ปีการศึกษา 2538

แขนกลควบคุมโดยมนุษย์

Robot Arm by Manual Control

โดย

น.ส.ธีรานุช กุลเกียรติประเสริฐ

นายยอดชาย เกษมสุขสถาพร

วัน เดือน ปี 30 ก.ค. 2540

เลขทะเบียน 036959

เลขเรียกหนังสือ T 38052 ธ 681 ย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. พิชิต กิตตินนท์

อ. จำลอง ปราบแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

036959

ปีการศึกษา 2538

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แขนกลควบคุมโดยมนุษย์

ผู้จัดทำ

น.ส.ธีรานุช กุลเกียรติประเสริฐ

นายยอดชาย เกษมสุขสถาพร

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. พิชิต กิตตินนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. จำลอง ปราบแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	6
2.1 นิยามของหุ่นยนต์	6
2.2 ลักษณะของแขนมนุษย์	7
2.3 การแบ่งประเภทของแขนกล	7
2.4 การแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยการเคลื่อนที่และโครงสร้างภายนอก	8
2.5 การแบ่งประเภทของแขนกลโดยทางเดินของแขน	15
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างของแขนกล	16
3.1 ลักษณะโครงสร้างของแขนกล	16
3.2 แนวทางการเคลื่อนที่	16
3.3 วงจรนิวเมติกที่ใช้ในการควบคุมแขนท่อนล่างและแขนท่อนบน	19
3.4 การควบคุมส่วนปลายของแขน	19
3.5 การควบคุมการหมุนที่ฐานของแขนกล	19
บทที่ 4 การออกแบบส่วนต่าง ๆ ของแขนกล	22
4.1 การกำหนดขนาดของกระบอกสูบที่ใช้ควบคุมแขนท่อนล่างและแขนท่อนบน	22
4.2 การกำหนดขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมส่วนปลายของแขนกล	26
4.3 การกำหนดขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการหมุนที่ฐาน	27
บทที่ 5 การทดลอง และผลการทดลอง	29
5.1 การทดสอบความเร็วรอบ	29
5.2 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่	33
บทที่ 6 วิจารณ์และสรุป	35
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แขนกลควบคุมโดยมนุษย์

ธีรานุช กุลเกียรติประเสริฐ
ยอดชาย เกษมสุขสถาพร
อ. พิชิต กิตตินนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

แขนกลควบคุมโดยมนุษย์ มีส่วนประกอบ 4 ส่วนคือ ฐาน ตัวแขนทั้งสองท่อน ปลายแขน และคริปเปอร์ (Gripper) ซึ่งที่ส่วนของฐานจะถูกควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้ ดี.ซี. มอเตอร์ (D.C. Motor) ที่แขนทั้งสองท่อนจะถูกควบคุมโดยกระบอกสูบนิวเมติก (Pneumatic Cylender) ส่วนที่ปลายแขนจะมี ดี.ซี. มอเตอร์ 2 ตัว ควบคุมการเคลื่อนที่ และที่คริปเปอร์จะถูก ดี.ซี. มอเตอร์ ควบคุมโดยขณะที่มอเตอร์หมุนจะทำให้สกรูหมุนขึ้นหรือลง และจะทำให้คริปเปอร์กางออกหรือหุบเข้าได้ ส่วนประกอบทั้ง 4 ส่วนนี้จะถูกควบคุมโดยสวิตช์ (Switch) ทั้ง 3 ตัว และจอยสติ๊ก (Joystick) ที่อยู่บนแผงควบคุม โดยที่สวิตช์ตัวที่ 1 จะใช้ควบคุมการหมุนของฐาน สวิตช์ตัวที่ 2 และ ตัวที่ 3 เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนทั้งสองท่อน และจอยสติ๊กจะถูกใช้เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนและการกางออกหรือหุบเข้าของคริปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROBOT ARM BY MANUAL CONTROL

Teranuch Kulkietprasert
Yortchai Kasamesuksataporn
Pichit Kittinon Advisor
Jumlong Prabkaew Advisor
1995

Abstract

"Robot Arm by Manual Control" consists of base, two parts of arm, the terminal arm and gripper. Motion of base, the terminal arm and gripper are controled by D.C. motor. The terminal arm use two D.C. motor. Pneumatic cylinder control two parts of arm. Gripper start working when motor rotate. All of parts are controled by three switch and joystick on control board. The first switch control the base. The other switch control two parts of arm. The terminal arm and gripper are controled by joystick.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างแขนกลที่ใช้ในขบวนการ	1
รูปที่ 1.2 อินทาลิเจนท์ โรบอต ที่มีตัวตรวจจับสัญญาณ	2
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างแขนกลที่ใช้ในงานเชื่อม	2
รูปที่ 1.4 แสดงระบบทางกลศาสตร์ซึ่งสามารถแทนจลศาสตร์กายภาพของมนุษย์	4
รูปที่ 1.5 แสดงการเคลื่อนที่ของแขน	5
รูปที่ 2.1 แขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์	9
รูปที่ 2.2 แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม	10
รูปที่ 2.3 แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก	11
รูปที่ 2.4 แขนกลแบบคาร์ทีเซี่ยนชนิดเลื่อน	12
รูปที่ 2.5 แขนกลแบบคาร์ทีเซี่ยนชนิดมีโครง	13
รูปที่ 2.6 แขนกลแบบผสม	14
รูปที่ 3.1 รูปตารางแสดงโครงสร้างและพื้นที่การทำงานของแขนกล	17
รูปที่ 3.2 แสดงแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนกล	18
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของแขนกล	20
รูปที่ 3.4 ระบบเฟืองที่ใช้ในการส่งกำลัง	20
รูปที่ 3.5 ระบบส่งกำลังที่ฐานของแขนกล	21
รูปที่ 5.1 รูปแสดงส่วนฐาน	29
รูปที่ 5.2 รูปแสดงส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	30
รูปที่ 5.3 รูปแสดงส่วนของปลายแขน	31
รูปที่ 5.4 รูปแสดงคริปเปอร์	32
รูปที่ 5.5 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนท่อนล่าง	33
รูปที่ 5.6 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนท่อนบน	33
รูปที่ 5.7 แสดงมุมการเคลื่อนที่ในแนวระดับของปลายแขน	34
รูปที่ 5.8 แสดงมุมการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของปลายแขน	34
รูปที่ 6.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของแขนกล	35
รูปที่ ก. แสดงแขนกลที่เสร็จสมบูรณ์	ก
รูปที่ ข. แสดงฐาน	ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ ค. แสดงกล่องคอนโทรล ข

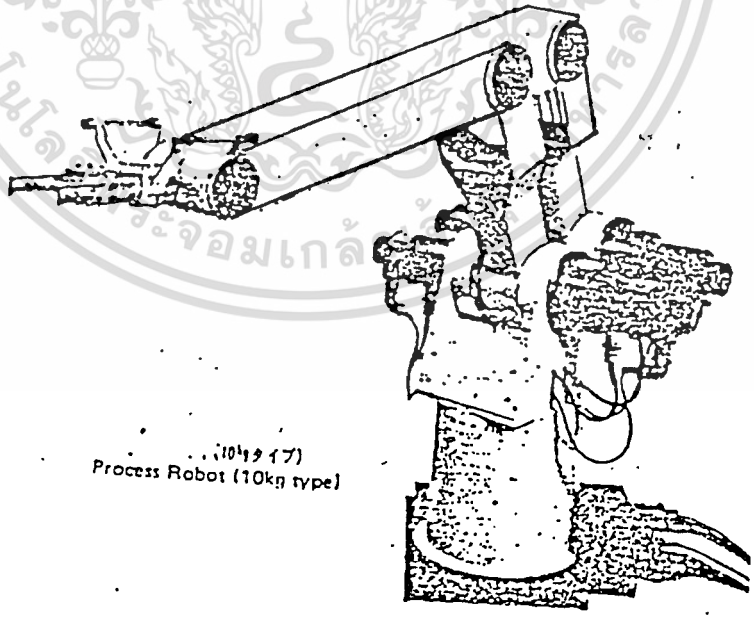
รูปที่ ง. แสดงส่วนปลายของแขน ค

รูปที่ จ. แสดงคริปเปอร์ ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

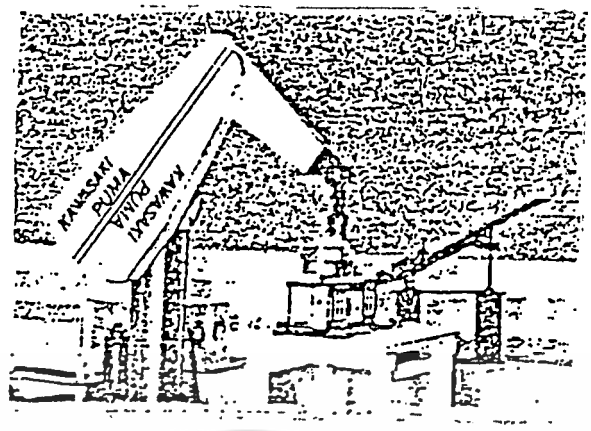
บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยี (Technology) ด้านหุ่นยนต์ ได้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วอันเป็นผลสืบเนื่องมาจาก ความต้องการความสะดวกสบายของมนุษย์ ทำให้มนุษย์มีความพยายามที่จะสร้างสิ่งต่าง ๆ ขึ้นมาใช้ และวิทยาการสมัยใหม่ก็อำนวยให้การสร้างหุ่นยนต์ไม่ใช่เรื่องยากอีกต่อไป อีกทั้งการที่ใช้คนทำงานในด้านการเกษตรกรรมก็มีปัญหาและประสิทธิภาพในการทำงานก็จำกัด จึงเริ่มมีการหันมาใช้เครื่องทุ่นแรงบางอย่างมากขึ้น เช่น เครื่องพ่นยา เป็นต้น จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สามารถคาดได้ว่าในอนาคตอันใกล้นี้หุ่นยนต์อาจเข้ามามีบทบาทในงานทางด้านเกษตรกรรมมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีเครื่องมือ ทั้งทางทฤษฎี และ ทางปฏิบัติ ที่สามารถใช้งานได้จริงในเกษตรกรรม เพื่อรองรับความเจริญของการใช้หุ่นยนต์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตหุ่นยนต์ที่จะถูกพัฒนามาใช้กับงานด้านการเกษตรนั้นได้รับแนวคิดมาจากหุ่นยนต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรม

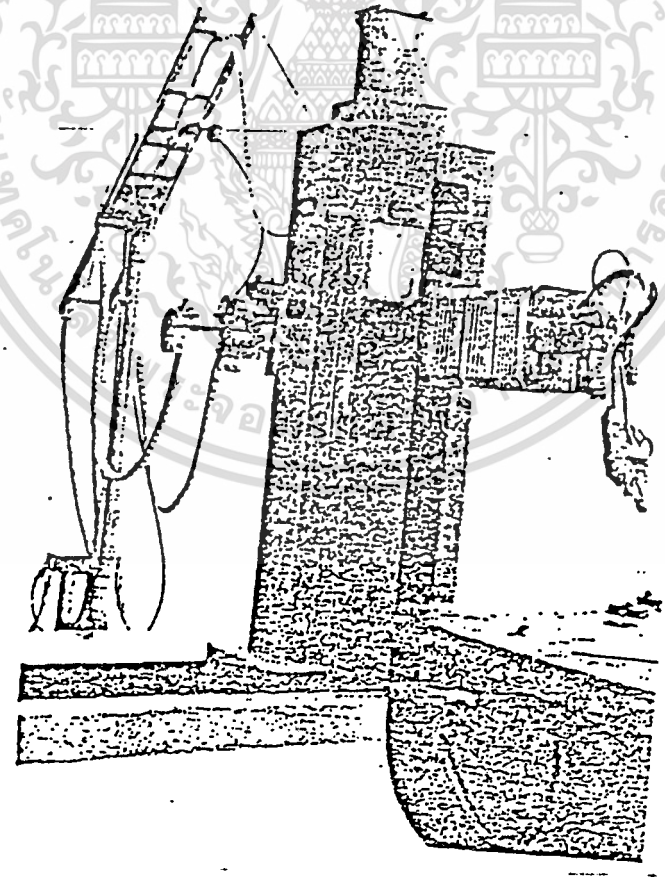


รูปที่ 1.1 ตัวอย่างแขนกลที่ใช้ในขบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 อินทาลิเจนท์ โรบอต (Intelligent Robot) ที่มีตัวตรวจจับสัญญาณ



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างแขนกลที่ใช้ในงานเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำว่าหุ่นยนต์มีที่มาจากละครของ คาเรล กาเปค ที่ชื่อว่า รอสซัมส ยูนิเวอร์แซว โรบอต ซึ่งเปิดแสดงที่ประเทศฝรั่งเศสในทศวรรษที่ 1920 ซึ่งในละครนั้นมีสิ่งประดิษฐ์โดยมนุษย์ตัวเล็ก ๆ ที่เชื่อฟังคำสั่งอย่างเข้มงวด และมีชื่อว่า "โรโบต้า" (Robota) ซึ่งเป็นภาษารัสเซีย หมายความว่า "ทำงาน"

โครงงานนี้จะเป็นการออกแบบ และ สร้างแขนกล ซึ่งแขนหลัก 2 ท่อนจะถูกควบคุมด้วยระบบนิวเมติก ส่วนที่ปลายของแขนจะถูกควบคุมด้วย ดี.ซี.มอเตอร์ และที่ฐานสามารถหมุนได้โดยใช้ดี.ซี.มอเตอร์ และเฟืองตรงทดรอบเพื่อให้สามารถหมุนได้ตามต้องการ การเคลื่อนที่ของแขนกลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.5

