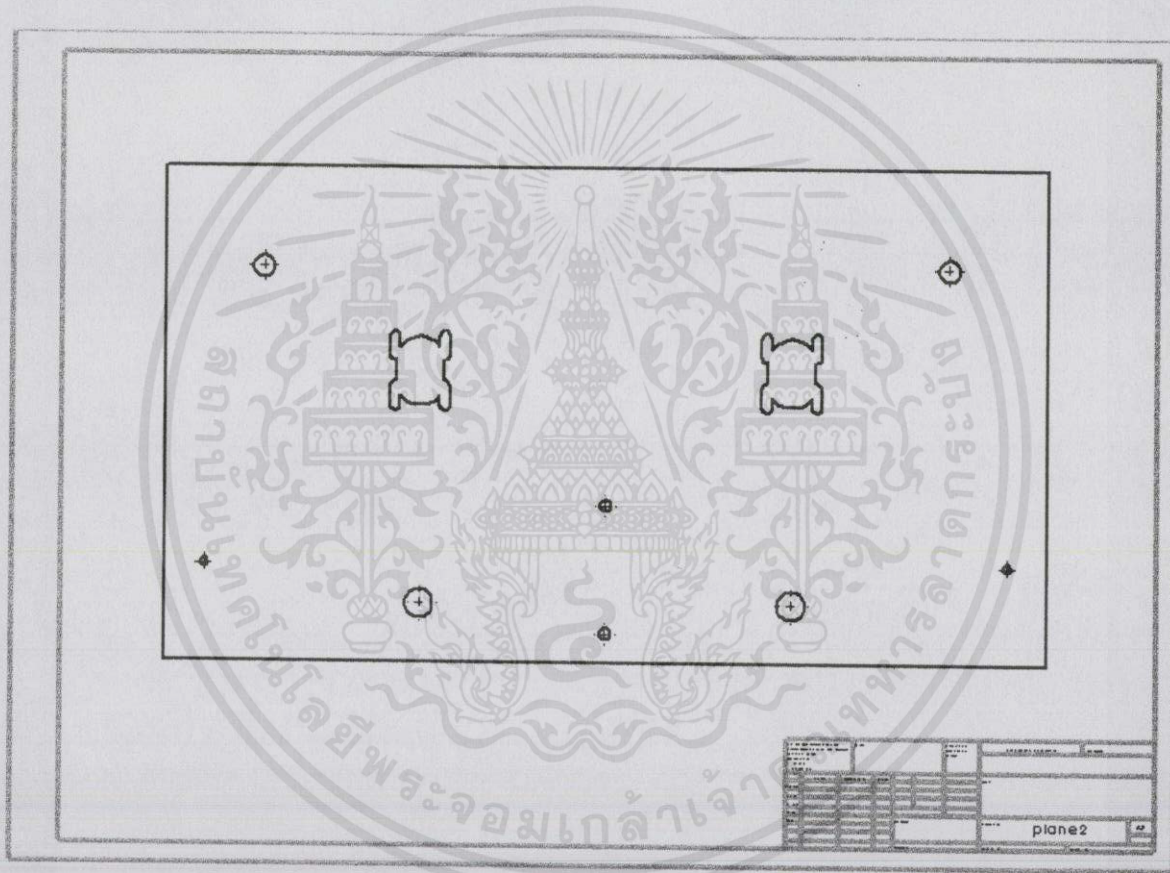
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



