รายงานการวิจัย

แขนกล

Robot Arm

นายเทพจิตร์ เชยโภคา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัย

แขนกล

Robot Arm

นายเทพจิตร์ เชยโภคา

RCH TJ211 ท5984

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12602279

โครงการวิจัย **แขนกล**

Robot Arm

ชื่อผู้วิจัย **นายเทพจิตร์ เชยโภคา**

Mr. Thepjit Cheypoca

หน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัย และที่อยู่

แผนก/ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม

กอง/คณะ คณะวิศวกรรมศาสตร์

กรม/มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กระทรวง/ทบวง กระทรวงศึกษาธิการ

ที่อยู่ ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-329-8353 **โทรสาร** 02-329-8354

บทคัดย่อ

รายงานโครงการวิจัยนี้ นำเสนอทฤษฎีและการจำลองระบบควบคุมสำหรับควบคุม การทำงานภายในระบบอุตสาหกรรมการผลิต โดยโครงสร้างของระบบประกอบด้วย ส่วนที่ใช้สังเกตการณ์และควบคุมการทำงานทั้งระบบผ่านทางจอแสดงผล ระบบที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือเครื่องจักรแต่ละตัว ระบบลำเลียงชิ้นงานที่ผ่านกระบวนผลิตแต่ละส่วนในสายการผลิต และระบบแขนกลใช้เคลื่อนย้ายหรือบรรจุชิ้นงาน จุดมุ่งหมายของโครงงานนี้คือเพื่อทำการศึกษากระบวนการทำงานและการติดต่อสื่อสารกันระหว่างระบบต่างๆ เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างสอดคล้องกันอย่างเป็นระบบ โดยส่วนที่ได้รับผิดชอบของโครงงานนี้เป็นการศึกษา ออกแบบและควบคุมการทำงานในส่วนของแขนกล

ขั้นตอนดำเนินการ เริ่มจากการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนต่างๆของแขนกลโดยใช้แผ่นอะคริลิคมาประกอบเป็นโครงสร้างของแขนกลในส่วนของข้อต่อต่างๆเพื่อใช้ติดตั้งเซอร์โวมอเตอร์ ศึกษาและออกแบบวงจรสวิตซ์ควบคุม สำหรับใช้ควบคุมการทำงานเซอร์โวมอเตอร์ และใช้บอร์ดควบคุมการทำงาน Stamp168 ในการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS232 กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB แล้วจึงเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และ Download Code เพื่อทำการทดลอง จากการทดลองพบว่าระบบควบคุมที่ได้ออกแบบนั้น สามารถควบคุมระบบให้แขนกลทำงานไปอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This research presents theory and modeling process used in the manufacturing industry. The structure of the simulation process consists of observation and control of all system via the monitor display , system used to communicate between each equipment or machinery ,conveyor system through a process of manufacturing jobs in each production line and robot arm used to moving or packaging. The aim of this project is to study process and communication between systems. To make it work consistently in a systematic way. In this project, responsible section is the design and control robot arm system.

Procedure of process starts from designing and implementing the parts of the robot arm by using few pieces of acrylic. The structure of the robot's joints uses servo motor. Study and design keypad joystick circuit for control servo motors. Stamp 168 is used to control serial communication with RS232 to the computer PC via USB port. Then controlling program is written and burn onto stamp 168 board for experiment. The results show that the implemented system can control robot arm to move to the desired position with the acceptable error.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	2
1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การผลิตผสมผสานด้วยคอมพิวเตอร์(CIM)	4
2.1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับComputer Integrated Manufacturing(CIM)	4
2.1.2 ส่วนประกอบของระบบ CIM	5
2.1.2.1 CAD (Computer Aided Design)	5
2.1.2.2 CAM (Computer Aided Manufacturing)	5
2.1.2.3 CAE (Computer Aided Engineering)	6
2.1.3 ระบบฐานข้อมูลในระบบ CIM	7
2.1.4 ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ CIM	8
2.2 ระบบลำเลียงสินค้า	10
2.2.1 ส่วนประกอบของระบบลำเลียงสินค้า	11
2.2.1.1 รถลำเลียงสินค้า (Vehicle)	11
2.2.1.2 สถานี(Station)	11
2.2.1.3 จอแสดงผลการทำงาน (Monitor)	12
2.2.1.4 บอร์ดที่ใช้ในการควบคุม (Main Controller)	12
2.3 แขนกล (Robot arm)	13
2.3.1 หลักการทำงานของแขนกล	14
2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 หุ่นยนต์แมลง 6 ขา	15
2.4.1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์แมลง	15
2.4.1.1 ฮาร์ดแวร์	15
2.4.1.2 ซอฟแวร์	16
2.4.2 การประยุกต์ใช้งาน	16
2.5 หุ่นยนต์ 2ขา (Humanoid)	16
2.5.1 หลักการทำงาน	17
2.5.2 ส่วนประกอบของ Humanoid	17
2.5.2.1 ฮาร์ดแวร์	17
2.5.2.2 ซอฟแวร์	18
2.5.3 การประยุกต์ใช้งาน	18
บทที่ 3 หลักการออกแบบ	19
3.1 ฮาร์ดแวร์	19
3.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ	19
3.1.2 เซอร์โวมอเตอร์	20
3.1.2.1 การควบคุมการทำงานของ เซอร์โวมอเตอร์	21
3.1.3 วงจรแขนกล	22
3.1.3.1 ส่วนอินพุตเพื่อรับค่าตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์	22
3.1.3.2 ส่วนของคอนโทรลเลอร์	23
3.2 ชนิดของเซอร์โวมอเตอร์	27
3.3 ซอฟแวร์	27
3.4 การเคลื่อนที่ของแขนกล	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	29
4.1 การทดลองโครงสร้างของแขนกล	29
4.2 ผลการทดลอง	29
4.3 ตารางแสดงผลการทดลอง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	31
5.1 สรุปผลการทดลอง	31
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	31
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	32
เอกสารอ้างอิง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการป้อนสัญญาณพัลส์และองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบของระบบจำลองการลำเลียงสินค้า 3
2.2 การเปรียบเทียบระหว่าง Mass production และ CIM 5
2.3 ระบบฐานข้อมูลที่จำเป็นสำหรับระบบ CIM 7
2.4 ระบบฐานข้อมูลขององกรค์ที่จำเป็นสำหรับระบบ CIM 8
2.5 ฮาร์ดแวร์ส่วนต่างๆที่อยู่ระบบลำเลียง 8
2.6 รถลำเลียง 11
2.7 สถานี 11
2.8 มอนิเตอร์ 12
2.9 Main Controller (Et-easy megal1280) 12
2.10 แขนกล (Robot arm) 13
2.11ส่วนประกอบของแขนกล 14
2.12 หุ่นยนต์แมลง 15
2.13 หุ่นยนต์ 2ขา 16
2.14 ส่วนประกอบของหุ่น Humanoid 18
3.1 แขนกลที่ออกแบบโดยใช้ SolidWorks (Front view) 19
3.2 ภาพจากด้านบนของแขนกล(Top veiw) 19
3.3 องค์ประกอบภายในของ เซอร์โวมอเตอร์ 20
3.4 การป้อนสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุม เซอร์โวมอเตอร์ 21
3.5 วงจรสวิตซ์ควบคุม (Keypad Joystick) 22
3.6 บอร์ดสวิตควบคุม 23
3.7 บอร์ด ET-Easy168 STAMP 23
3.8 AVR รุ่น ET-Easy168 STAMP 25
3.9 วงจร Controller 25
3.10 การจัดสรรขาสัญญาณของบอร์ด ET-EASY168 STAMP 26
3.11 ตำแหน่งหน้าที่ของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัว 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบัน วงการอุตสาหกรรมในหลาย ๆ ประเทศ เกิดการแข่งขันกันอย่างมาก ส่งผลให้เทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวงการอุตสาหกรรมมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการที่ผลิตด้วยแรงงานคน ก็มีการปรับปรุงพัฒนา โดยในปัจจุบันมีการนำเอาระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตแขนงต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม จนอาจกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมบางประเภทจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ ไม่สามารถดำเนินการอุตสาหกรรมโดยไม่มีคอมพิวเตอร์ได้ ตัวอย่างเช่นอุตสาหกรรมยานยนต์ จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ในแทบทุกขั้นตอนการผลิต เพื่อให้การผลิตสินค้าของตนเองมีกระบวนการผลิตที่รวดเร็ว มีประสิทธิภาพในขั้นตอนการผลิตส่งผลให้เกิดความคล่องตัวของกระบวนการ และช่วยลดต้นทุนการผลิต จากการเกิดสินค้าที่เสียหายในขั้นตอนการผลิตที่ผิดพลาด เนื่องจากกระบวนการผลิตอัตโนมัติจากระบบคอมพิวเตอร์นั้น สินค้าที่ผลิตออกมาจะเป็นแบบเดียวกันเกือบจะทุกชิ้น โดยการนำระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยในงานอุตสาหกรรมโดยให้มีการทำงานร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตงานอุตสาหกรรม เป็นที่รู้จัก และใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ CIM

1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาและจำลองระบบการทำงานของกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ โดยมีการสั่งการและตรวจสอบด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นระบบที่มีใช้กันส่วนใหญ่ในวงการอุตสาหกรรม ซึ่งในระบบจะประกอบด้วย แขนกล รถลำเลียงสินค้า สถานีที่ทำการติดต่อสื่อสารระหว่างรถลำเลียงสินค้ากับตัวควบคุมการส่งสัญญาณ และโปรแกรมที่ทำการสั่งการและตรวจสอบ (Operating and Monitoring) โดยในโครงงานนี้ต้องการที่จะตรวจสอบและสั่งการระบบทั้งหมดให้สามารถทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบ และสร้าง แขนกล
2. ส่งเสริมให้เกิดการศึกษา และ การวิจัยในสาขาแมคคาทรอนิกส์ และ การควบคุม
3. ส่งเสริมให้มีการร่วมมือทำงานทางวิชาการและการวิจัยร่วมกันของหน่วยงานการศึกษากับหน่วยงานภาคอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อพัฒนาและสร้าง บุคคลกร นักศึกษา นักวิจัย วิศวกร ที่มีความรู้ความเข้าใจ และ มีความเชี่ยวชาญด้านแมคคาทรอนิกส์ และการควบคุม กับภาคของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. พัฒนาระบบสร้างแขนกล เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมและเชิงพานิชย์
2. แขนกลที่สร้างสามารถประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปได้
3. พัฒนาวงจรควบคุมแบบดิจิตอลที่สร้างจากอุปกรณ์ AVR ที่มีความอ่อนตัวในการใช้งาน และมีราคาประหยัดเมื่อมีการผลิตจำนวนมาก

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. สร้างวงจรที่เกี่ยวข้อง
3. ทดสอบระบบทั้งหมด
4. สรุปและทำรายงาน

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

การดำเนินงาน	ช่วงระยะเวลาการดำเนินงาน (เดือน)												หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ศึกษาและค้นหาข้อมูล	←	→											
ออกแบบและสร้างแขนกล		←	—	—	→								
นำแขนกลติดตั้งทดสอบ					←	—	→						
ปรับปรุงแขนกลต้นแบบ							←	—	→				
นำแขนกลที่ปรับปรุงแล้วไปทดสอบ										←	—	→	
ทำรายงาน												← →	

