สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ต้นแบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรมสำหรับการเชื่อมประสาน

The Prototype of Industrial Robot for Arc Welding

โดย

ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช

ผศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โครงการวิจัยปีงบประมาณ 2541

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

RCH
TS
191.8
พ๗๘๕

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37697
วัน, เดือน, ปี 17 ต.ค. 2543

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรมสำหรับการเชื่อมประสาน

ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช
ผศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยแบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรมสำหรับงานเชื่อมประสาน เป็นโครงการในการศึกษาและสร้างต้นแบบหุ่นยนต์สำหรับใช้งานด้านงานเชื่อมประสาน โดยผลการดำเนินการวิจัยเป็นต้นแบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ซึ่งได้ประสิทธิภาพตามต้องการ สามารถขับเคลื่อนในลักษณะ 5 แนวแกน พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์พื้นฐานระบบการควบคุม Personal (PC) ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Window และโปรแกรมภาษาซี สำหรับการพัฒนาโดยอาศัยพื้นฐานของรายการทางคณิตศาสตร์ของ Kinematics Model และสอดคล้องกับโครงข่ายของรูปแบบหุ่นยนต์ (Manipulator) พร้อมทั้งสามารถจำลองการทำงานในรูปแบบกราฟฟิกส์เพื่อศึกษารูปแบบของโปรแกรม

ABSTRACT

This project is creating an industrial robot and study about robot kinematics in every axis. The purpose of this project is creating for arc-welding industrial robot and follow-up the performance specification in 5 axes as well as a personal computer environment such as windows and a C-programming. The research and development is base on kinematics model of robot manipulator as well as graphics simulation for a robot program development.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	II
สารบัญรูป	III
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ลักษณะของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในลักษณะเป็นข้อต่อ	4
2.2 การควบคุมหุ่นยนต์	7
2.3 คุณสมบัติอื่นๆ ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม	9
2.4 ทฤษฎีการเคลื่อนที่เพื่อใช้ในโปรแกรมควบคุม	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	17
บทที่ 4 ผลการวิจัย	33
4.1 โครงสร้างหุ่นยนต์อุตสาหกรรม	33
บทที่ 5 การวิเคราะห์ และสรุปผลการวิจัย	44
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก ก โปรแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	47
ภาคผนวก ข ตารางคุณสมบัติทางกลของโลหะเหล็ก	57
ภาคผนวก ค ภาพ Drawing ของชิ้นส่วนหลัก	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเรขาคณิตของหุ่นยนต์	5
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของวัตถุในสามมิติ	10
รูปที่ 2.3 รูปแสดงในแนวข้างของแขนหุ่นยนต์	11
รูปที่ 2.4 แสดงการเคลื่อนที่ของมือจับหุ่นยนต์	13
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งของวัตถุ	13
รูปที่ 2.6 แสดงแนวข้างของแขน	14
รูปที่ 2.7 ภาพจากด้านบนแสดงมุม	15
รูปที่ 3.1 ภาพ Drawing ของแขนส่วนบนของหุ่นยนต์	21
รูปที่ 3.2 ภาพ Drawing ของแขนส่วนล่างของหุ่นยนต์	22
รูปที่ 3.3 ภาพ Drawing ของส่วนฐานของหุ่นยนต์	22
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของแขนบนและล่างของหุ่นยนต์	33
รูปที่ 4.2 การวางตำแหน่งของแขนทั้งสองส่วน	34
รูปที่ 4.3 ส่วนฐานของหุ่นยนต์	34
รูปที่ 4.4 ส่วนของชุดเฟืองและแบริ่ง	35
รูปที่ 4.5 ส่วนของฐานหุ่นยนต์	35
รูปที่ 4.6 แขนบนและล่างเมื่อประกอบกัน	36
รูปที่ 4.7 เมื่อแขนบนของหุ่นยนต์กวาดไปจนสุด	36
รูปที่ 4.8 ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์	37
รูปที่ 4.9 แขนส่วนบนที่ก้มจนสุดระยะ	37
รูปที่ 4.10 ภาพแสดงไอคอนที่หน้าจอวินโดว์	38
รูปที่ 4.11 หน้าจอเริ่มแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรม	39
รูปที่ 4.12 แสดงค่าการป้อนในแนวแกนต่างๆ	40
รูปที่ 4.13 หน้าจอแสดงผลการใส่ค่าที่ Error	41
รูปที่ 4.14 หน้าจอแสดงการป้อนค่าที่ถูกต้อง	42
รูปที่ 4.15 แสดงการรันโปรแกรมหลังป้อนค่าออกมา	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันการผลิตในอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้ขยายตัวเป็นอย่างมาก ระบบการผลิตในโรงงานต่าง ๆ ได้มีการพัฒนากันอย่างต่อเนื่อง มีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาจากต่างประเทศมากมาย ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้มีราคาแพงมาก โรงงานที่มีขนาดไม่ใหญ่มากมีเงินลงทุนไม่สูงนัก อาจจะไม่สามารถนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ได้เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องเงินทุน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาเทคโนโลยีให้เท่าเทียมกับต่างประเทศ ขณะเดียวกันก็พยายามลดเงินทุนลงเพื่อให้สามารถใช้เทคโนโลยีนี้ได้อย่างแพร่หลาย

ระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งเดิมมนุษย์เป็นผู้ปฏิบัติ อาจจะมีความผิดพลาดที่เกิดจากความประมาท หรือไม่มีสมาธิในขณะปฏิบัติงาน ซึ่งมีผลตามมามากมาย เช่น อาจจะทำให้ระบบการผลิตเกิดความผิดพลาด เกิดความล่าช้า หรืออาจเกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้นำระบบอัตโนมัติเข้ามาควบคุมระบบการผลิต ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพในการผลิตได้อย่างเที่ยงตรง สมารถวางแผนการผลิตได้มีผลการผลิตได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ และสามารถลดการเสี่ยงของผู้ปฏิบัติได้ในกรณีที่สภาพการทำงานที่เป็นอันตราย

วิวัฒนาการด้านระบบอัตโนมัติได้พัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในระบบการผลิตในอุตสาหกรรม การเชื่อมประสานปกติมนุษย์เป็นผู้ปฏิบัติการเชื่อม ซึ่งมีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติ เมื่อได้ปฏิบัติงานเชื่อมต่อเนื่องเป็นเวลานาน ดังนั้นจึงได้มีการคิดระบบการเชื่อมประสานอัตโนมัติเป็นแขนกลหรือหุ่นยนต์เชื่อมประสาน ปัจจุบันได้มีใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมอยู่บ้างแล้ว ในประเทศไทยได้มีการนำเข้าหุ่นยนต์เชื่อมประสานจากต่างประเทศมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ช่วยให้การเชื่อมประสานมีความแน่นอนมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยและทีมงานจึงได้คิดโครงสร้างต้นแบบหุ่นยนต์เชื่อมประสานควบคุม 5 แนวแกนขึ้นมาเพื่อที่จะสามารถประยุกต์ในงานเชื่อมประสาน เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีให้เทียบเท่ากับประเทศที่พัฒนาแล้วและเป็นการลดการลงทุนในระบบการผลิตได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

การสร้างต้นแบบหุ่นยนต์เชื่อมประสานนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้คือ

1. ศึกษาโครงสร้างและหน้าที่การทำงานของส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์ในแต่ละแกน ทั้ง 5 แนวแกน
3. สร้างต้นแบบหุ่นยนต์สำหรับการเชื่อมประสานที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ 5 แนวแกน พร้อมติดตั้งอุปกรณ์พื้นฐานระบบควบคุม Personal Computer (PC) ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Window และโปรแกรมภาษา C

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างหุ่นยนต์เชื่อมประสานที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ 5 แนวแกน
2. เป็นแนวทางในการพัฒนาและสร้างหุ่นยนต์อุตสาหกรรมสำหรับการเชื่อมประสานที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 <u>แผนในการทำงาน</u>

แผนการดำเนินการ	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. วิเคราะห์การทำงานของหุ่นยนต์ในแบบต่าง ๆ	◄——►									
2. ทำการออกแบบหุ่นยนต์และศึกษา Software ที่ใช้ร่วมกับหุ่นยนต์		◄———	———	———►						
3. ทำการสร้างส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์					◄———	———	———►			
4. ทำการประกอบส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์							◄———	———►		
5. ทำการทดสอบ									◄———	———►
6. วิเคราะห์ผล/สรุปผล									◄———	———►

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ลักษณะของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในลักษณะเป็นข้อต่อ (Joint Arm Configuration Robot)

หุ่นยนต์อุตสาหกรรม มีรูปร่างและลักษณะแตกต่างกันไปแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน โดยขีดความสามารถในการเคลื่อนที่ของมือจะแตกต่างกันไป ซึ่งหุ่นยนต์ในลักษณะนี้เป็นหุ่นยนต์ที่มีแขนเป็นข้อต่อ หุ่นยนต์ประเภทนี้จะเลียนแบบลักษณะของแขนมนุษย์ โดยส่วนต่างๆ สามารถยืดหดได้เช่นเดียวกับส่วนไหล่ ตัวแขน ข้อศอก และข้อมือ ทำให้การเคลื่อนตัวโดยจะมีรัศมีที่กวาดได้ เป็นลักษณะรูปครึ่งวงกลม

1.1.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

โครงสร้างของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

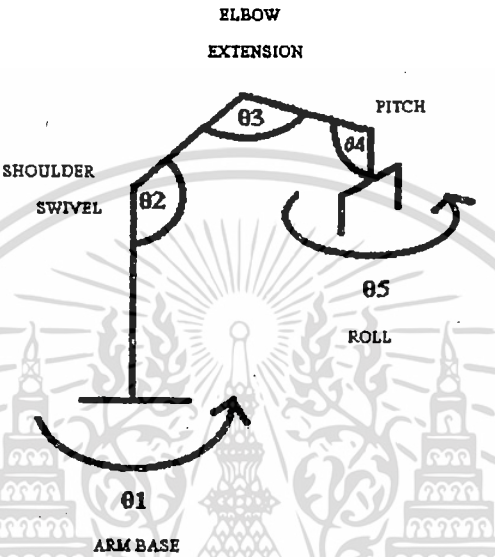
1. ตัวหุ่นยนต์ (Body) ลักษณะของโครงสร้างของหุ่นยนต์แขนกลแบบข้อต่อ (Joint arm Robot) หรือเรียกอีกอย่างว่า Articulated Robot ซึ่งมีลักษณะที่เลียนแบบแขนมนุษย์โดยมีโครงสร้างทางเรขาคณิตดังรูป จะเห็นว่ามีส่วนที่เคลื่อนไหวได้ทั้งหมด 6 ส่วน (Six Degree of Freedom) คือประกอบด้วย ฐาน (Arm base), หัวไหล่ (Shoulder swivel), ข้อศอก (Elbow extension), ข้อมือ (Pitch), มือหมุน (Roll), และมือจับ (Gripper)

โดยปกติแล้วการเคลื่อนที่ของส่วน "มือ (Gripper)" หรือ End Effector นี้จะทำได้ใน 6 ระดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) ซึ่งจะทำให้คล้ายกับการทำงานของมือมนุษย์ โดย 6 ระดับขั้นความเสรีนี้จะเป็นการหมุนของแขนและตัว 3 และเป็นการหมุนของมืออีก 3 ดังแสดงในรูป โดยรายละเอียดเป็นดังนี้

1. การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (Vertical Transverse) โดยการยกแขนขึ้น หรือยกลงตามแนวดิ่ง
2. การเคลื่อนที่ทางแนวรัศมี (Radial Transverse) เป็นการยืด หดมือออกจากแกน
3. การหมุน (Rotation Transverse) เป็นการหมุนรอบแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การหมุนของข้อมือ (Wrist Swivel)
5. การบิดของข้อมือ (Wrist Bend) เช่น ยกขึ้น/ลง
6. การหันเหข้อมือ (Wrist Yew) โดยหันไปทางซ้ายหรือขวา



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเรขาคณิตของหุ่นยนต์

1.1.2 ระบบขับเคลื่อน (Driver Unit) ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic) ซึ่งเป็นระบบที่ง่ายต่อการดูแลรักษา ทนทาน และยังทำให้เคลื่อนที่ได้เร็ว
2. ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ Stepping Motor หรือ Servo Motor เป็นตัวไปควบคุมการเคลื่อนที่ของส่วนต่างๆ หุ่นยนต์ที่ใช้ระบบนี้จะไม่มีกำลังเหมือนแบบแรก แต่จะมีความละเอียดไม่ว่าจะในแง่ของตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไป หรือการทำซ้ำจะดีกว่า
3. ระบบอัดลม (Pneumatic) ระบบนี้ใช้กับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก อีกทั้งระบบไม่ยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3 การสั่งงาน

การสั่งงานหรือควบคุมให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมทำงานตามกำหนดนี้ อาจทำได้ในหลายลักษณะ คือ

- แบบ Manual
- แบบ Lead Through
- แบบการสั่งงานด้วยโปรแกรม

2.1.3.1 แบบ Manual

การสั่งงานแบบนี้จะเป็นแบบที่ง่ายที่สุด และใช้กันมากในการสั่งงานหุ่นยนต์ทำงานแบบจุดหนึ่งไปจากจุดหนึ่ง (Point-To-Point) โดยวิธีการจะเป็นการเคลื่อนแกนต่างๆ ไปยังตำแหน่งที่ต้องการโดยการกดปุ่มบังคับ ดังนั้นลักษณะนี้จึงคล้ายกับการ Set Up มากกว่าการโปรแกรม กล่าวคือมีการเคลื่อนที่ไปยังจุดเริ่มต้นแล้วก็กำหนดค่าไว้ จากนั้นก็เคลื่อนไปยังตำแหน่งต่อไป แล้วกำหนดค่าไว้ โดยค่าที่กำหนดไว้นี้จะเก็บไว้ในหน่วยความจำเรียกออกมาใช้ได้ในภายหลัง

1.1.3.2 การสั่งงานแบบ Lead Through

การสั่งงานแบบนี้คล้ายๆ กับการจับมือหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวที่ต้องการ ในลักษณะที่เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องแล้วจึงเก็บค่าตำแหน่งต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไป พร้อมกับความเร็วที่เคลื่อนที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางเทคนิค (อาทิ เช่น ระบบเกียร์ ฯลฯ) ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นอุปกรณ์ซึ่งเลียนแบบแขนหุ่นยนต์โดยสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ได้ อุปกรณ์นี้มีชื่อว่า Robot Simulator ซึ่งการทำงานก็ใช้หลักการข้างต้น กล่าวคือ ผู้สั่งงานจะเลื่อนไปตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีแนวทางการเคลื่อนที่ที่กำหนดไว้ ตำแหน่งต่างๆ จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ซึ่งวิธีนี้พบว่าเป็นการโปรแกรมโดยตรงวิธีหนึ่ง ข้อเสียก็มีบ้าง เช่น ความละเอียดไม่ดี ไม่สามารถกำหนดความเร็วได้ ต้องมีการซื้อ Simulator เพิ่มกับระบบ เป็นการสิ้นเปลือง และหากการสั่งการผิดพลาดต้องทำใหม่ทั้งหมด ลักษณะการสั่งงานชนิดนี้ใช้มากในงาน พ่นสี ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3.3 การสั่งงานด้วยโปรแกรม

การสั่งงานด้วยหุ่นยนต์อุตสาหกรรมทำงานโดยใช้การเรียกโปรแกรมสั่งงานนี้ จะเป็นการให้ข้อมูลกับหุ่นยนต์ เพื่อให้แขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ และทำงานตามกำหนด โดยในปัจจุบันได้มีผู้เขียนภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งให้หุ่นยนต์ทำงานมากมายหลายภาษา เมื่อมีการให้โปรแกรมทำงานของหุ่นยนต์ทำงานทีละคำสั่ง ในปัจจุบันได้มีผู้ออกแบบหุ่นยนต์กันมากมาย รวมทั้งโปรแกรมสั่งงานสามารถทำได้โดยง่าย โดยอาจเขียนด้วยภาษาคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป เช่น Pascal, C ฯลฯ แล้วจึงแปลงเป็นงานได้

2.2 การควบคุมหุ่นยนต์

โดยทั่วไปการใช้งานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะอยู่ในลักษณะของการยก การจับ การเคลื่อนย้ายตำแหน่งของวัสดุ การเชื่อม เหล่านี้ล้วนต้องการการควบคุมตำแหน่งและความเร็วทั้งสิ้น โดยทั่วไปแล้วมีการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. การควบคุมแบบจุดถึงจุด (Point-To-Point Controlling) คือ การควบคุมให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยที่ตัวควบคุมหลัก (Master Controlling Processor) จะทำหน้าที่ส่งตำแหน่งให้แก่ ตัวควบคุมข้อต่อหมุน (Joint Controller) ในลักษณะที่มีแต่จุดหรือ ตำแหน่งเริ่มต้น (Starting Point) กับจุดหรือตำแหน่งสุดท้าย (Destination Point) เนื่องจากเมื่อทำการสอนหุ่นยนต์ (Teaching Mode) จะสอนแค่จากตำแหน่งไหนไปตำแหน่งไหนเท่านั้น
2. การควบคุมแบบต่อเนื่อง (Continuous Path Controlling) ก็คือการควบคุมหุ่นยนต์ในลักษณะทุกๆ จุดเคลื่อนที่ไปตั้งแต่ จุดหรือตำแหน่งเริ่มต้น (Starting Point) ไปยังจุดหรือตำแหน่งสุดท้าย (Destination Point) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ
    2.1 การควบคุมแบบต่อเนื่องจริง (Real Continuous Path Controlling) ก็คือการควบคุมทุกๆ ที่ ที่เคลื่อนที่ไปในระหว่างจุดหรือตำแหน่งเริ่มต้น ไปยังจุดหรือตำแหน่งสุดท้าย นั้นได้มาจากการสอนให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านสายงานจริงๆ ในทุกจุดที่ต้องเคลื่อนที่ผ่าน (Teaching in Filed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การควบคุมแบบต่อเนื่องที่ได้จากการหาค่าแทรก (Continuous Path By Interporation Method Controlling) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในปัจจุบัน กล่าวคือทำการสอนหุ่นยนต์โดยใช้วิธีของการสอนแบบจุดต่อจุด (Point To Point Teaching Mode) แต่เมื่อหุ่นยนต์ทำงานมันจะคำนวณหารายละเอียดของเส้นทางที่จะต้องเคลื่อนที่ไปโดยใช้วิธีหาค่าแทรกจึงทำให้เคลื่อนที่ได้นุ่มนวลเหมือนการควบคุมแบบต่อเนื่องแท้ แต่ว่าประหยัดหน่วยความจำเหมือนแบบควบคุมจุดถึงจุด

ซึ่งไม่ว่าจะเป็นการควบคุมในแบบใดจะเกิดปัญหาที่พบกันทั่วไป 2 ข้อคือ

1. ความผิดพลาดในสภาวะคงที่ (STEADY STATE ERROR PROBLEM)
2. ความผิดพลาดขณะใกล้หยุด (OVERSHOOT PROBLEM)

ปัญหาข้อที่ 1 ความผิดพลาดในสภาวะคงที่ เมื่อแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการแล้ว เมื่อแขนหยุดตัวแขนจะต้องคงอยู่ในลักษณะดังกล่าวตลอดไป เนื่องจากแขนหุ่นยนต์จะต้องรับภาระจากงานที่กำลังทำอยู่ และรับน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้แขนหุ่นยนต์ไม่สามารถหยุดนิ่งอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการได้

ปัญหาข้อที่ 2 ความผิดพลาดขณะใกล้หยุด ปัญหาข้อนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก กรณีที่สมมติให้ที่ข้อต่อหมุนมีความฝืดน้อย แต่ตัวแขนกลมีแรงเฉื่อยมาก เมื่อแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่จนถึงตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ตัวควบคุมสั่งให้แขนหุ่นยนต์หยุดการเคลื่อนที่ แต่เนื่องจากตัวของแขนหุ่นยนต์มีแรงเฉื่อยจึงทำให้ตัวแขนหุ่นยนต์หยุดเลยจากตำแหน่งที่ต้องการ เมื่อเป็นเช่นนี้ยังผลทำให้ตัวควบคุมรับรู้ผลต่างของตำแหน่งที่ต้องการกับตำแหน่งจริง ทำให้ตัวควบคุมข้อต่อหมุนทำงานเพื่อแก้ข้อผิดพลาดดังกล่าวเมื่อทำการแก้ตำแหน่งที่ต้องการกลับมาก็จะพบกับปัญหานี้อีก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แขนหุ่นยนต์เกิดการแกว่งหรือสั่นตรงบริเวณตำแหน่งที่ต้องการ แต่ไม่สามารถหยุดนิ่งได้

วิธีการแก้ปัญหาที่ 1 สามารถแก้ได้โดยการเลือกใช้ตัวขับเคลื่อนที่เหมาะสม เช่น เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประกอบร่วมกับชุดทดกำลังในกรณีของหุ่นยนต์ที่มีขนาดเล็ก หรือเลือกใช้ตัวขับเคลื่อนแบบไฮดรอลิค ในกรณีหุ่นยนต์ขนาดกลางและขนาดใหญ่

สำหรับปัญหาข้อ 2 มีวิธีแก้โดย อาจใช้ตัวควบคุมแบบ PID แต่มีวิธีง่ายๆ อีกวิธีหนึ่งคือจะทำการค่อยๆ ลดความเร็วของข้อต่อหมุนลงเมื่อตำแหน่งของข้อต่อหมุน เข้าใกล้ตำแหน่งที่ต้องการ จนกระทั่งไปหยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการซึ่งก็คือ ค่อยๆ เพิ่มความฝืดแก่ระบบควบคุมนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณสมบัติอื่นๆ ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

นอกเหนือจากลักษณะของหุ่นยนต์ และการเคลื่อนที่ที่กล่าวไปแล้วนั้น คุณสมบัติทางเทคนิคอื่นๆ ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของงาน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพของหุ่นยนต์แต่ละประเภท โดยลักษณะเหล่านี้ก็มี อาทิ เช่น