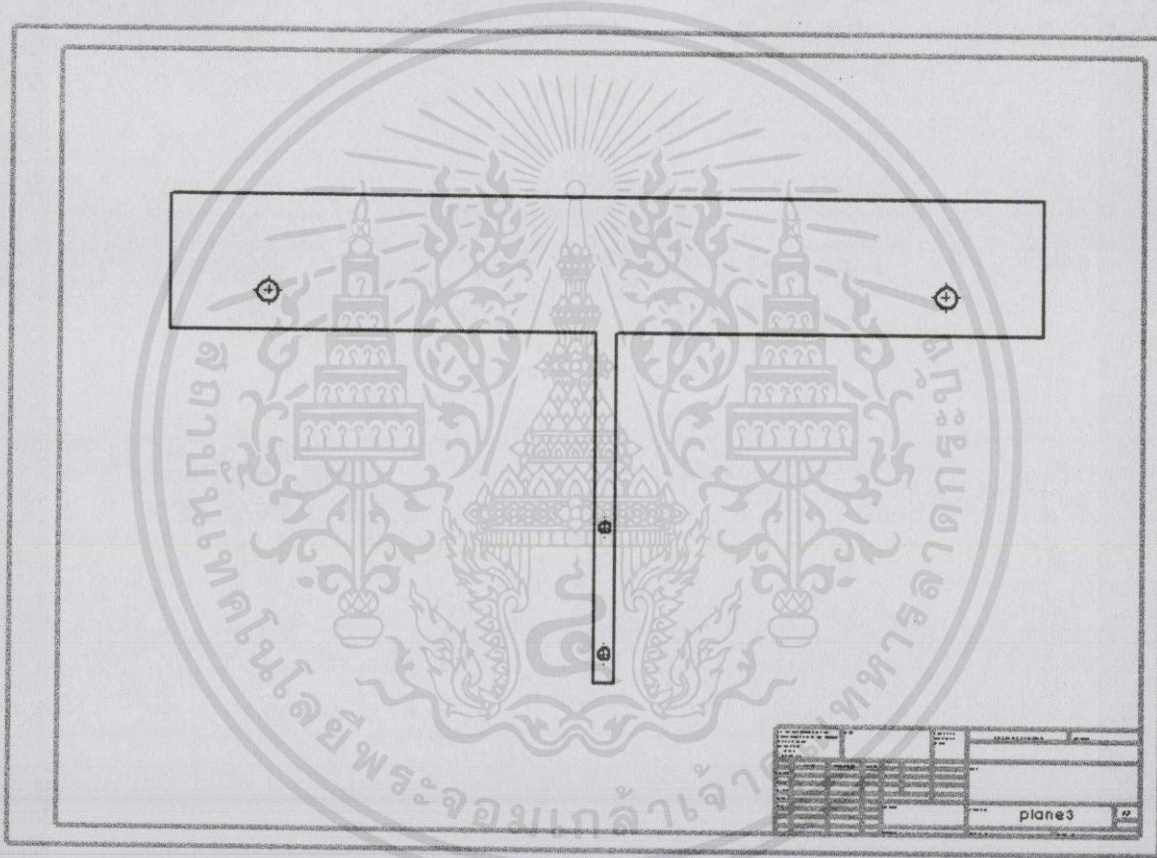
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