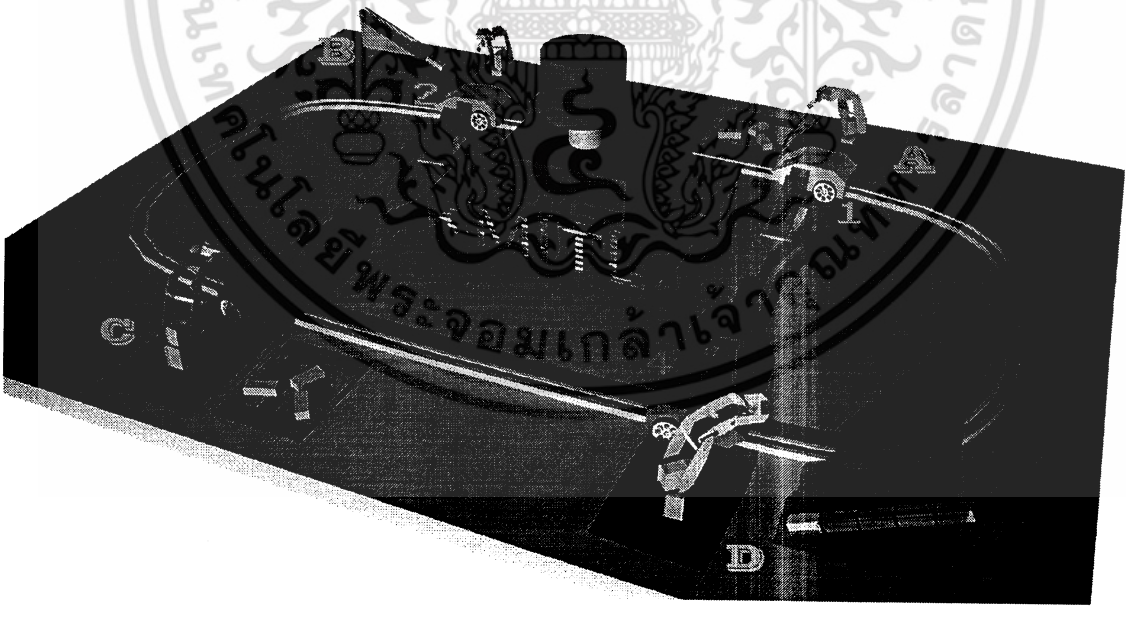
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้ทำการศึกษาระบบกระบวนการผลิตอัตโนมัติมาแล้วนั้น ก่อนที่จะมีการออกแบบและสร้างระบบ จำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบต่างๆที่จำเป็นของระบบ Computer Integrated Manufacturing (CIM) ที่สนใจให้เข้าใจเสียก่อน พบว่าระบบมีส่วนที่สำคัญหลายส่วน ดังนั้นในบทนี้จะศึกษาและอธิบายถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่จะนำไปใช้งานจริงในระบบ Computer Integrated Manufacturing (CIM) ดังรูปที่ 2.1 โดยออกแบบให้สามารถสั่งการและตรวจสอบการทำงานจากทางมอนิเตอร์ได้ โดยในแต่ละส่วนของระบบจะประกอบด้วย 4 ส่วน

1. การผลิตผสมผสานด้วยคอมพิวเตอร์ หรือ Computer Integrated Manufacturing (CIM)
2. ระบบลำเลียง
3. แขนกล
4. Humanoid
5. หุ่นยนต์แมลงหกขา



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบโดยรวมของระบบจำลองการลำเลียงสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 การผลิตผสมผสานด้วยคอมพิวเตอร์ หรือ Computer Integrated Manufacturing (CIM)

2.1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับ Computer Integrated Manufacturing (CIM)

เป็นระบบการผลิตที่ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมกระบวนการผลิตทั้งหมด การผสมผสานของระบบ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน่วยงานแต่ละหน่วยได้ ทำให้แต่ละหน่วยรับรู้ความก้าวหน้าซึ่งกันและกัน ข้อดี คือ ระบบการผลิตจะมีความรวดเร็วและมีข้อผิดพลาดน้อย แม้ว่าข้อดีหลักของ Computer Integrated Manufacturing (CIM) คือความสามารถในการสร้างกระบวนการผลิตอัตโนมัติ โดยทั่วไปแล้วระบบ Computer Integrated Manufacturing (CIM) จะเป็นกระบวนการควบคุมแบบปิด (Closed-loop Control Processes) บนพื้นฐานของข้อมูล ณ ตัวปัจจุบันที่ได้รับจากตรวจรู้ (Sensor)

Computer Integrated Manufacturing (CIM) มีหน้าที่สนับสนุนการทำงานและเป็นระบบการจัดการของระบบการผลิตที่ประกอบด้วยฝ่ายต่างๆ เช่น ฝ่ายงานวิศวกรรม ฝ่ายงานการผลิต ฝ่ายการตลาด และฝ่ายการสนับสนุนอื่นๆ ขอบข่ายหน้าที่การทำงานของ Computer Integrated Manufacturing (CIM) มีหลากหลายอย่าง เช่น ออกแบบ วิเคราะห์ วางแผน จัดซื้อ จัดการบัญชีต้นทุน ควบคุมคงคลัง และการกระจายผลิตภัณฑ์ เหล่านี้จะถูกเชื่อมโยงโดยคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ หรือหน่วยต่างๆ ภายในองค์กร Computer Integrated Manufacturing (CIM) จะทำให้สามารถควบคุมกระบวนการได้โดยตรงและสามารถแสดงการทำงานปัจจุบันของทุกกระบวนการทำงาน

ข้อแตกต่าง 3 ประการที่ทำให้ Computer Integrated Manufacturing (CIM) แตกต่างจาก ระบบการผลิตแบบอื่นๆ คือ

1. สื่อที่ใช้ในการเก็บข้อมูล การคืนสภาพกระบวนการ การควบคุม และการนำเสนอ
2. กลไกการตรวจจับและการดัดแปลงกระบวนการต่างๆ
3. อัลกอริทึมของการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับและการดัดแปลงส่วนประกอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristic	Mass Production	CIM
Structure		
Span of control	Wide	Narrow
Hierarchical levels	Many	Few
Tasks	Routine, repetitive	Adaptive, craftlike
Specialization	High	Low
Decision making	Centralized	Decentralized
Overall	Bureaucratic, mechanistic	Self-regulation, organic
Human Resources		
Interactions	Stand alone	Teamwork
Training	Narrow, one time	Broad, frequent
Expertise	Manual, technical	Cognitive, social
		Solve problems
Interorganizational		
Customer demand	Stable	Changing
Suppliers	Many, arm's length	Few, close relations

Source: Based on Patricia L. Nemetz and Louis W. Fry, "Flexible Manufacturing Organizations: Implications for Strategy Formulation and Organization Design," *Academy of Management Review* 13 (1988): 627–38; Paul S. Adler, "Managing Flexible Automation," *California Management Review* (Spring 1988): 34–56; Jeremy Main, "Manufacturing the Right Way," *Fortune,* 21 May 1990, 54–64.

รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบระหว่าง Mass production และ CIM

2.1.2 ส่วนประกอบย่อยของระบบ CIM

2.1.2.1 CAD (Computer Aided Design) เป็นการใช้คอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบและเขียนแบบรวมทั้งสร้าง ภาพสองหรือสามมิติได้โดยสะดวก นอกจากจากนี้ยังช่วยวิเคราะห์การออกแบบด้วยเช่นใช้ประเมินค่าพิกัดเผื่อ (Tolerance) ของการสวมหรือประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกันก่อนนำไปผลิตจริง เป็นต้น เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทาง CAD แล้ว แบบที่ถูกเขียนขึ้นก็จะถูกส่งไปยังแผนก NC ทำการเขียนโปรแกรมและป้อนข้อมูล ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อปฏิบัติการขึ้นรูปทางกล หลังจากนั้นจะมีการทดสอบ run โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อหาข้อผิดพลาด เรียกว่า dry run และหลังจากนั้นจากแก้ไขข้อผิดพลาดจนเป็นที่พอใจแล้วก็จะส่งต่อไปยังขั้นตอน CAM

2.1.2.2 CAM (Computer Aided Manufacturing) เป็นการนำเอาซอฟต์แวร์มาใช้ในกระบวนการผลิตต่อเนื่องจาก CAD โดยทำการแปลงของมูลที่ป้อนเข้าไปให้เป็นชุดคำสั่ง และนำไปควบคุมเครื่องจักรกลที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมหรือเครื่องจักรกล CNC นั่นเอง **CAM** เป็นส่วนที่ช่วยเชื่อมโยงระหว่างจินตนาการของการออกแบบกับการผลิตผลิตภัณฑ์ให้สำเร็จ **CAM** ช่วยแปลงข้อมูลจาก CAD (Computer Aided Design) ไปสู่ข้อมูลที่ใช่ในการผลิตชิ้นงานนั้นๆ ซอฟท์แวร์ **CAM** จะทำการแปลงข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของต้นแบบ 3D ที่ได้จากการออกแบบด้วย CAD ให้อยู่ในรูปของโปรแกรมคำสั่งพื้นฐานสำหรับการผลิต หรือ G-code. G-code เป็นภาษาที่ทางเครื่องจักร (Numerical Controlled Machine Tools) สามารถเข้าใจว่าจะต้องทำการผลิตอย่างไร G-code สามารถสั่งให้เครื่องจักรทำงานได้ไม่จำกัดจำนวนชิ้นงานและมีความแม่นยำสูง ชิ้นงานที่ได้ออกมาจะมีลักษณะเหมือนแบบ 3D จาก CAD ที่ได้ออกแบบไว้

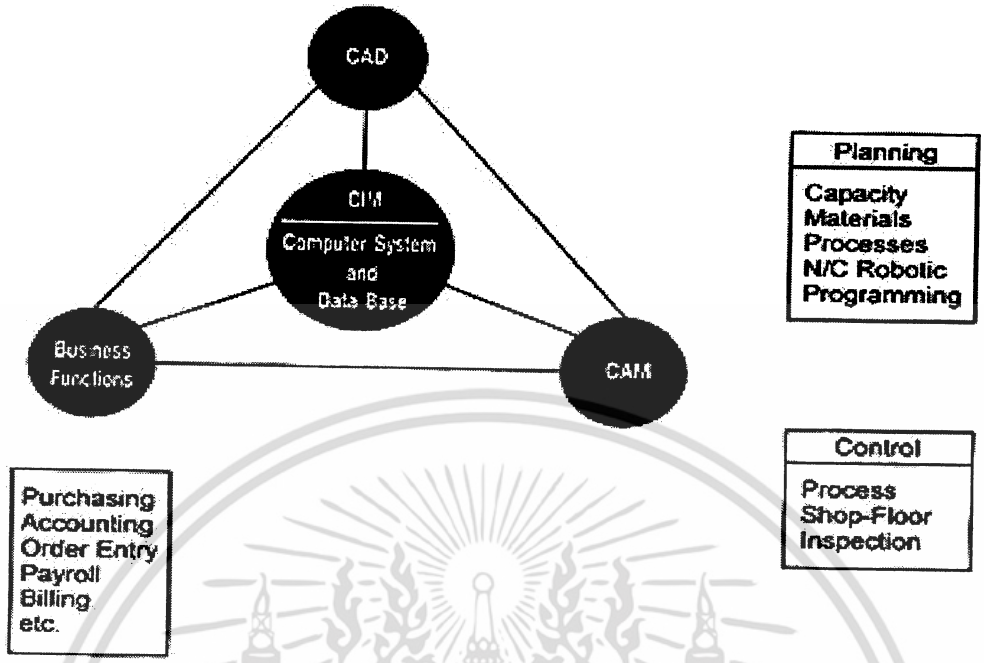
2.1.2.3 CAE (Computer Aided Engineering) เป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ด้วยการปรับปรุงการแสดงผลทางกราฟิก พื้นที่การทำงาน และมาตรฐานของกราฟิก ทำให้ Computer Aided Engineering (CAE) มีความหมายเป็นการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยการสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับกราฟิกของคอมพิวเตอร์ โปรแกรม CAE สามารถใช้ได้กับคอมพิวเตอร์เกือบทุกประเภท ขึ้นอยู่กับความต้องการในสมรรถนะที่จะนำมาใช้งานหรือความรวดเร็วในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับกราฟิกคอมพิวเตอร์ วิศวกรออกแบบ ใช้เครื่องมือ CAE ที่มีวัตถุประสงค์ทั่วไปเพื่อการค้า และเครื่องมือเฉพาะสำหรับบางอุตสาหกรรม วิธีในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม 1 ปัญหา บ่อยครั้งต้องการเครื่องมือ CAE หลายเครื่องมือ การสื่อสารของข้อมูลระหว่างเครื่องมือในโปรแกรมเหล่านี้เป็นการท้าทายของการประยุกต์ใช้โดยส่วนใหญ่ ปกติข้อมูลจะถูกส่งในลักษณะที่เป็นมาตรฐานของการแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือการเก็บในฐานข้อมูล