- บริเวณการทำงาน (Work Volume) ซึ่งเป็นบริเวณ หรือขอบเขตที่หุ่นยนต์ต้องใช้ในการทำงาน แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับขนาดและลักษณะของหุ่นยนต์ด้วย โดย Work Volume ของหุ่นยนต์แบบต่างๆ เป็นดังนี้
  1. แบบระบบพิกัดคาร์ทีเซียน Work Volume จะเป็นรูปทรงกล่องสี่เหลี่ยม
  2. แบบระบบพิกัดทรงกระบอก Work Volume จะเป็นรูปทรงกระบอก
  3. แบบระบบแขนลักษณะข้อต่อ Work Volume จะมีลักษณะคล้ายทรงกลม
  4. แบบระบบพิกัดเชิงขั้ว Work Volumeจะมีลักษณะเป็นรูปกึ่งทรงกลม
- ความละเอียดในการเคลื่อนที่ (Precision of Movement) จะหมายถึงการที่หุ่นยนต์สามารถจัดการกับงานที่มีความละเอียดขนาดไหน การทำงานเที่ยงตรงแค่ไหน และหากทำซ้ำจะกลับมายังตำแหน่งเดิมได้ใกล้เคียงขนาดไหน ฯลฯ
- ความเร็วในการเคลื่อนที่ หมายถึงความเร็วที่หุ่นยนต์สามารถบังคับ มือ ให้จัดการกับงานโดยอาจทำได้ถึง 1.5 เมตร/วินาที
- ความสามารถในการรับน้ำหนัก ส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบให้เหมาะสมกับงานโดยสูงสุดอาจรับได้ถึง 1000 ปอนด์

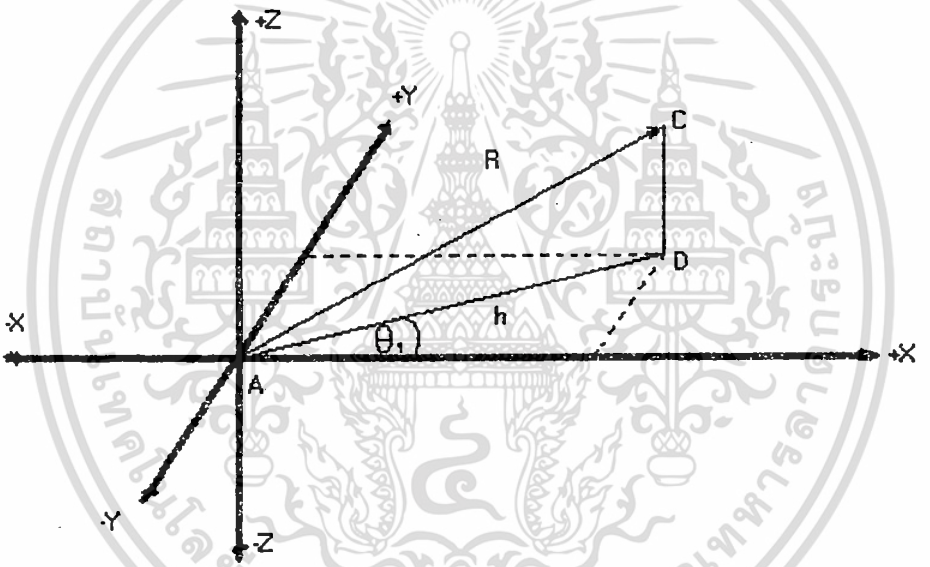
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 <u>ทฤษฎีการเคลื่อนที่เพื่อใช้โปรแกรมควบคุม</u>

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้นจะให้สมบูรณ์แบบจริงๆ ต้องเป็นการเคลื่อนที่แบบ 6 แกนเป็นอย่างน้อย ซึ่งจะสามารถเอียงมุมจับชิ้นงานได้อย่างอิสระในสามมิติ แบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้เป็นแบบ 5 แกน จึงไม่สามารถเอียงมุมเพื่อจับชิ้นงานได้อย่างอิสระ จึงนิยมนำหุ่นยนต์ 5 แกนนี้มาทำงานประเภทหยิบจับของที่อยู่กับพื้นแนวราบ เช่นขวดที่วางเรียงอยู่ในกล่องเป็นต้น

ซึ่งจะอธิบายการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 5 แกนดังนี้

ค่าที่จะต้องคำนวณเพื่อนำมากำหนดการเคลื่อนที่คือ ค่ามุมของแกนต่างๆ โดยคำนวณมาจากค่าพิกัด x,y,z ในสามมิติ พิจารณารูปที่ 2.2 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของวัตถุในสามมิติ

จากรูปที่ 1 ให้จุด C เป็นจุดเป้าหมายที่ต้องการให้ปลายแขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป สามารถกำหนดจุด C ได้โดยกำหนดพิกัด x,y,z ให้แก่โปรแกรม เพื่อคำนวณหาค่ามุมในแกนต่างๆ กำหนดให้เป็น

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ ตามลำดับจากฐานไปสู่ปลายแขน

จากนั้นจะได้ค่ามุมของแกนแรกมาคือมุม θ_1 คือองศาของแกนฐานหมุนนั่นเอง ขั้นแรกใช้กฎของสามเหลี่ยมมุมฉากหาความยาวของ h

$$h = \sqrt{(x^2 + y^2)}$$

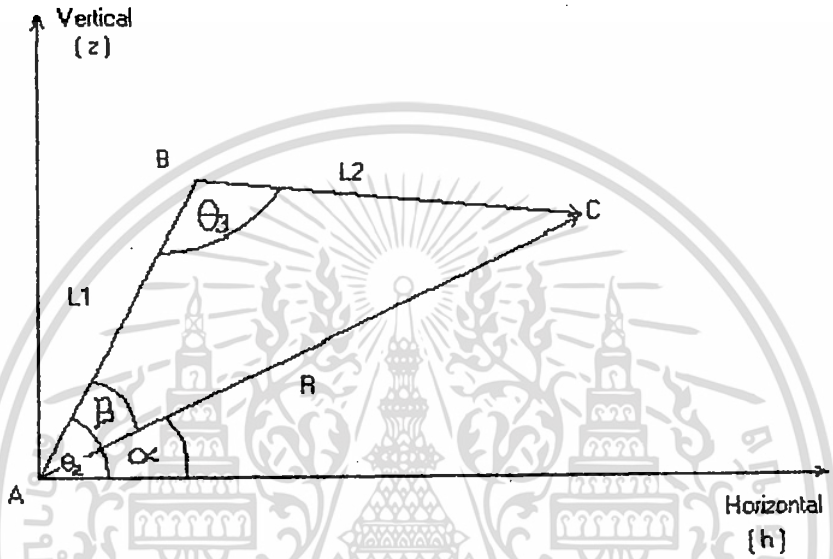
แล้วหาค่า θ_1 โดยการคำนวณใช้กฎของ sin ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h / \sin 90^{\circ} = y / \sin\theta_1$$

$$\boxed{\theta_1 = \sin^{-1}(y / h)}$$

ขั้นต่อไปขอให้พิจารณาระนาบ A C D จากรูปที่ 2.2 จะนำมาเขียนตามแนว Horizontal และ Vertical แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 ต่อไปนี้ (เพื่อหามุมของแกนที่ 2 และ 3)



รูปที่ 2.3 รูปแสดงในแนวข้างของแขนหุ่นยนต์

จากรูปที่ 2.3 แขนของหุ่นยนต์คือ L_1 และ L_2 (ไม่รวมตรงปลายมือจับ) ซึ่งในการสร้างนั้นจะออกแบบให้ความยาว L_1 เท่ากับความยาว L_2 ทั้งนี้เพื่อการออกแบบโปรแกรมและการเคลื่อนที่ ที่สามารถคำนวณได้ง่าย ($L_1 = L_2$)

ให้จุด C คือ จุดของวัตถุมีเวกเตอร์ R เป็นเวกเตอร์กำหนดตำแหน่ง ซึ่งเป็นจุดที่จะต้องบังคับให้ปลายแขนของ L_2 ไปอยู่ที่จุดนี้

ให้ระยะตามแนว Horizontal = h

ให้ระยะตามแนว Vertical = z

$$R = \sqrt{(h^2 + z^2)}$$

เมื่อได้ความยาว R แล้วสามารถหาค่ามุม α ได้จากกฎของ sin

$$R / \sin 90^{\circ} = z / \sin\alpha$$

$$\alpha = \sin^{-1}(z / R)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนั้นจะหาค่ามุม β ได้จากสมการต่อไปนี้

จาก $L_1 = L_2$

จะได้ $L_1\cos\beta = R/2$

$\therefore \quad \beta = \cos^{-1}(R/2L_1)$

จากนั้นจะได้ค่า θ_2 (มุมของแกนที่ 2) จาก

$$\theta_2 = \beta+\alpha$$

และค่า θ_2 (มุมของแกนที่ 3) จาก

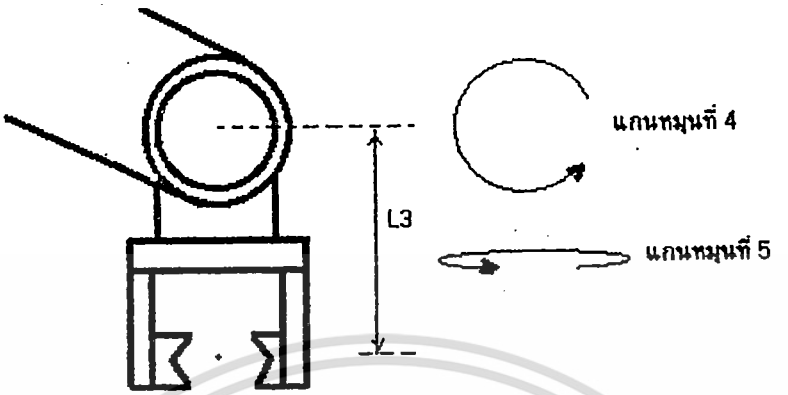
$$\theta_3 = 180^{\circ} - 2\beta$$

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นเพียงวิธีการคำนวณของ 3 แกนแรกและความจริงแล้ว จุด C ยังไม่ใช่จุดที่มือจับ (Gripper) จะต้องทำงานแต่จะผ่านการคำนวณมาจากจุดทำงานอีกทีหนึ่ง ซึ่งความยากนั้นก็จะอยู่ตรงการคำนวณหา θ_4, θ_5 และจุด C นั่นเอง

เพราะฉะนั้นเมื่อมาถึงตรงนี้แล้วก็ควรจะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับหุ่นยนต์ 5 แกน กันอีกสักประเด็นหนึ่ง คือ ในด้านการหยิบจับชิ้นงานนั้นจะสามารถเอียงมุมของมือจับได้เฉพาะในแนวของปลายแขนเท่านั้น เพราะฉะนั้นจึงไม่นิยมให้การหยิบจับของหุ่นยนต์ 5 แกน มีการเอียงเป็นองศาต่างๆ แบบ 5 แกนนั้นจะใช้ได้ดีในการหยิบจับจากด้านล่างและด้านบนเท่านั้น หากต้องการให้หยิบจับแบบเอียงองศา หรือหยิบจับในแนว Horizontal จำเป็นจะต้องวางชิ้นงานให้ตรงกับแนวของแขน

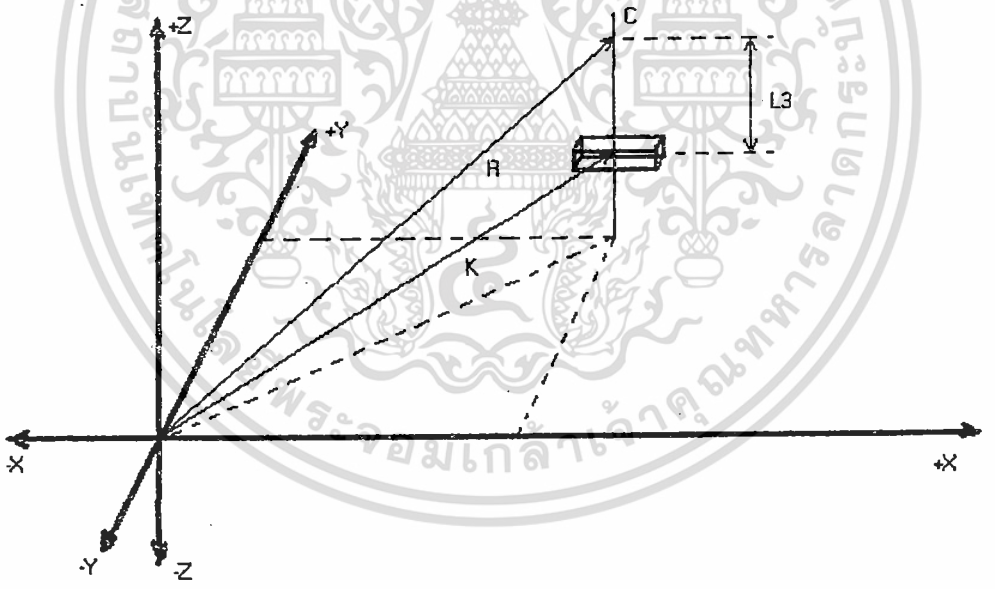
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณต้องมาทำความเข้าใจเรื่องมือจับก่อน จากรูปที่ 2.4 นี้



รูปที่ 2.4 แสดงถึงการเคลื่อนที่ของมือจับหุ่นยนต์

ต่อไปพิจารณาวัตถุที่วางอยู่ใน 3 มิติ

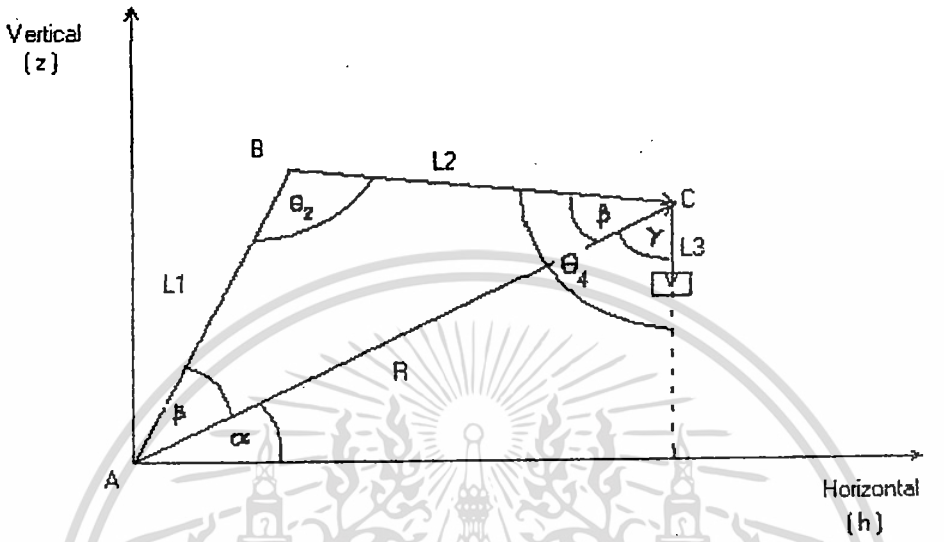


รูปที่ 2.5 ตำแหน่งของวัตถุ

จากรูปที่ 2.5 วัตถุวางอยู่ในพิกัด x,y,z ซึ่งมีเวกเตอร์ตำแหน่งคือเวกเตอร์ K ดังรูป เมื่อต้องการให้หุ่นยนต์หยิบวัตถุชิ้นนี้ โดยการเข้าไปหยิบจากด้านบน จะได้จุด C โดยการเพิ่มค่าพิกัด z ด้วยค่าความยาว L_3 ดังรูปที่ 4 และเช่นเดียวกันหากต้องการให้เข้าไปหยิบจากด้านล่างก็จะได้จุด C โดยการลดค่าพิกัด z ด้วยค่าความยาว L_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้จุด C แล้ว ก็ให้โปรแกรมทำการคำนวณค่าต่างๆ ข้างต้น จะสามารถหาค่า θ_4 และ θ_5 ได้ดังนี้



รูปที่ 2.6 แสดงแนวข้างของแขน

พิจารณาจากรูปที่ 2.6 เมื่อเป็นการหยิบจากด้านบนจะได้

$$\theta_4 = \gamma + \beta$$

โดยที่

$$R / \sin 90^\circ = h / \sin\gamma$$

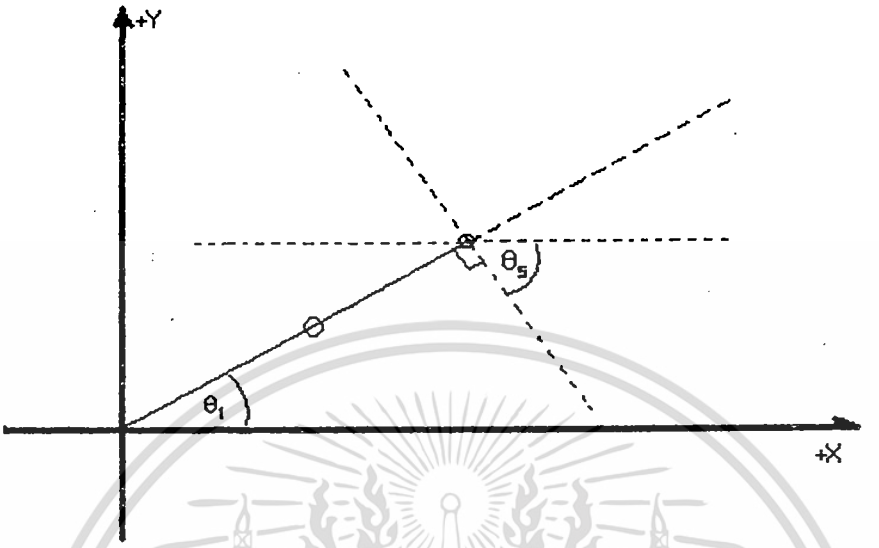
$$\gamma = \sin^{-1}(h / R)$$

และถ้าเป็นการหยิบจากด้านล่างจะได้

$$\theta_4 = \gamma + \beta + 180^\circ$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน θ_5 นั้นให้พิจารณารูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 ภาพจากด้านบนแสดง θ_5

จากรูปที่ 2.7 จะได้

$$\theta_5 = 90^\circ - \theta_1$$

หากวัตถุไม่วางตรงๆ คือ วางทำมุมกับแกน x ก็ให้บวกค่า θ_5 นั้นเข้าไปเท่ากับมุมที่ว่านั้น กล่าวคือ

$$\theta_5 = 90^\circ - \theta_1 + (\text{มุมที่วางเอียงไป})$$

เมื่อใส่สถานการณ์ต่างๆ ที่ต้องการครบแล้วก็ให้โปรแกรมที่ตั้งไว้ทำการคำนวณ θ_1, $\theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ แล้วก็สั่งให้มอเตอร์หมุนแต่ละแกนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยเริ่มต้นพร้อมกันและถึงจุดปลายพร้อมกันทุกแกน จะต้องให้โปรแกรมคำนวณความเร็วที่เหมาะสมในแต่ละแกน ในแต่ละสถานการณ์ ให้โปรแกรมจดจำค่ามุมเหล่านั้นไว้ด้วย เพื่อการเคลื่อนที่ใน step ต่อไป และเพื่อเป็นการป้องกันการกระชากด้วยความเร็วสูงควรตั้งโปรแกรมให้ค่อยๆ เริ่มเคลื่อนที่ และค่อยๆ หยุด

หากต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงก็สามารถทำได้โดยการใส่สมการเส้นตรงเข้าไป หากจะให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมก็ให้ใส่สมการวงกลมลงไป และขึ้นอยู่กับการซอยจุดพิกัดบนวงกลมให้ถี่มากเท่าไร วงกลมก็จะยิ่งมีความละเอียดมากขึ้นไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวอย่างการคำนวณของโปรแกรมนี้เป็นเพียงสถานการณ์เดียวและเพื่อเป็นเพียงแนวทางในการคำนวณในหลายๆ สถานการณ์ต่อไป ซึ่งในโปรแกรมที่สำเร็จรูปนั้นจะต้องสามารถรับกับการเคลื่อนที่ในทุกสถานการณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน Kinematics

ทำการศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน Kinematics เพื่อใช้คำนวณการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ โดยศึกษาลักษณะของ Forward Kinematics และ Inverse Kinematics รวมไปถึงการศึกษาลักษณะการหมุนในรูปแบบต่างๆ ของแขนกลอย่างกว้างๆ

3.2 ศึกษากลไกและส่วนประกอบต่างๆ ของหุ่นยนต์ Motoman L-3

ทำการศึกษากลไกและส่วนประกอบต่างๆ ของ Motoman L-3 โดยมีขั้นตอนปฏิบัติการดังนี้

1. ศึกษาการเคลื่อนไหวในแต่ละแกน ในแต่ละจุดหมุนเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ
2. พิจารณาหาชิ้นส่วนที่สามารถนำไปใช้งานกับหุ่นยนต์ที่ออกแบบไว้ได้

3.3 ส่วนที่เกี่ยวข้องในหุ่นยนต์

3.3.1 คัปปลิง

วิธีการต่อเพลาทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่เลือกใช้ก็คือ การใช้คัปปลิง (coupling) ซึ่งใช้ต่อจากเพลาเครื่องต้นกำลัง เช่น มอเตอร์ มาขับชิ้นส่วนอื่น

คัปปลิงที่ใช้กับเครื่องจักรมีจุดประสงค์หลายประการ เช่น

1. ใช้ต่อเพลาของอุปกรณ์ที่ผลิตแยกกัน เช่น เพลาของมอเตอร์กับเครื่องสูบ ทั้งนี้เพื่อให้ถอดออกซ่อมแซมได้
2. ช่วยให้เพลามีการเยื้องศูนย์กันได้บ้างหรือทำให้เกิดภาวะอ่อนตัวทางกล
3. ช่วยลดการส่งแรงกระตุกจากเพลาอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง
4. ช่วยป้องกันการเกิด การเกินภาวะ
5. ช่วยลดการสั่นสะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37697

คัปปลิงแบ่งออกได้เป็น

1. คัปปลิงแบบแข็งเกร็ง
2. คัปปลิงแบบอ่อนตัว
3. คัปปลิงแบบนิรภัย
4. คัปปลิงแบบสปริง
5. คัปปลิงแบบควบคุมได้

