

รายงานการวิจัย  
หุ่นยนต์แมลง 6 ขา  
Robot Bug



นายอมต หลวงพล

นายวิโรจน์ วุฒิ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

TJ

b. 12602267

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานบริการวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อความนี้ไปเผยแพร่หรืออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
เลขหมู่ 131168  
เลขทะเบียน 211-35  
วัน,เดือน,ปี 2.2 พ.ศ. 2557

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผลของ โครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	2
1.5 แผนการดำเนินงาน โครงการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบ CIM	3
2.1 การผลิตผสมผสานด้วยคอมพิวเตอร์ หรือ Computer Integrated Manufacturing (CIM)	3
2.1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับ Computer Integrated Manufacturing (CIM)	3
2.1.2 ส่วนประกอบย่อยของระบบ 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)	5
2.1.3 ระบบฐานข้อมูลในระบบ CIM	7
2.1.3.1 ระบบข้อมูลหลักขององค์กร	7
2.1.3.2 ระบบควบคุมสายการผลิต	7
2.1.4 ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ CIM	8
2.1.4.1 ฮาร์ดแวร์	8
2.1.4.2 ซอฟต์แวร์	9
2.1.5 คอมพิวเตอร์ที่ใช้กับระบบ CIM	9

## III

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 แบบจำลองระบบ CIM ในโรงงานนี้	10
2.3 การติดต่อสื่อสารกันของระบบ	14
2.3.1 การประยุกต์ใช้งาน	15
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการทํางานของหุ่นยนต์แมลง	16
3.1 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Robot Kinematic)	16
3.2 การออกแบบหุ่นยนต์แมลง 6 ขา	17
3.3 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา	17
3.3.1 เซอร์โวมอเตอร์	18
3.3.1.1 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์	18
3.3.1.2 หลักการทํางานของเซอร์โวมอเตอร์	19
3.3.1.3 การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ แบบ PWM	20
3.3.1.4 ข้อมูลของ เซอร์โวมอเตอร์	21
3.3.1.5 โครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา	22
3.3.1.6 บอร์ดควบคุม ET-easy168 STAMP	24
3.3.1.7 Li-po Battery 4000 25C	25
3.3.1.8 วงจรควบคุมหุ่นยนต์แมลงแบบไร้สาย	25
3.3.1.9 วงจรควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แมลง	28
3.3.1.10 แผนผังการทํางานของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา	30
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	32
4.1 การทดลอง	32
4.2 ตารางแสดงผลการทดลอง	33

## IV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ปัญหาและอุปสรรค วิธีการแก้ไข และสรุปผลการทดลอง	34
5.1 ปัญหาและอุปสรรค	34
5.2 วิธีแก้ไขปัญหา	34
5.3 สรุปผลการทดลอง	34
เอกสารอ้างอิง	35



# สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาความกว้างพัลส์กับตำแหน่งมุม  
ในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์

33



# สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบระหว่าง Mass production และ CIM	4
2.2 ระบบฐานข้อมูลที่จำเป็นสำหรับระบบ CIM	7
2.3 ระบบฐานข้อมูลขององค์กรที่จำเป็นสำหรับระบบ CIM	8
2.4 จอมอนิเตอร์แสดงผลการทำงานของระบบ	10
2.5 Main Controller ควบคุม และ สั่งการแต่ละสถานี	11
2.6 รถขนส่งสินค้าขนส่งสินค้าระหว่างสถานี	11
2.7 สถานีขนส่งสินค้า	12
2.8 แขนกลเคลื่อนย้ายชิ้นงาน	12
2.9 โครงสร้างหุ่นยนต์แมลง 6 ขา	13
2.10 โครงสร้างหุ่นยนต์สองขา	13
2.11 ขั้นตอนการทำงาน	14
3.1 Robot Kinematics	17
3.2 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์	18
3.3 สัญญาณในหนึ่งคาบที่ส่งให้เซอร์โวมอเตอร์	19
3.4 สัญญาณในหนึ่งคาบที่ส่งให้เซอร์โวมอเตอร์ตำแหน่งกลาง ซ้าย ขวา	19
3.5 สัญญาณ PWM ที่แตกต่างกัน 3 สัญญาณ	20
3.6 ส่วนประกอบภายในของเซอร์โวมอเตอร์	21
3.7 ภาพโครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขาแบบ Isometric	22
3.8 ภาพโครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา ด้านบน	22
3.9 ภาพโครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา ด้านหน้า	23
3.10 ภาพโครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา ด้านข้าง	23
3.11 หุ่นยนต์แมลง 6 ขา	23

## VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 บอร์ดควบคุม ET-easy168 STAMP	24
3.13 Li-po Battery 4000 25C	25
3.14 วงจรควบคุมหุ่นยนต์แมลงแบบ ไร้สาย	25
3.15 อุปกรณ์ส่งสัญญาณ	26
3.16 วงจรส่งสัญญาณ	26
3.17 วงจร Encoder	27
3.18 วงจรจริงบนรีโมท	27
3.19 บอร์ดวงจรควบคุมหุ่นยนต์แมลง 6 ขา แบบ ไร้สาย	28
3.20 ภาพวงจรควบคุมของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา	28
3.21 บอร์ดวงจรควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แบบ 2 ชั้น (ชั้นบน)	29
3.22 บอร์ดวงจรควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แบบ 2 ชั้น (ชั้นล่าง)	29
3.23 แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา (Flow Ground)	30
3.24 แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา (Back Ground)	31

### VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันได้มีการสร้างและพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากกระบวนการการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต้องการการผลิตแบบอัตโนมัติ (Automation Production Systems) มาช่วยในการผลิตที่มีปริมาณมากๆ และต้องการความแม่นยำสูง เช่น อุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและจำลองการลำเลียงสินค้าไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมรูปแบบต่างๆ ขึ้น เพื่อความสะดวกและง่ายแก่การตรวจสอบเก็บข้อมูลและลดความเสียหายให้น้อยที่สุด ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงถูกใช้ในการช่วยมนุษย์ในการดำเนินงาน ส่วนใหญ่จึงต้องใช้วิศวกรรมที่มีความรู้ความสามารถในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อออกแบบระบบและการใช้โปรแกรมต่างๆ ให้เข้ากับระบบการผลิตผสมผสานด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Integrated Manufacturing , CIM ) ในโรงงานอุตสาหกรรม

### 1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

ปัจจุบันในการเรียนการสอนทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ ของวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ในหลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุมและหลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มีความนิยมในการพัฒนาหุ่นยนต์ที่มีความสามารถเดินในพื้นที่ขรุขระและยกลำบากต่อการวิ่งของล้อหรือเดินสองขาแบบคน และในสถาบันการศึกษาทางด้านวิศวกรรมมักจะสร้างหุ่นยนต์เพื่อเข้าแข่งขัน และสามารถนำมาประยุกต์ให้ทำงานหรือปฏิบัติภารกิจในที่มีความเสี่ยงอันตรายแทนคน และพัฒนาเข้าสู่งานอุตสาหกรรมทั่วไปได้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีความประสงค์จะทำหุ่นยนต์ต้นแบบเพื่อศึกษาโครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนแกนเป็นมอเตอร์เซอร์โวที่ใช้ในเครื่องบินบังคับมีราคาถูกและสามารถควบคุมตำแหน่งได้เที่ยงตรง หาซื้อได้ทั่วไป ในส่วนของหน่วยประมวลผลใช้ชิพยูนิตตระกูล AVR มีความสามารถสูงและมีราคาถูก

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์
2. ส่งเสริมให้เกิดการศึกษาและการวิจัยในสาขาเมคคาทรอนิกส์และการควบคุม
3. ส่งเสริมให้มีการร่วมมือทำงานทางวิชาการและการวิจัยร่วมกันของหน่วยงานการศึกษากับ

ภาคอุตสาหกรรม

4. เพื่อพัฒนาและสร้างบุคลากร นักศึกษา นักวิจัย วิศวกร ที่มีความรู้ความเข้าใจและมีความเชี่ยวชาญด้าน เมคาทรอนิกส์และการควบคุมกับภาคของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. พัฒนาระบบสร้างหุ่นยนต์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์
2. หุ่นยนต์ที่สร้างสามารถประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปได้
3. พัฒนาวงจรควบคุมแบบดิจิทัลที่สร้างจากอุปกรณ์ AVR ที่มีความคล่องตัวในการใช้งาน และมีราคาประหยัดเมื่อมีการผลิตจำนวนมาก

### 1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อให้การวิจัยการพัฒนาหุ่นยนต์ 6 ขารวดเร็วภายในระยะเวลาที่กำหนดประมาณ 12 เดือน จึงขอแบ่งวิธีการวิจัยดังขั้นตอนต่อไปนี้

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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบ CIM