ในระบบ CAD/CAM มักจะมีโปรแกรมสำหรับควบคุม คุณภาพเป็นส่วนหนึ่งเสมอ ทั้งนี้ก็เพื่อทำการตรวจสอบหรือ เช็คข้อผิดพลาดของชิ้นงานที่เครื่องผลิตออกมาได้ หากโปรแกรมควบคุมคุณภาพตรวจพบค่าผิดพลาดก็จะทำการคำนวณ เพื่อแก้ไขและส่งค่าใหม่ที่ถูกต้องไปยังระบบคอมพิวเตอร์ของ CAM ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพของชิ้นงานให้อยู่ในค่าพิกัดที่ถูกกำหนดไว้

ระบบการผลิตชนิดอัตโนมัติเต็มรูปแบบมักจะมีวิธีการวัดที่เรียกว่า In-Process Measuring System ทำให้ระบบที่ควบคุม เครื่องจักรสามารถตอบสนองเมื่อได้รับสัญญาณจาก ผลของการตรวจวัดและจะต้องสามารถปรับค่าหรือชดเชยค่าการสึกหรอ ของเครื่องมือเมื่อได้รับการแจ้งว่าชิ้นงานที่ผลิตขึ้นมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าพิกัดเผื่อที่กำหนดเอาไว้

CIM (Computer-Integrated Manufacturing) เป็นการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการประสานและการควบคุม ระบบการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อให้การ ทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติทำให้ได้ระบบการผลิตและผลผลิตที่ สมบูรณ์การประยุกต์ระบบ CIM มาใช้เป็นการพัฒนาเพื่อเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ การใช้CIM ก็คือการเชื่อมโยง ระหว่างกันของระบบฐานข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับระบบการผลิต จากการที่ได้กล่าวมาในตอนต้นนี้สามารถสรุปยุคต่างๆ ที่ได้มีการพัฒนาจนกระทั่งเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ ดิจิตอล(Digital Computer) ด้วยเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์และเครื่องจักรกล NC จนกลายมาเป็นเครื่องจักรกล CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



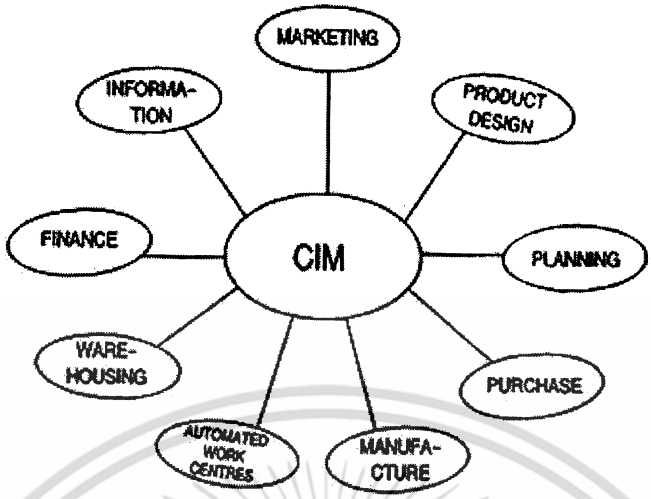
รูปที่ 2.3 ระบบฐานข้อมูลที่จำเป็นสำหรับระบบ CIM

2.1.3 ระบบฐานข้อมูลในระบบ CIM

CIM ต้องมีการจัดการด้วยระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้สามารถแบ่งระบบของข้อมูลออก เป็นสองระบบหลักคือ

- **ระบบข้อมูลหลักขององค์กร** จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการจัดเตรียมและการจัด การสายการผลิต, การจัดเตรียมวัตถุดิบเมื่อได้รับใบสั่งซื้อ (order), การควบคุมสต็อก และการจัดส่งสินค้า ฯลฯ ระบบข้อมูลหลักของ องค์กรมักจะประกอบไปด้วยข้อมูลทางด้านการตลาด, การออกแบบผลิตภัณฑ์และออกแบบ ทางวิศวกรรม, การวางแผน, การซื้อขาย, วิศวกรรมโรง งาน, ฮาร์ดแวร์ของโรงงานอัตโนมัติ, โกดังสินค้า, การวิจัยและพัฒนา, การวางแผนทางการเงิน, การจัดการข้อมูลข่าวสาร.
- **ระบบควบคุมสายการผลิต** ในการวางแผนสายการผลิตนั้นมักจะมีการแบ่งออก เป็นหน่วยงานย่อย ๆ เพื่อทำการควบคุมสายงานการผลิตออกมาต่างหาก โรงงานที่มีเทคโนโลยีสมัยใหม่ทางด้านการควบคุมสายการผลิตอาจมีการวางแผนระบบการใช้เครื่องจักรให้มีความ ยืดหยุ่นของระบบการทำงานในกระบวนการผลิตได้ โดยจะใช้ระบบที่เรียกว่า FMS (Flexible Manufacturing System) ในหน่วยงานผลิตย่อยความเกี่ยวโยงกันของระบบ FMS กับ CAD/CAM/CIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

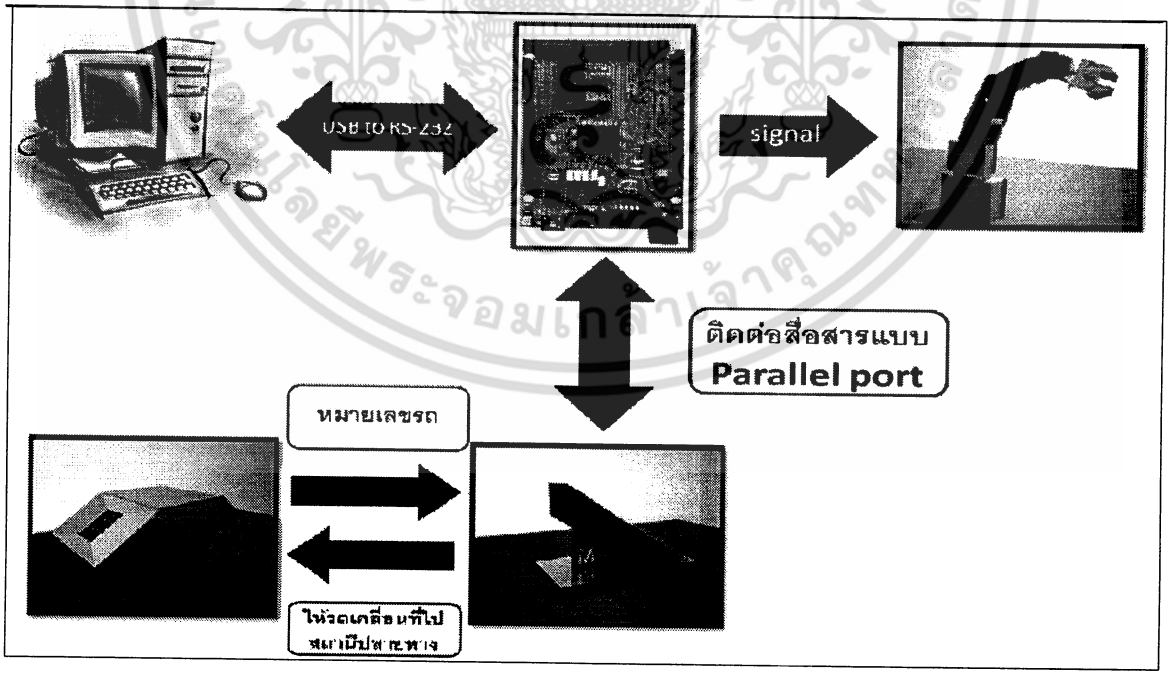


รูปที่ 2.4 ระบบฐานข้อมูลขององค์กรที่จำเป็นสำหรับระบบ CIM

2.1.4 ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ CIM

ระบบ CIM มีส่วนประกอบของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

ฮาร์ดแวร์



รูปที่ 2.5 ฮาร์ดแวร์ส่วนต่างๆที่อยู่ระบบลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เครื่องจักรและอุปกรณ์ของโรงงานได้แก่ สถานีงาน (workstations), ส่วนทำงาน (cells), ระบบ DNC/FMS, อุปกรณ์เคลื่อนย้ายชิ้นงานและเครื่องมือ (work and tool handling devices), อุปกรณ์กักเก็บ (storage devices), เซนเซอร์ (sensors) และอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลภาย ในโรงงาน (shopfloor data collection devices) เป็นต้น

2. คอมพิวเตอร์, ตัวควบคุม, ระบบ CAD/CAM, สถานีงานและสถานีย่อย (terminals), เครื่องพิมพ์, พล็อตเตอร์ และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ, โมเด็ม, สายเคเบิลและขั้วต่อ ฯลฯ

3. อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในสำนักงานเช่น คอมพิวเตอร์, เครื่องพิมพ์, พล็อตเตอร์ ฯลฯ

ซอฟต์แวร์

เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและสั่งการทำงานบนคอมพิวเตอร์ โดยคอนโทรลเลอร์จะ แบ่งระบบออก 2 โหมด คือ

1. โหมดควบคุมด้วยมือ (Manual Mode)

ในการทำงานของโหมดควบคุมด้วยมือ เราจะเป็นผู้สั่งการทำงานของระบบ ว่าเราต้องการให้รถวิ่งออกจากสถานีใด แล้วไปจอดที่สถานีใด โดยรถที่เหลืออีก สามคัน จะวิ่งไปจอดถัดไปอีกหนึ่งสถานี อย่างเช่น ถ้าเราต้องการให้รถคันที่หนึ่ง วิ่งไปยังสถานีที่สี่ ดังนั้น รถคันที่สองจะวิ่งไปจอดที่สถานีที่หนึ่ง รถคันที่สามจะวิ่งไปจอดที่สถานีที่สอง และรถคันที่สี่จะวิ่งไปจอดสถานีที่สาม จะเป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ไม่ว่าเราจะทำการเลือกรถคันที่เท่าไร สถานีต้นทางหรือปลายทางใด รถคันที่เหลือจะวิ่งไปจอดตามสถานีตามที่กล่าวดังข้างต้น

2. โหมดควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Mode)

เมื่อเราทำการเขียนโปรแกรมและทำการสั่งให้ระบบทำงาน ระบบจะทำงานตามที่เรากำหนด ซึ่งจะคล้ายกับโหมดควบคุมด้วยมือ แต่จะต่างกันตรงที่ ถ้าให้รถคันที่ 1 วิ่งไปยังสถานีที่ B ดังนั้นรถคันที่ 2 จะวิ่งไปยังสถานีที่ C รถคันที่ 3 จะวิ่งไปยังสถานีที่ D และรถคันที่ 4 จะวิ่งไปยังสถานีที่ A และจะวิ่งอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ตลอดการทำงาน (1B – 2C – 3D – 4A)