คัปปลิงแบบแข็งเกร็ง

คัปปลิงแบบแข็งเกร็งใช้ต่อเพลาที่อยู่ในแนวเดียวกัน ไม่มีการเยื้องศูนย์ ใช้ต่อเพลาที่มีขนาดเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ แต่ต้องอยู่ในศูนย์เดียวกัน ใช้ต่อเพื่อส่งกำลัง เช่น ต่อเพลาส่งกำลัง หรือต่อกับเพลาที่ขับเฟือง ระยะห่างระหว่างปลายเพลาที่ต่อกันจะต้องคงที่ หน้าแปลนยึดติดกับเพลาด้วยลิ่ม หน้าแปลนทั้งสองยึดติดกันด้วยสลักเกลียว โดยรูเจาะบนหน้าแปลนของคัปปลิง จะต้องฟิตพอดีกับตัวสลักเกลียว ซึ่งต้องใช้การรีเมอร์ (Reamer) เจาะรู

3.3.2 เฟืองตรง (Spur Gear)

เฟืองตรง (Spur Gear) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป โดยใช้ทำหน้าที่ส่งกำลัง และการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งที่ขนานกัน ส่วนมากเฟืองขับจะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม และมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า พิเนียน (Pinion) ส่วนเฟืองใหญ่เรียกว่า เฟือง แต่การใช้งานบางโอกาสก็ใช้เฟืองใหญ่เป็นเฟืองขับก็ได้ เนื่องจากว่าเฟืองที่ผลิตและใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ยังคงใช้ระบบหน่วยอังกฤษเป็นส่วนมาก ซึ่งก็จำเป็นต่อการเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรกลที่ชำรุดเสียหาย ฉะนั้นเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษก็ยังคงจะต้องผลิตออกมาอีกเป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 เฟืองดอกจอก (bevel gear)

เฟืองดอกจอก (bevel gear) ใช้สำหรับส่งกำลังผ่านเพลาที่ทำมุมใด ๆ ต่อกัน เฟืองดอกจอกอาจจะเรียกได้ว่าเป็นเฟืองกรวยตัด ทั้งนี้เพราะเฟืองชนิดนี้ผลิตขึ้นมาจากแบบรูปกรวย เฟืองดอกจอกชนิดธรรมดาที่สุดจะมีฟันเป็นฟันตรง ซึ่งจะเรียกว่าเฟืองดอกจอกฟันตรง หรือเฟืองดอกจอก เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีความเร็วพิตช์ ไม่เกิน 5 m/s แต่อย่างไรก็ตามถ้าผิวหน้าของฟันเฟืองผ่านการปรับแต่งเป็นอย่างดี เช่น ทำการเจียรนัย ก็อาจจะใช้ได้ถึง ความเร็วพิตช์ 50 m/s โดยที่ไม่ทำให้เกิดเสียงดังจนเกินไปนัก

3.3.4 โซ่ (Chain)

การขับด้วยโซ่มีใช้กันอยู่มากทางด้านงานเครื่องจักรกล เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการขับด้วยสายพาน โซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่ หรือเฟืองโซ่ ซึ่งติดอยู่กับเพลาขับและเพลาตาม อัตราทดของการขับจะขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับด้วยโซ่นี้จะไม่มีการสลิปเกิดขึ้นระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่ เนื่องจากการขับด้วยโซ่มีความไว้ใจได้ และถูกต้องตามหลักเศรษฐศาสตร์จึงนิยมใช้กันมาก

ข้อดีของการขับด้วยโซ่

1. ในการติดตั้งโซ่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงเท่ากับเฟือง
2. ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงขั้นต้นในโซ่ด้านตึง เหมือนสายพาน ทำให้อายุการใช้งานของแบริ่งที่รองรับเพลามากขึ้น
3. ติดตั้งง่ายกว่าสายพาน เพราะเพียงแต่คล้องเข้ากับโซ่แล้วสอดสลักเข้าไปเท่านั้น

ข้อเสียของการขับด้วยโซ่

1. มีเสียงดัง
2. ถ้าความเร็วสูงจะเป็นอันตรายเมื่อโซ่ขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 โรลลิ่งแบริ่ง

โรลลิ่งแบริ่ง หมายถึง แบริ่งชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน ตัวอย่างเช่น บอลแบริ่ง ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่ง แล้วส่งผ่านแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่งโดยการกลิ้งไปบนวงแหวน

ข้อดีของโรลลิ่งแบริ่ง

1. มีความเสียดทานขณะสตาร์ตน้อย จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลที่มีการเดินเครื่องและหยุดเครื่องบ่อยครั้ง
2. ง่ายต่อการหล่อลื่นและการดูแลรักษา โดยเฉพาะที่อัดด้วยไขข้น หรือจาระบี มาจากโรงงานด้วยแล้ว เกือบจะไม่ต้องดูแลเกี่ยวกับการหล่อลื่นอีกเลย
3. ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย
4. ใช้เนื้อที่ทางด้านแกนน้อย
5. สามารถรับแรงรุนและแรงในแนวรัศมีได้พร้อมกัน
6. มีเคลียรันซ์น้อยมาก จึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องจักรที่ต้องการความละเอียดแม่นยำในการทำงาน
7. สามารถรองรับเพลาในตำแหน่งใด ๆ ได้ เช่น ใช้รองรับเพลาซึ่งวางเรียงเป็นมุมกับแนวระดับ เป็นต้น
8. ทำการติดตั้งได้ง่าย

ข้อเสียของโรลลิ่งแบริ่ง

1. ใช้เนื้อที่ทางด้านรัศมีมาก
2. มีราคาแพง
3. เมื่อมีแรงกระแทกทำให้อายุการใช้งานลดลงมาก

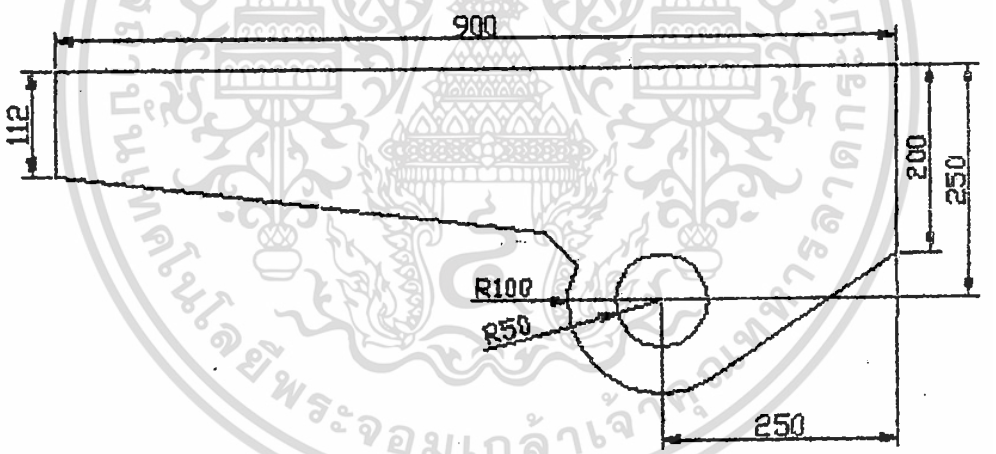
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบหุ่นยนต์ที่จะใช้เป็นต้นแบบในการศึกษา

3.4.1 ส่วนของตัวหุ่นยนต์ต้นแบบ

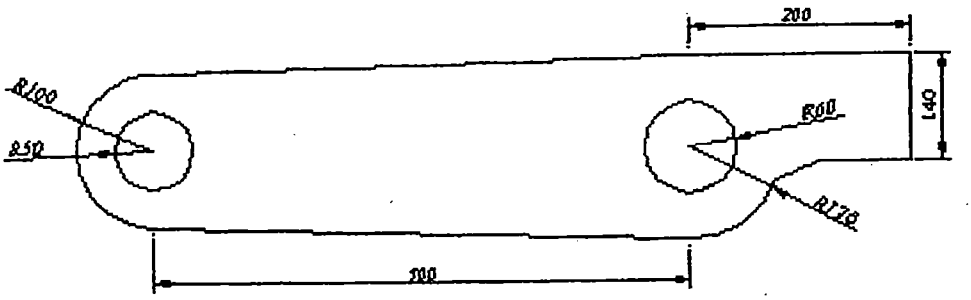
จากการศึกษาโครงสร้างและชิ้นส่วนต่าง ๆ ตลอดจนลักษณะการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ Motoman L-3 ทำให้สามารถออกแบบหุ่นยนต์ที่จะทำการสร้างขึ้นมา และมีการประยุกต์นำชิ้นส่วนต่าง ๆ บางชิ้นที่สามารถใช้ได้ นำมาใช้กับหุ่นยนต์ที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งส่วนประกอบหลัก ๆ มีดังนี้

1. ส่วนของแขนส่วนบน ส่วนล่าง และฐานของตัวหุ่นยนต์ ทำจากเหล็กแผ่นหยาบตาม DIN 1543 หนา 6 mm. โดยมีขนาดดังต่อไปนี้

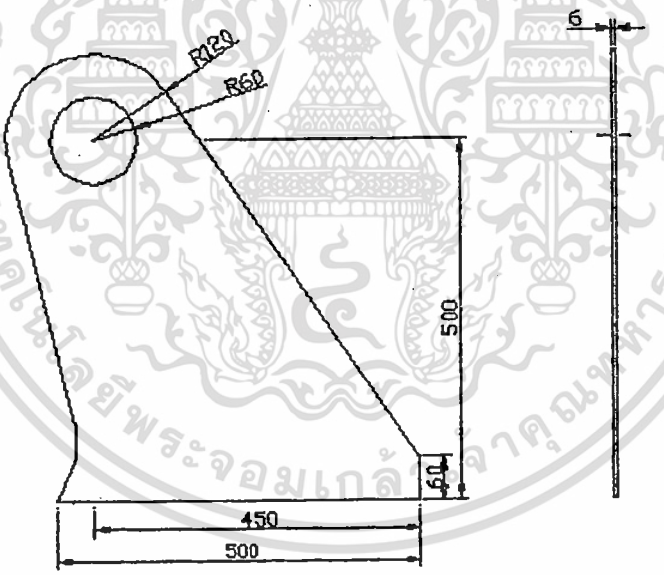


รูปที่ 3.1 ภาพ Drawing ของแขนส่วนบนของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ภาพ Drawing ของแขนส่วนล่างของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.3 ภาพ Drawing ของส่วนฐานของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน้าแปลนมอเตอร์ทั้ง 3 ขนาด

3. ชุดเฟืองต่าง ๆ

- เฟืองตรง 2 ตัว โมดุล 2 mm., เซอร์คิวลาพิตซ์ 6 mm., เส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ 107 mm. ทำจากเหล็กหล่อสีเทา ASTM 35
- เฟืองดอกจอกขนาด 20 ฟัน เส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ 35 mm. มุมพิตซ์ 45 องศา ทำจากเหล็กกล้าจำนวน 2 ตัว
- เฟืองตัวหนอน 2 ตัว ระยะพิตซ์ 6 mm. โมดุล 2 ทำจากเหล็กกล้า

4. เหล็กเหนียวกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40,60 mm. ใช้สำหรับทำเพลาขนาดต่าง ๆ เพื่อใช้สวมเฟือง แบริ่ง และทำคัปปลิง

5. แบริ่งขนาดต่าง ๆ
- แบริ่งแบบมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก (Single-row deep-groove) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm. จำนวน 1 ตัว
- แบริ่งแบบมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก (Single-row deep-groove) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. จำนวน 2 ตัว
- แบริ่งแบบมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก (Single-row deep-groove) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm. จำนวน 1 ตัว
- แบริ่งแบบมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก (Single-row deep-groove) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 mm. จำนวน 4 ตัว

6. โซ่แบบโรลเล่อร์ ขนาดพิตซ์ 8 mm. กับเฟืองโซ่ จำนวน 2 ชุด

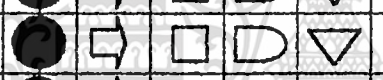
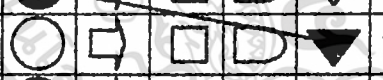
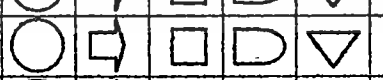
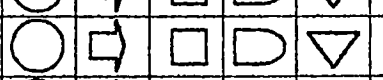
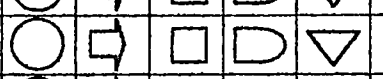
7. สกรูขนาด M6, M10

8. ฐานของหุ่นยนต์จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

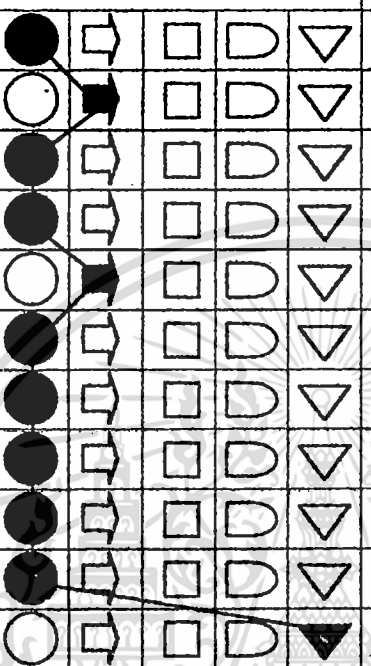
9. เหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 25*25 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

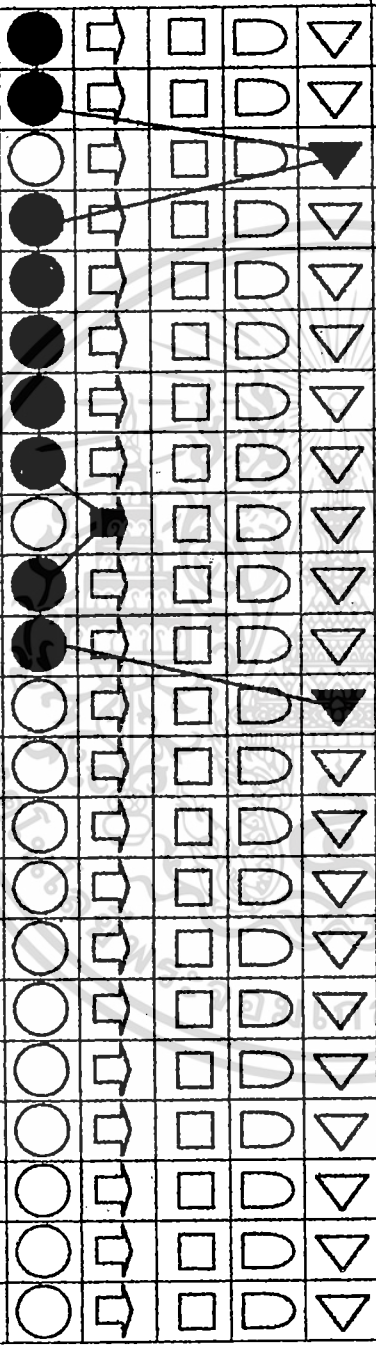
3.5 ขั้นตอนการสร้างหุ่นยนต์ชิ้นส่วนหลักอย่างละเอียดโดยอาศัย Process Chart

Part : แขนหุ่นยนต์ส่วนบน			Sheet No. 1
DIST. IN FEET	TIME IN MINS	CHART SYMBOLS	PROCESS DESCRIPTION
			วาดแบบลงบนเหล็กแผ่น 2 ชุด
			นำแผ่นเหล็กไปทำการตัดด้วยแก๊ส
			ตัดแผ่นเหล็กด้วยแก๊สให้ได้ขนาดตามแบบ
			ทิ้งไว้รอให้เย็น
			เจียรลบมุมแผ่นเหล็กที่ตัดออกมาเป็นแขน
			นำชิ้นส่วนแขนเข้าเครื่องกัด
			ทำการกัดทุกด้านให้ได้ขนาดและเรียบ
			เปลี่ยนหัวกัดเป็นแบบเจาะ
			ใช้หัวสว่านเจาะชิ้นงานเป็นการนำร่อง
			เจาะให้ได้ขนาดพอที่หัวคว้านจะคว้านได้
			เปลี่ยนหัวกัดเป็นแบบคว้านรู
			ทำการคว้านรูจนได้ขนาด 90 mm.
			นำชิ้นงานออกไปเก็บ
			
			
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part : แขนหุ่นยนต์ส่วนล่าง			Sheet No. 2
DIST. IN FEET	TIME IN MINS	CHART SYMBOLS	PROCESS DESCRIPTION
			วาดแบบลงบนแผ่นเหล็ก
			นำไปตัดด้วยแก๊ส
			ตัดตามแบบที่วาดไว้
			เจียรลบมุมแผ่นเหล็กที่ตัดออกมาเป็นแขน
			นำชิ้นส่วนแขนเข้าเครื่องกัด
			กัดด้านขอบของส่วนแขนให้เรียบทุกด้าน
			เปลี่ยนหัวกัดเป็นหัวเจาะดอกสว่าน
			เจาะสว่านให้ได้ขนาดพอที่จะควักนได้
			เปลี่ยนหัวกัดเป็นแบบควักนรู
			ควักนรูให้ได้ขนาด 90mm ทั้ง2ตำแหน่ง
			นำชิ้นงานไปเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part: ฐาน			Sheet No. 3
DIST. IN FEET	TIME IN MINS	CHART SYMBOLS	PROCESS DESCRIPTION
			วาดตามแบบที่ได้ออกแบบไว้
			ตัดตามแบบโดยใช้แก๊ส
			ทิ้งไว้รอให้เย็น
			เจียรรอยตัดให้เรียบ
			นำเข้าเครื่องกัด
			ใช้เครื่องกัด กัดให้เรียบทุกด้าน
			เปลี่ยนหัวกัดเป็นดอกสว่าน
			เจาะรูให้ได้ขนาดพอที่หัวคว้านลงได้
			เปลี่ยนหัวกัดเป็นแบบคว้านรู
			เจาะรูด้วยสว่าน
			คว้านรูให้ได้ขนาด 90 mm.
			เก็บรอประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part : แท่นยึด			Sheet No. 4
DIST. IN FEET	TIME IN MINS	CHART SYMBOLS	PROCESS DESCRIPTION
			ตัดเหล็กให้ได้ขนาดตามกำหนดทุกชิ้นส่วน
			เชื่อมเหล็กติดกันเป็นแท่นยึด
			เจาะรูเพื่อประกอบกับฐานต่อไป
			นำไปเก็บเพื่อรอประกอบ

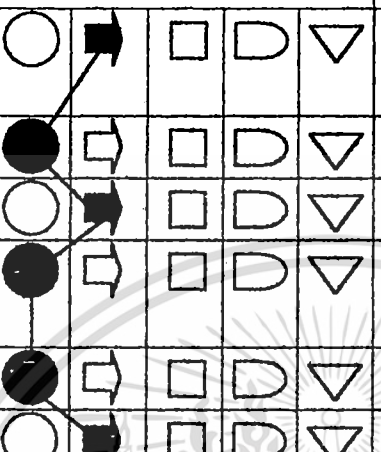
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part : หน้าแปลนมอเตอร์ตัวเล็ก			Sheet No. 5
DIST. IN FEET	TIME IN MINS	CHART SYMBOLS	PROCESS DESCRIPTION
			วาดแบบให้มีขนาดโตกว่า145*210mm.
			ใช้แก๊สตัดตามแบบที่วาดไว้
			นำไปเข้าเครื่องกัด
			ใช้เครื่องกัดกัดให้ได้ขนาด140*200 mm.
			เปลี่ยนหัวกัดเป็นดอกสว่าน
			เจาะรูให้ได้ขนาดพอที่จะคว้านรูได้
			ทำการคว้านรูให้ได้ขนาด 50 mm.ทั้ง 2 ด้าน
			นำชิ้นงานเข้าเครื่องเจาะด้วยดอกสว่าน
			เจาะรูขนาด 6 mm. ที่มุม4 ด้านที่กำหนด
			นำชิ้นงานไปเก็บ

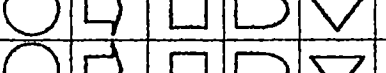
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part: แกนชุดเฟืองตัวหนอน			Sheet No. 6
DIST. IN FEET	TIME IN MINS	CHART SYMBOLS	PROCESS DESCRIPTION
			ตัดเหล็กให้ได้ความยาว 500 mm.
			กลึงปาดหน้าและปอกผิวให้เรียบ
			กลึงให้ได้ขนาด พิกัดงานสวม กับแบริ่ง ขนาด50 mm. โดยกลึงเป็นระยะ 200 mm.
			นำแบริ่งขนาด50 mm.มาทดลองสวม
			กลึงให้ได้ขนาด40mm.เป็นระยะ150 mm.
			นำแบริ่งขนาด 40 mm. มาสวมเพื่อทดสอบ
			กลึงต่อจากระยะข้างต้นให้ได้ขนาด14 mm.
			นำดัปปลิงมาทดลองสวม
			นำชิ้นงานออกไปเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part: คัปปลิง			Sheet No. 7
DIST. IN FEET	TIME IN MINS	CHART SYMBOLS	PROCESS DESCRIPTION
			นำเหล็กที่มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของคัปปลิงที่ต้องการมา
			ตัดให้มีความยาว 500 mm.
			นำเข้าเครื่องกลึง
			กลึงปาดหน้าและกลึงปอกผิวให้ได้ขนาด 45 mm.
			กลึงคว้านรูให้ได้ขนาด 14 mm.
			นำชิ้นงานออกจากเครื่องไปตัด
			ตัดให้ได้ขนาด 100 mm. จำนวน 3 ชิ้น
			นำเข้าเครื่องกัด
			กัดชิ้นงานให้ได้ตามตามแบบที่กำหนด
			นำไปเจาะรู
			เจาะรูด้วยสว่านM6จำนวน 2 รู เพื่อใส่สกรู
			เก็บชิ้นงานรอการประกอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