1.1 วัตถุประสงค์

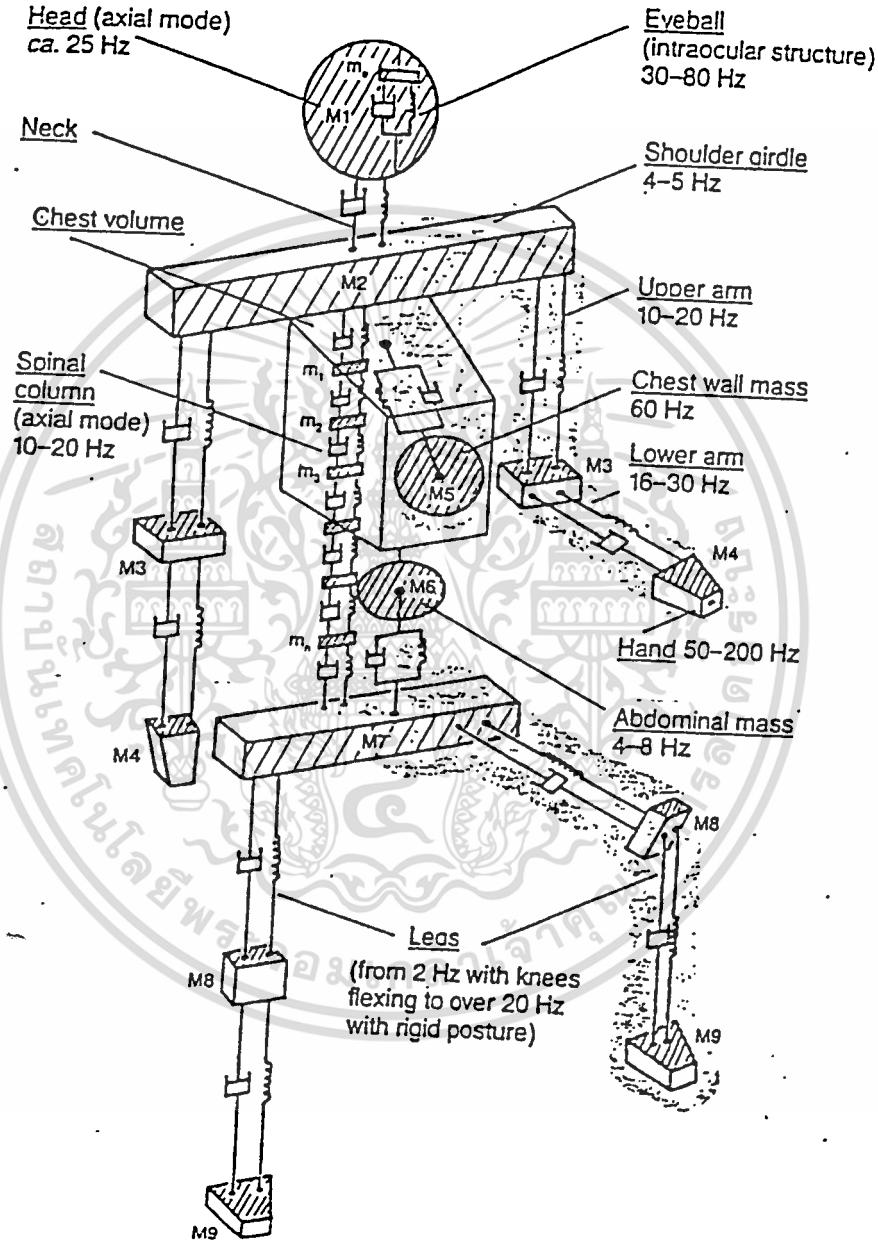
1.1.1 เพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องทุ่นแรงในงานด้านการเกษตร เช่น ถ้าต้องการพ่นยาก็นำหัวฉีดพ่นยามาติดเข้ากับที่ปลายของแขน หรือถ้าต้องการทำการตัดแต่งกิ่งไม้ก็นำกรรไกรตัดแต่งกิ่งไม้มาติดตั้งไว้ที่ปลายแขน เนื่องจากที่ปลายแขนสามารถถอดเปลี่ยนอุปกรณ์

1.1.2 เพื่อให้เกษตรกรสามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย

1.1.3 ออกแบบให้มีการควบคุมแบบง่ายๆ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

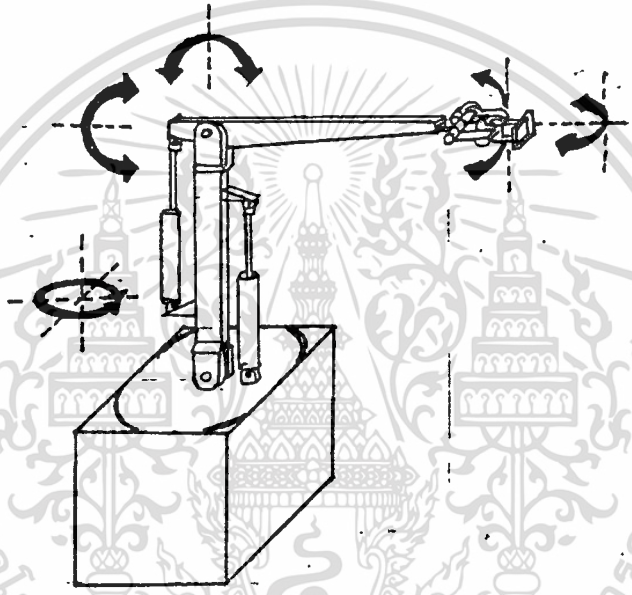
1.1.4 สามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในงานด้านอื่นๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงระบบทางกลศาสตร์ซึ่งสามารถแทน
จลศาสตร์กายภาพของมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 แสดงการเคลื่อนที่ของแขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และ หลักการ

2.1 นิยามของหุ่นยนต์

ในปัจจุบันเรามีนิยามที่เกี่ยวกับหุ่นยนต์มากมายหลายนิยาม ซึ่งผู้ผลิตและผู้ใช้ยอมรับนิยามบางตัวเท่านั้น แต่ไม่มีนิยามใดได้รับการยอมรับว่าเป็นมาตราฐาน ดังนั้นจึงมีหลายสมาคมพยายามที่จะตั้งนิยามของหุ่นยนต์ขึ้น เช่น

สมาคมหุ่นยนต์แห่งประเทศอังกฤษ กำหนดนิยามของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมไว้ว่า

"หุ่นยนต์ คือ อุปกรณ์ที่มีอย่างน้อย 4 องศาแห่งอิสระ ที่สามารถโปรแกรมใหม่ได้ ซึ่งได้รับการออกแบบมาสำหรับการจับย้ายและขนส่ง ชิ้นส่วนเครื่องมือหรือส่วนประกอบพิเศษ โดยการอาศัยการเคลื่อนที่ที่ได้รับการโปรแกรมไว้สำหรับงานเฉพาะอย่าง และโปรแกรมนี้ยังสามารถเปลี่ยนแปลงได้"

สิ่งหนึ่งที่สำคัญมากในการกำหนดนิยามของ สมาคมหุ่นยนต์แก่งประเทศอังกฤษ คือ สิ่งที่เป็นหุ่นยนต์จะต้องมี 4 องศาแห่งอิสระเป็นอย่างน้อย

สถาบันทางหุ่นยนต์ของอเมริกา (America) ให้นิยามว่า

"หุ่นยนต์ เป็นมือจับ หลายหน้าที่การทำงาน ที่สามารถโปรแกรมใหม่ได้ ได้รับการออกแบบเพื่อการเคลื่อนย้ายวัสดุ ชิ้นส่วน เครื่องมือ หรือ อุปกรณ์พิเศษโดยอาศัยการเคลื่อนที่ที่ได้รับการโปรแกรมไว้ใช้งานเฉพาะอย่าง"

นิยามของสถาบันทางหุ่นยนต์ของอเมริกานี้ได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลายในฐานะที่เป็นนิยามของหุ่นยนต์อุตสากรรม

สมาคมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแห่งประเทศญี่ปุ่น และ คณะกรรมการมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศญี่ปุ่น ให้นิยามหุ่นยนต์ในระดับต่าง ๆ ว่า

แขนจับ : เครื่องจักรซึ่งมีหน้าที่การทำงานคล้ายคลึงกับส่วนที่เหนือเอวของมนุษย์ขึ้นมา และสามารถเคลื่อนย้ายวัตถุจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้

หุ่นยนต์ที่ทำงานตามที่กำหนด : มือจับที่สามารถทำงานได้โดยการอ่านข่าวสารซึ่งสามารถจดจำได้สำหรับการทำงานเป็นลำดับขั้น หรือรวมทั้งการที่มันเรียนรู้จากการที่เราสั่งงานด้วยมือ

หุ่นยนต์ที่มีไหวพริบ : หุ่นยนต์ที่สามารถกำหนดพฤติกรรมและการปฏิบัติของตัวเองได้ โดยผ่านทางตัวรับความรู้สึก และหน่วยความจำของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่ว ๆ ไปสิ่งที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นหุ่นยนต์นั้น จะต้องตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่รับมาจากสิ่งแวดล้อมได้ หุ่นยนต์สามารถเข้าใจในผลตอบสนองได้ถึงแม้ว่าจะมองไม่เห็นก็ตาม เพื่อความกระจ่างว่าอะไรคือลักษณะธรรมชาติที่แท้จริง เราจะแยกหน้าที่การทำงานของหุ่นยนต์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ การรับความรู้สึก ทำการตัดสินใจ และ กระทำตามที่ตัดสินใจ

2.2 ลักษณะของแขนมนุษย์

ในเมื่อเราต้องการที่จะสร้างแขนกลให้มีคุณลักษณะเหมือนแขนมนุษย์ เราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาโครงสร้างและลักษณะการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์ก่อน

แขนของมนุษย์ประกอบด้วยส่วน 2 ส่วนที่เห็นแยกกันอย่างชัดเจน คือ ส่วนที่เป็นข้อมือ ซึ่งมีข้อต่อหลักอยู่ 3 ข้อต่อ และอีกส่วนคือแขน ซึ่งมีข้อต่อหลักอยู่ 2 ข้อต่อ (หัวไหล่และข้อศอก) ก่อนอื่นเรามาดูที่ส่วนแรกก่อน ข้อมือของมนุษย์มีลักษณะดังต่อไปนี้

การหมุนข้อมือ สามารถหมุนได้ -180 <> 0 <> +90 = 270

การพับข้อมือ สามารถหมุนได้ -90 <> 0 <> +50 = 140

การบิดข้อมือ สามารถหมุนได้ -45 <> 0 <> +15 = 60

การเคลื่อนที่ของข้อมือทั้ง 3 แบบ มีการเคลื่อนที่ที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นเราจึงให้การเคลื่อนที่แต่ละแบบเป็น 1 องศาแห่งอิสระ

ส่วนที่สองคือ แขน ประกอบด้วยข้อต่อหลัก 2 ข้อต่อ แต่มี 3 องศาแห่งอิสระคือ 2 องศาแห่งอิสระที่หัวไหล่ และอีก 1 องศาแห่งอิสระที่ข้อศอก แต่หัวไหล่ของแขนกลจะมีเพียง 1 องศาแห่งอิสระ ลักษณะหนึ่งที่สำคัญของโครงสร้างของแขน คือ แขนท่อนล่างจะต้องสั้นกว่าแขนท่อนบน ถ้าเราออกแบบให้แขนท่อนล่างยาวกว่าแขนท่อนบน จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแขนกลลดลง

2.3 การแบ่งประเภทของแขนกล

เราสามารถแบ่งประเภทของแขนกลโดยพิจารณาจากพื้นฐานใหญ่ ๆ ดังนี้

2.3.1 โครงสร้างภายนอกและการเคลื่อนที่ของแขนกล

2.3.2 ทางเดินของแขนกลซึ่งขึ้นอยู่กับการควบคุมการเคลื่อนที่

2.3.3 ประสิทธิภาพในการทำงานของแขนกล

การพิจารณาแบ่งประเภทของแขนกลในชั้นนี้ เราจะอาศัยเฉพาะพื้นฐานข้อ 2.3.1 และ ข้อ 2.3.2 เท่านั้น แม้ว่าพื้นฐานข้อ 2.3.3 จะมีความสำคัญมากที่สุดแต่จะต้องอาศัยความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รู้ทางด้านคีเนเมติก (Kenamatic) และ จลศาสตร์ชั้นสูงซึ่งยากต่อการทำความเข้าใจ การแบ่งประเภทแขนกลในระดับจึงจะไม่นำพื้นฐานข้อ 2.3.3 มาพิจารณา

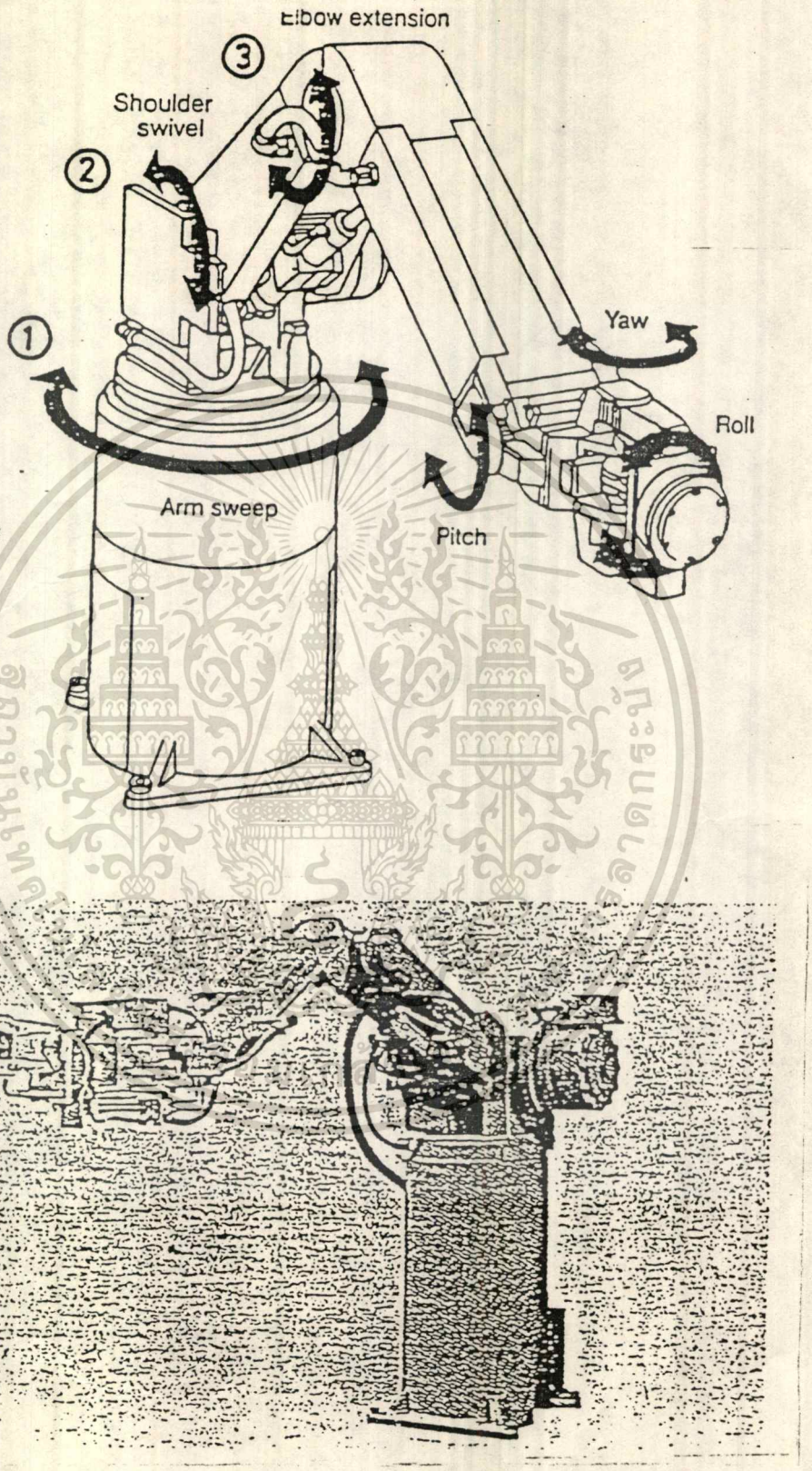
2.4 การแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยการเคลื่อนที่และโครงสร้างภายนอก