คอมพิวเตอร์ที่จะนำมาใช้งานกับระบบ CIM

การเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์จะเป็นขนาดใดนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลและ ความต้องการความเร็วในการประมวลผล โดยปกติแล้วในระบบ CIM สามารถเลือกใช้คอมพิวเตอร์ได้ทั้งสามประเภทคือ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, มินิคอมพิวเตอร์ และเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ โดยประเภทแรกมักจะอยู่ตามสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานย่อย ๆ และมีการใช้งานในลักษณะโต้ตอบกับผู้ใช้งาน (users interact) ใช้ขณะที่สองประเภทหลังจะใช้เป็นคอมพิวเตอร์ในการดูแลและควบคุม (supervisory computers)

โดยทั่วไปแล้วเราต้องการเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะ นำมาใช้กับระบบ CIM ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ความสามารถที่จะใช้ได้กับซอฟต์แวร์ทูล ชนิดพิเศษได้หลาย ๆ อย่าง เช่น Oracle, Ingres, Cybase, Informix ,Progress และอื่น ๆ

2. ใช้ได้กับโปรแกรมหลาย ๆ ภาษา (Language compatibility) เช่น ภาษา C, C + +, Cobol Fortran และอื่น ๆ

3. มีสมรรถนะสูง ,เชื่อถือและวางใจได้ สามารถประมวลผลหรือกระทำการตามสั่งได้ อย่างรวดเร็ว แม้จะมีข้อมูลอย่างมากมาย

4. เข้ากันได้กับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น เมื่อต่อเข้ากับระบบเครือข่ายและระบบการสื่อสาร

5. แสดงภาพกราฟิกได้อย่างรวดเร็วและสวยงาม

6. ใช้ได้กับระบบปฏิบัติการทั้ง UNIX และ MS-DOS และสามารถแชร์ไฟล์กันได้ทั้ง MS-DOS และ UNIX programs เป็นต้น

2.2 ระบบลำเลียงสินค้า

หลักการทำงานของระบบลำเลียง จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ

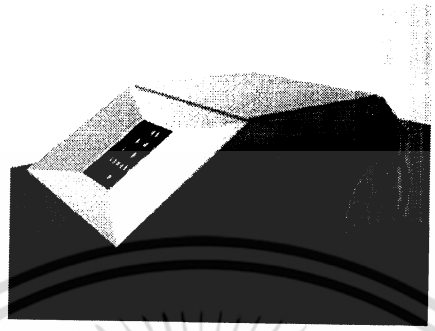
1. แบบ Manual ในการทำงานของ Manual Mode เราจะเป็นผู้สั่งการทำงานของระบบ ว่าเราต้องการให้รถวิ่งออกจากสถานีใด แล้วไปจอดที่สถานีใด โดยรถที่เหลืออีก สามคัน จะวิ่งไปจอดถัดไปอีกหนึ่งสถานี

2. แบบ Automatic เมื่อเราทำการเขียนโปรแกรมและทำการสั่งให้ระบบทำงาน ระบบจะทำงานตามที่เรากำหนด ซึ่งจะคล้ายกับManual Mode แต่จะต่างกันตรงที่ ถ้าให้รถคันที่ 1 วิ่งไปยังสถานีที่ B ดังนั้น รถคันที่ 2 จะวิ่งไปยังสถานีที่ C รถคันที่ 3 จะวิ่งไปยังสถานีที่ D และรถคันที่ 4 จะวิ่งไปยังสถานีที่ A และจะวิ่งอย่างนี้ไปเรื่อยๆ ตลอดการทำงาน (1B – 2C – 3D – 4A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ส่วนประกอบหลักของระบบลำเลียงสินค้าแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักด้วยกัน คือ

2.2.1.1 รถลำเลียง (Vehicle)



รูปที่ 2.6 รถลำเลียง

หลักการทำงานของส่วนรถลำเลียงสินค้านั้น เราใช้หลักการการส่งข้อมูลผ่านทางสัญญาณอินฟราเรด (Infrared) ด้วยความถี่ 40 KHz โดยการทำงานจะเริ่มเมื่อตัวรถนั้นเคลื่อนที่เข้ามาจอดที่สถานี จากนั้น วงจร รับ-ส่ง จะเริ่มทำงาน โดยสิ่งที่ส่งไปจะเป็นหมายเลขประจำของตัวรถ ซึ่งส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณที่ส่งไปคือ ส่วนสถานีนั่นเอง

2.2.1.2 สถานี (Station)

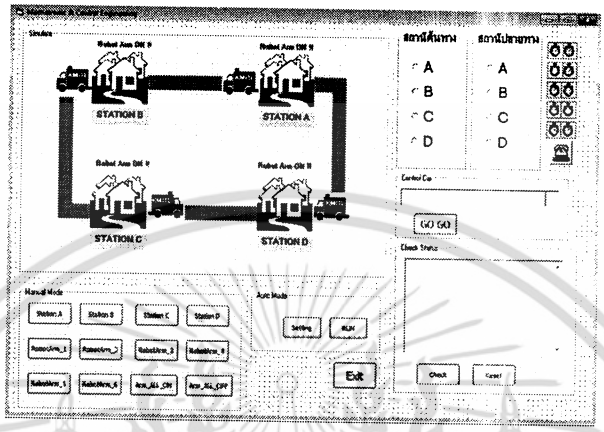
รูปที่ 2.7 สถานี

หลักการทำงานของส่วนสถานีนั้น เราใช้หลักการการส่งข้อมูลผ่านทางสัญญาณอินฟราเรด เช่นเดียวกับหลักการของส่วนรถลำเลียง โดยการทำงานจะเริ่มเมื่อ รถเคลื่อนที่เข้ามาจอด และสถานีได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอินฟราเรดที่เป็นหมายเลขของรถแล้ว จากนั้นสถานีจะทำการส่งข้อมูลหมายเลขของรถที่ได้รับมานั้นไปยังส่วนตัวคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการเก็บรวบรวมและกระจายคำสั่งมีที่รับมาจากมอนิเตอร์

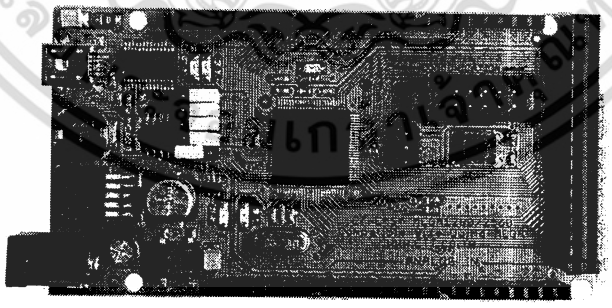
2.2.1.3 จอแสดงผลการทำงาน (Monitor)



รูปที่ 2.8 มอนิเตอร์

เป็นส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงผลการทำงานทั้งหมดของระบบลำเลียง และใช้ในการควบคุมการลำเลียงโดยระบุตำแหน่งของรถบรรทุกสินค้า

2.2.1.4 บอร์ดที่ใช้ในการควบคุม (Main Controller)



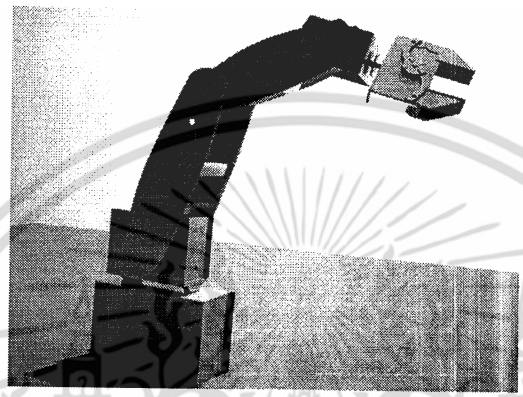
รูปที่ 2.9 Main Controller (Et-easy mega1280)

ทำหน้าที่ ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดในระบบลำเลียง คือ รถ, แขนกล และการรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีต่างๆ การติดต่อกันระหว่าง Main Controller กับสถานีนั้นเราใช้สายแพในการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Main Controller จะทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลไปยังสถานี เพื่อสั่งการว่าให้รถที่มาจอดเคลื่อนที่ไปสถานีใดต่อไป และการติดต่อกันระหว่าง Main Controller กับ Computer จะใช้สาย USB ในการเชื่อมต่อเพื่อที่จะส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยัง Main Controller ซึ่ง Main Controller จะสั่งการไปยังสถานีนั้นๆ

2.3 แขนกล (Robot arm)



รูปที่ 2.10 แขนกล (Robot arm)

แขนกลเป็นหุ่นยนต์ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมการผลิตอย่างแพร่หลาย โดยนำมาใช้แทนแรงงานคน ในงานที่มนุษย์นั้นมีข้อจำกัด เช่น งานที่ทำต่อเนื่อง เป็นเวลานาน และอันตราย มีน้ำหนักมาก เป็นต้น แขนกลจึงเข้ามามีบทบาทในการทำงานแทนมนุษย์ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้น มีความแม่นยำ และปลอดภัย

ภายในระบบจำลองแขนกล ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายสินค้าระหว่างรถลำเลียงกับสถานีรับ-ส่งสินค้า ซึ่งแขนกลมีส่วนประกอบ 4 ส่วนหลักได้แก่

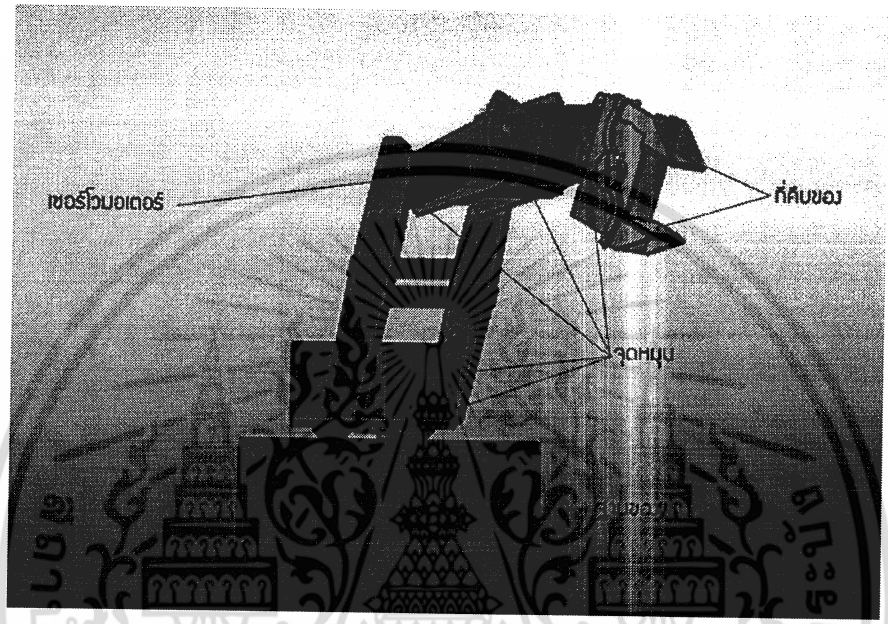
1. ส่วนควบคุม แขนกลจะถูกควบคุมการทำงานทั้งหมดจากบอร์ดสวิตซ์ควบคุม (Keypad Joystick)

2. ส่วนประมวลผล ทำหน้าที่ในการประมวลผลคำสั่งที่ได้จากส่วนควบคุมจากบอร์ดแสตม 168(STAMP 168) แล้วทำการประมวลผลค่าที่ได้มา จากนั้นทำการส่งข้อมูลที่ได้ไปยังเซอร์โวมอเตอร์ให้ทำงาน

3. ส่วนเซอร์โวมอเตอร์ เป็นส่วนที่ขับเคลื่อนแขนกลให้เคลื่อนไหวไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งเซอร์โวมอเตอร์จะถูกติดตั้งไว้ในส่วนของข้อต่อต่างๆของแขนกลจำนวน 6 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ส่วนที่ประกอบเป็นแขนกล จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ คลิ๊ปเปอร์ แขน และฐาน ซึ่งชิ้นส่วนทุกชิ้นทำมาจากแผ่นอคิลิคและได้ทำการออกแบบจากโปรแกรม SolidWorks Version 2010 แล้วนำไปแปลงเป็นค่า G-Code ออกมาแล้วนำค่า G-Code ที่ได้นำไปกัดชิ้นงานผ่านเครื่องCNC และนำชิ้นงานที่ได้นำไปประกอบเข้ากับเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของแขนกล

2.3.1 หลักการทำงานของแขนกล

ในระบบ **Computer Integrated Manufacturing (CIM)** แขนกลจะถูกประจำอยู่ทั้งหมด 4 ตำแหน่งในระบบนี้ โดยทำหน้าที่เป็น 2 ส่วน คือ แขนกล 2 อัน จะทำหน้าที่วางวัตถุลงบนรถเมื่อมีรถมาจอดอยู่ด้านหน้าของแขนกล ส่วนแขนกล 2 อัน ที่เหลือ จะมีหน้าที่จับวัตถุมาวางบนรถจากสถานีก่อนหน้านี้ที่มีแขนกล 2 อันแรกคีบมาวางไว้ก่อนแล้ว นำเอาวัตถุออกจากหลังรถ นำมาวางไว้ในกล่องใส่วัตถุ โดยระบบสามรถสั่งงานให้แขนกลทำงานสอดคล้องกับส่วนอื่นๆเป็นแบบอัตโนมัติได้

2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน

- ใช้แทนแรงงานคนในบริเวณที่เสี่ยงอันตราย
- ควบคุมกำลังการผลิตให้มีประสิทธิภาพ
- ประหยัดต้นทุน และเวลา
- เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ สามารถพัฒนาได้อีกมากและนำมาใช้ในระบบอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หุ่นยนต์แมลง 6 ขา

รูปที่ 2.12 หุ่นยนต์แมลง

เป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะรับชิ้นงานจากแขนกลซึ่งหยิบมาจากรถขนส่งภายในระบบ ลำเลียงสินค้าเพื่อจะนำชิ้นงานมาเก็บไว้ที่คลังสินค้า (Store) หรือ สถานีต่อไปในระบบ และสามารถควบคุมด้วยบอร์ดสวิตซ์ควบคุม เมื่อต้องการใช้กับการขนส่งแบบอื่น ๆ ที่ต้องการตามความเหมาะสมของงานนั้น ๆ

2.4.1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์แมลงมี 2ส่วนคือ

2.4.1.1 ฮาร์ดแวร์

เลือกใช้โปรแกรม SolidWorks ในการออกแบบโครงสร้างทั้งหมดของหุ่นยนต์ โดยส่วนประกอบต่างๆซึ่งเมื่อนำมาประกอบกันจะได้ดังรูปที่ 2.11 ส่วนประกอบทั้งหมดใช้แผ่นอคลีลิคในการทำ ซึ่งได้ใช้เครื่อง CNC ในการกัดชิ้นงานทั้งหมด และส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างคือ RC Servo motor ซึ่งมีขนาดกำลังไม่เกิน 13 kg.cm ซึ่งใช้เป็นต้นกำลังในการหมุนข้อต่อ ซึ่งมีทั้งหมด 18 ข้อต่อ จึงใช้ RC Servo motor 18 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 ซอฟต์แวร์

เป็นการออกแบบโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ โดยใช้รีโมทเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และควบคุมส่วนย่อยหรือตำแหน่งของข้อต่อในแต่ละข้อต่อโดยการเขียนโปรแกรมประมวลผลบนไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-Easy168 STAMP ขนาด 8 บิต เพื่อส่งสัญญาณวิทยุจากตัวรีโมทไปยังตัวหุ่นยนต์ แล้วตัวรับสัญญาณในตัวหุ่นจะทำการแปลงสัญญาณและส่งข้อมูลเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจะส่งสัญญาณควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อออกคำสั่งในการเคลื่อนที่

2.4.2 การประยุกต์ใช้งาน

สามารถใช้ในการลำเลียงและบรรทุกสิ่งของได้โดยใช้การควบคุมการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ และลดปริมาณแรงงานคนได้ เพื่อประหยัดต้นทุน

2.5 หุ่นยนต์ Humanoid หรือหุ่นยนต์ 2 ขา

รูปที่ 2.13 หุ่นยนต์ 2 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Humanoid คือหุ่นยนต์ที่ทำขึ้นมาให้คล้ายกับการเดินของมนุษย์ ซึ่งใช้ servo motor ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของทุกๆข้อต่อซึ่งองค์ประกอบในทุกๆส่วนประกอบของหุ่นยนต์ ได้ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม SolidWorks และใช้เครื่อง CNC ในการกัดชิ้นงาน

2.5.1 หลักการทำงาน

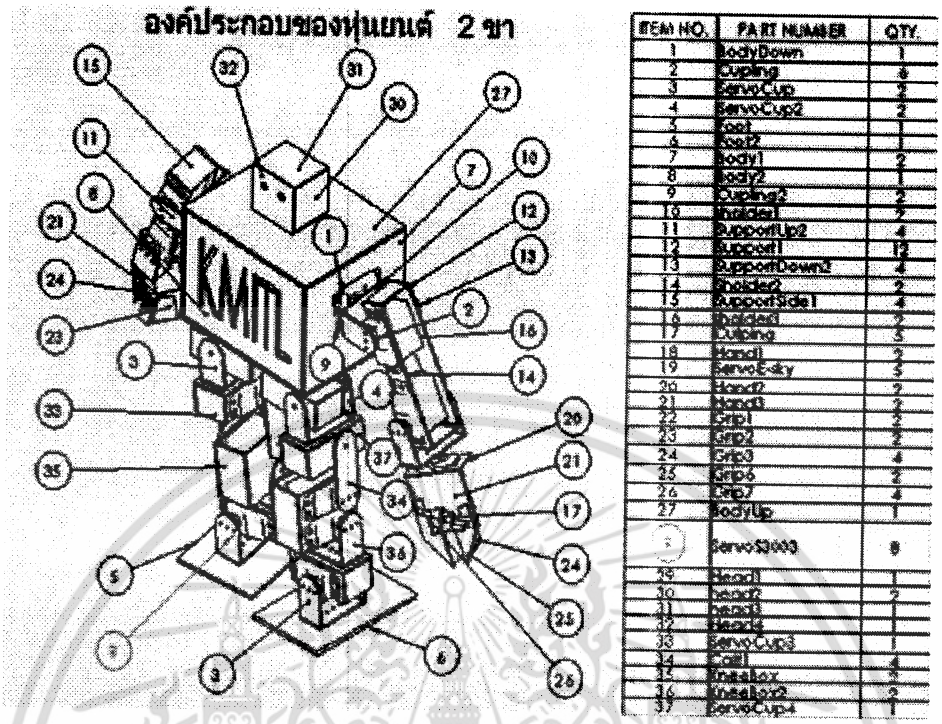
ในการควบคุมหุ่นยนต์สองขาได้ใช้ AVR MEGA 1280 ในการควบคุมการทำงาน และได้ทำการประยุกต์ใช้วงจรควบคุมการจัดท่าของหุ่นยนต์แขนกลมาใช้ในการจัดท่าการเดินของหุ่นยนต์สองขา โดยใช้ Digital Pin D2-D9 ซึ่งแต่ละ Pin จะส่งสัญญาณ Logic 1 ออกมา เช่น สวิตช์ S1 จะมี Pin D2 กับ D6 เชื่อมกันอยู่ เมื่อกดปุ่ม S1 Logic จาก D2 และ D9 จะเชื่อมถึงกัน ทำให้ Microcontroller รู้ว่ามีการกดปุ่ม S1 ตามที่เขียนโปรแกรมไว้

2.5.2 ส่วนประกอบของ Humanoid มี 2 ส่วนคือ

2.5.2.1 ฮาร์ดแวร์

- Easy Mega1280
- Servo MG945
- Servo S3003
- Digital servo EK2-0508
- Acrylic 2 mm.
- Acrylic 3 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	BodyDown	1
2	Coupling	8
3	ServoCup	2
4	ServoCup2	2
5	Foot1	1
6	Foot2	1
7	Body1	2
8	Body2	1
9	Coupling2	2
10	Bracket1	2
11	SupportUp2	4
12	SupportT	12
13	SupportDown2	4
14	Bracket2	2
15	SupportSide1	4
16	Bracket1	2
17	Coupling	5
18	Hand1	2
19	ServoE-sky	3
20	Hand2	2
21	Hand3	2
22	Grip1	2
23	Grip2	2
24	Grip3	4
25	Grip5	2
26	Grip7	4
27	BodyUp	1
28	ServoS3003	8
29	Hand1	1
30	Hand2	2
31	Hand3	1
32	Hand4	1
33	ServoCup3	1
34	Cam	1
35	MetalBox	2
36	MetalBox2	2
37	ServoCup4	1

รูปที่ 2.14 องค์ประกอบของหุ่น Humanoid

2.5.2.2 ซอฟต์แวร์

- Arduino (version 0008)
- SolidCam (version 2008)
- SolidWorks (version 2008)
- Mach3

2.5.3 การประยุกต์ใช้งาน

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาหุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ คือ หุ่นยนต์ที่สามารถเดินได้ด้วย 2 ขา และสามารถหยิบวัตถุขึ้นและวางวัตถุลงได้ เพื่อนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมในการเพิ่มผลผลิต ลดจำนวนแรงงานคน และเพิ่มความปลอดภัย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันต่อคู่แข่งทางการด้านอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

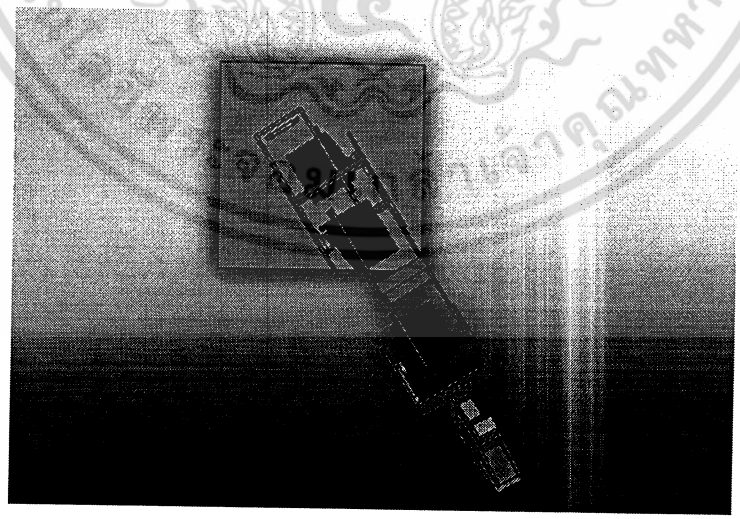
การออกแบบแขนกล

3.1 ฮาร์ดแวร์

3.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ

ส่วนประกอบภายนอกของแขนกลทั้งหมด ได้ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม SolidWorks ส่วนประกอบทั้งหมดใช้แผ่นอะคริลิดในการทำ ซึ่งใช้เครื่อง CNC ในการกัดชิ้นงานทั้งหมด ดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

รูปที่ 3.1 แขนกลที่ออกแบบโดยใช้ SolidWorks (Front view)