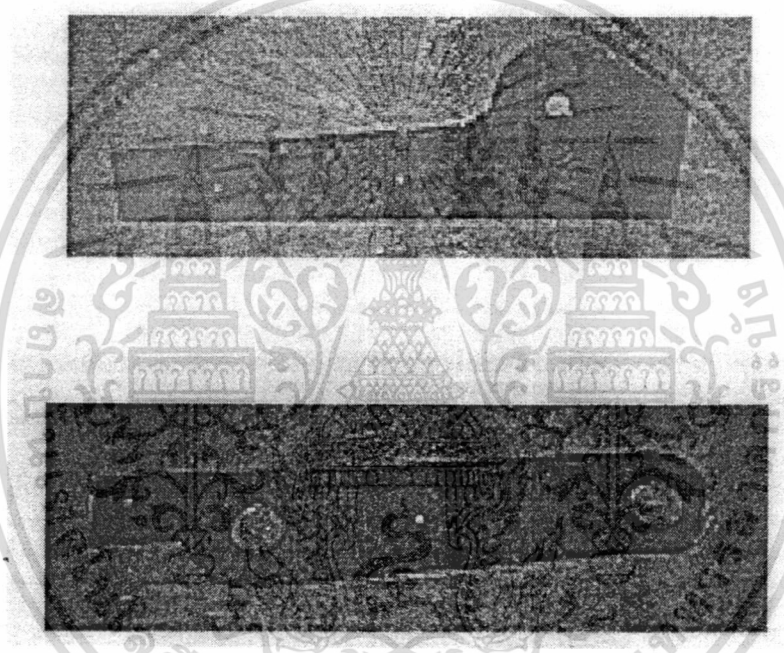
Part : ชุดเฟืองดอกจอก			Sheet No. 8
DIST. IN FEET	TIME IN MINS	CHART SYMBOLS	PROCESS DESCRIPTION
			ตัดเหล็กแผ่นให้ได้ตามขนาดโดยใช้แก๊ส
			นำชิ้นงานเข้าเครื่องกัด
			ใช้เครื่องกัด กัดให้ขอบเรียบทุกด้าน
			เจาะรูและคว้านให้ได้ขนาดงานสวม
			ตัดเหล็กกลมให้ได้ขนาดความยาว
			นำเข้าเครื่องกลึง
			กลึงปาดหน้าให้เรียบ
			กลึงให้ได้ขนาดงานสวมกับแบริ่งและเฟือง
			ประกอบแบริ่ง เหล็กแผ่น แกนเพลาและเฟืองเข้าด้วยกัน
			เชื่อมยึดติดกันโดยให้ทั้งสองส่วนตั้งฉากกัน
			นำไปเก็บ
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

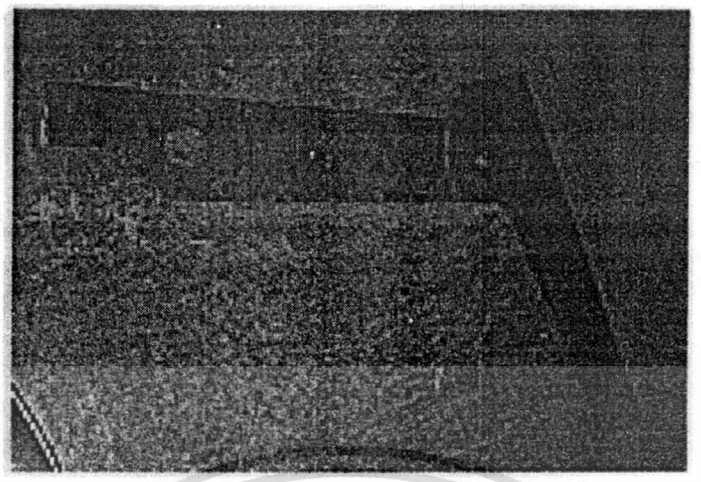
4.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์ต้นแบบ

จากการที่ได้ออกแบบ และสร้างหุ่นยนต์ตามที่ได้กำหนดไว้ แสดงได้ตามรูป

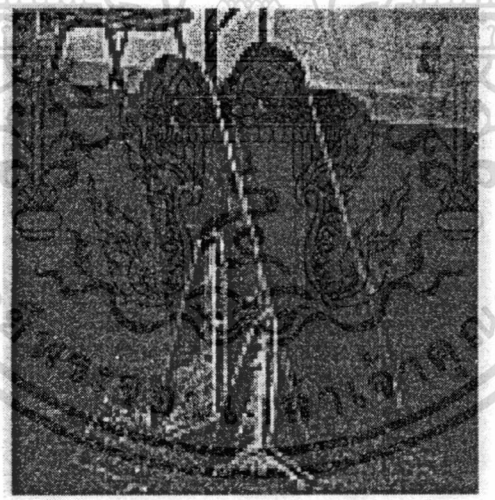


รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของแขนบน และแขนล่างของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

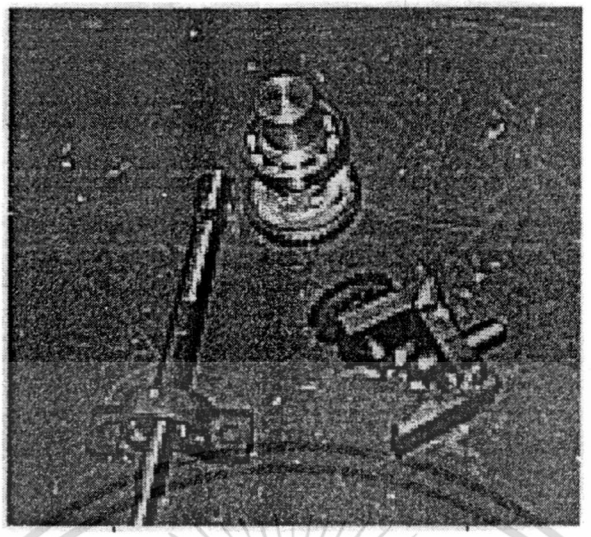


รูปที่ 4.2 การวางตำแหน่งของแขนทั้ง 2 ส่วน

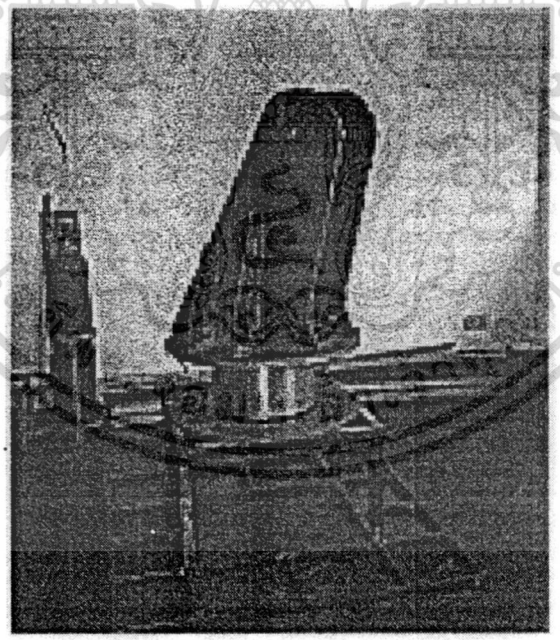


รูปที่ 4.3 ส่วนฐานของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

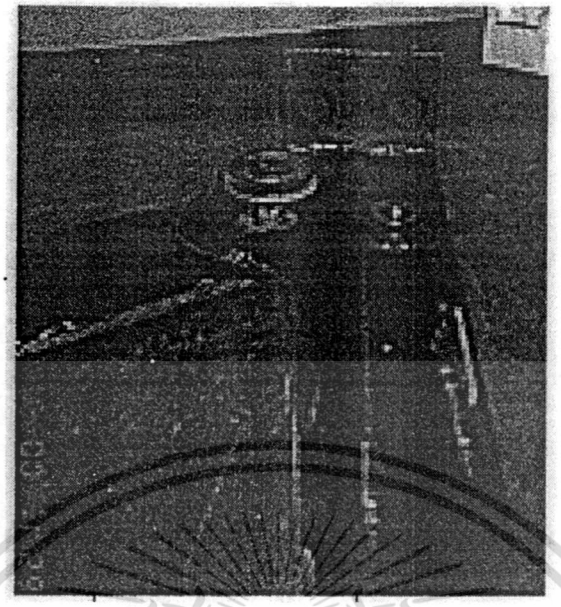


รูปที่ 4.4 ส่วนของชุดเฟืองและแบริ่ง

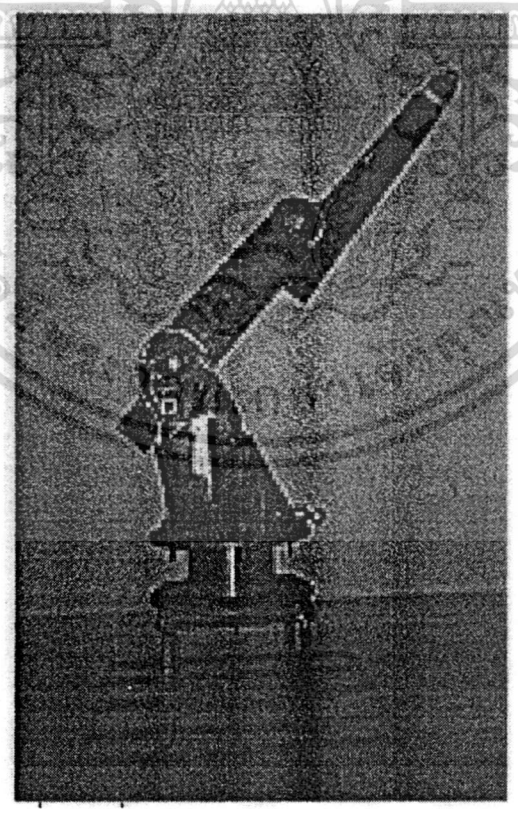


รูปที่ 4.5 ส่วนของฐานหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



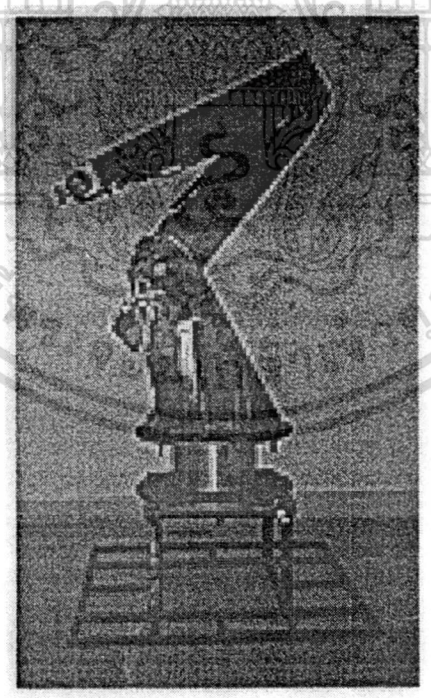
รูปที่ 4.6 แขนบนและล่างเมื่อประกอบกัน



รูปที่ 4.7 เมื่อแขนบนของหุ่นยนต์กวาดไปจนสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์



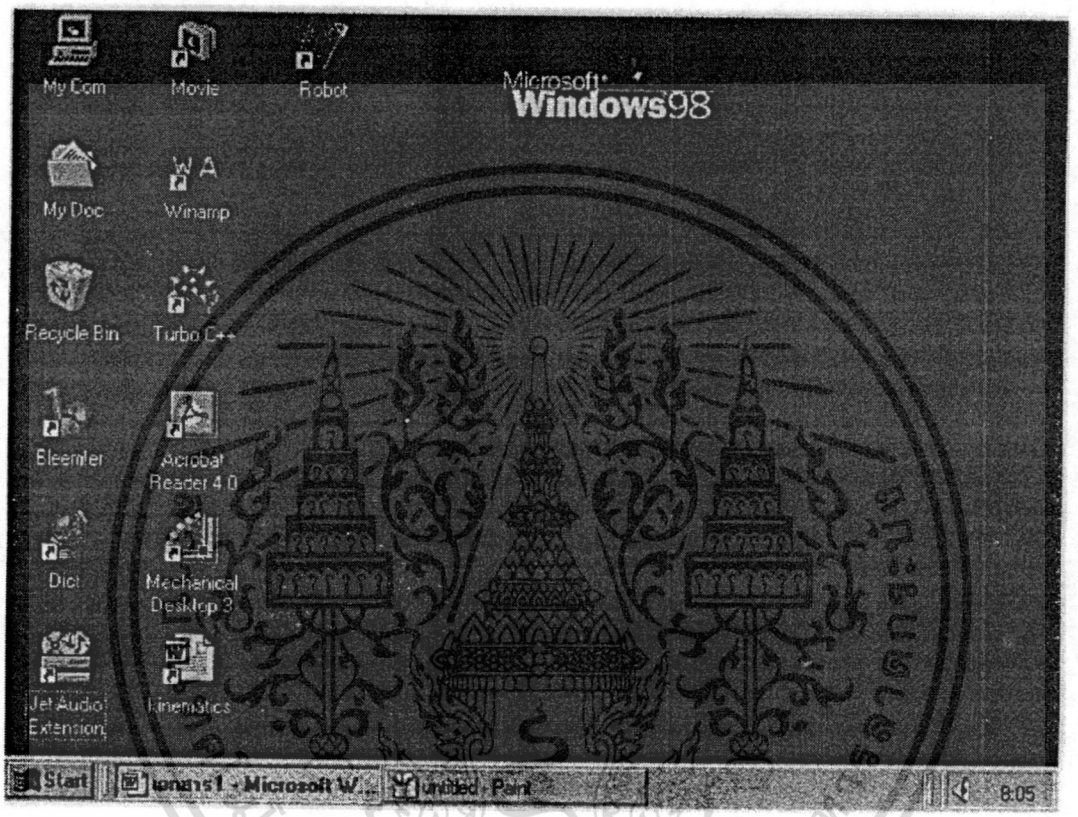
รูปที่ 4.9 แขนส่วนบนที่ก้มจนสุดระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การแสดงผลของโปรแกรมการควบคุมผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

การเรียกใช้โปรแกรม

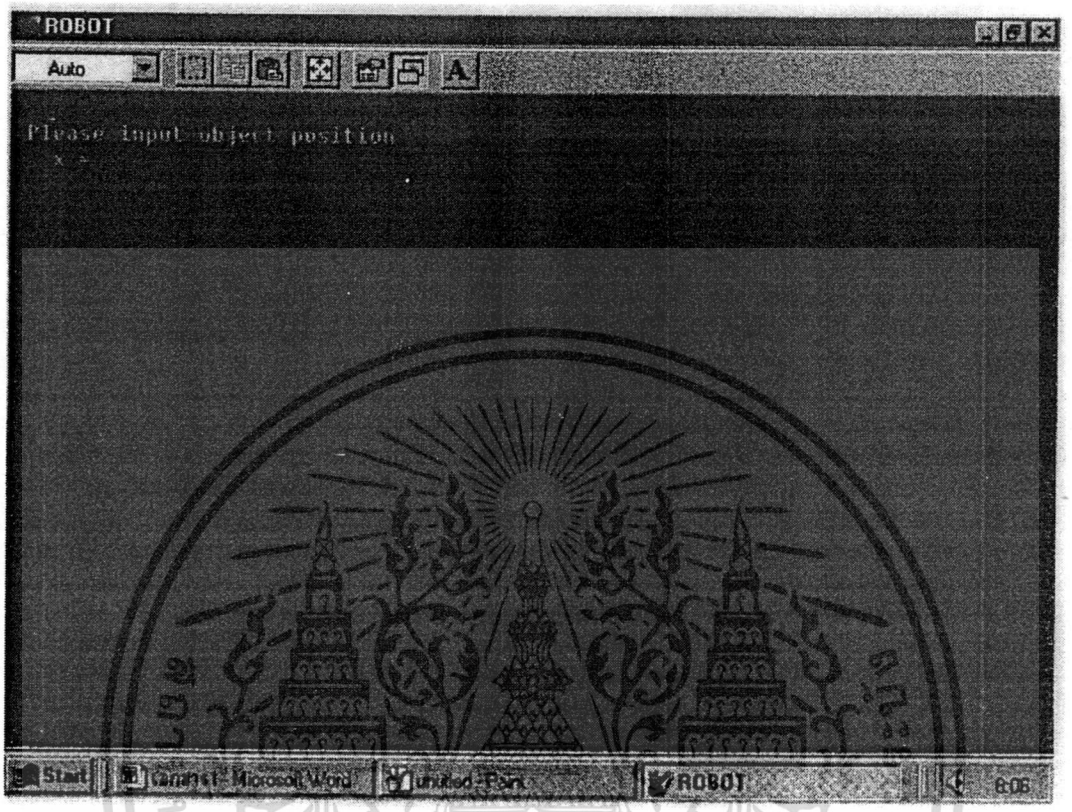
1. คลิกที่ไอคอน หน้าจอที่มีชื่อว่า Robot



รูปที่ 4.10 ภาพแสดงไอคอนที่หน้าจอวินโดว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

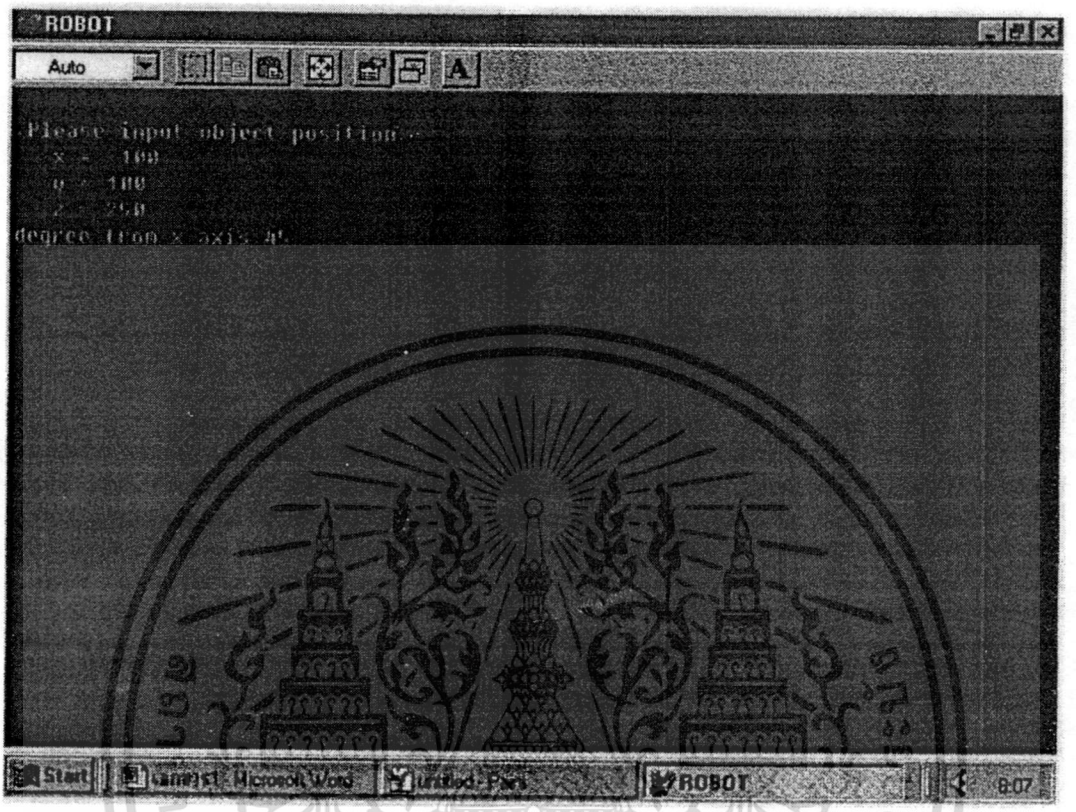
2. เมื่อคลิกแล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าจอเพื่อรับค่าจากเราดังนี้



รูปที่ 4.11 หน้าจอเริ่มแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นให้เราใส่ค่าตำแหน่งต่าง ๆ ของวัตถุลงไป อย่างเช่น

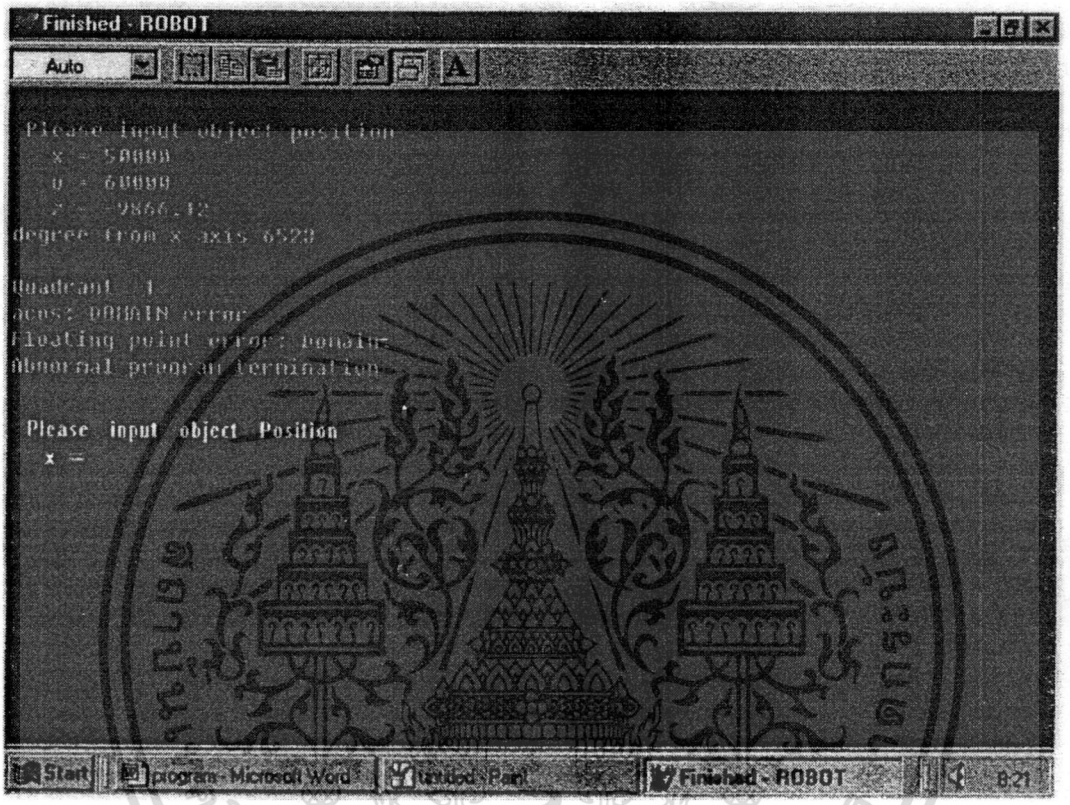


รูปที่ 4.12 แสดงการป้อนค่าในแนวแกนต่าง ๆ

ค่าที่เราต้องใส่ก็คือ พิกัดของตำแหน่งวัตถุ x,y,z และค่ามุมที่เอียงเป็นองศาไปจากแกน x ในแนวระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