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยการเคลื่อนที่และโครงสร้างภายนอก เราจะต้องเข้าใจถึงการเคลื่อนที่ของแขนกลเสียก่อน แขนกลมีการเคลื่อนที่อยู่ 3 แบบ แบบแรกคือการหมุนรอบแกนลองกิจูด(longitude)ของตัวเชื่อม ระหว่างข้อต่อ 2 ข้อต่อ แบบที่ 2 คือการหมุนข้อต่อรอบแกนนอน แบบที่ 3 คือการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงในทิศทางของแกนลองกิจูดอาจยืดออกไปเฉพาะบางส่วนหรือโครงสร้างทั้งหมด หากเราแบ่งประเภทของแขนกลตามการเคลื่อนที่ของข้อต่อ จะสามารถแบ่งแขนกลเป็นแบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.4.1 แขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์
2.4.2 แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกลม
2.4.3 แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก
2.4.4 แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดเลื่อน
2.4.5 แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดมีโครง
2.4.6 แขนกลแบบผสม

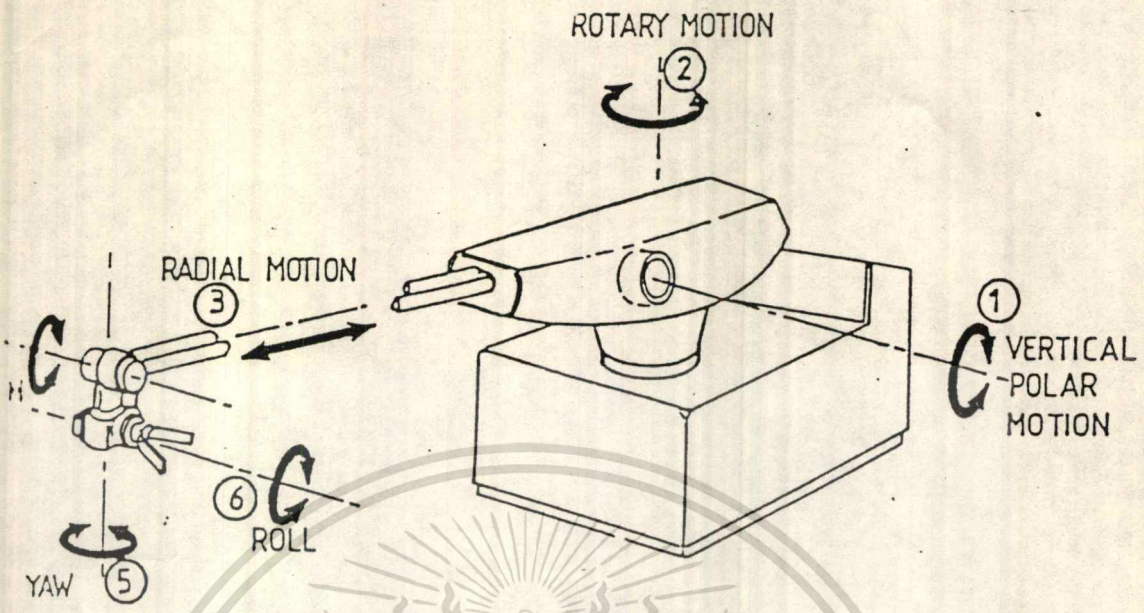
แขนกลแต่ละแบบจะแสดงไว้ดังรูปต่อไปนี้

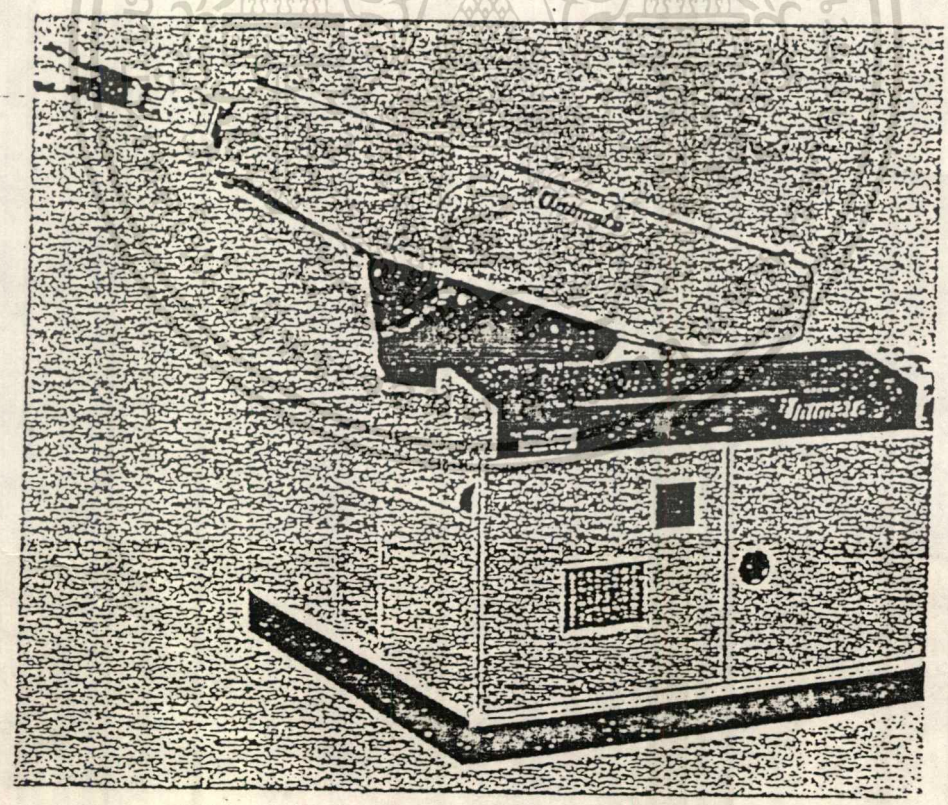
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์
(Cincinati Milacron T^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

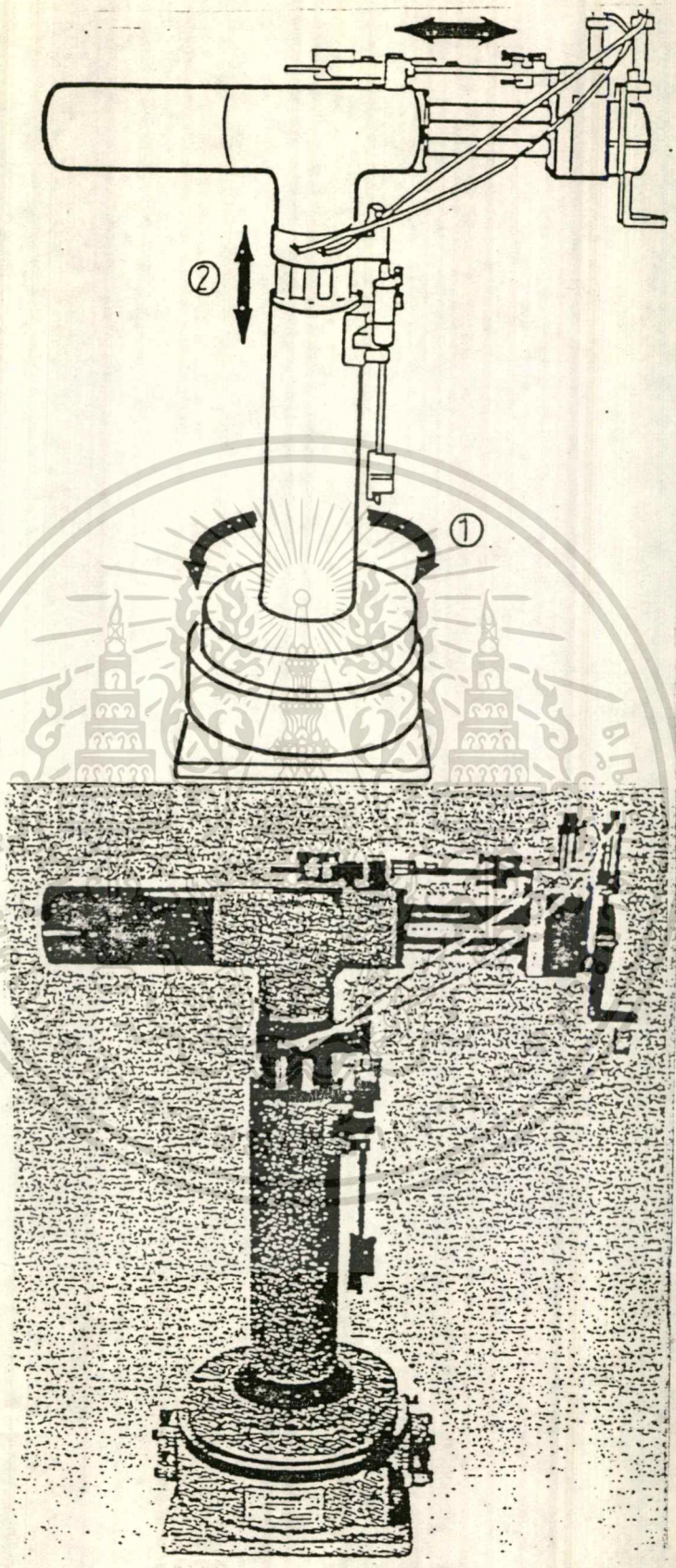




รูปที่ 2.2 แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

(Unimate 2000)

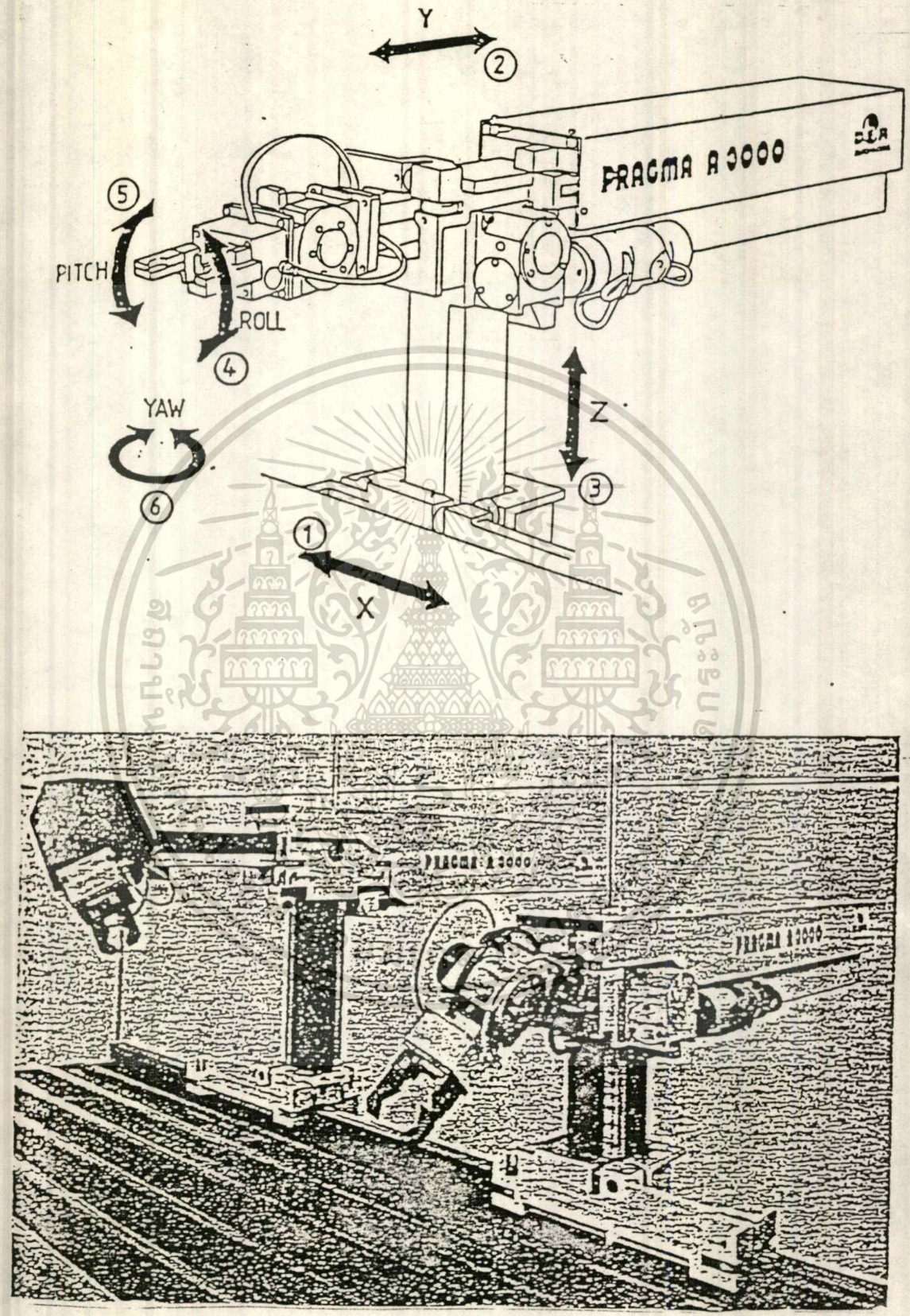
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก

(Paterson Wiper 2500)

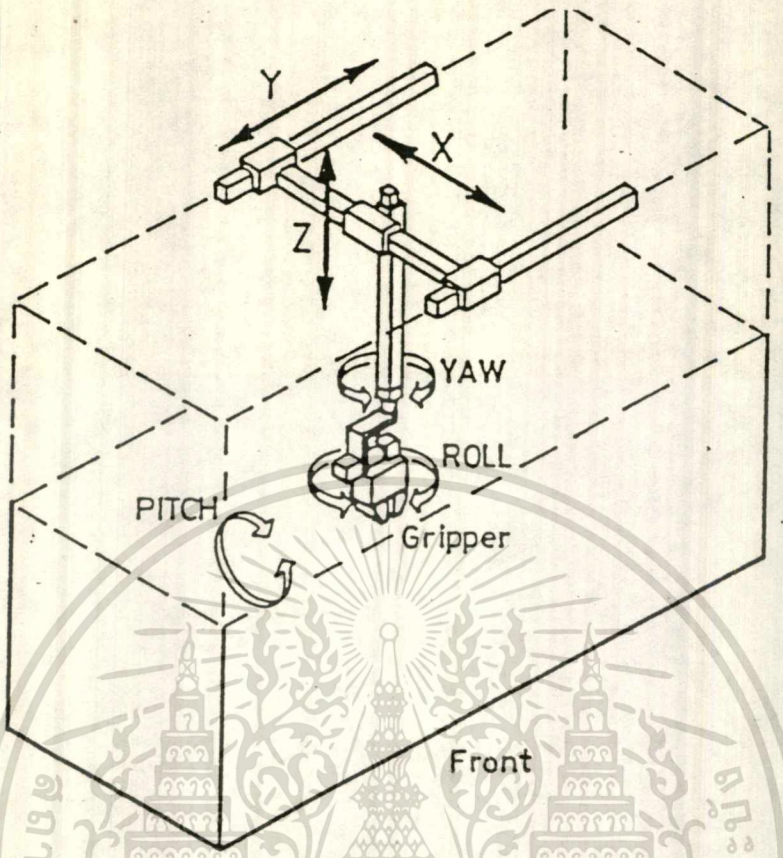
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