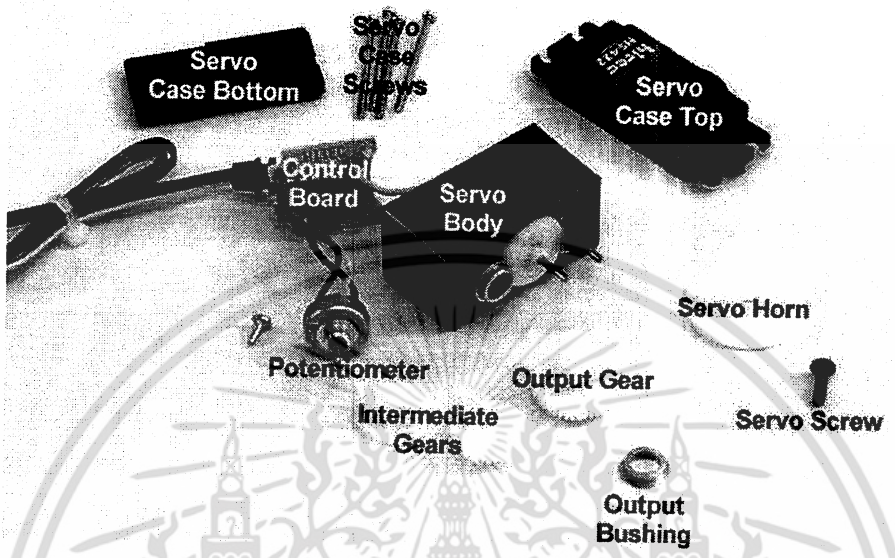


รูปที่ 3.2 ภาพจากด้านบนของแขนกล(Top veiw)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เซอร์โวมอเตอร์

ส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างคือ เซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งมีขนาดกำลังไม่เกิน 13 kg.cm ซึ่งใช้เป็นต้นกำลังในการหมุนข้อต่อ ซึ่งมีทั้งหมด 6 ข้อต่อ จึงใช้ เซอร์โวมอเตอร์ 6 ตัว



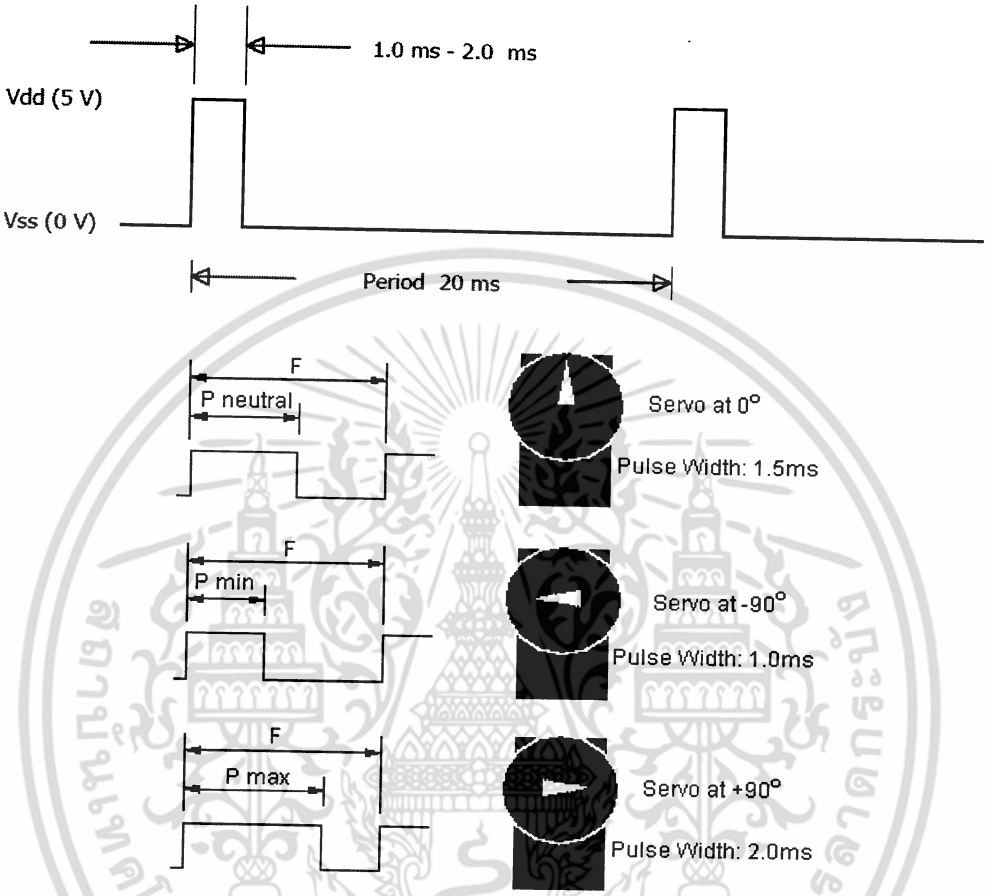
รูปที่ 3.3 องค์ประกอบภายในของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับ ชุดเกียร์ และส่วนควบคุม ต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน โดยจะมีสายต่อใช้งานง 3 เส้น คือ VCC,GND และ สายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย ขวาได้จากสายสัญญาณ โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมเป็นสัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation, PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันจะอยู่ในช่วง 4 ถึง 6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว มีข้อดีคือ ขนาดเล็กน้ำหนักเบา, แรงบิตสูง ,ใช้พลังงานน้อย และ สามารถควบคุม ด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ เพราะ วงจรควบคุมอยู่ภายในแล้ว ซึ่งสามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ แต่จะหมุนได้ในช่วงประมาณ 180° แต่ บางรุ่นหมุนได้ 210° แต่ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้เนื่องจากโครงสร้างภายในมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และ ตัวต้านทานนี้ยึดติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้น จึงถูกออกแบบให้หมุนได้ประมาณ 180° เพื่อป้องกันมิให้ตัวต้านทานปรับค่าได้เสียหาย แต่ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนได้ 360° ต้องทำการปรับแต่ง (Modify) ดัดแปลงชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1 การควบคุมการทำงานของ เซอร์โวมอเตอร์

ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูป คือ



รูปที่ 3.4 การป้อนสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุม เซอร์โวมอเตอร์

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้ เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 90 องศา

<u>หมายเหตุ</u> ค่าความกว้างพัลส์ และ ระยะองศาการหมุนของมอเตอร์ที่อธิบายด้านบน นั้นเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ทั้งนี้ระยะการหมุน และ ขนาดของพัลส์ที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแต่ละยี่ห้ออาจจะไม่เท่ากัน ดังนั้นในการใช้ งานจึงควรศึกษารายละเอียดของมอเตอร์ในแต่ละรุ่นที่นำมาใช้ ซึ่งโดยปกติแล้วรายละเอียดต่างๆ ของมอเตอร์มักจะมีติดมากับตัวมอเตอร์นั้นๆ อยู่แล้ว สำหรับ Servo motor ยี่ห้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

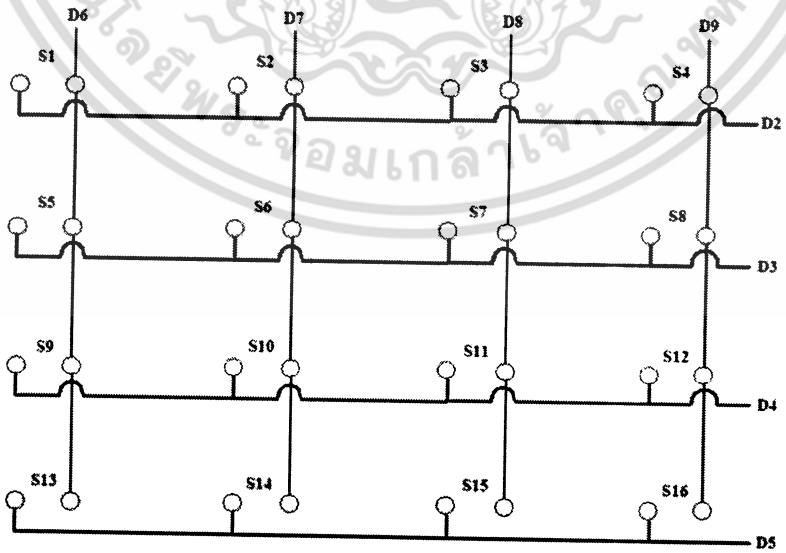
GWS และ HITEC นั้น จะใช้ระบบเฟืองที่ต่างกันทำให้มีทิศทางการหมุนที่ต่างกัน โดยจะตรงข้ามกัน เช่น ส่งสัญญาณพัลส์ 1ms มอเตอร์ GWS จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ส่วนมอเตอร์ของ HITEC จะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เป็นต้น

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆ นั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เป็นระดับความกว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุด ทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม - 45 องศา เราก็จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และ สัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้ โดยหลักการก็คือ จะอาศัยการเปรียบเทียบช่วงเวลาของความกว้างพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุมกับค่าเวลาของวงจร RC ภายในบอร์ดควบคุมในตัวของมอเตอร์ ซึ่งค่าเวลาของวงจร RC นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามการหมุนของมอเตอร์ เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าจะถูกยึดติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งการหมุนของมอเตอร์จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่า (VR) เปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยในขณะที่เราป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุม สัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเวลาของวงจร RC หากค่าทั้ง 2 ไม่เท่ากัน มอเตอร์ก็จะหมุนทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งค่าเวลาความกว้างพัลส์ของ วงจร RC เปลี่ยนแปลงจนเท่ากับสัญญาณพัลส์ทางขาควบคุม (Control line) มอเตอร์จึงจะหยุดหมุน

3.1.3 วงจรแขนกล

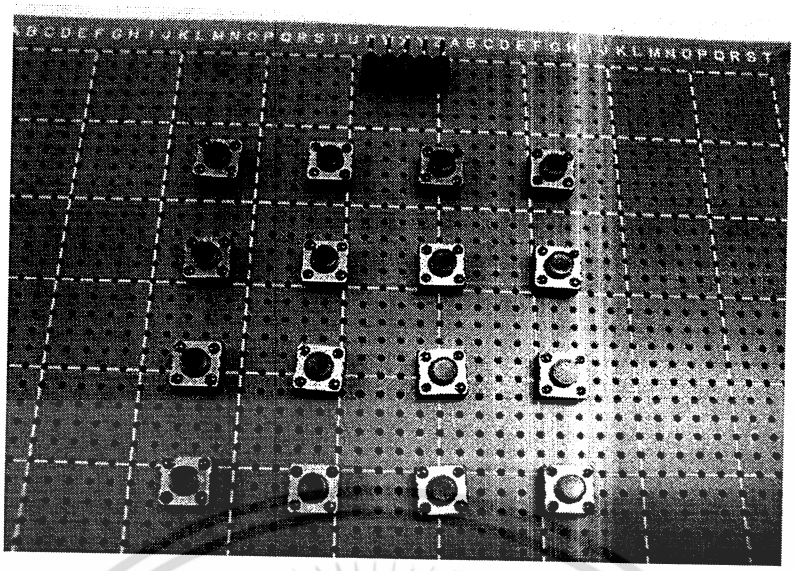
แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

3.1.3.1 ส่วนอินพุต เพื่อรับค่าตำแหน่งของ เซอร์โวมอเตอร์



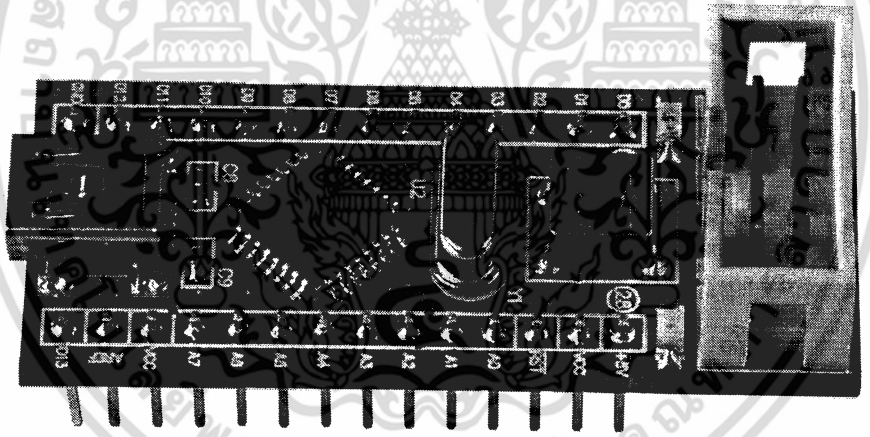
รูปที่ 3.5 วงจรสวิตซ์ควบคุม (Keypad Joystick)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 บอร์ดสวิตซ์ควบคุม