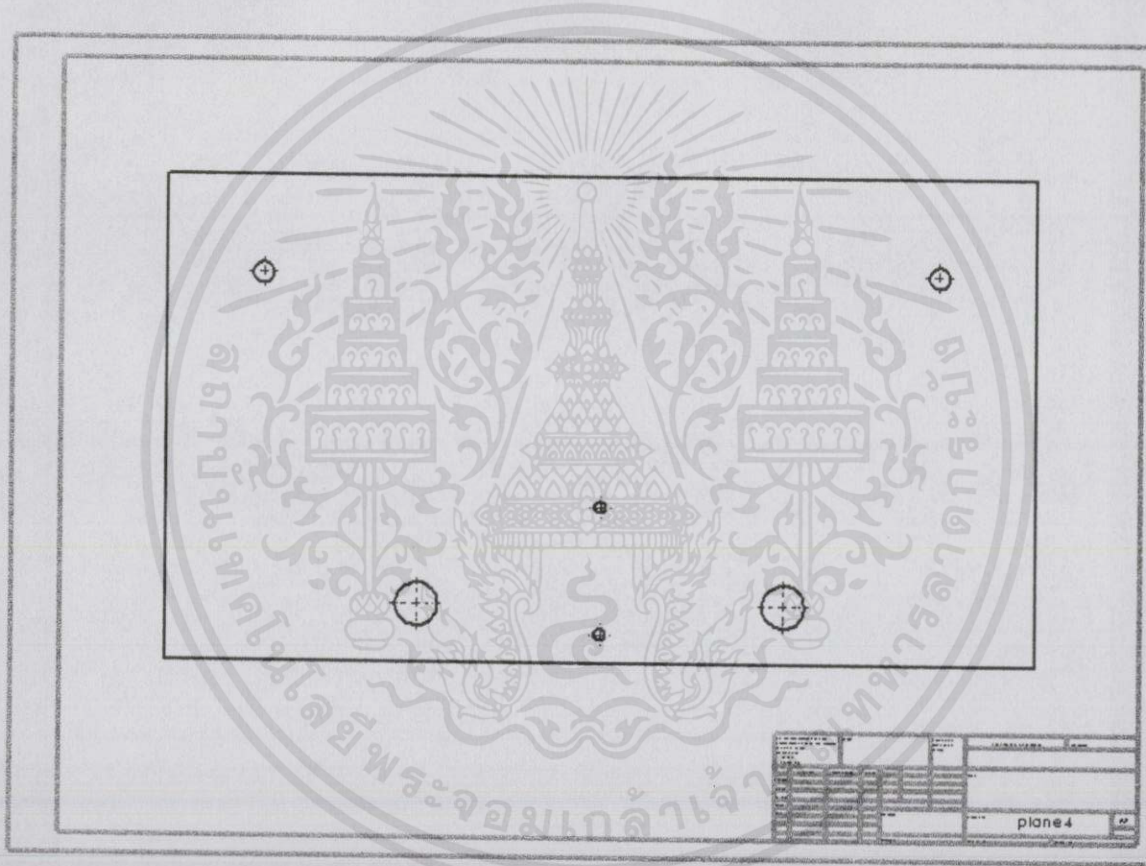
รูปที่ ผก 1 ภาพเขียนแบบฐานของหุ่นยนต์แบบขนานส่วนที่ 1



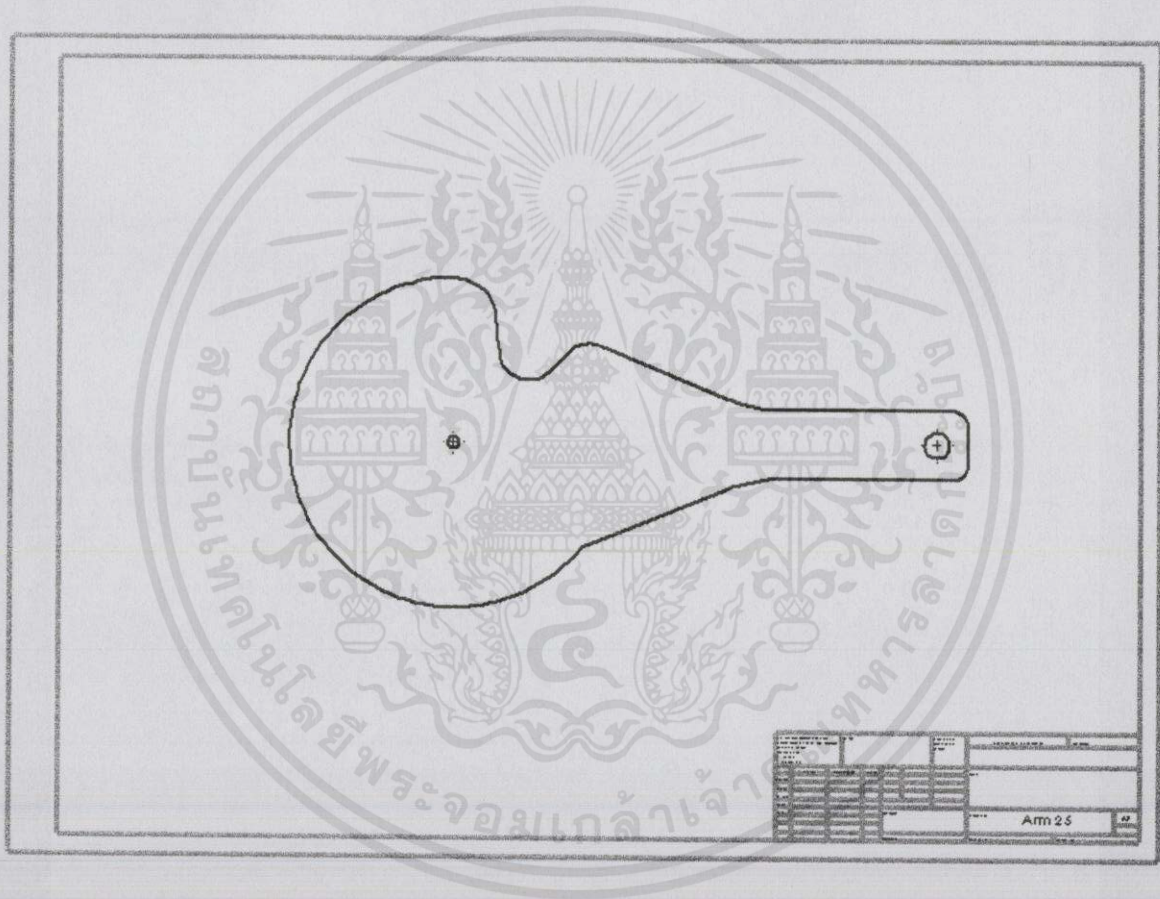
รูปที่ ผก 2 ภาพเขียนแบบฐานของหุ่นยนต์แบบขนานส่วนที่ 2