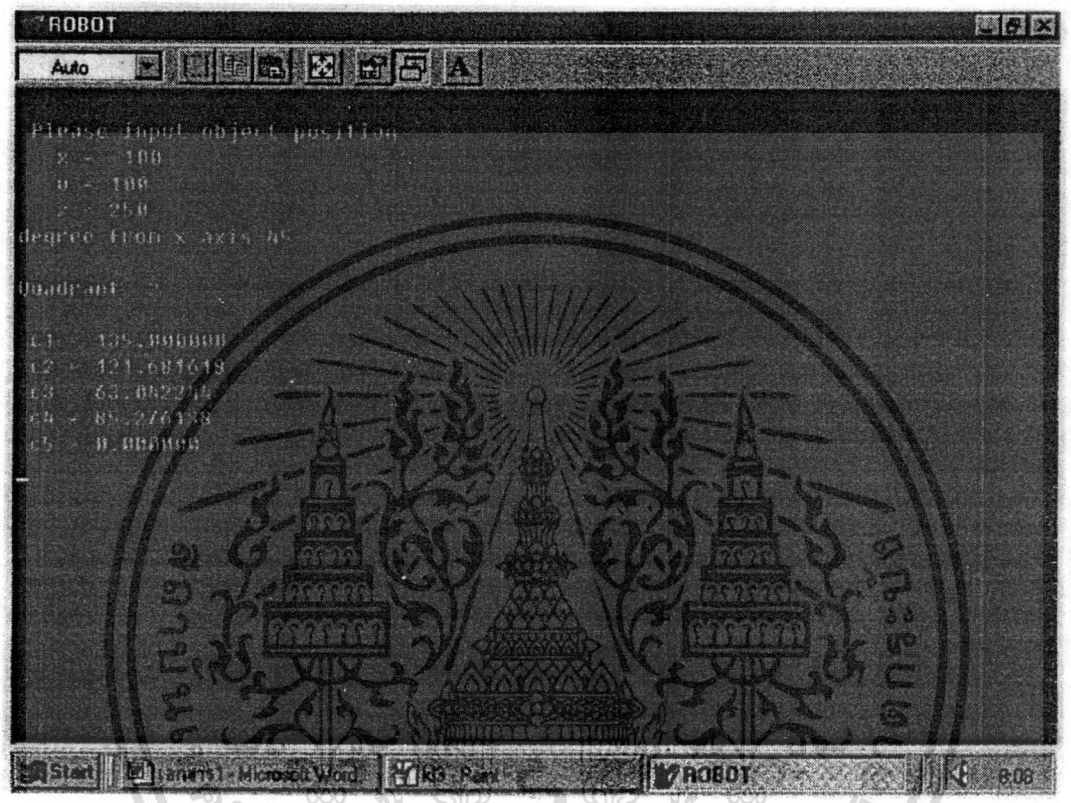
หากเราใส่ค่าตำแหน่งผิดพลาด คือแขนหุ่นไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ โปรแกรมจะแสดงค่า error และจะให้เราเริ่มใส่ค่าตำแหน่งใหม่อีกครั้งดังนี้



รูปที่ 4.13 หน้าจอแสดงผลการใส่ค่าที่ Error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อเราใส่ค่าที่ถูกต้องเครื่องจะทำการคำนวณ มุม θ ของแกนต่างๆ รวมทั้งหา Quadrant แสดงออกมาทางหน้าจอก่อนหนึ่งขั้นตอน



รูปที่ 4.14 หน้าจอแสดงการป้อนค่าที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากนั้นให้เรา Enterผ่านไป และเครื่องจะแสดงภาพเคลื่อนไหวจากจุดที่มุม ∅ ของทุกแกนเป็นศูนย์ ไปยังตำแหน่งที่เราใส่ค่าให้ไป

รูปที่ 4.15 แสดงการรันโปรแกรมหลังป้อนค่าออกมา

เราจะสามารถมองเห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ จากทางหน้าจอนี้ได้ จาก Top view และอีกภาพหนึ่งคือ side free view หมายถึง มองในแนวข้างของแขนหุ่นยนต์ตามแนว Horizontal ทั้งนี้เพื่อการมองเห็นมุมของแขนในด้านข้างที่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์และสรุปผล

5.1 วิเคราะห์และสรุปผลวิจัย

ในการสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบอุตสาหกรรมขึ้นนี้ ได้ใช้เวลากว่า 80% ไปกับการทำงานในส่วนของการสร้างส่วนต่าง ๆ และสิ่งที่ได้มาคือโครงสร้างของหุ่นยนต์ที่ยังไม่สมบูรณ์ เพราะขาดระบบขับเคลื่อน ซึ่งตรงนี้หากมีระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสม จะสามารถเคลื่อนที่ได้ตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ แต่จะมีความแม่นยำในการเคลื่อนที่ไม่สูง อันเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- Bending ในแนวข้างเพราะเหล็กตัวถังไม่หนาพอ
- ระยะ Backlash ของเฟืองและแบริ่งมีสูง

5.2 ประเมินผลโครงงานวิจัย

ผลที่ได้รับจากโครงงานวิจัย

- โครงสร้างของหุ่นยนต์ต้นแบบที่เสร็จตามแบบที่ได้วางไว้
- โปรแกรมควบคุม และแสดงผลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางการแก้ไข

การทำงานวิจัยดังกล่าว มีปัญหาและข้อเสนอแนะดังนี้ คือ

1. การออกแบบยังไม่ค่อยสมบูรณ์แบบเท่าที่ควร คงต้องปรับปรุงในส่วนของโครงสร้างให้ดีกว่านี้
2. การกลึงแต่งชิ้นส่วนและการประกอบยังมีความละเอียดไม่พอ จึงมีผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง
3. การออกแบบชุดขับเคลื่อนและชุดควบคุมยังไม่สมบูรณ์พอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 เป้าหมายในอนาคต

เป้าหมายในอนาคต คือมีการติดตั้งระบบขับเคลื่อน และทดสอบโปรแกรมควบคุมการทำงานที่เขียนขึ้น เพื่อที่จะสามารถทดสอบการทำงานของทั้งในส่วน Hardware และ Software โดยจะต้องสามารถทำการวัดค่า Error ต่าง ๆ เพื่อเก็บข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป ดังนั้น เพื่อให้เป็นไปตามที่คาดหวังได้นั้น จำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ทาง Mechatronics ให้ครบครันยิ่งกว่าในปัจจุบันนี้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการเอื้ออำนวยให้เกิดผลการวิจัยที่เป็นระบบ และเป็นรูปธรรมที่ชัดเจนมากกว่าที่เป็นอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

วรพงศ์ ทองตากร, การจำลองคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ฯ. โครงงานวิจัย: มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2540.

ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล 1.2. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,2537

Lorenzo Sciavicco and Bruno Siciliano.Modeling and control of robot Manipulators. Singapore : McGraw-Hill,1996

Mikell P. Groover,Mitchel Weiss,Roger N. Nagel and Nicholas G. Odray.Industrial Robotics. Singapore : McGraw-Hill,1986

รศ.บรรเลง ศรนิลและคณะ. ตารางงานโลหะ.กรุงเทพฯ:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2524

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

(โปรแกรมการสร้างภาพจำลองแสดงผลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <stdlib.h>
#include <graphics.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <complex.h>
#include <dos.h>
main()
{
float c[6],x,y,z,gm,bt,ap,fi,nu,R,h,L[4],zz,al,bb,gg;
L[1]=L[2]    =300;
L[3]         =30;

double pi,b,d;
pi=3.141592654;
int a,e,f,g;
x=y=z=nu=0;
clrscr();
printf("Please input object position\n  ");   /*input position*/
printf(" x = ");
scanf("%f",&x);
printf("   y = ");
scanf("%f",&y);                    /**/
printf("   z = ");
scanf("%f",&zz);
z=zz+L[3];
printf("degree from x axis ");
scanf("%f",&nu);                   /*input position*/

if(x >= 0)                 /*check Quadrant*/
{
if(y >= 0)
a=1;
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(y <  0)
a=4;
}
}
if(x < 0)                    /**/
{
if(y >= 0)
a=2;
{
if(y <  0)a=3;
}
}
printf("\n");
printf("Quadrant  %d",a);    /*check Quarant*/

h = sqrt( (x*x)+(y*y) );              /*calculate h*/

if(y==0) b=0;
else
b = ( ( asin( (abs(y))/h) )*360 ) / (2*pi);  /*calculate ceta 1*/

if(a==1) c[1] =b;             /*assign Quadrant*/
else
if(a==2) c[1] =180-b;
else
if(a==3) c[1] =180+b;
else
if(a==4) c[1] =360-b;         /*assign Quadrant*/

printf("\n");
//printf(" h  = %f \n  c1 = %f",h,c[1]);

R =sqrt( (h*h)+(z*z) );       /*cal R*/
al=asin( abs(z) / R);         /*cal alpha*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ap=(al*360) / (2*pi);        /*cal alpha*/


bb=acos( R/(2*L[1]) );       /*cal beta*/
bt=(bb*360) / (2*pi);

if(z>=0)  c[2] = bt+ap;      /*cal ceta2*/
else
if(z< 0)                     /*cal ceta2*/
 {
if(bt>ap) c[2] = bt-ap;
{
if(ap>bt) c[2] = -(ap-bt);
}
 }

c[3]  = 180-(2*bt);  /*cal ceta3*/

printf("\n");
// printf("c1 = %f   c2 = %f   c3 = %f ",c[1],c[2],c[3]);
// printf("bt = %f",bt);
gg=asin( h/R );              /*cal gamma*/
gm=(gg*360)/(2*pi);


if(z>=0) c[4] = gm+bt;       /*cal ceta4*/

if(z< 0)                     /*cal ceta4*/
 {
if(bt>gm) c[4] = 180 + bt;
{
if(gm>bt) c[4] = 180 - (gm-bt);
}
 }                   /*cal ceta4*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// printf("c1 = %f   c2 = %f   c3 = %f  c4 = %f",c[1],c[2],c[3],c[4]);

c[5] = 90 - c[1] + nu;
printf(" c1 = %f \n c2 = %f\n c3 = %f\n c4 = %f\n c5 = %f",c[1],c[2],c[3],c[4],c[5]);


getch();



/* Graphics */

/*
int gdriver = DETECT , gmode;
initgraph(&gdriver,&gmode,"");
moveto(50,100);
lineto(50,400);
moveto(0,250);
lineto(300,250);
moveto(350,250);
lineto(650,250);
moveto(500,100);
lineto(500,400);

setcolor(2);
moveto(500,250);
lineto(500+(x/4),250-(y/4));

float j,k,l,n;

setcolor(5);
moveto(50,250);
 if(c[2]>90) j= 50  - (L[1]*fabs(cos(c[2]*pi/180)))/2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else       j= 50  + (L[1]*fabs(cos(c[2]*pi/180)))/2;

if(c[2]<0)  k= 250 + (L[1]*fabs(sin(c[2]*pi/180)))/2;
else            k= 250 - (L[1]*fabs(sin(c[2]*pi/180)))/2;

lineto(j,k);

setcolor(9);
moveto(j,k);
l=50+h/2;
n=250-(z/2);
lineto( l , n);

setcolor(10);
moveto(l, n);
ineto(l, 250-(zz/2) );


getch(); */

/*
float cc,dd,ee,ff,py,b1,xx,zab,zaa,mo,ko,re;
pi= 3.141592654;
py= 3.141592654/180;
int gdriver = DETECT , gmode,aa,ii,cx,cy;
cx = 150;
cy = 300;
initgraph(&gdriver,&gmode,"");
if(180-c[2] <= c[3]) xx = c[3]-180-c[2];
else xx = -(180-c[2]-c[3]);


for(aa=0;aa<=c[2];aa=aa+1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
mo=c[1]/c[2]*aa;
zab = 500+ 100*cos(mo *py);
zaa = 300- 100*sin(mo *py);

cc= cx+ (L[1]/2)*cos(aa*py);
dd= cy- (L[1]/2)*sin(aa*py);

if( xx<c[2] ) b1 = xx/c[2]*aa;
else b1 = c[2]/xx*aa;

ee = cc + (L[2]/2)*cos(b1*py);
ff = dd - (L[2]/2)*sin(b1*py);

delay(10);
cleardevice();
moveto(500,300);
lineto(zab,zaa);
setcolor(4);
circle(500,300,5);
moveto(zab,zaa);
ko=zab+10*cos((nu)*py);
re=zaa-10*sin((nu)*py);
lineto(ko,re);

circle(zab,zaa,10);
 setcolor(WHITE);
moveto(cx,cy);
lineto(cc,dd);
setcolor(4);
circle(cx,cy,5);
setcolor(WHITE);
moveto(cc,dd);
lineto(ee,ff);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
setcolor(4);
circle(cc,dd,5);
setcolor(WHITE);
moveto(ee,ff);
lineto(ee,ff+20);
setcolor(4);
circle(ee,ff,5);
setcolor(WHITE);
}
printf(" c1 = %f\t\tx = %f  y = %f  z = %f \n c2 = %f \n c3 = %f \n c4 = %f\n c5 = %f",c[1],x,y,zz,c
[2],c[3],c[4],c[5]);

getch();*/

float cc,dd,ee,ff,py,ko,na,s,su,ra,chai,mai;
pi= 3.141592654;
py= 3.141592654/180;
int gdriver = DETECT , gmode,cx,cy,aa,cxx,cyy;
cx = 150;
cy = 250;
cxx = 450;
cyy = 250;
initgraph(&gdriver,&gmode,"");


ko = c[2]   ;
s  = c[3]-(180-c[2]) ;
na = s/ko;
mai= (L[1]+L[2])/ko;
if(c[1]<=180)  chai =  c[1]/ko;
else  chai = (-(180-(c[1]-180)))/ko;

for(aa=0;aa<=ko;aa=aa+1)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
gotoxy(76,16);
printf("X");
gotoxy(57,6);
printf("Y");

cc= cx+ 100*cos(aa*py);
dd= cy- 100*sin(aa*py);

ee = cc+100*cos((aa*na)*py);
ff = dd-100*sin((aa*na)*py);

su =   cxx+ ((ee-cx)/2)*cos(aa*chai*py);
ra =   cyy- ((ee-cx)/2)*sin(aa*chai*py);


delay(50);

cleardevice();
setcolor(RED);
moveto(cx,100);
lineto(cx,400);
moveto(10,cy);
lineto(290,cy);
moveto(cxx,100);
lineto(cxx,400);
moveto(310,cyy);
lineto(590,cyy);
setcolor(WHITE);
moveto(cxx,cyy);
lineto(su,ra);
setcolor(RED);
circle(su,ra,5);
setcolor(WHITE);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
moveto(cx,cy);
ineto(cc,dd);

moveto(cc,dd);
lineto(ee,ff);

moveto(ee,ff);
lineto(ee,ff+(L[3]/3));
circle(ee,ff+(L[3]/3),6);

}
gotoxy(1,1);
printf(" c1 = %f\t\tx = %f\ty = %f\tz = %f\n c2 = %f\n c3 = %f\n c4 = %f\n c5 = %f",c[1],x,y,zz,c[2],c
[3],c[4],c[5]);
gotoxy(76,16);
printf("X");
gotoxy(57,6);
printf("Y");



getch();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

(ตารางแสดงคุณสมบัติเหล็ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติทางกลของโลหะและอโลหะ

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อบางชนิด (mechanical properties of some cast ferrous materials)

Identification or Number of Specification	Modulus of Elast. in Tension, ksi	Tensile Strength, ksi	Yield Strength (0.2% offset), ksi	Elongation in 2 in., %	Hardness, BHN	Endurance Limit, ksi	Modulus of Elast. in Compression, psi	Compressive Strength, ksi	Shear Strength, ksi	Impact Strength (Charpy), ft-lb
	Gray Cast Irons									
ASTM, Class 20	12×10^6	20	–	–	160	10	–	95	32	55
ASTM, Class 25	13×10^6	25	–	–	165	12.5	–	100	37	55
ASTM, Class 30	15×10^6	30	–	–	195	14.5	–	115	44	60
ASTM, Class 40	17×10^6	40	–	–	220	19	–	143	57	70
ASTM, Class 50	19×10^6	50	–	–	238	22	–	150	65	80
ASTM, Class 60	20×10	60	–	–	260	24	–	170	72	115
	Malleable Cast Irons									
32510(ASTM A47)	25×10^6	50	32.5	10	133	28	25×10^6	208	47	16.5
35018(ASTM A47)	25×10^6	53	35	18	133	31	25×10^6	220	51	16.5
45010(ASTM A220)	26×10^6	65	45	10	185	32	23.2×10^6	242	49	14
50007(ASTM A220)	26.5×10^6	75	50	7	204	37	23.2×10^6	242	75	14
60003(ASTM A220)	27×10^6	80	60	3	226	39	23.2×10^6	242	80	14
80002(ASTM A220)	27×10	100	80	2	255	40	23.2×10^6	242	100	10
	Nodular or Ductile Cast Irons									
60-40-18 (ASTM A536) or 60-45-12 (ASTM A536)	23.5×10^6	70	52.5	10-25	178	35	–	140	–	–
80-55-06 (")	23.5×10^6	100	67.5	3-10	217	50	–	200	–	–
100-70-03[a] (")	23.5×10^6	110	72.5	6-10	257	55	–	220	–	–
120-90-02[a] (")	23.5×10^6	135	108	2-7	283	63	–	270	–	–
Heat Resistant	18.5×10^6	73	40	7-40	170	37	–	146	–	–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) คุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อบางชนิด

Identification Number of Specification	Modulus of Elast. in Tension, psi	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongation in 2 in., %	Hardness, BHN	Endurance Limit ksi	Modulus of Elast. in Compression, ksi	Compressive Strength ksi	Shear Strength ksi	Impact Strength, (Charpy), ft-lb
	Cast Alloy Steels[h]									
Class 65,000	30×10^6	68[c]	38	32	137	32	-	-	-	60
Class 80,000	30×10^6	86[c]	54	24	170	39	-	-	-	48
Class 105,000	30×10^6	110[c]	91	21	217	53	-	-	-	58
Class 150,000	30×10^6	158[d]	142	13	311	74	-	-	-	30
Class 200,000	30×10^6	205[d]	170	8	401	88	-	-	-	14
	Cast Carbon Steels									
Class 60,000[e]	30×10^6	63	35	30	131	30	-	-	-	12
Class 70,000[f]	30×10^6	75	42	27	143	35	-	-	-	30
Class 85,000[c]	30×10^6	90	55	20	179	39	-	-	-	26
Class 100,000[d]	30×10^6	105	75	19	212	45	-	-	-	40
	Alloy Cast Irons									
Ni-Hard Type 2[g]	25×10^6	60	-	-	575	-	-	-	-	38
Duriron[h]	23×10^6	16	-	-	520	-	-	-	-	3
Ni-Resist Type 1[i]	16×10^6	27	-	-	150	-	-	-	-	60
	Cast Stainless Steels									
CB-30[c]	29×10^6	95	60	15	195	-	-	-	-	
CF-8M[j]	28×10^6	80	42	50	163	-	-	-	-	70
CF-20[j]	28×10^6	77	36	50	163	-	-	-	-	75
CN-7M[j]	24×10^6	69	32	48	130	-	-	-	-	70

ที่มา : 1973 Material Selector, Reinhold Publishing Co., New York ; Tool Engineers' Hanbook, 2 nd.ed., McGraw-Hill, ASME Handbook-Metal Properties, McGraw-Hill

a ได้มาโดยกรรมวิธีทางความร้อนเกี่ยวกับนอร์มัลไลซิง หรือการชุบและเทมเปอริง

b ต่ำกว่า 8% ของปริมาณทั้งหมด

c นอร์มัลไลและเทมเปอร์

d ชุบและเทมเปอร์

e แอนนีล

f นอร์มัลไล

g ต้านทานการสึกหรอดี

h ต้านทานการผุกร่อนดี

i ทนความร้อนและการผุกร่อน

j 2000 °F แล้วชุบในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม (mechnical properties of plain carbon and alloy steels) (ชิ้นทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 mm)

AISI Type	Condition	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongat. in 2 in., %	Reduction in Area, %	Hardness, BHN	Machin-ability (Based on 1112 = 100)
1010	HR	64	42	28	67	107	45
	CD	78	68	16	63	129	55
	CDA	64	48	28	65	131	55
1020	HR	65	43	36	59	143	50
	CD	78	66	20	55	156	65
	A	57	52	37	66	111	90
	N	64	50	36	68	131	75
1030	HR&turned	72	44	31	63	140	-
	CD	84	76	16	57	177	65
	A	67	50	31	58	126	-
	N	76	51	32	61	149	-
1040	HR	91	58	27	50	201	63
	CD	100	88	17	42	207	65
	A	75	51	30	57	149	-
	N	85	50	28	55	170	60
1045	HR	98	59	24	45	212	56
	CD	103	90	14	40	217	60
	A	90	55	27	54	174	60
	N	99	61	25	49	207	-
1050	HR	105	67	15	-	-	-
	CD	114	104	9	-	-	54
	A	92	43	24	40	187	-
	N	109	62	20	39	217	-
1095	HR	142	83	18	36	295	-
	A	95	38	13	21	192	-
	N	147	73	10	14	293	-
1118	HR	75	50	35	55	140	-
	CD	85	75	25	55	170	80
	A	65	41	35	67	131	80
	N	69	46	34	66	143	80
2330	CD	105	90	20	50	212	50
	A	86	61	28	58	179	50
	N	100	68	26	56	207	-
3140	CD	107	92	17	50	212	55
	A	100	61	25	51	197	55
	N	129	87	20	58	262	-
4130	HRA	86	56	29	57	183	65
	CDA	98	87	21	52	201	70
	N	97	63	26	60	197	50
4140	HRA	90	63	27	58	187	57
	CDA	102	90	18	50	223	66
	N	148	95	18	47	302	-
4340	HRA	101	69	21	45	207	45
	CDA	110	99	16	42	223	50
	N	185	126	11	41	363	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม

AISI Type	Condition	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongat. in 2 in., %	Reduction in Area, %	Hardness, BHN	Machinability (Based on 1112 = 100)
4620	HR	85	63	28	64	183	58
	CD	101	85	22	60	207	64
	A	74	54	31	60	149	55
	N	83	53	29	67	174	-
4640	CDA	117	95	15	43	235	55
	A	98	63	24	51	179	55
	N	123	87	19	51	248	-
5120	CD	92	77	20	55	187	65
	CDA	87	70	23	60	179	65
5140	CDA	105	88	18	52	212	60
52100	HRA	100	81	25	57	192	45
	HRN	185	139	13	20	363	-
6150	CDA	111	95	14	44	223	45
	N	136	89	22	61	269	-
8620	HR	89	65	25	63	192	60
	CD	102	85	22	58	212	63
	A	78	56	31	62	149	-
	N	92	52	26	60	183	-
8640	CD	140	120	11	38	277	-
	CDA	107	90	14	45	217	60
8740	HRA	95	64	25	55	190	56
	CDA	107	96	17	48	223	66
	N	135	88	16	48	269	-
9255	HRA	113	71	22	41	229	45
	N	135	84	20	43	269	-
E9310	HR	115	75	22	58	241	45
	A	119	64	17	42	241	-
	N	132	83	19	58	269	-
9440	HR	123	80	18	47	241	-
	HRA	93	59	26	53	183	-
	N	110	72	25	58	223	-

ที่มา : ASME Handbook-Material Properties, McGraw-Hill, 1954 ; Ryerson Data Book, Joseph T.Ryerson and Sons, Inc., 1965.