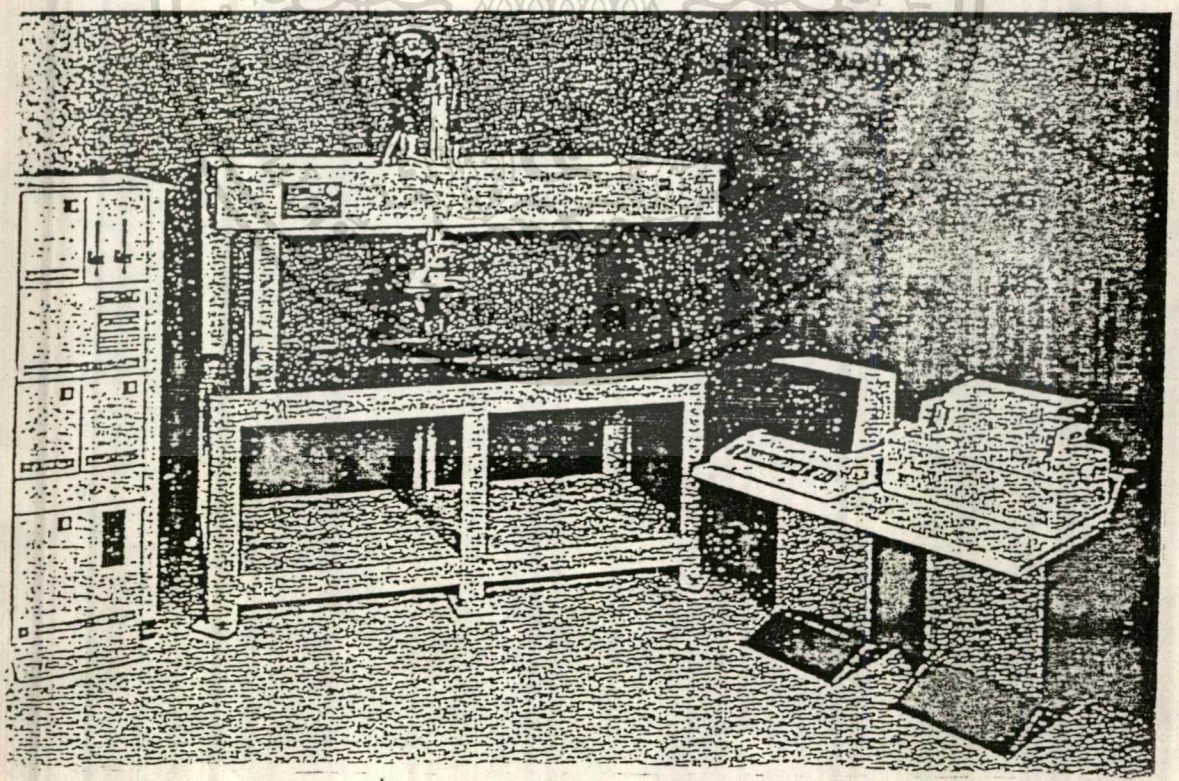


รูปที่ 2.4 แขนกลแบบคาร์ทีเซี่ยนชนิดเลื่อน

(Pragma A300 DER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

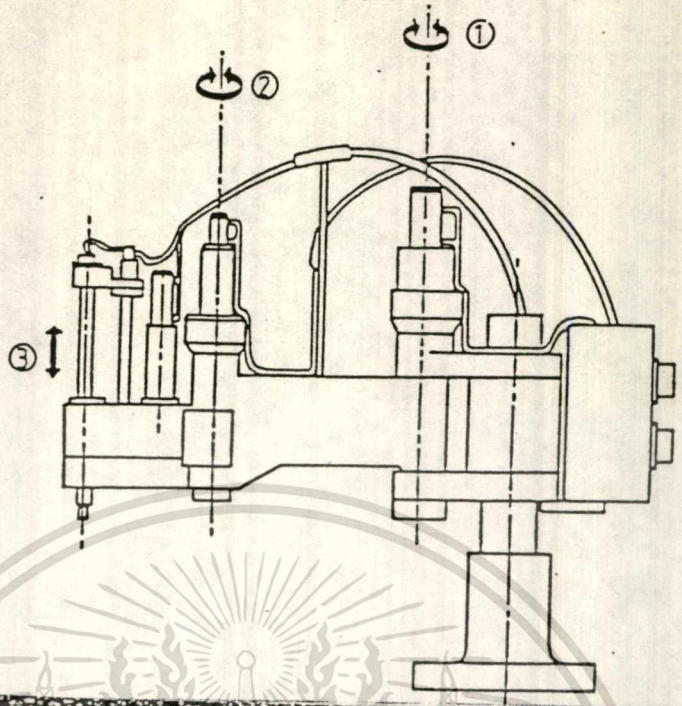


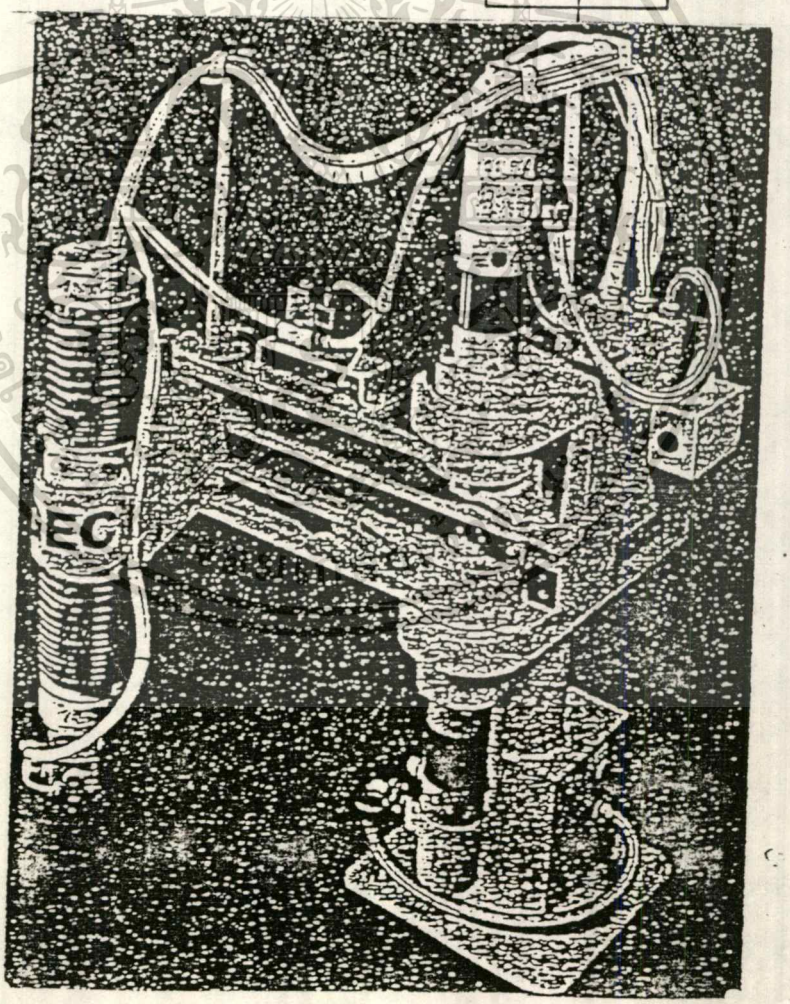


รูปที่ 2.5 แขนกลแบบคาร์ทีเซี่ยนชนิดมีโครง

(IBM 7565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.6 แขนกลแบบผสม (GEC A3020, Selective Compliance Assembly Robot Arm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การแบ่งประเภทของแขนกลโดยทางเดินของแขนกล

การควบคุมทางเดินของแขนกลแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ

2.5.1 การควบคุมแบบจุด

2.5.2 การควบคุมแบบต่อเนื่อง

การควบคุมแบบจุด แขนกลจะได้รับการตั้งโปรแกรมให้หยุดที่จุดใดจุดหนึ่งและใช้จุดนั้นในการกำหนดจุดที่ต้องการให้หยุดจุดต่อไป แม้ว่าจะไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ระหว่างจุดให้อยู่ในระหว่างเส้นทางที่ต้องการ แต่การเคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนดก็ยังถูกต้องตามที่กำหนด ในทางตรงข้ามแขนกลที่ควบคุมแบบต่อเนื่อง จะสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

การควบคุมแบบจุดจะมีความแม่นยำสูงมากทั้งในแง่ความเที่ยงตรง และการทำงานซ้ำ ๆ แม้ว่าการควบคุมแบบต่อเนื่องจะเคลื่อนไหวได้นุ่มนวลมากกว่าในเส้นทางที่ได้ระบุได้ แต่ก็มีข้อเสียในด้านความเร็ว ซึ่งเป็นฟังก์ชัน(function)ของจังหวะการเคลื่อนที่ที่คำนวณโดยคอมพิวเตอร์ในลักษณะเวลาจริง ข้อเสียนี้จะทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องลดลงถึง 15 - 25 % และประสิทธิภาพการทำงานจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแขนกลตัวเดียวกันที่ควบคุมแบบจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบโครงสร้างของแขนกล

ในการออกแบบโครงสร้างของแขนกล สามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ซึ่งประกอบด้วย

3.1 ลักษณะโครงสร้างของแขนกล

3.2 แนวทางการเคลื่อนที่ของแขนกล

3.3 วงจรนิวเมติกที่ใช้ในการควบคุมแขนท่อนล่าง และแขนท่อนบน

3.4 การควบคุมส่วนปลายของแขนกล

3.5 การควบคุมการหมุนที่ฐานของแขนกล

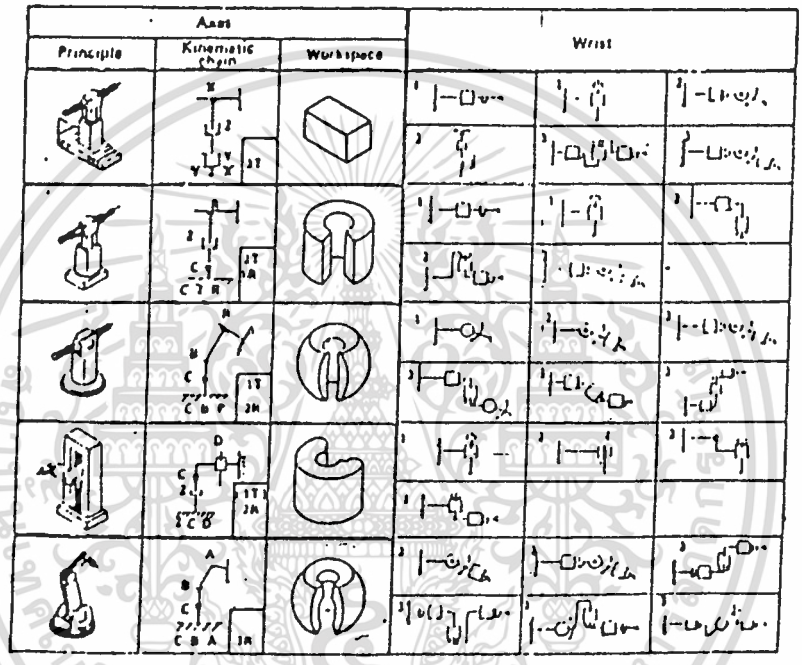
3.1 ลักษณะโครงสร้างของแขนกล

การออกแบบแขนกลนั้น จะต้องรู้ถึงลักษณะการทำงานและหน้าที่ที่ใช้งานก่อนจึงจะสามารถออกแบบได้ และโครงงานนี้ต้องการออกแบบให้แขนกลมีการเคลื่อนที่เป็นทรงกลมเพื่อที่จะได้สามารถทำการพ่นยา หรือตัดแต่งกิ่งต้นไม้ได้ทั่วถึง เนื่องจากการทำงานเป็นไปตามแบบที่กล่าวไว้ จึงเลือกลักษณะโครงสร้างของแขนกลแบบสุดท้าย ซึ่งมีพื้นที่การทำงานดังรูปที่ 3.1

3.2 แนวทางการเคลื่อนที่ของแขนกล

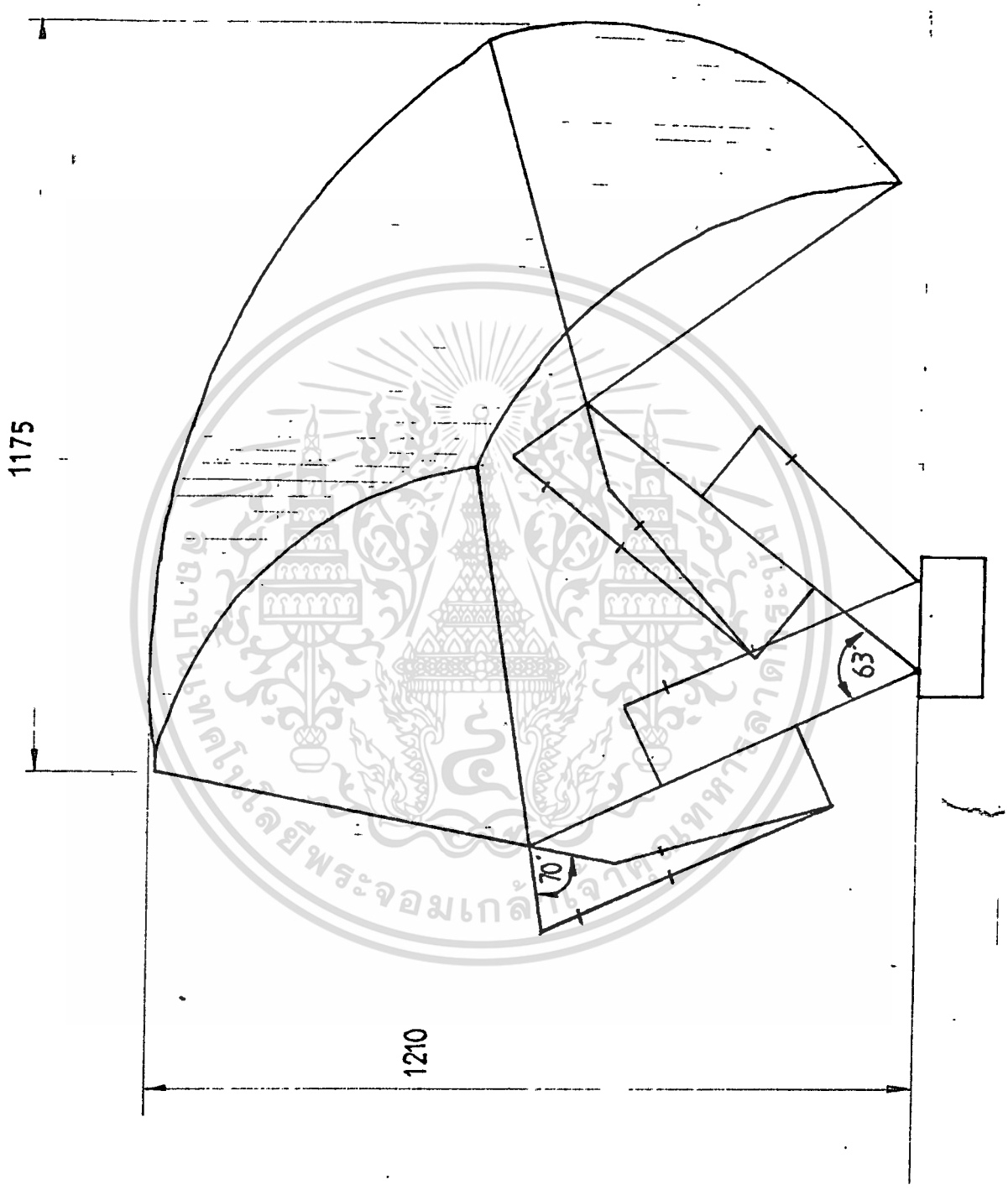
การออกแบบแขนกล จะต้องกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนขึ้นมาเพื่อให้แขนกลสามารถทำงานได้ตามความมุ่งหมาย และแนวทางการเคลื่อนที่ที่กำหนดขึ้นมรนี้จะต้องพิจารณาดูแล้วว่า เมื่อสร้างขึ้นมาแล้วจะสามารถทำงานได้จริง โครงงานนี้จะกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนกลดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ตารางแสดงโครงสร้าง และพื้นที่การทำงานของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรนิวเมติกที่ใช้ในการควบคุมแขนท่อนล่าง และแขนท่อนบน