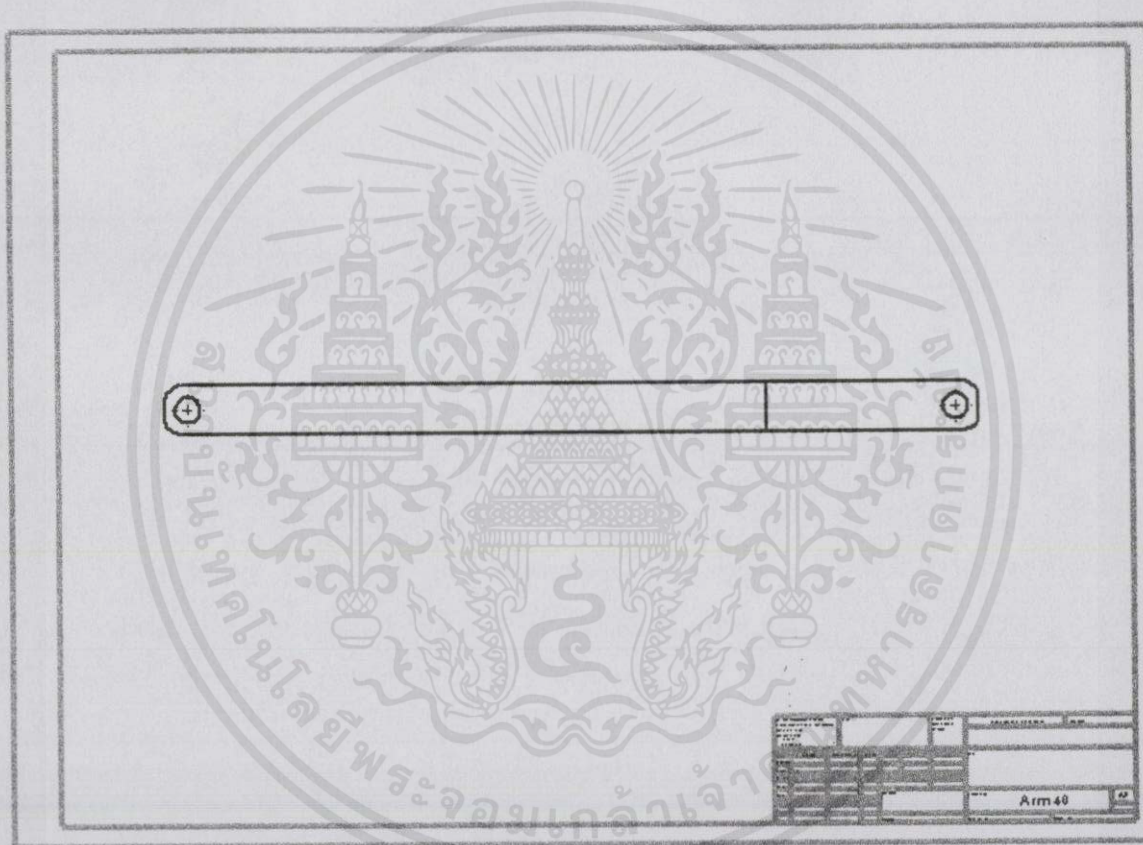
รูปที่ ผก 3 ภาพเขียนแบบฐานของหุ่นยนต์แบบขนานส่วนที่ 3