หมายเหตุ : HR รีดร้อน HRN รีดร้อนและนอร์มัลไล
HRA รีดร้อนและแอนนีล A แอนนีล
CD รีดเย็น N นอร์มัลไล
CDA รีดเย็นและแอนนีล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ขุบแข็งได้ (mechanical properties of carburizing and hardening grade steels)

AISI Type	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of Area, %	Impact Strength (Izod), ft-lb	Hardness		Machining
						Case (Brinell)	Case (Rockwell)	
	Plain Carbon, Carburized Steels							
C1015	73	46	30	71	93	149	C62 (.048")	ไม่พอใช้
C1020	75	46	31	71	93	156	C62 (.046")	ไม่พอใช้
C1022	83	47	27	66	81	163	C62 (.046")	ดี
C1117	97	59	23	53	33	192	C65 (.045")	ดีมากถึงดีเลิศ
C1118	113	77	17	45	16	229	C61 (.065")	ดีมากถึงดีเลิศ
	Plain Carbon, Hardened Steels							
C1030	122-75	93-58	18-33	48-71	8-100	495-179		พอใช้ถึงดี
C1040	113-89	86-62	19-33	48-68	36-72	262-183		พอใช้ถึงดี
C1050	143-96	108-61	10-30	42-63	16-53	321-192		พอใช้ถึงดี
C1060	160-103	112-68	12-28	40-60	14-23	321-212		ต้องแอนนีล
C1080	190-117	142-70	12-24	35-51	10-22	388-223		ต้องแอนนีล
C1095	188-190	120-74	10-26	30-53	5-6	401-229		ต้องแอนนีล
C1137	158-87	138-60	6-28	22-70	10-90	352-174		ดีถึงดีมาก
C1141	237-94	188-68	7-28	58-63	9-81	461-192		ดีถึงดีมาก
C1144	128-97	91-68	17-24	35-59	7-62	277-201		ดีถึงดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ชุบแข็งได้

AISI Type	Tensile Strength, Ksi (MPa)	Yield point, Ksi (MPa)	Elongation in 2 in. (50.8 mm), %	Reduction of Area, %	Impact Strength, ft-lb (J) (Izod)	Hardness Case (Brinell)	Hardness Case (Rockwell)	Machining
	Alloy Steels, Hardening Grades							
4130	234-98	197-89	12-28	44-71	32-108	461-202		-
8630	250-115	230-93	10-26	47-70	33-114	495-217		-
1340	282-100	235-76	9-25	24-61	9-97	578-235		-
3140	280-112	249-92	11-23	49-69	9-97	555-223		-
4140	290-117	251-100	11-23	42-65	11-108	578-235		-
4340	284-142	228-130	11-21	48-64	18-77	555-293		-
5140	278-114	228-84	8-28	28-68	9-93	534-207		-
8740	290-119	240-100	10-25	42-64	21-88	578-241		-
4150	308-128	248-117	10-20	34-60	10-77	578-262		-
5150	312-116	250-102	9-22	31-62	7-78	601-241		-
6150	315-118	270-108	7-22	17-61	14-87	601-241		-
8650	282-123	250-114	11-22	41-62	9-78	555-255		-
9255	305-130	288-102	2-22	4-49	3-25	601-262		-
5160	322-115	260-106	4-24	9-60	2-63	627-229		-
4063	345-114	257-103	4-24	8-60	3-67	557-229		-
	Alloy Steels, Carburizing Grades							
E3310	180,180	146,180	14,15	57,58	55,57	363,363	61,58 (.047")	-
4320	218,211	178,173	14,13	48,51	28,29	429,415	63,59 (.075")	-
4520	103,102	65,62	24,25	60,64	61,90	217,212	65,61 (.062")	-
4620	119,115	83,80	20,21	59,64	52,69	277,248	63,59 (.075")	-
4820	207,205	167,184	14,13	52,53	44,47	415,415	61,58 (.047")	-
8620	188,167	149,120	12,14	52,53	26,30	388,341	64,61 (.075")	-
E9310	173,168	135,137	16,16	60,60	61,39	363,341	62,60 (.047")	-

ที่มา : 1973 Material Selector, Reinhold Pub.Co.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าบางชนิดที่ผ่านกรรมวิธีความร้อน ณ อุณหภูมิต่าง ๆ (mechnical properties of some heat-treated steels at various tempering temperature)

Tempering Temp., °F	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Reduction of Area, %	Elongation in 2 In., %	Brinell Hardness	Tempering Temp., °F	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Reduction of Area, %	Elongation in 2 In., %	Brinell Hardness
C1040 ชุบในน้ำมันที่ 1575 °F						C3140 ชุบในน้ำมันที่ 1525 °F					
400	113	86	48	19	262	400	281	248	48	12	555
600	113	86	53	20	255	600	242	218	50	13	477
800	110	81	53	21	241	800	192	178	57	14	388
1000	104	72	58	25	212	1000	152	133	62	18	311
1200	92	62	65	28	192	1200	125	104	68	21	262
1300	88	61	68	33	183	1300	112	92	69	23	223
C1060 ชุบในน้ำมันที่ 1550 °F						C4027 ชุบในน้ำที่ 1585 °F					
400	160	112	40	12	321	400	238	189	35	12	415
600	160	112	40	12	321	600	214	188	46	12	415
800	155	111	41	13	311	800	175	160	54	13	363
1000	140	97	45	17	277	1000	145	130	62	16	302
1200	116	78	53	23	229	1200	116	98	67	21	229
1300	103	68	60	28	212	1300	97	81	70	26	192
C1095 ชุบในน้ำที่ 1450 °F						C4063 ชุบในน้ำมันที่ 1500 °F					
400	216	152	31	10	601	400	314	255	8	5	555
600	212	150	32	10	534	600	285	255	33	8	514
800	199	138	35	12	388	800	228	210	41	10	444
1000	166	110	40	15	293	1000	180	165	45	13	363
1200	122	84	47	20	235	1200	130	119	54	20	269
1300	113	73	51	22	201	1300	113	103	60	24	229
C1137 ชุบในน้ำที่ 1550 °F						C4130 ชุบในน้ำที่ 1575 °F					
400	217	168	18	5	415	400	233	197	44	12	461
600	198	162	23	8	375	600	220	190	50	12	429
800	161	143	40	12	311	800	189	168	54	13	401
1000	120	105	60	19	262	1000	145	132	60	16	302
1200	94	77	69	25	187	1200	110	97	68	22	241
1300	86	65	71	28	179	1300	98	88	71	28	202
C1144 ชุบในน้ำที่ 1550 °F						C4140 ชุบในน้ำมันที่ 1550 °F					
400	128	92	35	16	277	400	290	252	42	11	578
600	127	91	40	17	262	600	251	228	46	12	495
800	123	88	42	18	248	800	210	194	50	14	429
1000	117	82	47	20	235	1000	167	152	54	17	341
1200	105	73	54	22	217	1200	130	113	61	21	277
1300	96	68	59	24	201	1300	118	101	65	23	235

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าบางชนิดที่ผ่านกรรมวิธีความร้อน ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

Tempering Temp., °F	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Reduction of Area, %	Elongation in 2 in., %	Brinell Hardness	Tempering Temp., °F	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Reduction of Area, %	Elongation in 2 in., %	Brinell Hardness
C1340 ชุบในน้ำมันที่ 1525 °F						C4340 ชุบในน้ำมันที่ 1475 °F					
400	285	235	24	8	578	400	284	228	47	12	555
600	245	212	39	10	495	600	248	218	48	13	477
800	193	178	49	12	415	800	210	192	52	14	415
1000	145	132	57	17	363	1000	171	158	57	17	363
1200	113	92	62	22	293	1200	142	130	64	21	293
1300	101	75	63	25	235	1300	138	109	65	24	247
C5150 ชุบในน้ำมันที่ 1525 °F						C6150 ชุบในน้ำมันที่ 1550 °F					
400	306	206	31	8	601	400	315	270	15	6	601
600	267	238	37	9	514	600	270	240	34	9	534
800	210	195	44	11	415	800	222	208	40	10	444
1000	160	149	52	15	321	1000	183	173	46	12	375
1200	128	117	60	21	269	1200	142	131	55	18	293
1300	115	102	62	22	241	1300	117	107	62	22	241
C8630 ชุบในน้ำมันที่ 1550 °F						C8650 ชุบในน้ำมันที่ 1475 °F					
400	251	230	46	10	495	400	290	250	41	11	555
600	221	204	53	11	444	600	258	237	41	11	514
800	186	174	60	14	375	800	220	200	42	12	429
1000	152	142	65	18	311	1000	175	155	48	14	363
1200	121	109	68	22	248	1200	136	123	57	18	302
1300	105	93	69	25	217	1300	122	112	62	22	255
C8740 ชุบในน้ำมันที่ 1525 °F						C9255 ชุบในน้ำมันที่ 1625 °F					
400	290	240	41	10	578	400	305	288	4	1	601
600	249	225	45	11	495	600	272	260	10	3	578
800	208	196	50	13	415	800	233	216	21	8	477
1000	175	165	54	15	363	1000	182	160	32	15	352
1200	143	132	60	20	302	1200	144	118	42	20	285
1300	118	100	63	25	241	1300	130	102	48	22	262

ที่มา : Modern Steel and Their Properties. 7th ed., Bethlehem Steel Corp.

หมายเหตุ : (a) ข้อมูลในตารางนี้มาจากผลของกรรมวิธีทางความร้อนเพียงหนึ่งครั้ง

(b) ในการชุบเหล็กเบอร์ 1040 1060 1095 1137 1144 และ 9255 ใช้ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว เหล็กเบอร์ 1340 4027 6150 และ 8750 ใช้ตัวอย่างขนาด 0.565 นิ้ว เหล็กเบอร์ 3140 4063 4130 4140 4340 5150 8630 และ 8650 ใช้ตัวอย่างขนาด 0.530 นิ้ว แต่ในการทดสอบความต้านแรงจะตัดกลึงให้เหลือขนาด 0.505 นิ้ว ทุกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.5 ผลจากขนาดต่าง ๆ ของท่อนเหล็กกล้าบางชนิดที่ผ่านกรรมวิธีความร้อน (influence of mass on the mechnical properties of heat treated steels)

Bar Dia., in.	Tensile Strength, psi.	Yield Point, psi.	Elongation in 2 in., %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
C1040 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 1000 °F					
1/2	104,750	72,500	27.0	62.0	217
1	96,250	68,000	26.5	61.1	197
2	92,250	59,750	27.0	59.9	187
4	90,000	57,500	27.0	60.3	179
C1095 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 1000 °F					
1/2	142,000	87,000	17.4	42.8	293
1	139,750	79,000	17.2	38.8	277
2	134,500	77,250	18.7	43.4	269
4	130,000	65,750	17.2	34.4	262
C1141 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 1200 °F					
1/2	105,200	87,400	23.5	63.8	217
1	96,300	69,600	24.8	64.1	197
2	95,800	65,300	25.2	65.1	192
4	95,200	60,300	25.2	63.0	183
C2340 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 1200 °F					
1/2	118,000	95,000	22.0	68.0	250
1	112,000	90,000	24.0	65.0	240
2	107,000	82,000	27.0	61.0	222
4	105,000	77,000	28.0	58.0	210
C4130 ชุบในน้ำและเทมเปอร์ที่ 1100 °F					
1/2	133,000	122,500	20.7	69.0	269
1	128,000	113,250	21.2	67.5	262
2	114,500	91,500	21.7	67.7	229
4	101,500	77,500	24.5	69.2	197
C4340 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 1200 °F					
1/2	145,000	135,500	20.0	59.3	285
1	139,000	128,000	20.0	59.7	277
2	134,750	121,000	20.5	62.5	269
4	124,000	105,750	21.7	63.0	255
C5140 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 1000 °F					
1/2	146,750	131,500	17.8	57.1	302
1	141,000	121,500	18.5	58.9	293
2	128,000	100,500	19.7	59.1	255
4	125,000	81,500	20.2	55.4	248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) ผลจากขนาดต่าง ๆ ของท่อนเหล็กกล้าบางชนิดที่ผ่านกรรมวิธีความร้อน

Bar Dia. in.	Tensile Streng. psi	Yield Point psi	Elongation in 2 in. %	Reduction in Area %	Brinell Hardness
C6150 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 1200 °F					
1/2	147,000	141,500	17.8	53.9	293
1	141,250	129,500	18.7	56.3	293
2	133,750	116,500	19.5	57.4	269
4	121,500	94,500	21.0	59.7	241
C8650 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 1000 °F					
1/2	177,500	168,750	14.6	48.2	363
1	172,500	159,750	14.5	49.1	352
2	165,250	148,500	17.0	55.6	331
4	143,250	113,000	18.7	54.9	285
C3140 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 800 °F					
1/2	194,000	163,000	14.0	52.5	400
1	188,000	156,000	14.5	50.0	375
2	145,000	114,000	15.0	46.0	295
4	136,000	105,000	15.3	45.0	279
C9255 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 1000 °F					
1/2	170,000	146,500	14.9	40.0	331
1	164,250	133,750	16.7	38.3	321
2	154,750	102,500	18.0	45.6	302
4	149,000	94,000	19.2	43.7	293
C9840 ชุบในน้ำมันและเทมเปอร์ที่ 800 °F					
1/2	218,000	198,000	12.0	45.1	430
1	216,000	197,000	13.0	45.3	425
2	211,000	192,000	13.5	45.4	421
4	200,000	149,000	13.5	45.0	398

ที่มา : ข้อมูลรวบรวมจาก Modern Steels and their Properties, 7th ed. Bethlehem Steel Corp, ยกเว้น C2340, C3140 และ C9840 เป็นข้อมูลของ International Nickel Co., Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียวบางชนิด (mechnical properties of some wrought stainless steels)

AISI Type	Tensile Strength (ksi)			Yield Strength (ksi)			Elongation (%)			Reduction of Area (%)		Brinell Hardness BHN			Shear Strength (ksi)			Endurance Limit (ksi)		Machinability (%)	Corrosion
	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked		
Austenitic																					
302	85	110	-	35	75	-	60	35	-	70	60	115	240	-	110	-	-	34	-	55	ดีเลิศ
304	85	110	-	35	75	-	60	60	-	70	-	149	240	-	110	90	-	34	-	55	ดีเลิศ
310, 310S	95	-	-	45	-	-	50	-	-	65	-	179	-	-	90	-	-	-	-	50	ดี
316	80	90[d]	-	30	60[d]	-	60	45[d]	-	70	65[d]	149	190[d]	-	110	-	-	38	40[d]	50	ดีเลิศ
321	85	100[d]	-	35	65[d]	-	55	40[d]	-	65	60[d]	150	212[d]	-	110	-	-	38	-	55	ดีเลิศ
347, 348	90	100[d]	-	35	65[d]	-	50	40[d]	-	-	60[d]	160	212[d]	-	110	-	-	39	-	-	ดีเลิศ
Martensitic																					
403	73[a]	-	110	43[a]	-	85	30[a]	-	23	70	-	155	-	225	90	-	75	40	-	Fair	พอใช้
410	70	100[b]	110[b]	40[a]	85	85	40[a]	17	23	70	60	155	205	225	90	80[a]	75	40	-	55[c]	พอใช้ ต้องระมัดระวัง
414	117[a]	130[d]	160[a]	98[a]	115[d]	127[a]	17[a]	15[d]	17[a]	60	55[d]	235	270[d]	-	50	-	48[a]	45	-	Fair	พอใช้ถ้ามีการให้ความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม
416, 416Sc	75	100[c]	110	40	85[c]	85	30	13[c]	16	60	55	155	205[e]	230	70	20[a]	25	40	53[c]	80	ไม่แนะนำให้ใช้
420	95	105[d]	230	50	85[d]	195	25	17[d]	8	55	50[d]	195	215[d]	500	-	-	10	40	-	45[c]	พอใช้
431	125	130[d]	165[a]	95	110[d]	125[a]	20	15[d]	17[a]	55	35[d]	260	270[d]	338[a]	50	-	40[a]	45	-	45[c]	พอใช้ถ้ามีการให้ความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม
440 A,B,C	105	115[b,d]	260	60	90[b,d]	240	20	7[b,d]	5	25[b,d]	20	215	240[b,d]	510	2	2[b,d]	4	40	-	40	เชื่อมด้วยความระมัดระวังอย่างสูง
Ferritic																					
405	68[a]	85	-	40	70	-	27[a]	20	-	60	60	150	185	-	25[b]	-	-	-	-	60	ดีเลิศสำหรับการเชื่อมแบบหลอมละลาย
430, 430F	75	83[a]	-	43[a]	63[a]	-	27[a]	20[a]	-	62[a]	50[a]	155	212	-	-	-	-	40[b]	46[b]	Fair	พอใช้ แนะนำให้แอนนีลหลังการเชื่อม
446	83[a]	85	-	53[a]	70	-	23[a]	20	-	45	45	163	183	-	2	-	-	47	-	Fair	พอใช้ แต่ต้องระมัดระวัง

ที่มา : 1973 Materials Selector, Reinhold Publishing Co., New York. ASME Handbook: Metal Properties, McGraw-Hill, 1954.

a ค่าเฉลี่ย

b ค่าต่ำสุด

c ทำให้แข็ง 200-220 BHN

d แอนนีลและรีดเย็น

e เทมเปอร์และรีดเย็น

ตารางที่ ข.8 คุณสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมหล่อบางชนิด (mechnical properties of some cast Aluminum Alloys)

Type	Tensile Strength, kg/mm²			Yield Str. (0.2% offset), kg/mm²			Elongation in 2 in. or 4D, %			Brinell Hardness			End. Limit[b] kg/mm²		Comp. Yield Str. kg/mm²			Shear Strength, kg/mm²			Machinability	Weldability		
	As Cast	Solution Heat Treated	Solution Heat Treated & Aged	As Cast	Solution Heat Treated	Solution Heat Treated & Aged	As Cast	Solution Heat Treated	Solution Heat Treated & Aged	As Cast	Solution Heat Treated	Solution Heat Treated & Aged	As Cast	Solution Heat Treated & Aged	As Cast	Solution Heat Treated	Solution Heat Treated & Aged	As Cast	Solution Heat Treated	Solution Heat Treated & Aged		Gas	Arc	Resistance
Gen'l. Purpose Castings																								
195	-	32	36	-	16	24	-	6.5	5.0	-	60	75	7	8	-	17	25	-	26	30	AB	C	B	B
B195	-	37	40	-	19	26	-	9.0	5.0	-	75	90	9.5	10	-	20	26	-	30	32	AB	C	B	B
Corrosion Resist. Castings																								
43	19	-	-	8	-	-	8	-	-	40	-	-	6	-	9	-	-	14	-	-	C	A	A	A
214	25	-	-	12	-	-	9	-	-	50	-	-	7	-	12	-	-	20	-	-	A	B	A	B
220	-	48	-	-	26	-	-	16	-	-	75	-	-	8	-	27	-	-	34	-	A	D	C	B
356	-	-	25,38[c]	-	-	20,27[c]	-	-	2, 5[c]	-	-	60,80[c]	-	8, 13[c]	-	-	21, 27[c]	-	20, 30[c]	-	AB	AB, AB[d]	AB, AB[d]	AB, AB[d]
High Temp. Resist. Castings																								
40-E	35[c]	-	-	25[e]	-	-	3[a]	-	-	70[b]	-	-	10[f]	-	17[e]	-	-	26[e]	-	-	A	C	C	C
356	28, 30[d,e]	-	35, 42[d]	23, 24[d,e]	-	25, 27[d]	1.5, 2[d,e]	-	3, 4[d]	65, 75[d,e]	-	80, 90[d]	6, 7[d,f]	9, 10[d]	24, 24[d,e]	-	26, 27	22, 24[d,e]	-	28, 34[d]	B	A, A[d]	A, A[d]	A, A[d]

ที่มา : 1973 Materials Selector, Reinhold Publishing Co., New York. A = ดีเลิศ
AB = ดีมาก B = ดี C = พอใช้ D = ไม่พอใช้