3.1.3.2 ส่วนของคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 บอร์ด ET-Easy168 STAMP

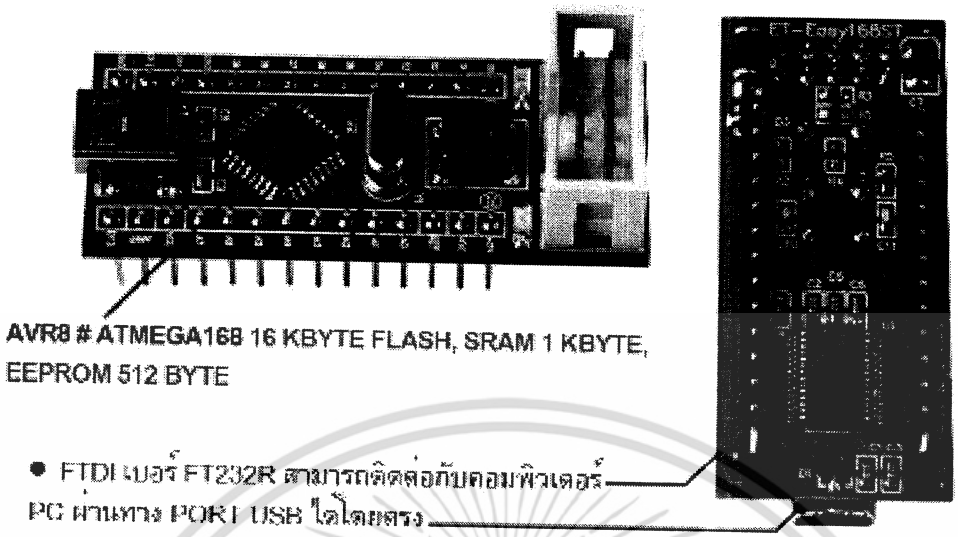
เลือกใช้ AVR รุ่น ET-Easy168 STAMP ในการเขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของ เซอร์โวมอเตอร์ โดย ET-Easy168 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็กจิ๋ว เลือกใช้เบอร์ ATMEGA168 เป็น MCU ประจำบอร์ด นอกจากนี้แล้วภายในตัวบอร์ดยังได้รวมเอาไอซี USB BRIDGE ของ FTDI เบอร์ FT232R สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทาง PORT USB ได้โดยตรงทำให้บอร์ด ET-Easy168 STAMP เป็นบอร์ด ทดลองใช้งานขนาดเล็กที่เพียบพร้อมไปด้วยวงจรพื้นฐานที่จำเป็นต่อการใช้งานอย่างแท้จริง เพียงแต่เสียบสาย USB จากเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับขั้ว USB ของบอร์ด ET-Easy168 STAMP ก็สามารถเขียนโปรแกรม และ DOWNLOAD CODE เข้าตัวบอร์ด พร้อมใช้ทำการทดลองหรือใช้งานได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

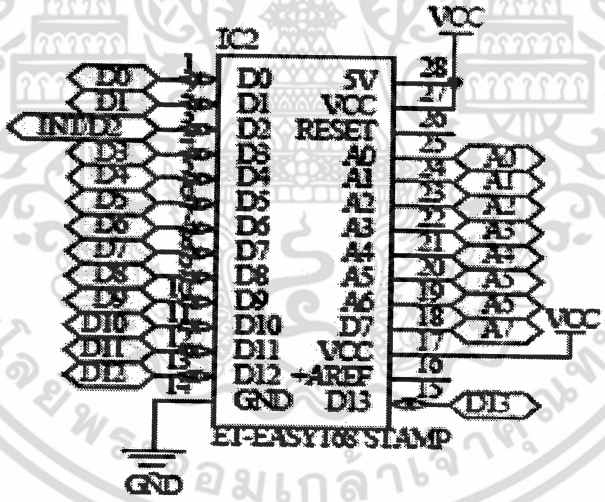
คุณสมบัติของบอร์ด

1. เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL Run ความถี่ 16.00 MHz
   - มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 16KByte ถ้าใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ AVRISP หรือ 14Kbyte เมื่อใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านระบบ Boot Loader RS232
   - มี SRAM ใช้งานขนาด 1KByte และ EEPROM ใช้งานขนาด 512 Byte
   - มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 บิต
2. Digital GPIO จำนวน 14 บิต
3. Analog Input (ADC) ขนาดความละเอียด 10บิต จำนวน 8 ช่อง
4. ใช้งานกับแรงดันไฟตรงขนาด +5VDC โดยใช้ได้ทั้งกับแหล่งจ่าย +5VDC/500mA จากพอร์ต USBและจากแหล่งจ่าย +5VDC จากภายนอกได้ด้วย พร้อม LED Power แสดงสถานะของแหล่งจ่าย
5. มีวงจร External Reset แบบ RC Reset และ Switch Reset พร้อมภายในบอร์ด
6. ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน Pin Header ระยะห่าง 2.54mm(100mil) ขนาด 28 Pin (ด้านละ14Pin) ระยะห่าง600mil(1.5cm) ง่ายต่อการนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และ ขยายวงจร I/O สามารถใช้กับProject Board และ PCB เอนกประสงค์ได้โดยง่าย
7. มีขั้วต่อ USB สำหรับเชื่อมต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่าน USB Bridge ของ FTDI ในรูปแบบของการสื่อสารอนุกรม RS232 สำหรับใช้งานสื่อสารและ Download Code ให้กับ MCU ในบอร์ด
8. มีขั้ว AVRISP แบบ IDE 10PIN สำหรับใช้ Download โปรแกรมให้กับ MCU ภายในบอร์ดในกรณีไม่ต้องการใช้การพัฒนาโปรแกรมผ่านทาง Boot Loader
9. มี LED แสดงสถานะ โดยต่อกับ PB5 ของ AVR (Digital-13 ของ Arduino Project) สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองการทำงานอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 AVR รุ่น ET-Easy168 STAMP

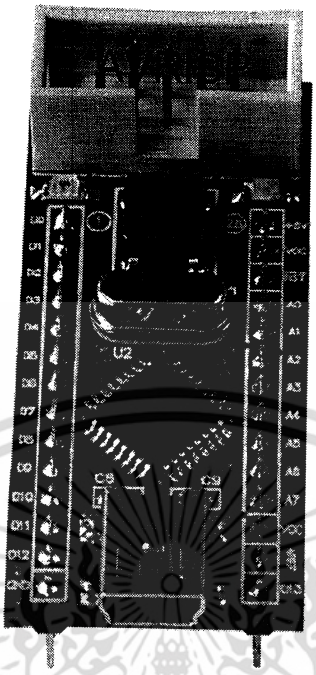


รูปที่ 3.9 วงจร Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AVR	Arduino	Pin
PD0	Digital-0	1
PD1	Digital-1	2
PD2	Digital-2	3
PD3	Digital-3	4
PD4	Digital-4	5
PD5	Digital-5	6
PD6	Digital-6	7
PD7	Digital-7	8
PB0	Digital-8	9
PB1	Digital-9	10
PB2	Digital-10	11
PB3	Digital-11	12
PB4	Digital-12	13
GND	GND	14

ET-EASY168 STAMP



Pin	Arduino	AVR
28	+5V(+Vin)	+5V(+Vin)
27	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
26	RESET#	RESET(PC6)
25	Analog-0	PC0/ADC0
24	Analog-1	PC1/ADC1
23	Analog-2	PC2/ADC2
22	Analog-3	PC3/ADC3
21	Analog-4	PC4/ADC4
20	Analog-5	PC5/ADC5
19	Analog-6	ADC6
18	Analog-7	ADC7
17	+VCC(+5V)	+VCC(+5V)
16	+AREF	+AREF
15	Digital-13	PB5

รูปที่ 3.10 การจัดสรรขาสัญญาณของบอร์ด ET-EASY168 STAMP

หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ "Arduino Project"

• +5V(+Vin) เป็นขาสำหรับใช้เป็นจุดรับแรงดันขนาด +5VDC จากภายนอกเพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด

• +VCC(+5V) เป็นขาแหล่งจ่ายไฟจุดเดียวกันกับที่ป้อนให้กับ +VCC ของ MCU ซึ่งจุดนี้จะรับแรงดันมาจาก 2 แหล่ง ด้วยกันคือ ขารับแรงดัน +5V(+Vin) จากขา 28 ของบอร์ด และ จากขา+VUSB(+5V) จากขั้ว USB ของบอร์ด โดยมีไดโอด ป้องกันการย้อนกลับของแรงดันไว้แล้ว

• +AREF เป็นขาสำหรับรับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Analog Reference) ให้กับวงจร Analog Input ในกรณีต้องการใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก

• RESET# เป็นขาสัญญาณ RESET ของ CPU ทำงานที่ Logic "0"

• Digital[0..13] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ

• Analog[0..7] เป็นขา Input แบบ Analog สามารถรับ Input แบบ Analog 0..+5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ชนิดของเซอร์โวมอเตอร์

แขนกลในแต่ละข้อจะมีการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน จึงมีการนำเซอร์โวมอเตอร์มาใช้งานอยู่ 4 แบบ คือ

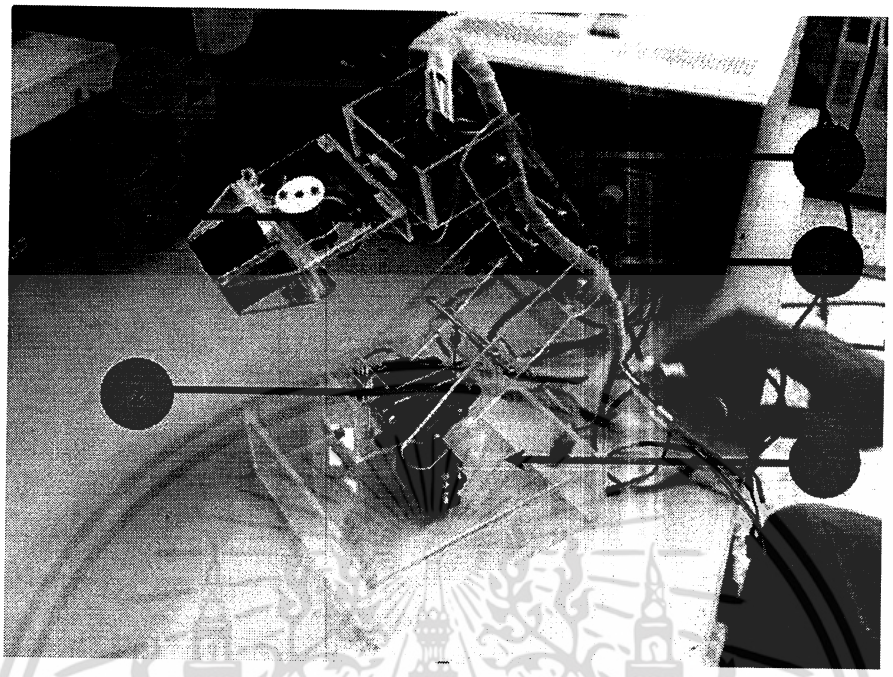
- Servo MG945 Towerpro : Stall torque: 10kg.cm(4.8V),13kg.cm(6V)
  Operating speed: 0.23 sec/60degree(4.8v), 0.2 sec/60degree(6v)
  Operating voltage: 4.8-7.2V
- Servo S3003 : Stall Torque : 3.2kg.cm(4.8V), 4.1kg.cm(6.0V)
  Operating Speed : 0.23sec/60 degrees(4.8V), 0.19sec/60 degrees(6.0V)
  Operating Voltage : 4.8-6.0 V
- Micro Servo SG90 9 g. : Stall Torque : 1.2 kg.cm (4.8V),
  Operating Speed : 0.12 sec/ 60 degrees(4.8 V),
  Operating Voltage : 4.0 to 7.2 volts
- Digital Servo : Torgue : Stall Torque : > 1kg.cm (Vcc=5V)
  Operating Speed : 0.1 sec/60 degrees
  Operating Voltage : DC 5V±1V