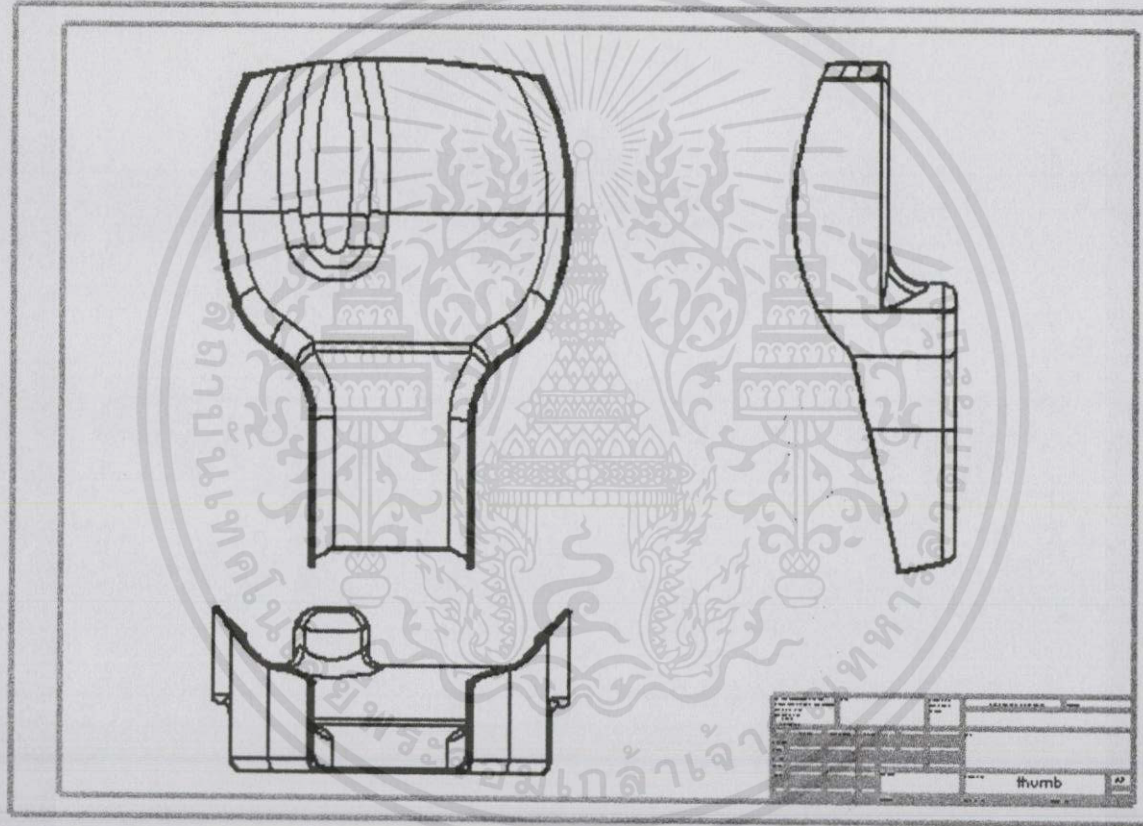
รูปที่ ผก 4 ภาพเขียนแบบฐานของหุ่นยนต์แบบขนานส่วนที่ 4



รูปที่ ผก 5 ภาพเขียนแบบแขนของหุ่นยนต์แบบขนานขนาดความยาว 25 เซนติเมตร



รูปที่ ผก 6 ภาพเขียนแบบแขนของหุ่นยนต์แบบขนานขนาดความยาว 40 เซนติเมตร



รูปที่ ผก 7 ภาพเขียนแบบอุปกรณ์รองมือและแขนของหุ่นยนต์แบบขนาน



ภาคผนวก ข

โปรแกรมของ PIC32MX250F128B โดย Microsoft Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dim posA, posB As Long