[a] ตัวอย่างทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางครึ่งนิ้ว

[b] ทดสอบความล้าแบบ Rotating beam จำนวน 50×10⁷ วัฏจักร

[c] ค่าที่ได้จากการบ่มเทียม ค่าที่สองโดยการชุบในสารละลายและบ่ม

[d] ค่าทั้งสองหมายถึงการหล่อแบบหล่อทรายและแบบหล่อถาวร

[e] การบ่มเทียม

[f] ไม่ได้ชุบในสารละลายแต่บ่มเทียม

เหล็กกลม สี่เหลี่ยมจตุรัสและหกเหลี่ยมผิวเรียบ

$\varrho = 7{,}85\ kg/dm^3$

ขนาด d, a, s mm	มวลขึ้นกับความยาว m_L in kg/m (d)	(a)	(s)	ขนาด d, a, s mm	มวลขึ้นกับความยาว m_L in kg/m (d)	(a)	(s)	ขนาด d, a, s mm	มวลขึ้นกับความยาว m_L in kg/m (d)	(a)	(s)
2	0,0247	0,0314	0,0272	13	(1,04)	1,33	(1,15)	38	8,90	—	9,82
2,5	0,0385	—	0,0425	14	1,21	1,54	1,33	40	9,86	12,6	—
3	0,0555	0,0707	0,0612	15	(1,39)	(1,77)	1,53	41	—	—	11,4
3,5	0,0755	0,0962	0,0833	16	1,58	2,01	(1,74)	45	12,5	15,9	—
4	0,0986	0,126	0,109	17	(1,78)	(2,27)	1,96	46	(13,0)	—	14,4
4,5	0,125	0,159	0,138	18	2,00	2,54	—	50	15,4	19,6	17,0
5	0,154	0,196	0,170	19	(2,23)	(2,83)	2,45	55	18,7	(23,7)	20,6
5,5	(0,187)	0,237	0,206	20	2,47	3,14	—	60	22,2	(28,3)	24,5
6	0,222	0,283	0,245	22	2,98	3,80	3,29	63	24,5	31,2	—
7	0,302	0,385	0,333	24	(3,55)	(4,52)	3,92	65	(26,0)	(33,2)	28,7
8	0,395	0,502	0,435	25	3,85	4,91	—	70	30,2	38,5	33,3
9	0,499	0,636	0,551	27	(4,49)	(5,72)	4,96	75	(34,7)	(44,2)	38,2
10	0,617	0,785	0,680	30	5,55	(7,07)	6,12	80	39,5	50,2	43,5
11	0,746	0,950	0,823	32	6,31	8,04	6,96	90	49,9	—	55,1
12	0,888	1,13	0,979	36	7,99	10,2	8,81	100	61,7	78 5	68,0

ผลผลิต : เป็นเส้นยาวสูงสุด 8 ม. สำหรับเหล็กโครงสร้างกลม และหกเหลี่ยมหัว ๆ ไปใช้ 9S 20 สำหรับเหล็กสี่เหลี่ยมจตุรัสทั่ว ๆไปใช้ U St 37 K ค่าพิกัดความเผื่อ : สำหรับเหล็กกลมตาม DIN 668 h11, DIN 671 h9 DIN 670 h8 มีขนาดโตไม่เกิน 80 มม. ตาม DIN 59360 h7 และตาม DIN 59361 h 6 สำหรับเหล็กสี่เหลี่ยมจตุรัสตาม DIN 178 และเหล็กหกเหลี่ยมตาม DIN 176 มีขนาดโตไม่เกิน 65 มม. h11 โตกว่า 65 มม.ขึ้นไปh1

เหล็กกลมขัดมัน

DIN 175 (5. 59)

ขนาดที่ผลิต : ขนาด ϕ จาก 0.5–6 มม. มีขนาดโตขึ้น 0,05 มม. จาก 6–10 มม. 0,1 มม. จาก 10–15 มม. 0,25 จาก 15... 20 มม. 0.5 มม. และจาก20...30 มม.โตขึ้น 1 มม. ผลผลิต : เป็นเส้นยาว 1 ม. และ 2 ม. วัสดุ :เหล็กเครื่องมือผสมและไม่ผสม มีเปอร์เซนต์คาร์บอนอย่างน้อย 1.1% ตัวอย่าง C110 W_1

เหล็กแผ่นผิวเรียบ

$\varrho = 7{,}85\ kg/dm^3$ DIN 174 (6. 69)

ขนาด ความหนา in mm	m_L เป็น kg/m ความกว้าง in mm 2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40
3	0,079	0,098	0,118	—	—	—	—	วัสดุ : ทั่ว ๆ ไป USt 37–1K ส่วนชนิดอื่น จะลองทำให้เข้ากันได้						
4	0,094	0,118	0,141	0,188	—	—	—							
5	0,126	0,157	0,188	0,251	0,314	0,377	—							
6	0,157	0,196	0,236	0,314	0,393	0,471	—							
8	0,188	0,236	0,283	0,377	0,471	0,565	0,754	—	—	—	—	—	—	—
10	0,251	0,314	0,377	0,502	0,628	0,754	1,00	1,26	—	—	—	—	—	—
12	0,314	0,393	0,471	0,628	0,785	0,942	1,26	1,57	1,88	2,51	—	—	—	—
14	0,345	—	0,518	0,691	0,864	1,04	1,38	1,73	2,07	—	—	—	—	—
15	0,393	0,491	0,589	0,785	0,981	1,18	1,57	1,96	2,36	3,14	3,93	—	—	—
16	0,440	—	0,659	0,879	1,10	1,32	1,76	2,20	2,64	3,52	4,40	—	—	—
18	0,502	0,628	0,754	1,00	1,26	1,51	2,01	2,51	(3,01)	4,02	5,02	6,28	—	—
20	0,565	0,707	0,848	1,13	1,41	1,70	(2,26)	2,83	3,39	(4,52)	5,65	—	—	—
22	0,628	—	0,942	1,26	1,57	1,88	2,51	3,14	3,77	5,02	6,28	7,85	10,0	—
25	0,707	—	1,06	1,41	1,77	2,12	2,83	3,53	(4,24)	5,65	7,07	8,83	11,3	—
28	0,785	—	1,18	1,57	1,96	2,36	3,14	3,93	4,71	6,28	7,85	9,81	12,6	—
30	—	—	1,32	1,76	2,20	—	3,52	4,40	5,28	7,03	8,79	11,0	14,1	—
35	—	—	1,48	1,98	2,47	2,97	3,96	4,95	5,93	7,91	9,89	12,4	15,8	19,8
40	—	—	—	2,20	2,75	3,30	(4,40)	5,50	6,59	8,79	11,0	13,7	—	22,0
50	—	—	—	—	3,14	3,77	(5,02)	6,28	7,54	10,0	12,6	15,7	—	(25,1)
60	—	—	—	—	3,53	4,24	(5,65)	7,07	8,49	11,3	14,1	17,7	—	—
70	—	—	—	—	3,93	4,71	(6,28)	7,85	9,42	12,6	15,7	19,6	—	(31,4)
80	—	—	—	—	4,91	5,89	7,85	9,81	11,8	15,7	19,6	24,5	31,4	39,3
100	—	—	—	—	—	—	—	12,6	—	—	25,1	31,4	—	—
120	—	—	—	—	—	—	—	15,7	—	—	31,4	39,3	50,2	(62,8)

ผลผลิต : เป็นเส้นยาวไม่เกิน 8 ม. พิกัดความเผื่อ : สำหรับความหนาไม่เกิน 30 มม. กว้างไม่เกิน 100 มม. h11 และสำหรับหนาเกิน 30 มม. ขึ้นไป h12 สำหรับความกว้างมากกว่า 100 มม. มีพิกัดกำหนดใช้เป็นพิเศษ

ถ้าจะหามวล(นน.) m_L ของวัสดุอื่นที่ไม่ใช่เหล็ก(ความหนาแน่น7.85kg/dm³) ให้เอาค่าในตารางคูณด้วยแฟคเตอร์ในตารางข้าง ๆ นี้

ตัวอย่าง : อลูมิเนียมแผ่น (Al 99.9) ยาว 1 ม. กว้าง 50 มม. หนา 12 มม. มวล m_L = ค่าในตาราง xแฟคเตอร์=4,71 kg/mx0,344=1,62 kg/m

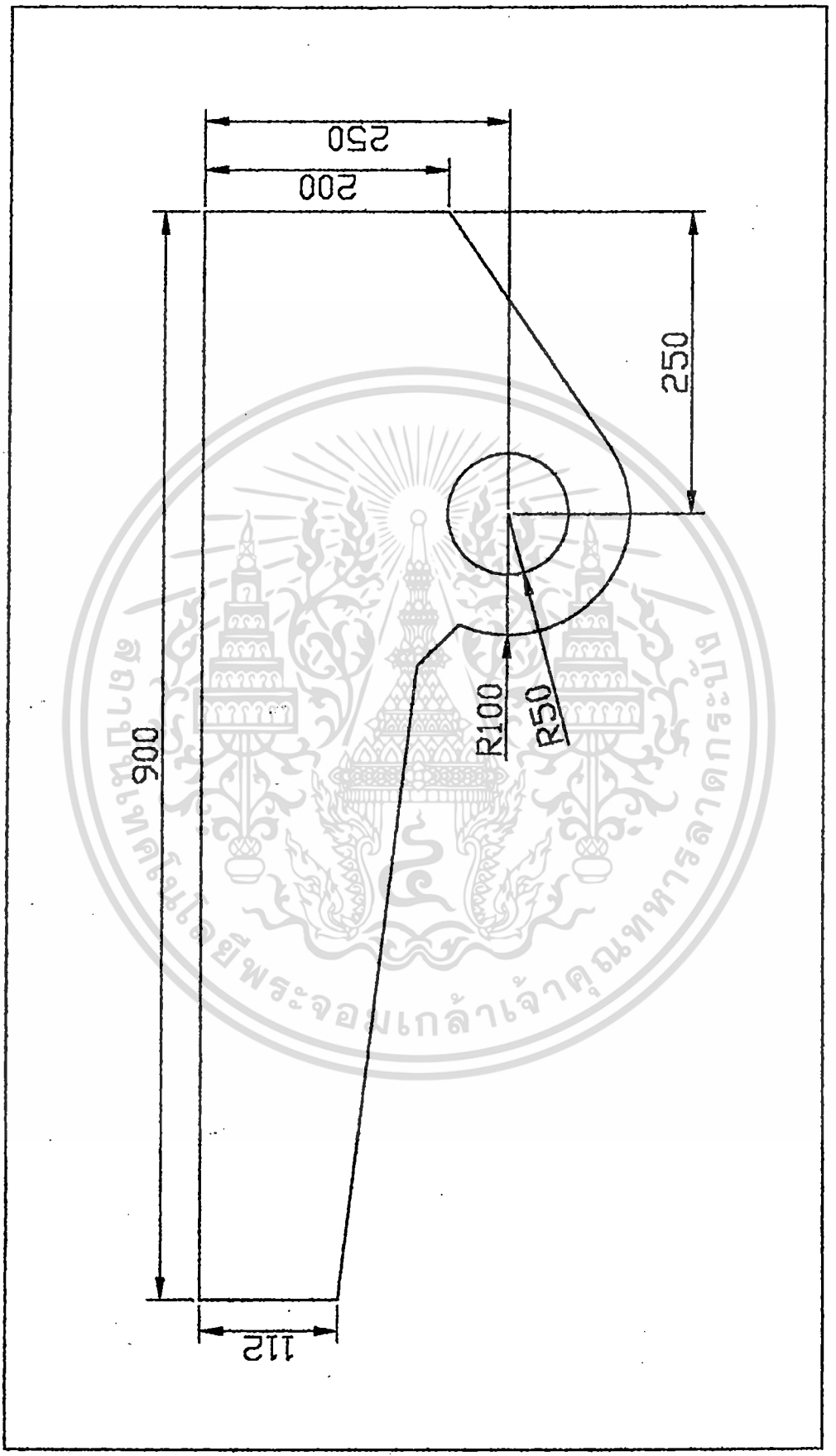
วัสดุ	Factor
Cu	1,132
Cu Zn 40	1,070
Al 99,9	0,344
Al Cu Mg 2	0,353

* ขนาดที่ไม่กำหนดน้ำหนักเอาไว้ไม่อยู่ในมาตรฐาน, ขนาดที่อยู่ใน วงเล็บให้หลีกเลี่ยง

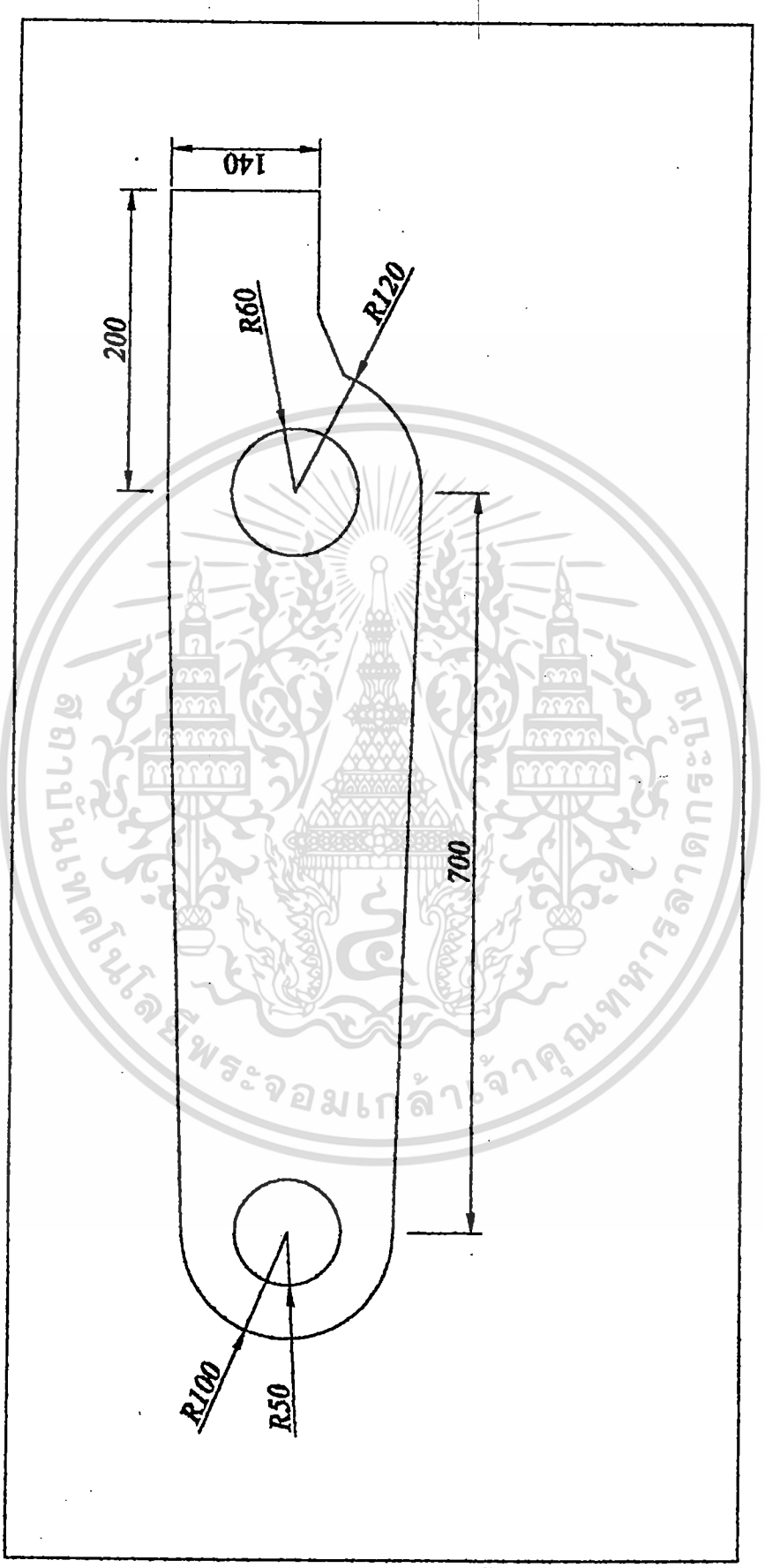
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
(ภาพ Drawing ของชิ้นส่วนต่างๆ และแสดงการวางตัวของแขนหุ่นยนต์)

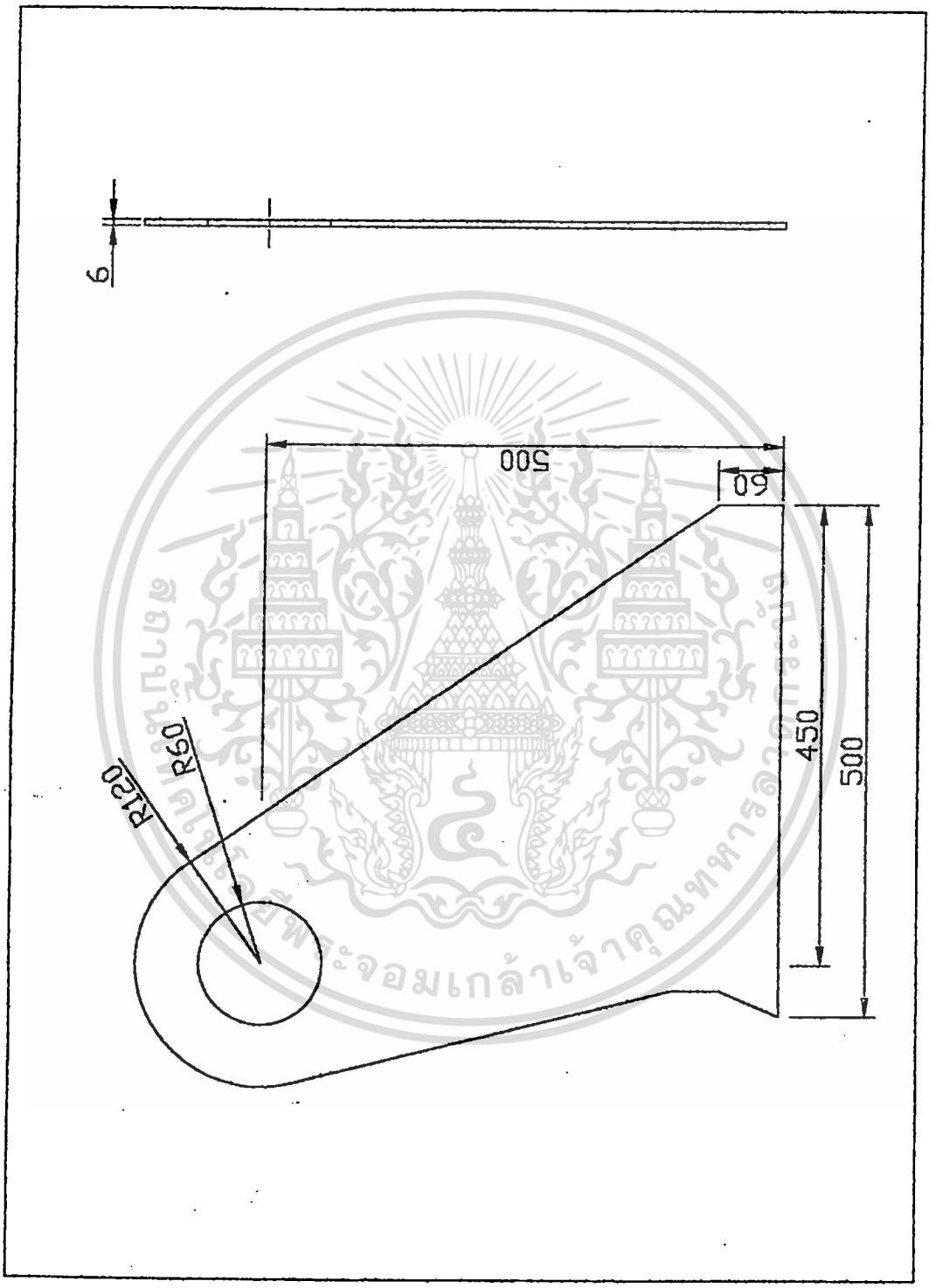
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



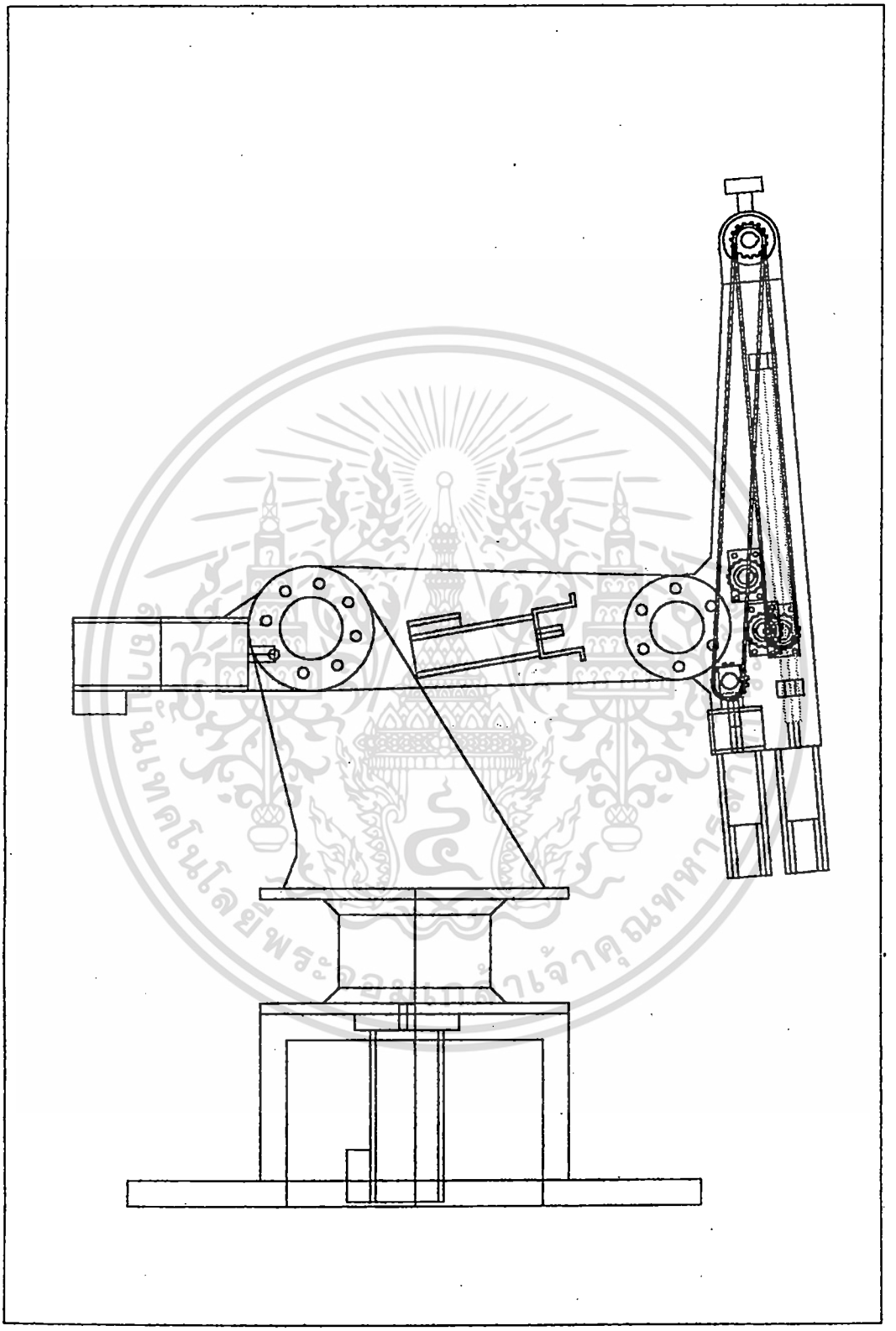
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