วงจรนิวเมติกที่ใช้ในการควบคุมแขนท่อนล่างและแขนท่อนบนนี้จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆคือ กระบอกสูบ 2 อัน และโซลินอย์ดวาล์ว(solinoid valve) 5/3 ซึ่งกระบอกสูบแต่ละกระบอกจะติดอยู่ที่โคนของท่อนแขนแต่ละท่อน เมื่อต้องการให้แขนท่อนใดเคลื่อนที่ก็กดสวิตช์ที่ใช้ควบคุมแขนท่อนนั้น สัญญานไฟฟ้าจะถูกส่งไปที่โซลินอย์ดวาล์ว5/3 เพื่อบังคับให้กระบอกสูบเคลื่อนที่เพื่อที่จะทำให้แขนท่อนที่สวิตช์นั้นควบคุมอยู่เคลื่อนที่ตามที่ผู้ใช้ต้องการ วงจรนิวเมติกที่ใช้ในการควบคุมแขนท่อนล่างและแขนท่อนบนจะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.3

3.4 การควบคุมส่วนปลายของแขนกล

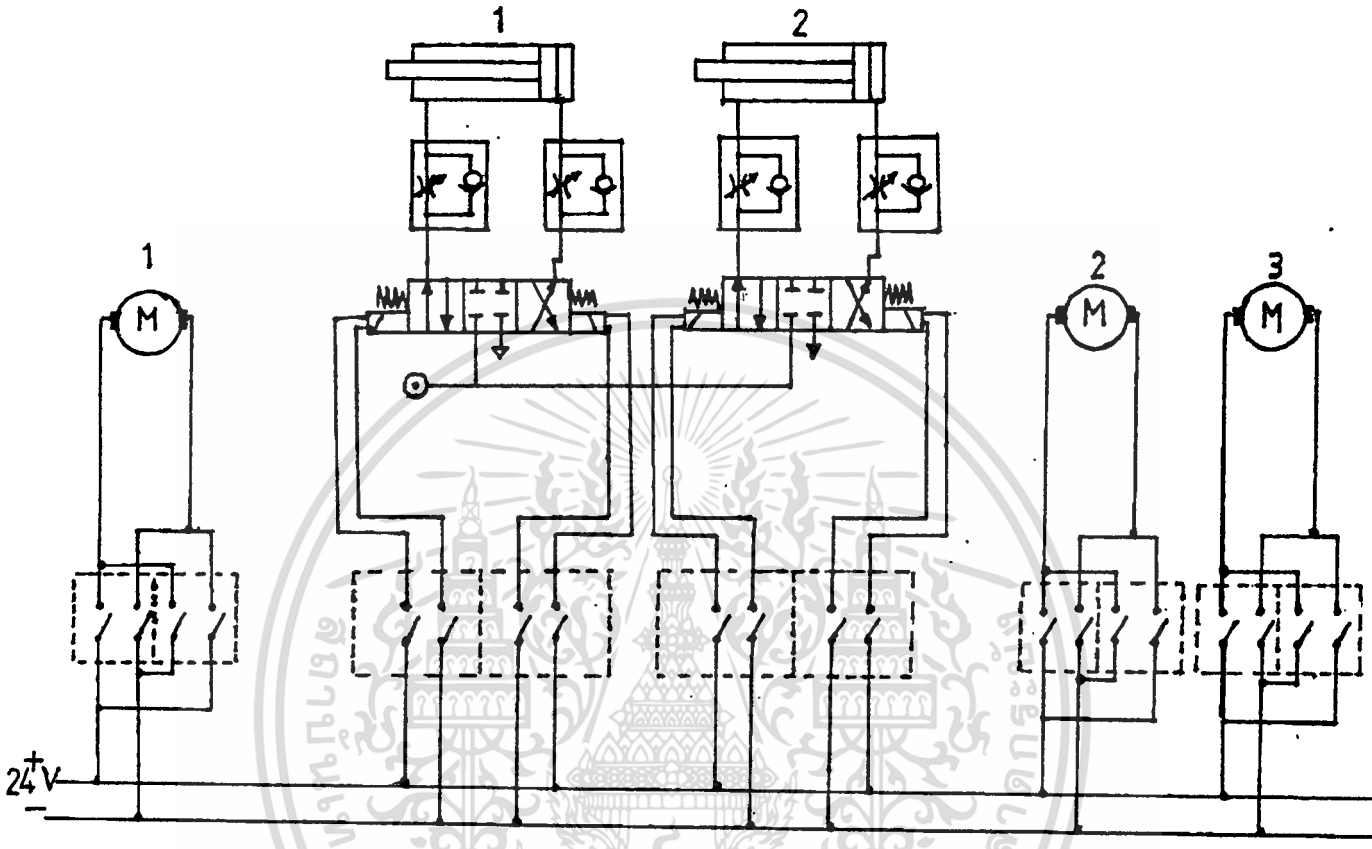
ส่วนปลายของแขนกลจะถูกควบคุมโดย ดี.ซี.มอเตอร์ 2 ตัว โดยที่มอเตอร์ตัวหนึ่งจะใช้ควบคุมให้ปลายของแขนกลเคลื่อนที่ไปทางซ้าย หรือ ขวา ส่วนมอเตอร์อีกตัวหนึ่งจะถูกใช้ควบคุมให้ปลายของแขนกลเคลื่อนที่ขึ้น หรือ ลง ซึ่งสามารถเขียนไดอะแกรม(diagram) การทำงานได้ดังรูปที่ 3.3

3.5 การควบคุมการหมุนที่ฐานของแขนกล

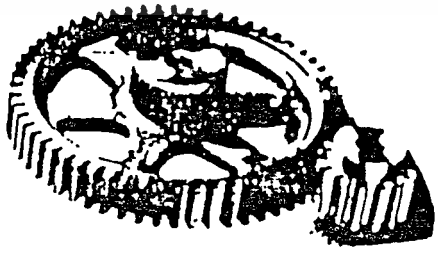
โครงงานออกแบบให้ที่ฐานของแขนกลสามารถหมุนได้โดยอาศัย ดี.ซี.มอเตอร์เป็นตัวขับให้เฟืองหมุน และเฟืองจะเป็นตัวขับให้ฐานของแขนกลหมุน เฟืองที่ใช้ในการส่งกำลังนี้เป็นเฟืองตรงที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.4 จากหลักการดังกล่าวสามารถออกแบบระบบส่งกำลังของมอเตอร์ที่ฐานของแขนกลได้ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

036959

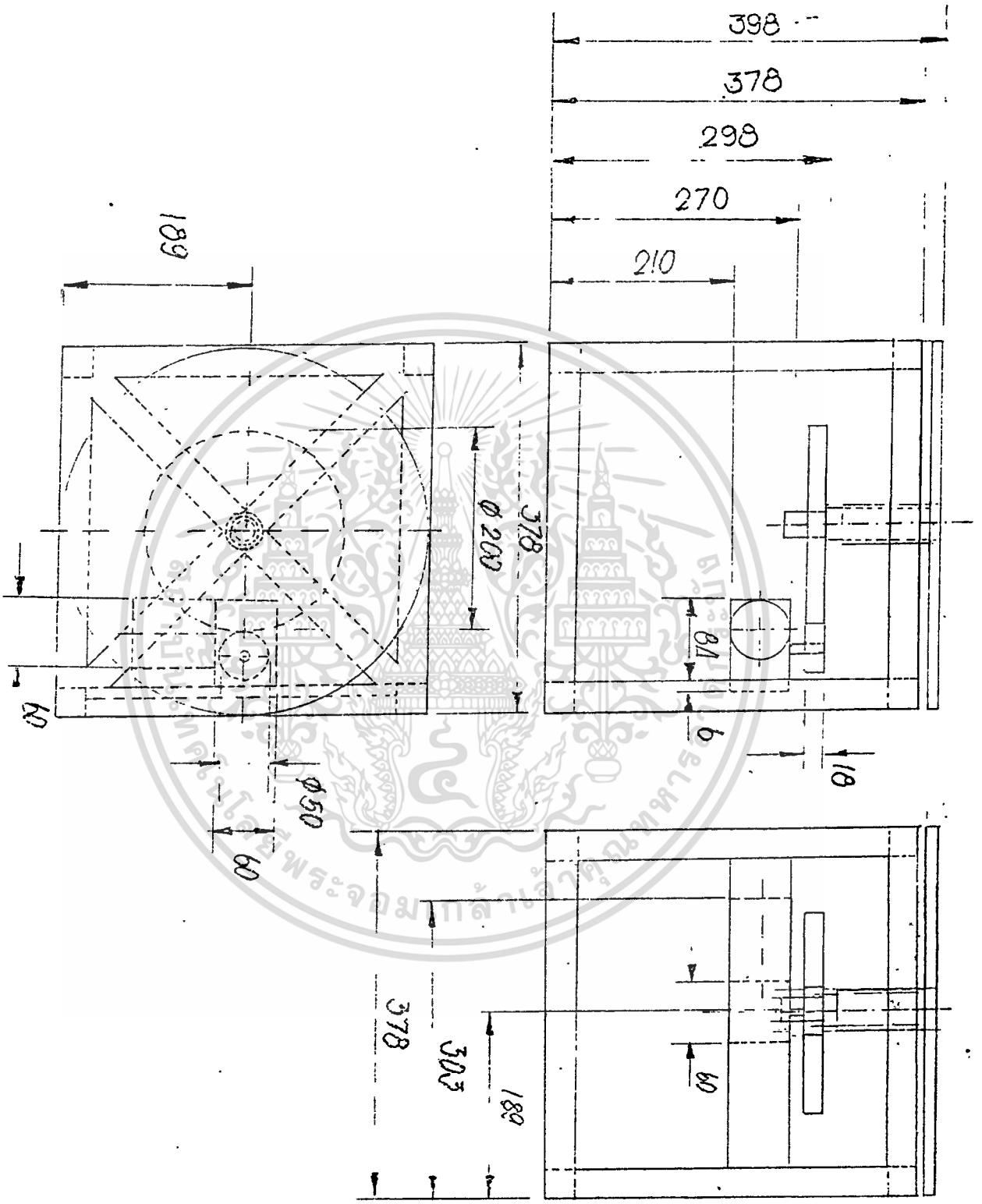


รูปที่ 3.3 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของแขนกล



รูปที่ 3.4 ระบบเฟืองที่ใช้การส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ระบบส่งกำลังที่ฐานของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบส่วนต่าง ๆ ของแขนกล

การออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อสร้างแขนกล สามารถทำได้ดังนี้

4.1 การกำหนดขนาดของกระบอกสูบที่ใช้ควบคุมแขนท่อนล่าง และแขนท่อนบน

4.2 การกำหนดขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมส่วนปลายของแขน

4.3 การคำนวณขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการหมุนที่ฐานของแขนกล

4.1 การกำหนดขนาดของกระบอกสูบที่ใช้ควบคุมแขนท่อนล่าง และแขนท่อนบน

การกำหนดขนาดของกระบอกสูบนั้น เพื่อเป็นการง่ายจึงต้องทำการเลือกขนาดกระบอกสูบขึ้นมาก่อน แล้วมาคำนวณดูว่ากระบอกสูบที่เลือกมานี้สามารถทนแรงที่กระทำต่อกระบอกสูบได้หรือไม่

การหาขนาดของกระบอกสูบนี้ทำโดยการเลือกกระบอกสูบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 32 มม. ความดันใช้งาน 5 บาร์ (bar) ตารางที่ 4.1 เป็นตารางแสดงค่าแรงดึง และแรงดันของกระบอกสูบตามอัตราการทำงาน 80 % จากตารางนี้จะเห็นได้ว่ากระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มม. ความดันใช้งาน 5 บาร์ ที่เลือกไว้นั้นสามารถทนแรงดันได้ถึง 32 kg และทนแรงดึงได้ถึง 27 kg เมื่อเลือกกระบอกสูบแล้วจะต้องคำนวณดูว่ากระบอกสูบที่เลือกมานั้นสามารถนำมาใช้งานได้หรือไม่

การคำนวณดูว่ากระบอกสูบที่เลือกมาสามารถใช้งานได้หรือไม่นั้นจะต้องแยกพิจารณาที่ละแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนกล ถ้าในทุกแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนกลมีแรงที่มากระทำที่กระบอกสูบน้อยกว่าค่าแรงดัน และแรงดึงมาตราฐานที่กำหนดไว้ในตารางก็สามารถใช้กระบอกสูบที่เลือกมาได้ จากรูปแนวทางการเคลื่อนที่ในบทที่ 3 นั้นจะเห็นว่าแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่ทั้งหมด 4 แนว เพราะฉะนั้นสามารถแสดงการคำนวณแรงที่กระบอกสูบจะได้รับได้ดังนี้

<u>ข้อมูลจากการออกแบบโครงสร้างของแขนกลในบทที่ 3</u>

แขนท่อนบนหนัก 3.5 ก.ก. และมีความยาว 730 ม.ม.

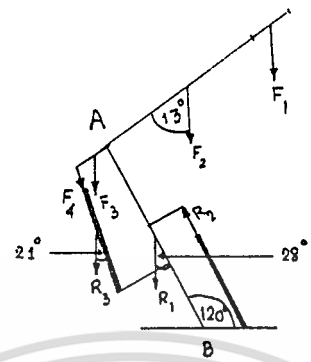
แขนท่อนล่างหนัก 4 ก.ก. และมีความยาว 664 ม.ม.

ปลายแขนหนัก 1.5 ก.ก. และมีความยาว 150 ม.ม.

กระบอกสูบหนัก 1 ก.ก. และมีความยาว 276 ม.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาแนวทางการเคลื่อนที่ที่ 1



กำหนดให้ $F_1 = 1.5$ ก.ก. ; $F_2 = 2.83$ ก.ก. ; $F_3 = 0.67$ ก.ก.

$R_3 = 1$ ก.ก. ; $R_1 = 4$ ก.ก.