เป็นการผลิตผสมผสานด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Integrated Manufacturing , CIM ) เป็นการผลิตที่ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมกระบวนการผลิตทั้งหมด การผสมผสานของระบบ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน่วยงานแต่ละหน่วยได้ ทำให้แต่ละหน่วยรับรู้ความก้าวหน้าซึ่งกันและกัน ข้อดี คือ ระบบการผลิตจะมีความรวดเร็วและมีข้อผิดพลาดน้อย แม้ว่าข้อดีหลักของ CIM คือความสามารถในการสร้างกระบวนการผลิตอัตโนมัติ โดยทั่วไปแล้วระบบ CIM จะเป็นกระบวนการควบคุมแบบปิด (Closed-loop Control Processes) บนพื้นฐานของข้อมูล ณ ปัจจุบันที่ได้รับจากตัวตรวจรู้ (Sensor) CIM มีหน้าที่สนับสนุนการทำงานและเป็นระบบการจัดการของระบบการผลิตที่ประกอบด้วยฝ่ายต่างๆ เช่น ฝ่ายงานวิศวกรรม ฝ่ายงานการผลิต ฝ่ายการตลาด และฝ่ายการสนับสนุนอื่นๆ

## 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 ตัวปัจจุบันที่ได้รับจากตัวตรวจรู้ (Sensor)

Computer Integrated Manufacturing (CIM) มีหน้าที่สนับสนุนการทำงานและเป็นระบบการจัดการของระบบการผลิตที่ประกอบด้วยฝ่ายต่างๆ เช่น ฝ่ายงานวิศวกรรม ฝ่ายงานการผลิต ฝ่าย

การผลิต และฝ่ายการสนับสนุนอื่นๆ ขอบข่ายหน้าที่การทำงานของ Computer Integrated Manufacturing (CIM) มีหลากหลายอย่าง เช่น ออกแบบ วิเคราะห์ วางแผน จัดซื้อ จัดการบัญชี ต้นทุน ควบคุมคงคลัง และการกระจายผลิตภัณฑ์ เหล่านี้จะถูกเชื่อมโยงโดยคอมพิวเตอร์ไปยัง อุปกรณ์ หรือหน่วยต่างๆ ภายในองค์กร Computer Integrated Manufacturing (CIM) จะทำให้สามารถควบคุมกระบวนการได้โดยตรงและสามารถแสดงการทำงานปัจจุบันของทุกกระบวนการทำงานข้อแตกต่าง 3 ประการที่ทำให้ Computer Integrated Manufacturing (CIM) แตกต่างจากระบบการผลิตแบบอื่นๆ คือ

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

Characteristic	Mass Production	CIM
<b>Structure</b>		
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
<b>Human Resources</b>		
Interactions	Stand alone	Teamwork
Training	Narrow, one time	Broad, frequent
Expertise	Manual, technical	Cognitive, social Solve problems
<b>Interorganizational</b>		
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 2.1 การเปรียบเทียบระหว่าง Mass production และ CIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 ส่วนประกอบย่อยของระบบ CIM

### 2.1.2.1 CAD (Computer Aided Design)

เป็นการใช้คอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบและเขียนแบบรวมทั้งสร้างภาพสองหรือสามมิติได้โดยสะดวก นอกจากนี้ยังช่วยวิเคราะห์การออกแบบด้วยเช่น ใช้ประเมินค่าพิคัดเผื่อ (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 โดยทำการแปลงของข้อมูลที่ป้อนเข้าไปให้เป็นชุดคำสั่ง และนำไปควบคุมเครื่องจักรกลที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมหรือเครื่องจักรกล CNC นั่นเอง CAM เป็นส่วนที่ช่วยเชื่อมโยงระหว่างจินตนาการของการออกแบบกับการผลิตผลิตภัณฑ์ให้สำเร็จ CAM ช่วยแปลงข้อมูลจาก CAD (Computer Aided Design) ไปสู่ข้อมูลที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานนั้นๆ ซอฟต์แวร์ CAM จะทำการแปลงข้อมูลของต้นแบบ 3D ที่ได้จากการออกแบบด้วย CAD ให้อยู่ในรูปของโปรแกรมคำสั่งพื้นฐานสำหรับการผลิตหรือ G-code. G-code เป็นภาษาที่ทางเครื่องจักร (Numerical Controlled Machine Tools) สามารถเข้าใจว่าจะต้องทำการผลิตอย่างไร G-code สามารถสั่งให้เครื่องจักรทำงานได้ไม่จำกัดจำนวนชิ้นงานและมีความแม่นยำสูง ชิ้นงานที่ได้ออกมาจะมีลักษณะเหมือนแบบ 3D จาก CAD ที่ได้ออกแบบไว้