Dim posA1, posA2, posB1, posB2 As Long

Dim ja As String

Dim RecA1, RecA2, RecB1, RecB2 As Double

Dim pi As Double

Dim ToggleRecord As Integer

Dim posL, posR As Long

Dim RecRef As Integer

Dim refl, refR As Long

Dim Angle1, Angle2 As Double

Dim PulseToGoL, PulseToGoR As Long

Dim J1Rx, J1Ry, J2Rx, J2Ry, J1Lx, J1Ly, J2Lx, J2Ly As Double

Dim P1x, P1y, P2x, P2y, J1RxP1, J1RyP1, J1RxP2, J1RyP2, J1LxP1, J1LyP1, J1LxP2, J1LyP2,  
AngleP1R, AngleP1L, AngleP2R, AngleP2L, posLP1, posRP1, posLP2, posRP2 As Double

Dim DiffAngleL, DiffAngleR As Double

Dim Endx1, Endy1, Endx2, Endy2, Endx, Endy, EndxErr, EndyErr As Double

Dim h, a, j, k As Double

Dim TorL, TorR As Integer

Dim init As Integer

---

Private Sub Command1\_Click()

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'posA = 32768 + Val(Text4(0))

If posA > 255 Then posA1 = Int(posA / 255): posA2 = posA Mod 255

Text2(0).Text = Str(posA1) + " " + Str(posA2)

'posB = 32768 + Val(Text4(1))

If posB > 255 Then posB1 = Int(posB / 255): posB2 = posB Mod 255

Text2(1).Text = Str(posL) 'Str(posB1) + " " + Str(posB2)

TorL = Text1(0).Text

TorR = Text1(1).Text

MSComm1.Output = "A" + Chr(TorL + 1) + Chr(posA1 + 1) + Chr(posA2 + 1) + Chr(TorR + 1) + Chr(posB1 + 1) + Chr(posB2 + 1)

End Sub

---

Private Sub Command2\_Click()

jax = MSComm1.Input

If Len(jax) = 7 Then

Text3.Text = Str(Asc(Mid(jax, 1, 1)) - 1) + " " + Str(Asc(Mid(jax, 2, 1)) - 1) + " " +  
Str(Asc(Mid(jax, 3, 1)) - 1) + " " + Str(Asc(Mid(jax, 4, 1)) - 1) + " " + Str(Asc(Mid(jax, 5,  
1)) - 1) + " " + Str(Asc(Mid(jax, 6, 1)) - 1) + " " + Str(Asc(Mid(jax, 7, 1)) - 1)

RecA1 = (Asc(Mid(jax, 3, 1)) - 1)

RecA2 = (Asc(Mid(jax, 4, 1)) - 1)

RecB1 = (Asc(Mid(jax, 6, 1)) - 1)

RecB2 = (Asc(Mid(jax, 7, 1)) - 1)

เอกสาร posL = (RecA1 \* 256) + RecA2 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ดึงทั้งห้าปีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีให้นำไปใช้  
posR = (RecB1 \* 256) + RecB2

If init = 0 Then

init = 1

posA = 32768 + 3000

posB = 32768 + 3000

End If

If posL >= posLP1 Then

If posR >= posRP1 Then

posA = posLP2 - 500

posB = posRP2 - 500

End If

End If

If posL <= posLP2 Then

If posR <= posRP2 Then

posA = posLP1 + 500

posB = posRP1 + 500

End If

End If

If RecRef = 0 Then

refL = posL

refR = posR

RecRef = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่า End If ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Angle1} = -0.012 + ((\text{refL} - \text{posL}) * (2 * 3.14159265358979 / 11950))$$

$$\text{Angle2} = (3.14159265358979 - 0.002) - ((\text{posR} - \text{refR}) * (2 * 3.14159265358979 / 11750))$$

$$\text{J1Rx} = 130$$

$$\text{J1Ry} = 193$$

$$\text{J2Rx} = \text{Round}(\text{J1Rx} + (248 * \text{Cos}(\text{Angle2})), 2)$$