(ค่า F_2, F_3 คิดจาก แขนท่อนบนยาว 730 มม. หนัก 3.5 ก.ก. เพราะฉะนั้นถ้าแขนท่อนบนยาว 590 มม. จะได้ว่า $F_2 = 2.83$ ก.ก. การคิดแรง F_3 ก็คิดเช่นเดียวกัน)

พิจารณาแขนท่อนบน

หมุนรอบจุด A (Take Moment ที่จุด A)

$$665F_1\sin 13 + 295F_2\sin 13 = 70F_3\sin 13 + 140F_4\sin 35$$

$$665*1.5\sin 13 + 295*2.83\sin 13 = 70*0.67\sin 13 + 140F_4\sin 35$$

$$F_4 = 5.00 \text{ ก.ก. (แรงดึง)}$$

พิจารณาแขนท่อนล่าง

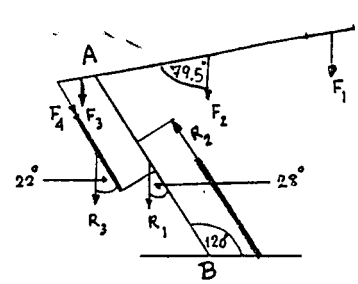
หมุนรอบจุด B (Take Moment ที่จุด B)

$$120R_3\sin 59 + 40F_3\sin 60 + 140R_2 + 332R_1\sin 28 = 210F_2\sin 60 + 475F_1\sin 60$$

$$120*1\sin 59 + 40*0.67\sin 60 + 140R_2 + 332*4\sin 28 = 210*2.83\sin 60 + 475*1.5\sin 60$$

$$R_2 = 2.73 \text{ ก.ก. (แรงดัน)}$$

พิจารณาแนวทางการเคลื่อนที่ที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $F_1 = 1.5$ ก.ก. ; $F_2 = 2.83$ ก.ก. ; $F_3 = 0.67$ ก.ก.

$R_1 = 4$ ก.ก. ; $R_3 = 1$ ก.ก.

พิจารณาแขนท่อนบน

หมุนรอบจุด A

$$140F_4\sin 70 + 70F_3\sin 79.5 = 295F_2\sin 79.5 + 665F_1\sin 79.5$$

$$140F_4\sin 70 + 70*0.67\sin 79.5 = 295*2.83\sin 79.5 + 665*1.5\sin 79.5$$

$$F_4 = 13.34 \text{ ก.ก. (แรงดึง)}$$

พิจารณาแขนท่อนล่าง

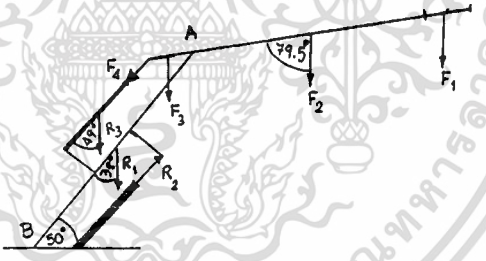
หมุนรอบจุด B

$$140R_3\sin 58 + 65F_3\sin 60 + 140R_2 + 332R_1\sin 28 = 285F_2\sin 60 + 640F_1\sin 60$$

$$140*1\sin 58 + 65*0.67\sin 60 + 140R_2 + 332*4\sin 28 = 285*2.83\sin 60 + 640*1.5\sin 60$$

$$R_2 = 7.68 \text{ ก.ก. (แรงดัน)}$$

พิจารณาแนวทางการเคลื่อนที่ที่ 3



กำหนดให้ $F_1 = 1.5$ ก.ก. ; $F_2 = 2.83$ ก.ก. ; $F_3 = 0.67$ ก.ก.

$R_1 = 4$ ก.ก. ; $R_3 = 1$ ก.ก.

พิจารณาแขนท่อนบน

หมุนรอบจุด A

$$665F_1\sin 79.5 + 295F_2\sin 79.5 = 70F_3\sin 79.5 + 140F_4\sin 32$$

$$1.5\sin 60 + 295*2.83\sin 60 = 70*0.67\sin 60 + 140F_4\sin 32$$

$$F_4 = 23.66 \text{ ก.ก. (แรงดึง)}$$

พิจารณาแขนท่อนล่าง

หมุนรอบจุด B

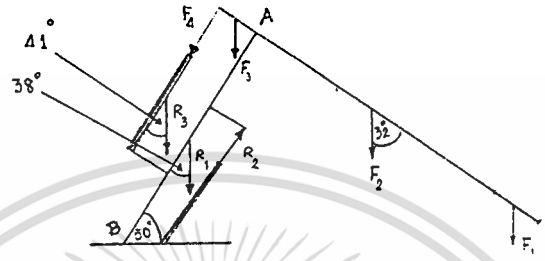
$$120R_3\sin 49 + 40F_3\sin 50 + 140R_2\sin 83 = 332R_1\sin 38 + 190F_2\sin 50 + 435F_1\sin 50$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$120*1\sin 49 + 40*0.67\sin 50 + 140R_2\sin 83 = 332*4\sin 38 + 190*2.83\sin 50 + 435*1.5\sin 50$

$R_2 = 11.65$ ก.ก. (แรงดัน)

พิจารณาแนวทางการเคลื่อนที่ที่ 4



กำหนดให้ $F_1 = 1.5$ ก.ก. ; $F_2 = 2.83$ ก.ก. ; $F_3 = 0.67$ ก.ก.

$R_1 = 4$ ก.ก. ; $R_3 = 1$ ก.ก.

พิจารณาแขนท่อนบน

หมุนรอบจุด A

$140F_4\sin 72 + 70F_3\sin 32 = 295F_2\sin 32 + 665F_1\sin 32$

$140F_4\sin 72 + 70*0.67\sin 32 = 295*2.83\sin 32 + 665*1.5\sin 32$

$F_4 = 7.11$ ก.ก. (แรงดึง)

พิจารณาแขนท่อนล่าง

หมุนรอบจุด B

$135R_3\sin 49 + 60F_3\sin 50 + 140R_2\sin 83 = 332R_1\sin 38 + 640F_1\sin 50 + 280F_2\sin 50$

$135*1\sin 49 + 60*0.67\sin 50 + 140R_2\sin 83 = 332*4\sin 38 + 640*1.5\sin 50 + 280*2.83\sin 50$

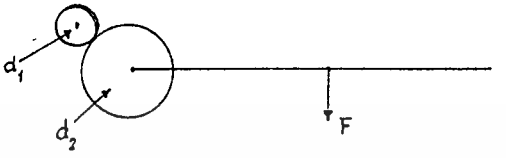
$R_2 = 14.59$ ก.ก. (แรงดัน)

จากการคำนวณข้างต้นนี้จะเห็นได้ว่าแรงที่กระทำที่กระบอกสูบนั้นมีค่าต่ำกว่าค่ามาตราฐานที่กำหนดไว้สำหรับกระบอกสูบที่เลือกมาใช้งาน แรงจากแขนกลที่กระทำที่กระบอกสูบจะได้เป็นแรงดัน และแรงดึงค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ และแรงดัน แรงดึง ที่คำนวณออกมาได้นี้มีค่าต่ำกว่าที่ตารางที่กำหนดไว้ เพราะฉะนั้นกระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มม. ความดันใช้งานที่ 5 บาร์ ที่ลองเลือกเอาไว้ตอนแรกนั้นใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การกำหนดขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมส่วนปลายของแขนกล

จากการออกแบบโครงสร้างของแขนกลที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ที่ส่วนปลายของแขนกลสามารถเขียนเป็นรูปง่าย ๆ เพื่อที่จะนำมาคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ และเฟืองได้ดังรูป



<u>กำหนดให้</u> ความเร็วรอบที่ปลายของแขนกลเป็น 20 รอบ/นาที (n)
น้ำหนักตรงส่วนปลายเท่ากับ 1.5 ก.ก. (m)
เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตัวเล็ก 16 ม.ม. (d_1)
เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตัวใหญ่ 43 ม.ม. (d_2)

เนื่องจากที่ส่วนปลายของแขนจะหมุนไป ซ้าย-ขวา และเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง ในแนวดิ่ง จะต้องใช้มอเตอร์ขับ 2 ตัว มอเตอร์ที่ใช้ขับนี้จะมีขนาดเท่ากัน เพียงแต่ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ต่างกันเท่านั้น แรงบิดที่เกิดขึ้นที่ส่วนปลายของแขนสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$T = \sum (F*R)$$

F คือแรงตามแนวรัศมีขณะหมุน หาได้จาก

$$F = \frac{mv^2}{r_1}$$

m คือน้ำหนักที่ส่วนปลายของแขน ก.ก.

v คือความเร็ว เมตร/วินาที

r_1 คือระยะทางจากแรงถึงจุดหมุน

จากรูปจะได้ r_1 = 0.055 ม.

จากความเร็วรอบ 20 รอบ/นาที จะได้ว่า ใน 1 รอบจะใช้เวลา 3 วินาที

เพราะฉะนั้น $v = 2*\pi*0.055 / 3$

$= 0.12$ เมตร/วินาที

ดังนั้นจะได้ $F = \frac{mv^2}{r_1}$

$= 1.5*0.12 / 3$

$= 3.27$ นิวตัน (Newton)

เพราะฉะนั้น $T = F*R$

$= 3.27*0.055 = 0.18$ นิวตัน-เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ $W_p = 2\pi nT$

$= 2\pi*20/60*3.27 = 0.38$ วัตต์ (watt)

หาความเร็วรอบของมอเตอร์

$n_{มอเตอร์} = d_2 * n_{แขน} / d_1$

$= 43*20 / 16$

$= 53.75$ รอบ/นาที

จากการคำนวณข้างต้นดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 0.38 วัตต์ มีความเร็วรอบเท่ากับ 53.75 รอบ/นาที ขนาดของมอเตอร์ที่คำนวณนี้อาจจะหาไม่ได้ สามารถใช้มอเตอร์ขนาดอื่นแทนได้แต่จะต้องมีกำลังอย่างน้อย 0.38 วัตต์ และมีความเร็วรอบไม่ต่ำกว่า 53.75 รอบ/นาที

4.3 การกำหนดขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการหมุนที่ฐาน

<u>กำหนดให้</u> ความเร็วรอบที่ฐานเป็น 15 รอบ/นาที (n)

เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตัวเล็ก 50 ม.ม. (d_1)

เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตัวใหญ่ 200 ม.ม. (d_2)

น้ำหนักของแขนท่อนบน 3.5 ก.ก. (m_1)

น้ำหนักของแขนท่อนล่าง 4 ก.ก. (m_2)

น้ำหนักของปลายแขน 1.5 ก.ก. (m_3)

ในการหาแรงบิดจะต้องพิจารณาจากแนวทางการเคลื่อนที่ดังรูป เนื่องจากเป็นแนวทางการเคลื่อนที่ที่จะรับแรงบิดได้มากที่สุด

การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมในการหมุนที่ฐานนั้นสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีเดียวกับการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ที่ปลายแขนซึ่งแสดงการคำนวณได้ดังนี้ จากรูปพิจารณาที่แขนท่อนบนจะได้

$r_1 = 0.64$ ม.

เนื่องจากความเร็วรอบที่ฐานเป็น 15 รอบ/นาที ดังนั้น ฐานหมุนเป็นระยะทาง 1 รอบ จะใช้เวลา 4 วินาที

จะได้ $v = 2\pi*0.64 / 4$

$= 1$ เมตร/วินาที

ดังนั้น $F_1 = 3.5*1 / 0.64$

$= 5.47$ นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่แขนท่อนล่างจะได้

$r_2 = 0.205$ ม.

จะได้ $v = 2\pi*0.205 / 4$

$= 0.322$ เมตร/วินาที

ดังนั้น $F_2 = 4*0.322 / 0.205$

$= 6.28$ นิวตัน

พิจารณาที่ปลายแขนจะได้

$r_3 = 1.09$ ม.

จะได้ $v = 2\pi*1.09 / 4$

$= 1.71$ เมตร/วินาที

ดังนั้น $F_3 = 1.5*1.71 / 1.09$

$= 2.35$ นิวตัน

เพราะฉะนั้นสามารถคำนวณหาแรงบิดได้ดังนี้

$T = F_1*R_1 + F_2*R_2 + F_3*R_3$

$= 5.47*0.64 + 6.28*0.205 + 2.35*1.09$

$= 7.34$ นิวตัน-เมตร

$W_p = 2\pi nT$

$= 2\pi*15/60*7.34$

$= 11.53$ วัตต์

หาความเร็วรอบของมอเตอร์

$n_{มอเตอร์} = d_2 * n_{ฐาน} / d_1$

$= 20*15 / 5$

$n_{มอเตอร์} = 60$ รอบ/นาที

จากการคำนวณข้างต้นสามารถเลือกขนาดของมอเตอร์ได้ และมอเตอร์ที่เลือกใช้จะต้องมีกำลังไม่ต่ำกว่า 11.53 วัตต์ และมีความเร็วรอบไม่ต่ำกว่า 60 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบการทำงานของแขนกลควบคุมโดยมนุษย์ โดยทำการป้อนไฟเข้าที่มอเตอร์แต่ละตัวแล้วทำการวัดความเร็วรอบ และทำการป้อนลมเข้ากระบอกสูบนิวเมติกแล้วตรวจสอบการเคลื่อนที่ของแขนทั้งสองท่อน การทดสอบต่าง ๆ จะมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การทดสอบความเร็วรอบ แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

5.1.1 ที่ส่วนฐาน ป้อนไฟขนาดต่ำสุดที่ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ และป้อนไฟขนาดสูงสุดที่มอเตอร์จะทนได้ แล้วทำการวัดความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

ป้อนไฟขนาดต่ำสุดคือ 10 โวลต์ (Volt) 0.2 แอมป์ (Amp)