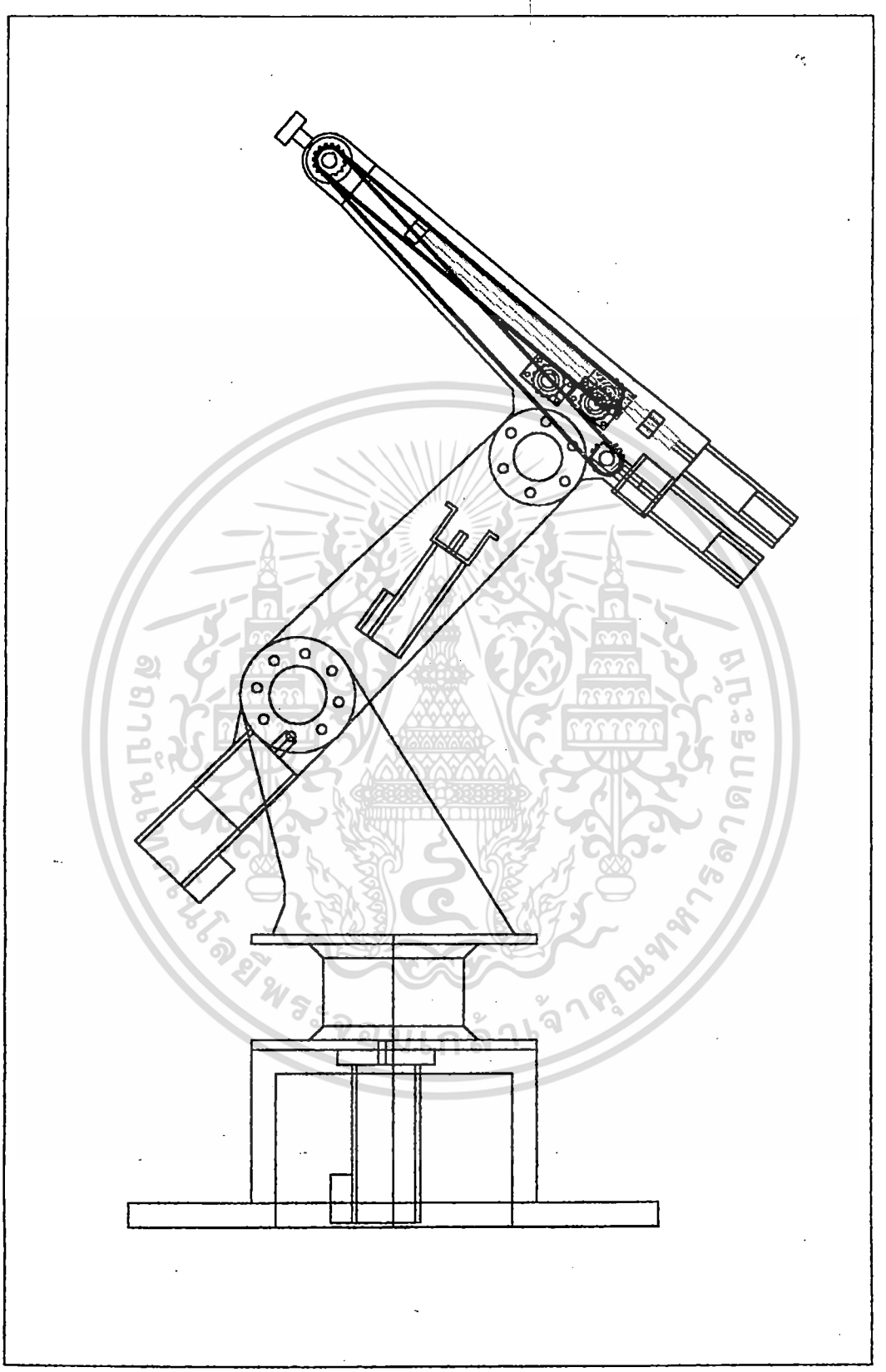
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



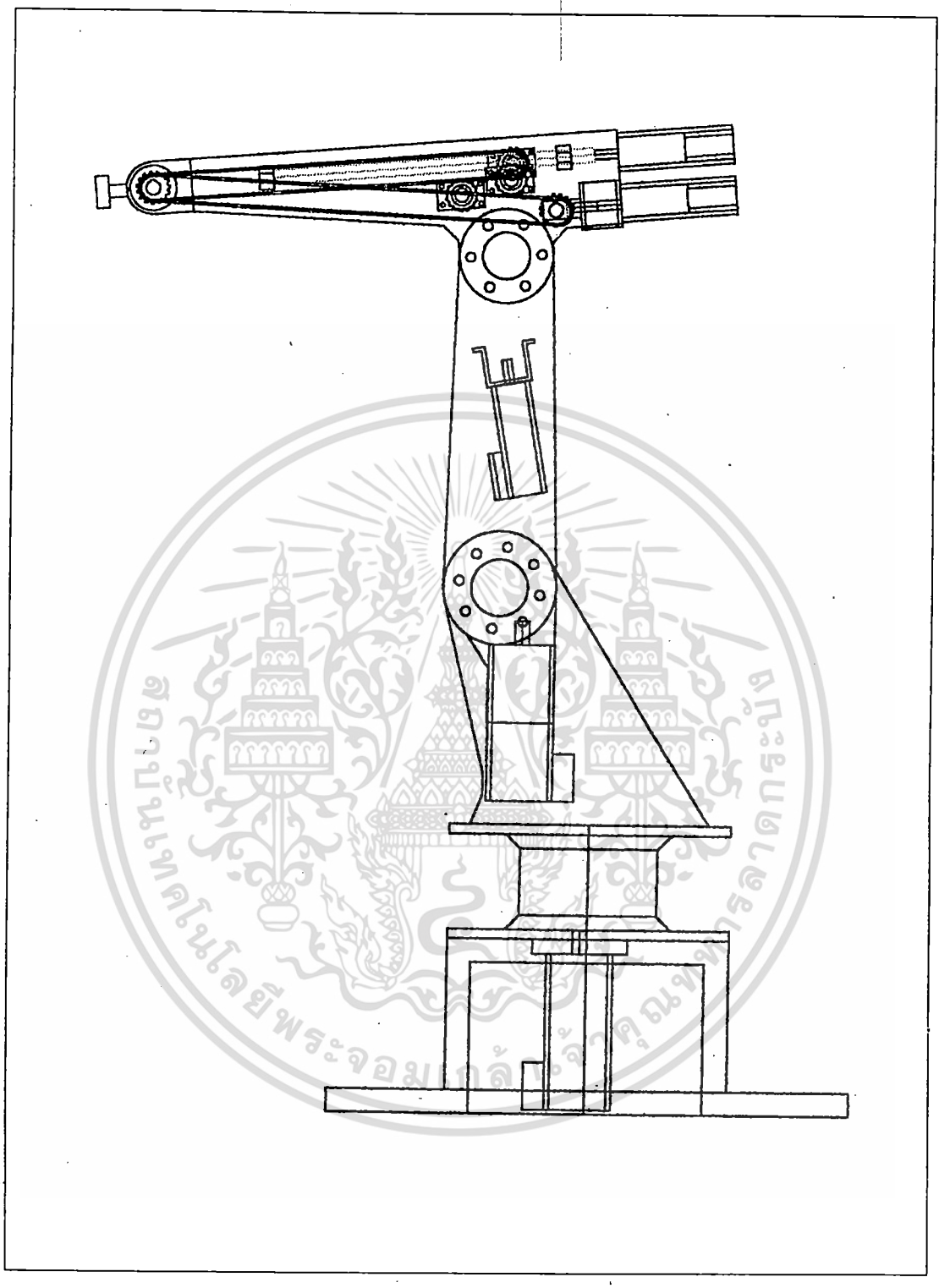
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



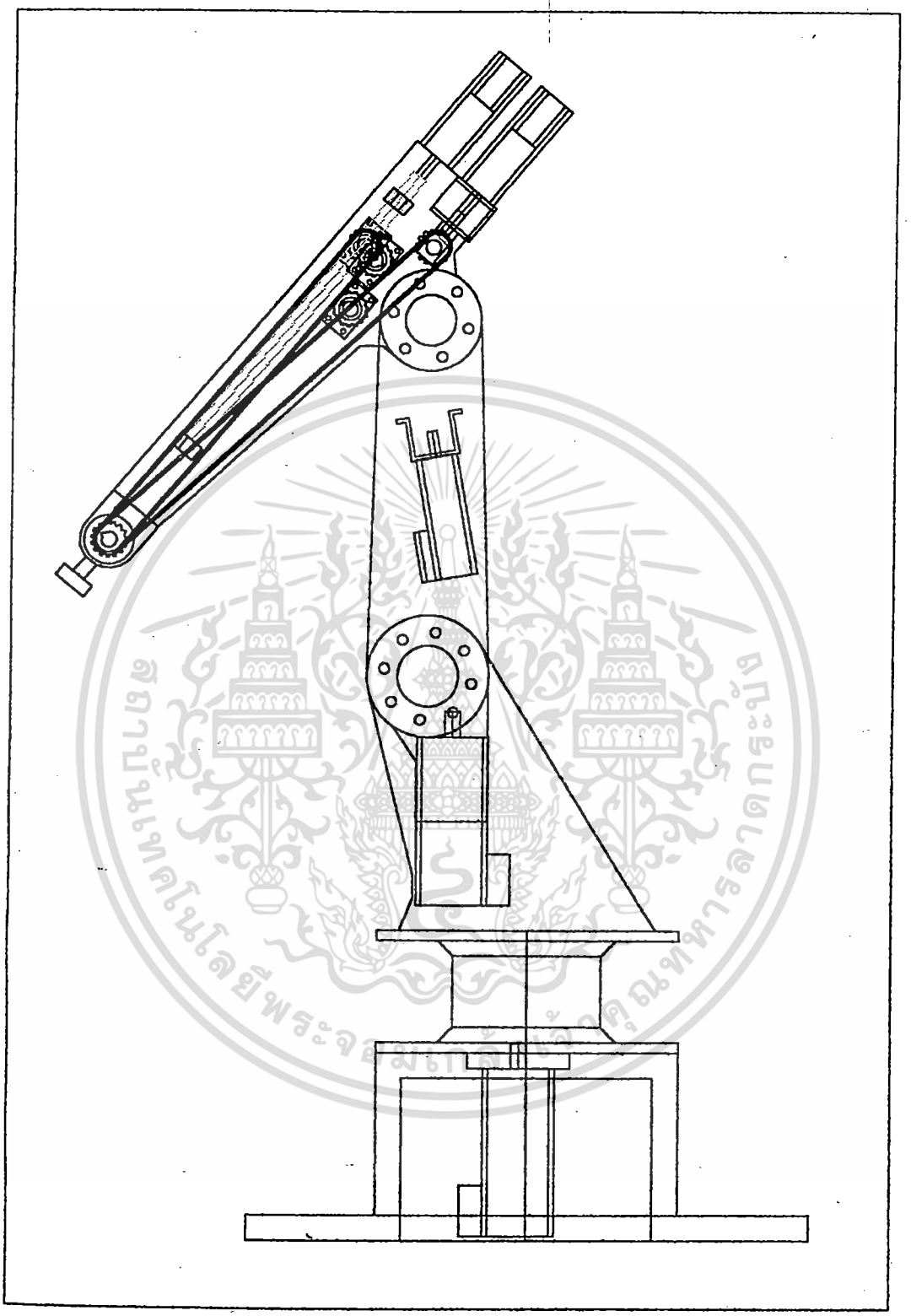
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



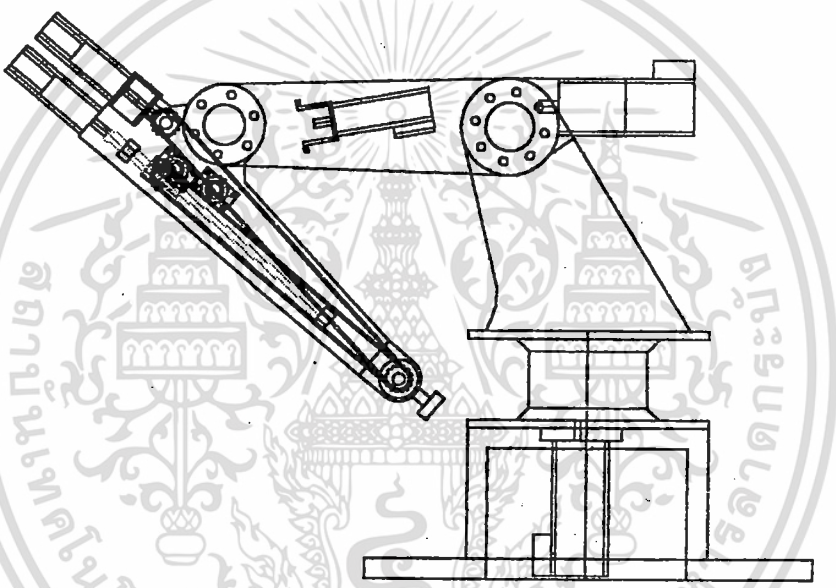
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



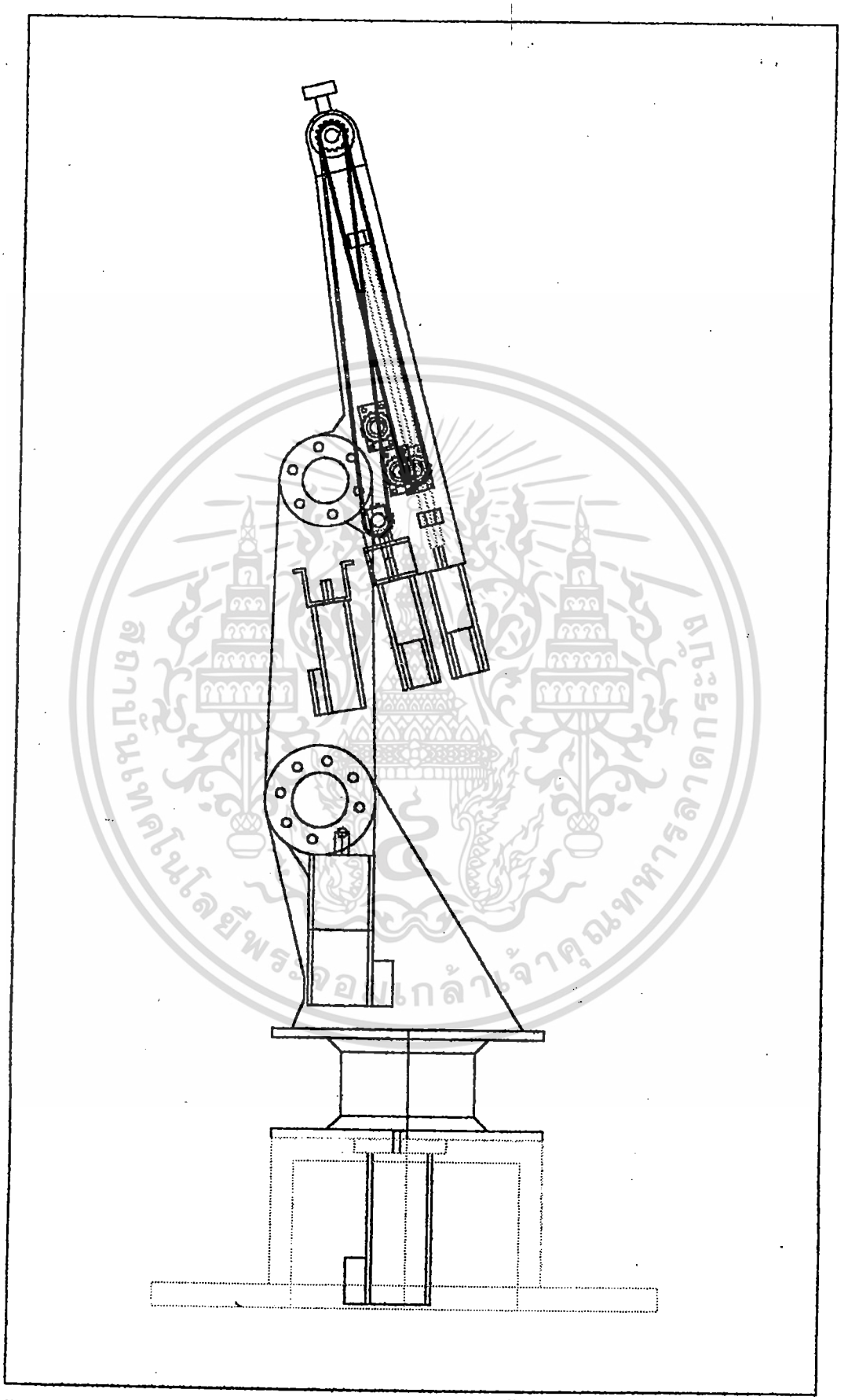
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



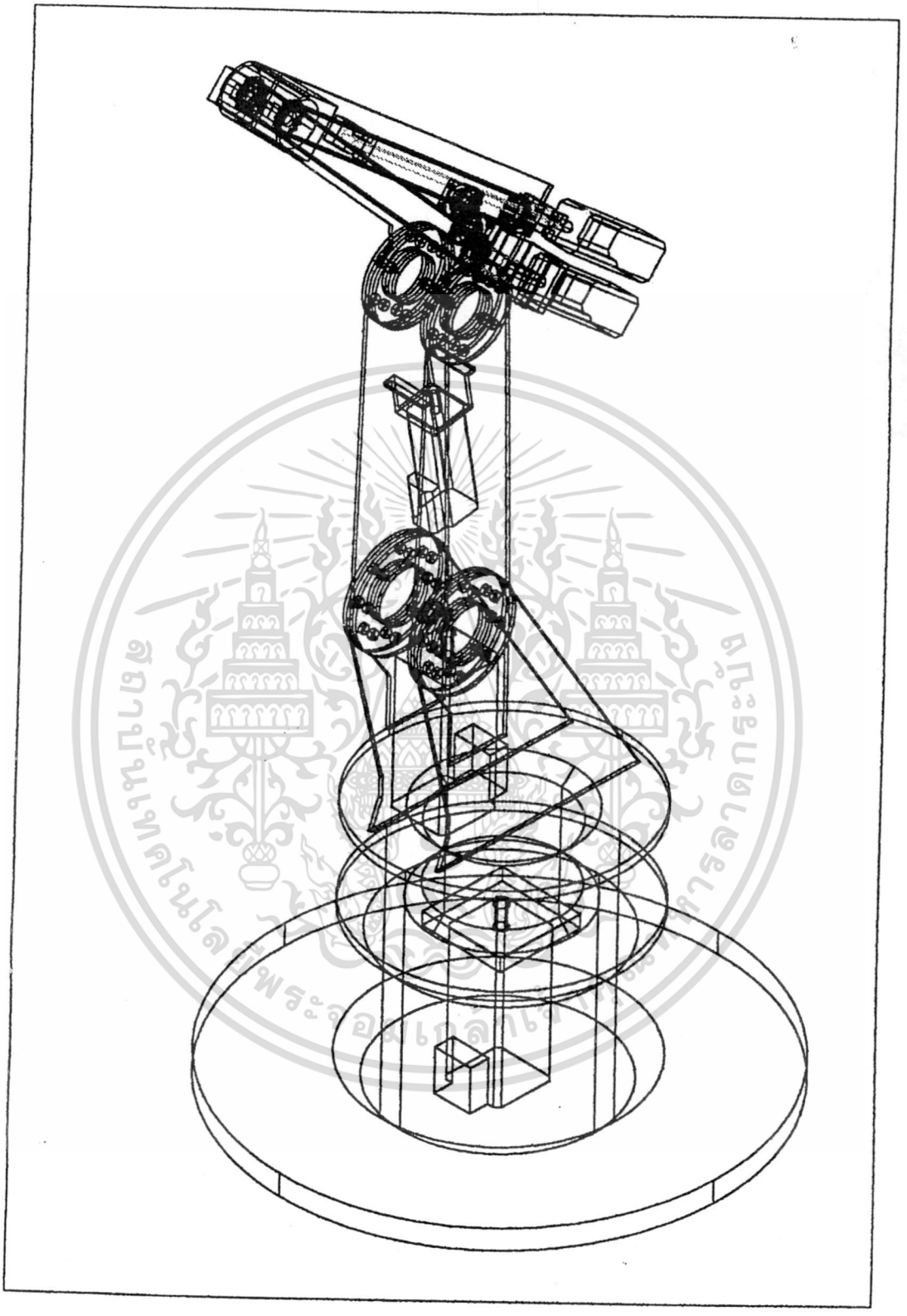
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้