3.3 ซอฟแวร์

เป็นการออกแบบโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ โดยใช้บอร์ดสวิตซ์ควบคุม เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล และควบคุมส่วนย่อยหรือตำแหน่งของข้อต่อในแต่ละข้อต่อโดยการเขียนโปรแกรมประมวลผลบนไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-Easy168 STAMP ขนาด 8 บิต เพื่อส่งสัญญาณจาก Keypad Joystick ไปยังบอร์ด ET-Easy168 STAMP แล้วตัวรับสัญญาณในบอร์ดจะส่งข้อมูลเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจะส่งสัญญาณควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อออกคำสั่งในการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเคลื่อนที่ของแขนกล



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งหน้าที่ของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัว

การเคลื่อนที่ของแขนกลมี 6 ข้อต่อคือ

ข้อต่อที่ 1 คือส่วนฐานมีหน้าที่หมุนแขนกลไปในแนวราบ

ข้อต่อที่ 2 คือส่วนบนฐานทำให้แขนกลเคลื่อนไหวในระยะใกล้ไกล

ข้อต่อที่ 3 คือส่วนเคลื่อนที่ทำให้แขนกลสามารถเคลื่อนไหวในแนวดิ่ง

ข้อต่อที่ 4 คือข้อต่อที่ช่วยเพิ่มความละเอียดของระยะเป้าหมาย

ข้อต่อที่ 5 คือข้อต่อสำหรับหมุนปรับทิศในการจับวัตถุ

ข้อต่อที่ 6 คือส่วนคีบจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงผลการทดลอง โครงสร้างของแขนกล และโปรแกรมของแขนกล โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

4.1 วิธีการทำการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมควบคุมทิศทางการทำงานของ เซอร์โวมอเตอร์โดยกำหนดค่าสัญญาณความกว้างพัลส์ตามค่าต่างๆกันดังนี้ 1 ms 1.5ms และ2ms

2. ประยุกต์ใช้วงจรควบคุมมาใช้ในการกำหนดการเคลื่อนที่ของแขนกล โดยใช้ Digital Pin D2-D9 ซึ่งแต่ละ Pin จะส่งสัญญาณ Logic 1 ออกมา เช่น สวิตช์ S1 จะมี Pin D2 กับ D6 เชื่อมกันอยู่ เมื่อกดปุ่ม S1 Logic จาก D2 และ D6 จะเชื่อมถึงกัน ทำให้ Microcontroller รู้ว่ามีการกดปุ่ม S1 ตามที่เขียนโปรแกรมไว้ โดยเซอร์โวมอเตอร์ 1 ตัวจะถูกควบคุมด้วยสวิตช์ 2 ตัว เพื่อควบคุมทิศทางในการหมุนตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกา ตามที่ต้องการให้เคลื่อนที่ในทิศทางนั้น เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้วให้กดสวิตช์ที่เป็นการเมมโมรี่ จะสั่งให้จำค่านั้นไว้ ซึ่งในบอร์ดควบคุมนี้สามารถบันทึกค่าได้ทั้งหมด 8 ค่า เมื่อทำการบันทึกค่าทั้งหมดแล้ว ทำการกดสวิตช์ RUN จะเป็นการสั่งให้แขนกลทำงานได้อัตโนมัติตามที่สั่งค่าไว้

4.2 ผลการทดลอง

ทำการออกแบบการเคลื่อนที่ของแขนกลโดยการเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์แต่ละตัวเพื่อให้ข้อต่อแต่ละข้อทำงานอย่างต่อเนื่องได้ผล ดังนี้

เมื่อนำหุ่นแขนกลมาต่อเข้ากับวงจร Keypad Joystick แล้วทดสอบว่าปุ่มที่ใช้ในการควบคุมของแขนกลทั้ง 12 ปุ่มใช้การได้จากนั้น กดปุ่มควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อเปลี่ยนองศาและทดสอบว่าโปรแกรมสามารถจดจำตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ได้จากนั้นทำการบันทึกตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ทีละตัวด้วย บอร์ด Stamp168 ทำจนได้ตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 6 ตัวแล้วทำการ RUN โปรแกรมที่บันทึกไว้ทั้งหมดพบว่า แขนกลสามารถทำงานตามตำแหน่งที่บันทึกไว้ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ยังขาดความเสถียรในการทำงานเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการป้อนสัญญาณพัลส์และองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการป้อนสัญญาณพัลส์และองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์

สัญญาณความกว้างพัลส์	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 1	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 2	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 3	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 4	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 5	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 6	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 7	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 8	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 9	ตำแหน่งมุมครั้งที่ 10	ตำแหน่งมุมเฉลี่ย
1 ms	-89°	-90°	-89.5°	-89.5°	-90°	-91°	-90.5°	-90.5°	-89.5°	-90.5°	-90°
1.5 ms	0°	0.5°	-0.5°	0°	-0.5°	0.5°	0°	-0.5°	1°	-1°	-0.05°
2 ms	90°	89.5°	90.5°	90°	89°	90°	90°	90.5°	90.5°	89°	90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างและการพัฒนาแขนกลให้ปฏิบัติตามคำสั่งคือแขนกลสามารถหยิบจับวัตถุขึ้นและวางวัตถุลงได้ตามที่ได้ป้อนคำสั่งไว้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อช่วยลดจำนวนแรงงานจากคนเป็นการลดต้นทุนการผลิตแล้วยังสามารถเพิ่มจำนวนชั่วโมงการทำงานได้อีกทางหนึ่ง และเพิ่มความปลอดภัยในการทำงานบางจุดที่เสี่ยงต่ออันตรายของบุคคลากรโดยนำแขนกลเข้ามาช่วยทำงานทดแทน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการผลิตเพื่อแข่งขันกับคู่แข่งทางด้านอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งจากโครงงานนี้ได้ประดิษฐ์แขนกลขึ้นมาและทำการควบคุมนั้น ผลการทดลองปรากฏว่าเมื่อสั่งการให้กลทำงานตามคำสั่งนั้นแขนกลสามารถหยิบจับและวางวัตถุลงบนรถขนส่งในระบบลำเลียงได้ในระดับหนึ่ง แต่เนื่องด้วยโครงสร้างของแขนกลยังไม่แข็งแรงพอและการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ที่ยังไม่สามารถควบคุมให้เสถียรได้ทำให้ตำแหน่งการวางวัตถุยังไม่แม่นยำพอที่จะสามารถนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้จริง จะต้องมีการแก้ไข ปรับปรุง จุดด้อยของแขนกลและพัฒนาระบบควบคุมต่อไปในอนาคต

จากการที่ได้ทดสอบการเคลื่อนไหวของแขนกล ปรากฏว่า แขนกลไม่สามารถขยับได้ตามที่เราต้องการ และการบังคับทิศทางไม่ดีเท่าที่ควร เพราะขนาดไม่เหมาะสมทำให้ไม่สามารถจับวัตถุได้ และขยับได้ตามต้องการ จึงได้กลับมาทำการตรวจเช็คตั้งแต่การออกแบบโครงสร้างของแขนกล และการประกอบโครงสร้าง จึงได้พบข้อบกพร่องในหลายๆด้าน อย่างเช่นขนาดไม่เหมาะสมทำให้ไม่สามารถจับวัตถุได้ และขยับได้ตามต้องการ เมื่อได้แก้ไขขนาด และโครงสร้างเป็นที่เหมาะสมแล้ว แขนกลก็สามารถขยับได้ดีขึ้น มีความสมบูรณ์มากขึ้น แต่ระหว่างการทดลองแขนกลมีการชำรุดจากการใช้งานบ่อยครั้ง ทำให้ต้องปรับปรุงแก้ไขโครงสร้าง และประกอบใหม่ให้แข็งแรงมากขึ้น จนโครงสร้างของแขนกลแข็งแรงจนเป็นที่น่าพอใจและเหมาะสมจนสามาถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลในการทำแขนกลในช่วงแรกปัญหาที่เกิดขึ้นคือจากการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำเร็จรูปและเซอร์โวมอเตอร์ที่ยังไม่คุ้นเคยกับการใช้งานของวงจรและเซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้มาก่อนจึงเกิดปัญหาในการเขียนโปรแกรมที่จะบันทึกข้อมูลลงไป ทำให้แขนกลไม่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ต่อมาจึงได้ศึกษาข้อมูล ทดลองเขียนโปรแกรมแบบต่างๆเพื่อใช้ควบคุมแขนกล เพื่อที่จะหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งที่สามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้ดีที่สุด และเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด นอกจากนั้นโครงสร้างของแขนกลที่สร้างขึ้นจากแผ่นอะคริลิคซึ่งมีความแข็งแรงคงทนค่อนข้างต่ำทำให้การควบคุมทำได้ยากและเกิดการชำรุดเสียหายได้ง่าย จึงได้แก้ไขโดยการต่อเติมโครงสร้างให้มีความแข็งแรง รวมทั้งออกแบบชิ้นส่วนบางชิ้นขึ้นมาใหม่เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหาย ทั้งในด้านส่วนของข้อต่อแขนและปากคีบ เพื่อช่วยให้การทำงานของแขนกลนั้นสามารถหยิบจับและวางวัตถุได้แม่นยำมากขึ้นนอกจากนี้อาจทำการเปลี่ยนชนิดของเซอร์โวมอเตอร์ที่มีคุณภาพสูงขึ้นและคุณสมบัติเหมาะกับงานที่ต้องนำมาใช้สร้างแขนกลแทนชนิดเดิม

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

จากงานวิจัยซึ่งใช้แผ่นอะคริลิคเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างแขนกลซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่คงทน ดังนั้นในการสร้างส่วนประกอบของโครงสร้างแขนกลนั้นควรนำเอาวัสดุที่มีความแข็งแรงคงทนต่อแรงรับที่ถูกกระทำได้เช่น อลูมิเนียม เหล็ก สแตนเลส เป็นต้นและเนื่องด้วยเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้งานในปัจจุบันมีให้เลือกใช้หลายขนาดและมีราคาแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับคุณภาพและการใช้งาน เราควรศึกษาเพิ่มเติมว่าควรที่จะใช้เซอร์โวมอเตอร์ชนิดและขนาดไหนจึงจะเหมาะสมกับงบประมาณที่เรามีและสามารถสร้างแขนกลให้ทำงานได้เหมาะสมกับความต้องการที่เราจะให้แขนกลทำหน้าที่อะไรและนอกจากนั้นควรศึกษาวิธีการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ให้ละเอียดเพื่อบังคับทิศทางการเคลื่อนไหวของแขนกลให้ทำงานได้ตามคำสั่ง เพื่อที่จะนำไปพัฒนาท่าทางการหยิบจับวัตถุของแขนกลในท่าทางที่ง่ายขึ้นและหลากหลายรูปแบบเหมาะกับการใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ทีมงานอีทีที. "SERVO MOTOR." [Online].

www.kmitl.ac.th/robot/article/**servo_motor**_book.pdf. 2546.

[2] อ.วศิน์วิโรตม์ เนติศักดิ์. "บทที่ 1." [Online].

www.**lcct.ac.th/office/home_el/book/cim.doc**. 2011

[3] ประจิน พลังสันติกุล. **เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพล์เลอร์ เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC.** พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์. 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้