วัดความเร็วรอบได้ 4 รอบ/นาที

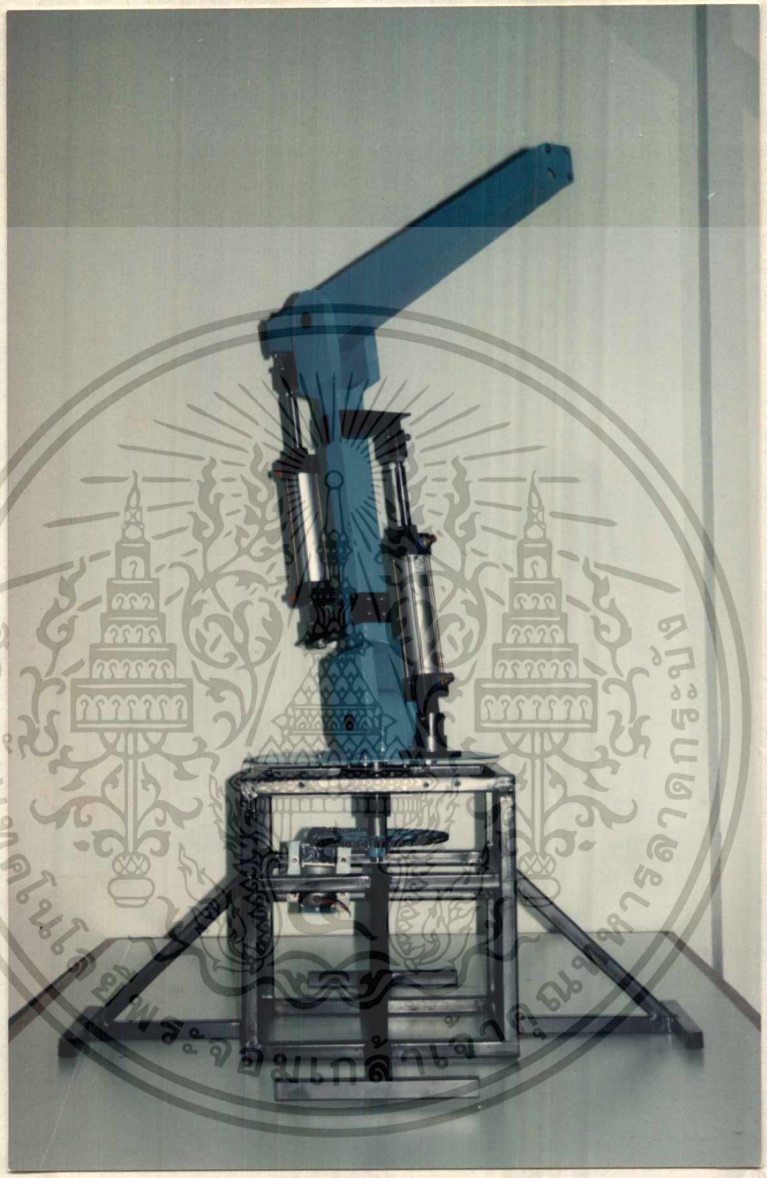
ป้อนไฟขนาดสูงสุดคือ 24 โวลต์ 0.5 แอมป์

วัดความเร็วรอบได้ 12 รอบ/นาที

รูปที่ 5.1 รูปแสดงส่วนฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ที่แขนทั้งสองท่อน ทดลองป้อนลมที่ความดันต่าง ๆ แล้วปรากฏว่าแขนทั้งสองท่อนจะสามารถเคลื่อนที่ได้ที่ความดัน 5 บาร์ แต่การเคลื่อนที่ของแขนทั้งสองนี้ไม่นุ่มนวล



รูปที่ 5.2 รูปแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

5.1.3 ที่ปลายแขน ทำการป้อนไฟขนาดต่ำสุดและสูงสุดเข้าที่มอเตอร์ทั้งสองตัว แล้วทำการวัดความเร็วรอบของการเคลื่อนที่

มอเตอร์ตัวที่ 1	ป้อนไฟขนาดต่ำสุดคือ	12	โวลต์	0.25	แอมป์
	วัดความเร็วรอบได้	8	รอบ/นาที		
	ป้อนไฟขนาดสูงสุดคือ	24	โวลต์	0.5	แอมป์
	วัดความเร็วรอบได้	15	รอบ/นาที		

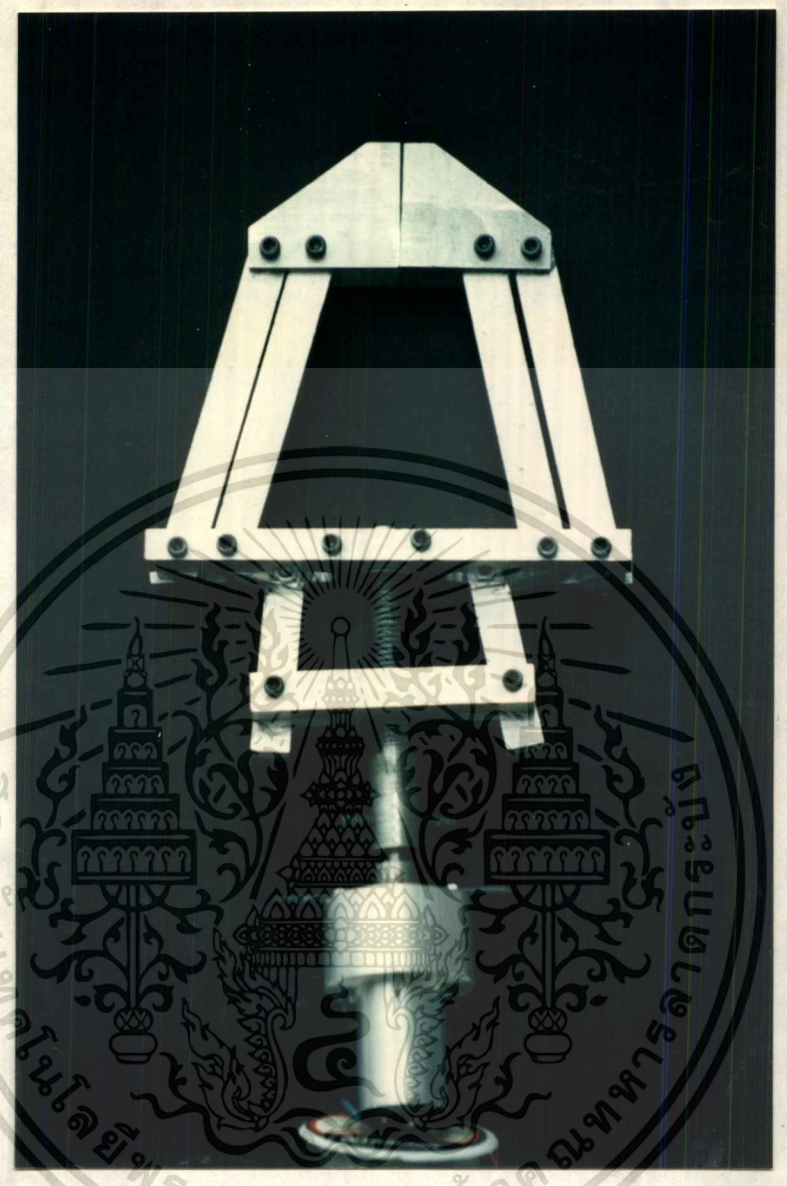
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ตัวที่ 2	ป้อนไฟขนาดต่ำสุดคือ	12	โวลต์	0.25	แอมป์
	วัดความเร็วรอบได้	8	รอบ/นาที		
	ป้อนไฟขนาดสูงสุดคือ	24	โวลต์	0.5	แอมป์
	วัดความเร็วรอบได้	15	รอบ/นาที		

รูปที่ 5.3 รูปแสดงส่วนของปลายแขน

5.1.4 ที่คริปเปอร์ ทำการป้อนไฟขนาดต่ำสุดและขนาดสูงสุดเข้าที่มอเตอร์แล้วทำการวัดความเร็วในการกางออกสุด และความเร็วในการหุบเข้าสุดของคริปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 รูปแสดงคริปเปอร์

คริปเปอร์กางออกมากที่สุดได้ 11.7 ซม. (cm)
ป้อนไฟขนาดต่ำสุดคือ 6 โวลต์ 0.1 แอมป์
วัดความเร็วในการกางออกสุดและหุบเข้าสุดได้ 45 วินาที
ป้อนไฟขนาดสูงสุดคือ 24 โวลต์ 0.2 แอมป์
วัดความเร็วในการกางออกสุดและหุบเข้าสุดได้ 8 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

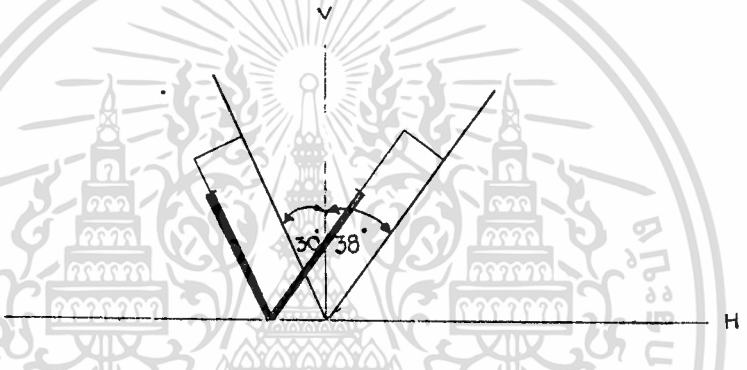
5.2 การทดสอบมุมการเคลื่อนที่

5.2.1 ที่แขนท่อนล่าง ทำการยึดและหดกระบอกสูบนิวเมติกที่ใช้ในการควบคุมแขนท่อนล่างให้สุด จากนั้นทำการวัดมุมของแขนเมื่อเทียบกับแนวดิ่ง

กระบอกสูบยืดสุด แขนจะทำมุมกับแนวดิ่ง 38 องศา

กระบอกสูบหดสุด แขนจะทำมุมกับแนวดิ่ง 30 องศา

เพราะฉะนั้นจะได้มุมการเคลื่อนที่ของแขนเป็น 68 องศา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป



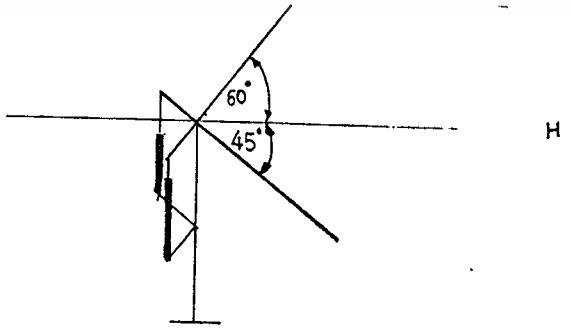
รูปที่ 3.5 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนท่อนล่าง

5.2.2 ที่แขนท่อนบน ทำการยึดและหดกระบอกสูบนิวเมติกที่ใช้ในการควบคุมแขนท่อนล่างให้สุด จากนั้นทำการวัดมุมของแขนเมื่อเทียบกับแนวระดับ

กระบอกสูบยืดสุด แขนจะทำมุมกับแนวระดับ 45 องศา

กระบอกสูบหดสุด แขนจะทำมุมกับแนวระดับ 60 องศา

เพราะฉะนั้นจะได้มุมการเคลื่อนที่ของแขนเป็น 105 องศา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 5.6 แสดงมุมการเคลื่อนที่ของแขนท่อนบน

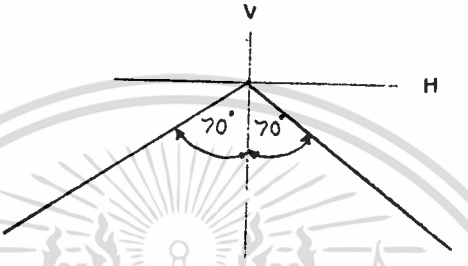
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ที่ปลายแขน ทำการป้อนไฟเข้ามอเตอร์ที่ใช้ควบคุมส่วนปลายแขนแล้วเคลื่อนปลายแขนไปยังจุดขวาสุด ซ้ายสุด บนสุด และล่างสุด จากนั้นทำการวัดมุมของแขนเมื่อเทียบกับแนวระดับหรือแนวดิ่ง (ในการวัดมุมให้วัดจากด้านหน้าของตัวแขน)

จุดขวาสุดทำมุมกับแนวดิ่ง 70 องศา

จุดซ้ายสุดทำมุมกับแนวดิ่ง 70 องศา

เพราะฉะนั้นมุมในการเคลื่อนที่ไปทางซ้าย-ขวาของแขนเป็น 140 องศา

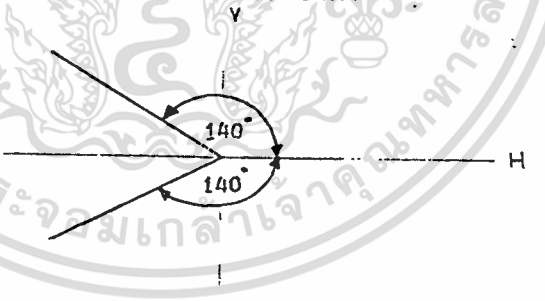


รูปที่ 5.7 แสดงมุมการเคลื่อนที่ไปทางซ้าย-ขวาของปลายแขน

จุดบนสุดทำมุมกับแนวระดับ 140 องศา

จุดล่างสุดทำมุมกับแนวระดับ 140 องศา

เพราะฉะนั้นมุมในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของแขนเป็น 280 องศา



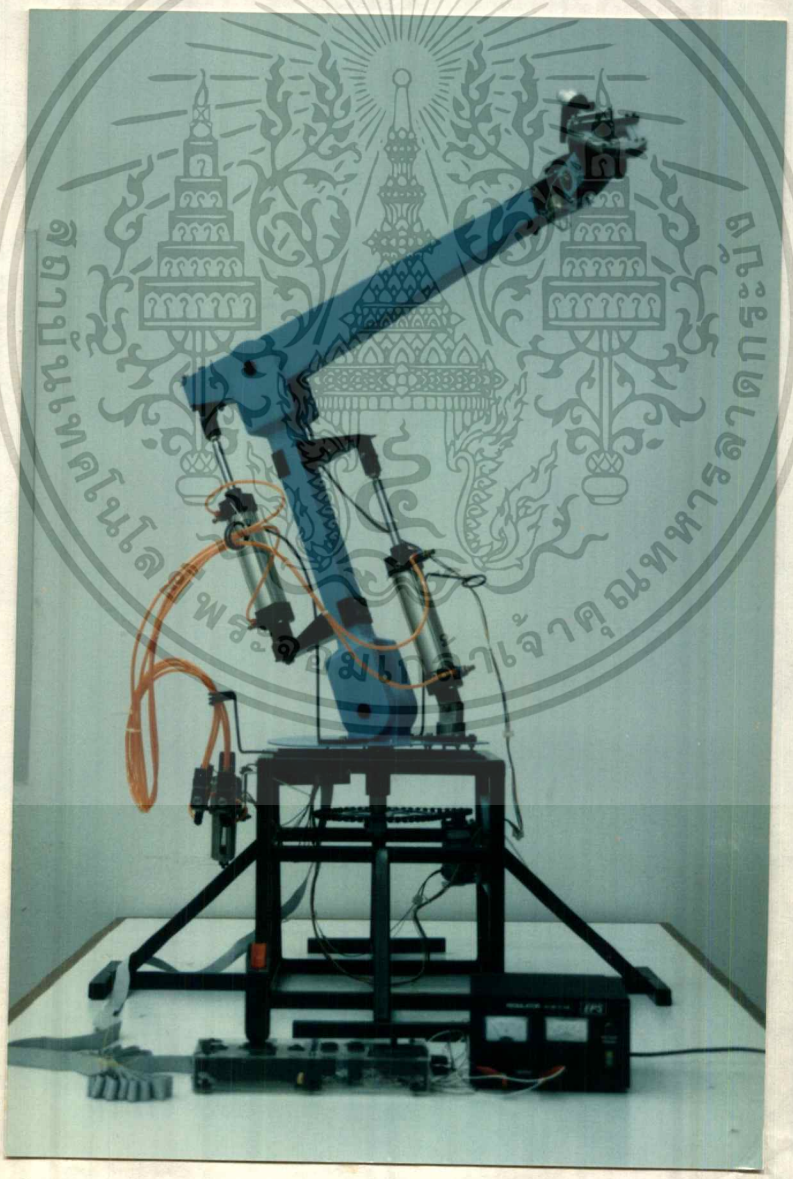
รูปที่ 5.8 แสดงมุมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของปลายแขน

5.2.4 คริปเปอร์ การเคลื่อนที่ของคริปเปอร์จะเป็นเช่นเดียวกับที่ส่วนปลายของแขนเนื่องจากตัวคริปเปอร์ถูกติดตั้งอยู่บนปลายแขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วิจารณ์และสรุป

โครงงานแขนกลควบคุมโดยมนุษย์นี้ เป็นโครงงานที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องทุ่นแรงมนุษย์ซึ่งได้มีการออกแบบโดยศึกษาแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนในรูปแบบที่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด จากการศึกษาจะพบว่าแนวทางการเคลื่อนที่เป็นทรงกลมจะเป็นรูปแบบที่ได้ประโยชน์มากกว่าแบบอื่นๆ อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนประกอบด้วย ดี.ซี. มอเตอร์ และ กระบอกสูบนิวเมติก การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมต่างๆสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 6.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่า มีมอเตอร์ 1 ตัวใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของฐาน มอเตอร์ 2 ตัวใช้ควบคุมที่ส่วนปลายของแขน และมีมอเตอร์อีก 1 ตัวใช้ในการควบคุมคริปเปอร์ ส่วนที่แขนทั้งสองท่อนนั้นจะมีกระบอกสูบนิวเมติก 2 กระบอกควบคุมการเคลื่อนที่

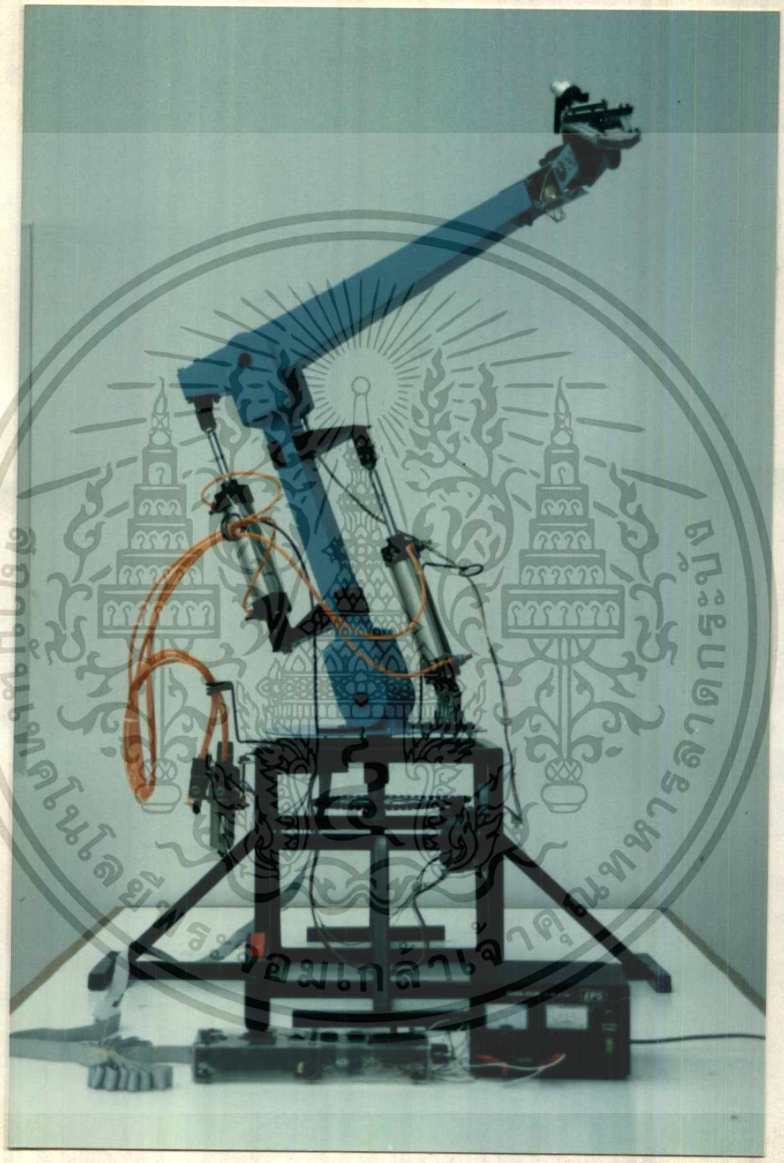
จากการทดลองในบทที่ 5 เมื่อป้อนไฟขนาดไม่ต่ำกว่าที่ทำการทดลองเข้ามอเตอร์ตัวที่ใช้ควบคุมฐาน ฐานจะสามารถหมุนได้ 360 องศา เมื่อป้อนไฟเข้าที่มอเตอร์ที่ใช้ควบคุมปลายแขน ปลายแขนก็จะสามารถเคลื่อนที่ได้ 2 แนว คือในแนวระดับและในแนวดิ่ง เมื่อป้อนลมเข้ากระบอกสูบนิวเมติกทั้งสอง แขนทั้งสองท่อนจะสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวดิ่ง และเมื่อรวมแนวทางการเคลื่อนที่ของ ฐาน แขนทั้งสองท่อน และส่วนปลายของแขน จะพบว่าแนวทางการเคลื่อนที่ของแขนกลที่สร้างขึ้นนี้เป็นรูปทรงกลมตามที่ได้ออกแบบไว้

ปัญหาที่พบจากการทดลองคือ การเคลื่อนที่ของแขนทั้งสองท่อนไม่ราบเรียบเท่าที่ควร ควรจะได้รับการแก้ไขปรับปรุง และถ้าต้องการจะเพิ่มประสิทธิภาพของแขนกลนี้อาจจะทำได้โดยการนำล้อมาติดที่ฐานให้แขนกลสามารถเคลื่อนที่ไปตามพื้นราบได้ หรืออาจจะนำไมโครคอนโทรลเลอร์(Microoontroller)มาควบคุมให้แขนกลสามารถเคลื่อนย้ายสิ่งของได้โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

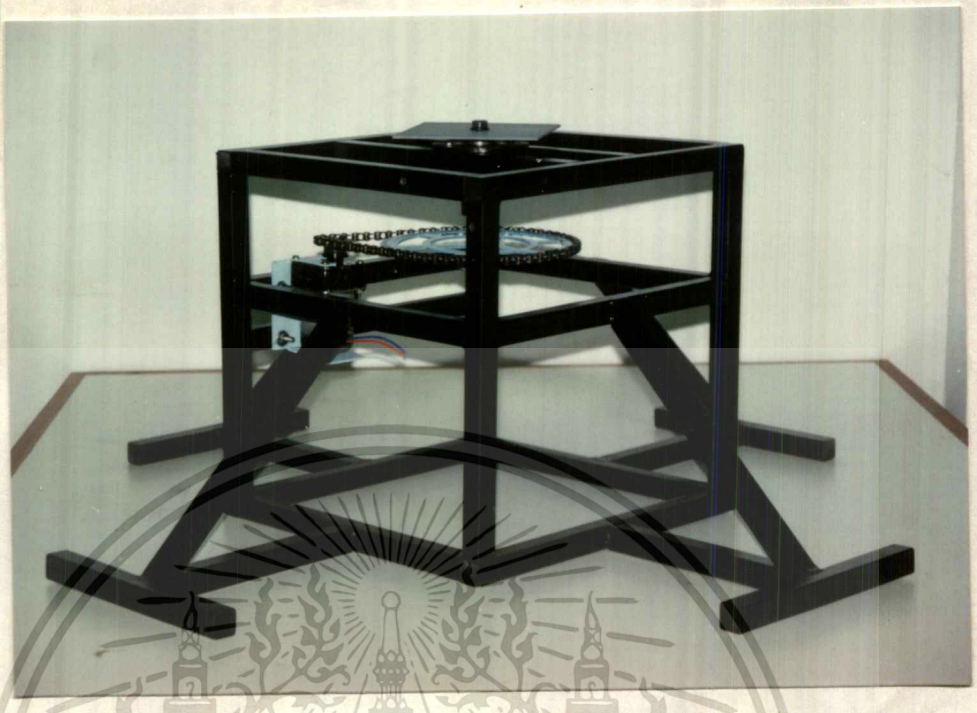
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก. แสดงแขนกลที่เสร็จสมบูรณ์

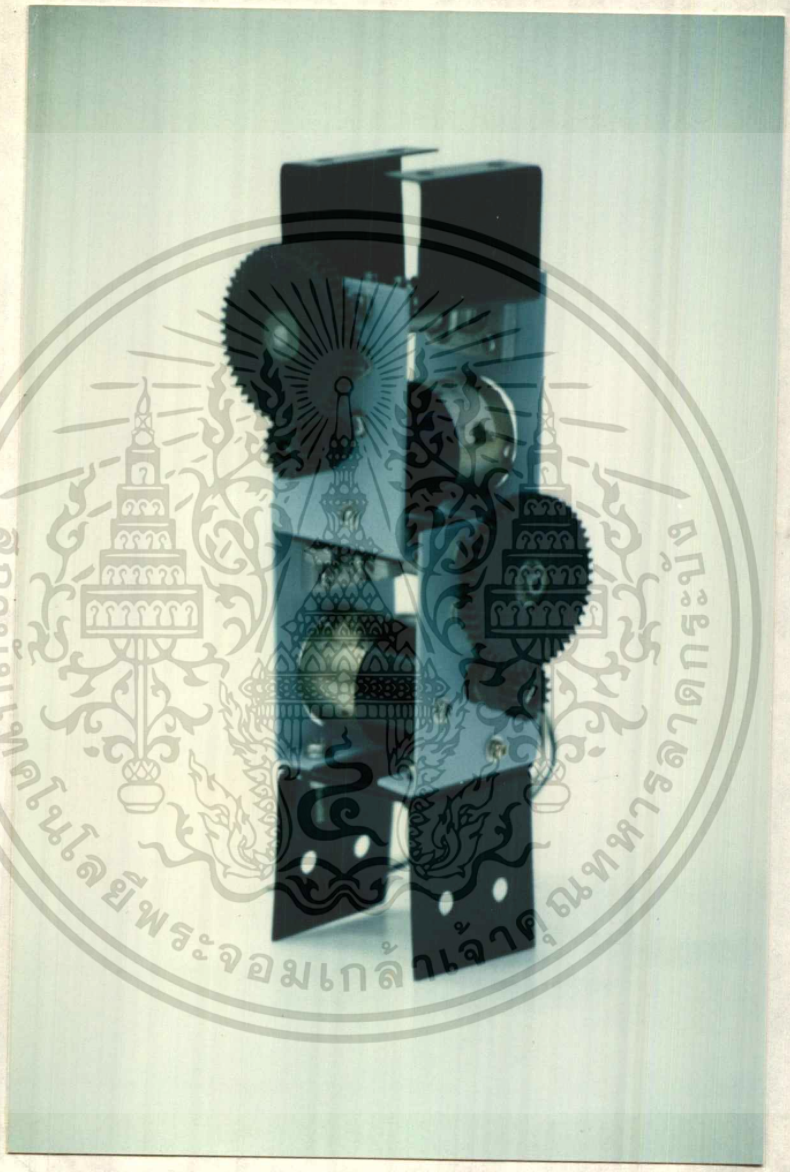
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. แสดงฐาน

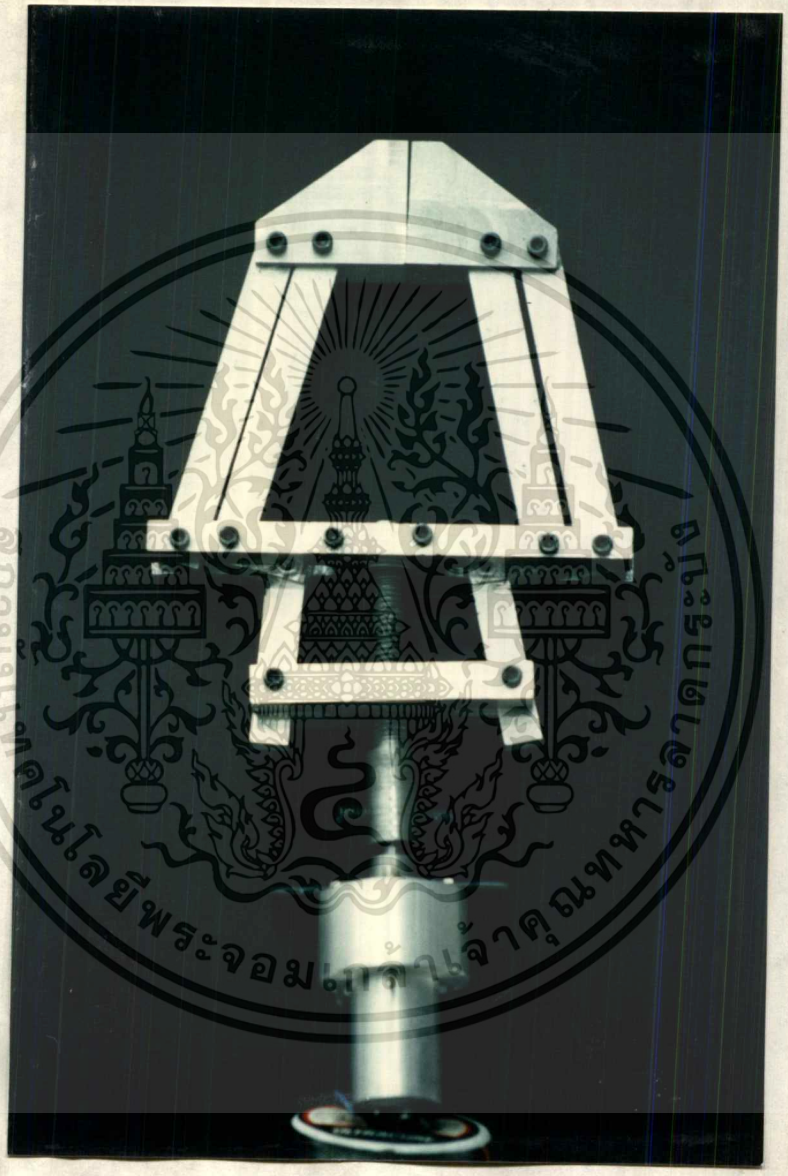
รูปที่ ค. แสดงกล่องคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง. แสดงส่วนปลายของแขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ. แสดงคริปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ก็ด้วยความสนับสนุนจากบุคคลหลายๆท่านซึ่งผู้จัดทำต้องขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ บิดามารดา ผู้ซึ่งให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษา และให้กำลังใจอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ อ. พิชิต กิตตินนท์ และ อ. จำลอง ปราบแก้ว ผู้ให้คำแนะนำปรึกษาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้เป็นอย่างดีมาตลอด 4 ปี

ขอขอบคุณรุ่นพี่ และเพื่อนๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำ รวมทั้งเพื่อนๆที่ให้กำลังใจช่วยจนงานสำเร็จลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สมชัย นรเศรษฐ์โศภน, "กลศาสตร์ของแข็ง", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2533.
2. ปานเพชร ชนินทร, ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์, "นิวเมติกอุตสหกรรม", บริษัท ซีเอ็ด-ยูเคชั่น จำกัด.
3. Gerry B. Andeen, "Robot design Handbook", Mc Graw - Hill, 1988.
4. Jack D. Lane, "Robotic Technology Principles and Practice", Werner G. Holzbook, M.S.M.E., P.E, 1986.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้