$$\text{J2Ry} = \text{Round}(\text{J1Ry} + (248 * \text{Sin}(\text{Angle2})), 2)$$

$$\text{J1Lx} = 321$$

$$\text{J1Ly} = 193$$

$$\text{J2Lx} = \text{Round}(\text{J1Lx} + (251 * \text{Cos}(\text{Angle1})), 2)$$

$$\text{J2Ly} = \text{Round}(\text{J1Ly} + (251 * \text{Sin}(\text{Angle1})), 2)$$

$$\text{R} = 400$$

$$\text{h} = \text{J2Rx}$$

$$\text{a} = \text{J2Ry}$$

$$\text{j} = \text{J2Lx}$$

$$\text{k} = \text{J2Ly}$$

$$\text{Endx1} = \text{Round}((- \text{Sqr}(-(\text{a} - \text{k})^2 * (\text{a}^2 - 2 * \text{a} * \text{k} + \text{h}^2 - 2 * \text{h} * \text{j} + \text{j}^2 + \text{k}^2) * (\text{a}^2 - 2 * \text{a} * \text{k} + \text{h}^2 - 2 * \text{h} * \text{j} + \text{j}^2 + \text{k}^2 - 4 * \text{R}^2))) + \text{a}^2 * \text{h} + \text{a}^2 * \text{j} - 2 * \text{a} * \text{h} * \text{k} - 2 * \text{a} * \text{j} * \text{k} + \text{h}^3 - \text{h}^2 * \text{j} - \text{h} * \text{j}^2 + \text{h} * \text{k}^2 + \text{j}^3 + \text{j} * \text{k}^2) / (2 * (\text{a}^2 - 2 * \text{a} * \text{k} + \text{h}^2 - 2 * \text{h} * \text{j} + \text{j}^2 + \text{k}^2)), 2)$$

$$\text{Endx2} = \text{Round}((\text{Sqr}(-(\text{a} - \text{k})^2 * (\text{a}^2 - 2 * \text{a} * \text{k} + \text{h}^2 - 2 * \text{h} * \text{j} + \text{j}^2 + \text{k}^2) * (\text{a}^2 - 2 * \text{a} * \text{k} + \text{h}^2 - 2 * \text{h} * \text{j} + \text{j}^2 + \text{k}^2 - 4 * \text{R}^2))) + \text{a}^2 * \text{h} + \text{a}^2 * \text{j} - 2 * \text{a} * \text{h} * \text{k} - 2 * \text{a} * \text{j} * \text{k} + \text{h}^3 - \text{h}^2 * \text{j} - \text{h} * \text{j}^2 + \text{h} * \text{k}^2 + \text{j}^3 + \text{j} * \text{k}^2) / (2 * (\text{a}^2 - 2 * \text{a} * \text{k} + \text{h}^2 - 2 * \text{h} * \text{j} + \text{j}^2 + \text{k}^2)), 2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Endy1 = Round((a ^ 3 - Sqr((-h - j) ^ 2 \* (a ^ 2 - 2 \* a \* k + h ^ 2 - 2 \* h \* j + j ^ 2 + k ^ 2) \* (a ^ 2 - 2 \* a \* k + h ^ 2 - 2 \* h \* j + j ^ 2 + k ^ 2 - 4 \* R ^ 2))) - a ^ 2 \* k + a \* h ^ 2 - 2 \* a \* h \* j + a \* j ^ 2 - a \* k ^ 2 + h ^ 2 \* k - 2 \* h \* j \* k + j ^ 2 \* k + k ^ 3) / (2 \* (a ^ 2 - 2 \* a \* k + h ^ 2 - 2 \* h \* j + j ^ 2 + k ^ 2)), 2)

Endy2 = Round((a ^ 3 + Sqr((-h - j) ^ 2 \* (a ^ 2 - 2 \* a \* k + h ^ 2 - 2 \* h \* j + j ^ 2 + k ^ 2) \* (a ^ 2 - 2 \* a \* k + h ^ 2 - 2 \* h \* j + j ^ 2 + k ^ 2 - 4 \* R ^ 2))) - a ^ 2 \* k + a \* h ^ 2 - 2 \* a \* h \* j + a \* j ^ 2 - a \* k ^ 2 + h ^ 2 \* k - 2 \* h \* j \* k + j ^ 2 \* k + k ^ 3) / (2 \* (a ^ 2 - 2 \* a \* k + h ^ 2 - 2 \* h \* j + j ^ 2 + k ^ 2)), 2)

If Abs(400 - Sqr((Endx2 - J2Rx) ^ 2 + (Endy2 - J2Ry) ^ 2)) < Abs(400 - Sqr((Endx1 - J2Rx) ^ 2 + (Endy2 - J2Ry) ^ 2)) Then EndxEr = Endx2

If Abs(400 - Sqr((Endx2 - J2Rx) ^ 2 + (Endy2 - J2Ry) ^ 2)) > Abs(400 - Sqr((Endx1 - J2Rx) ^ 2 + (Endy2 - J2Ry) ^ 2)) Then EndxEr = Endx1

If Endy1 > Endy2 Then EndyEr = Endy1

If Endy1 < Endy2 Then EndyEr = Endy2

Endx = EndxEr \* 1.0073 + EndyEr \* -0.0021

Endy = EndxEr \* -0.0017 + EndyEr \* 1.001

Text3.Text = Str(RecA1) + " " + Str(RecA2) + " " + Str(RecB1) + " " + Str(RecB2) + " " + Str(posL) + " " + Str(posR) + " " + Str(refL) + " " + Str(refR)

Text7.Text = Str(Angle1) + " " + Str(Angle2)

Text8.Text = Str(J1Lx) + " " + Str(J1Ly)

Text9.Text = Str(J1Rx) + " " + Str(J1Ry)

Text10.Text = Str(J2Lx) + " " + Str(J2Ly)

Text11.Text = Str(J2Rx) + " " + Str(J2Ry)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
Text12.Text = Str(Endx1) + " " + Str(Endy1) + " " + Str(Endx2) + " " + Str(Endy2)

Text13.Text = Str(Endx) + " " + Str(Endy)

```
Text14.Text = Str(P1x) + " " + Str(P1y) + " " + Str(Endx) + " " + Str(Endy) + " " +  
Str(P2x) + " " + Str(P2y)
```

```
ja = jax
```

```
End If
```

```
End Sub
```

---

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
If ToggleRecord Mod 2 = 0 Then
```

```
    P1x = Endx
```

```
    P1y = Endy
```

```
    J1RxP1 = J1Rx
```

```
    J1RyP1 = J1Ry
```

```
    J1LxP1 = J1Lx
```

```
    J1LyP1 = J1Ly
```

```
    AngleP1R = Angle2
```

```
    AngleP1L = Angle1
```

```
    posLP1 = posL
```

```
    posRP1 = posR
```

```
End If
```

```
If ToggleRecord Mod 2 = 1 Then
```

```
    P2x = Endx
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    J1RxP2 = J1Rx
```

J1RyP2 = J1Ry

J1LxP2 = J1Lx

J1LyP2 = J1Ly

AngleP2R = Angle2

AngleP2L = Angle1

posLP2 = posL

posRP2 = posR

End If

ToggleRecord = ToggleRecord + 1

End Sub

---

Private Sub Command4\_Click()

PulseToGoL = Abs(posLP1 - posLP2)

PulseToGoR = Abs(posRP1 - posRP2)

If PulseToGoL / PulseToGoR > 1 Then

TorL = 40 \* (PulseToGoL / PulseToGoR)

TorR = 40

End If

If PulseToGoL / PulseToGoR < 1 Then

TorL = 40

TorR = 40 \* (PulseToGoL / PulseToGoR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามไว้สำหรับกร เซงในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่า End If ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

---

Private Sub Form\_Load()

MSComm1.PortOpen = True

End Sub

---

Private Sub Form\_Unload(Cancel As Integer)

MSComm1.PortOpen = False

End Sub

---

Private Sub Timer1\_Timer()

Command1.Value = True

Command2.Value = True

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้