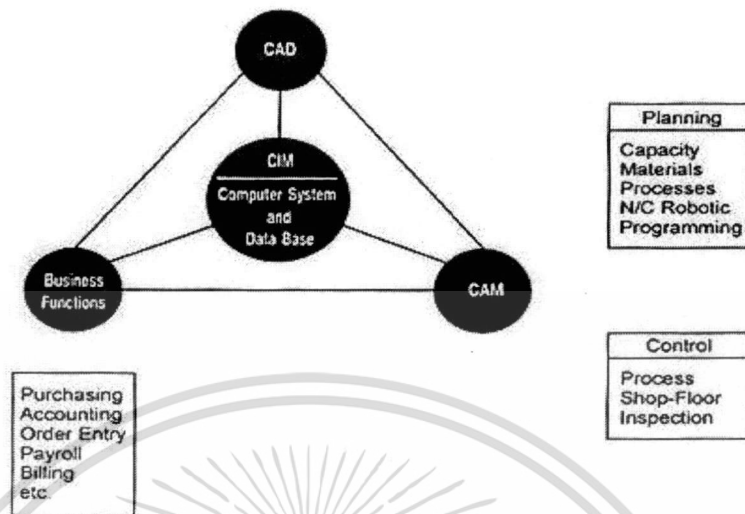
### 2.1.2.3 CAE (Computer Aided Engineering)

เป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ด้วยการปรับปรุงการแสดงผลทางกราฟิก พื้นที่การทำงาน และมาตรฐานของกราฟิก ทำให้ Computer Aided Engineering (CAE) มีความหมายเป็นการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยการสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับกราฟิกของคอมพิวเตอร์ โปรแกรม CAE สามารถใช้ได้กับคอมพิวเตอร์เกือบทุก

ประเภท ขึ้นอยู่กับความต้องการในสมรรถนะที่จะนำมาใช้งานหรือความเร็วในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับกราฟิกคอมพิวเตอร์ วิศวกรออกแบบ ใช้เครื่องมือ CAE ที่มีวัตถุประสงค์ทั่วไปเพื่อการคำนวณ และเครื่องมือเฉพาะสำหรับบางอุตสาหกรรม วิธีในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม 1 ปัญหาบ่อยครั้งต้องการเครื่องมือ CAE หลายเครื่องมือ การสื่อสารของข้อมูลระหว่างเครื่องมือในโปรแกรมเหล่านี้เป็นการทำหายของการประยุกต์ใช้โดยส่วนใหญ่ ปกติข้อมูลจะถูกส่งในลักษณะที่เป็นมาตรฐานของการแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือการเก็บในฐานข้อมูล

ในระบบ CAD/CAM มักจะมีโปรแกรมสำหรับควบคุม คุณภาพเป็นส่วนหนึ่งเสมอ ทั้งนี้ก็เพื่อทำการตรวจสอบหรือ เช็คข้อผิดพลาดของชิ้นงานที่เครื่องผลิตออกมาได้ หากโปรแกรมควบคุมคุณภาพตรวจพบค่าผิดพลาดก็จะทำการคำนวณ เพื่อแก้ไขและส่งค่าใหม่ที่ถูกต้อง ไปยังระบบคอมพิวเตอร์ของ CAM ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพของชิ้นงานให้อยู่ในค่าพิกัดที่ถูกกำหนดไว้ ระบบการผลิตชนิดอัตโนมัติเต็มรูปแบบมักจะมีวิธีการวัดที่เรียกว่า In-Process Measuring System ทำให้ระบบที่ควบคุม เครื่องจักรสามารถตอบสนองเมื่อได้รับสัญญาณจาก ผลของการตรวจวัดและจะต้องสามารถปรับค่าหรือชดเชยค่าการสึกหรอ ของเครื่องมือเมื่อได้รับการแจ้งว่าชิ้นงานที่ผลิตขึ้นมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าพิกัดเพื่อที่กำหนดเอาไว้

CIM (Computer-Integrated Manufacturing) เป็นการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการประสานและการควบคุม ระบบการผลิตภายใน โรงงานอุตสาหกรรม เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติทำให้ได้ระบบการผลิตและผลผลิตที่ สมบูรณ์การประยุกต์ระบบ CIM มาใช้เป็นการพัฒนาเพื่อเข้าสู่ระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ การใช้CIM ก็คือการเชื่อมโยง ระหว่างกันของระบบฐานข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับระบบการผลิต จากการที่ได้กล่าวมาในตอนต้นนี้สามารถสรุปยุคต่างๆ ที่ได้มีการพัฒนาจนกระทั่งเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ ดิจิตอล(Digital Computer) ด้วยเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์และเครื่องจักรกล NC จนกลายมาเป็นเครื่องจักรกล CNC



รูปที่ 2.2 ระบบฐานข้อมูลที่จำเป็นสำหรับระบบ CIM

### 2.1.3 ระบบฐานข้อมูลในระบบ CIM

CIM ต้องมีการจัดการด้วยระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้สามารถแบ่งระบบของข้อมูลออกเป็นสองระบบหลักคือ

#### 2.1.3.1 ระบบข้อมูลหลักขององค์กร

จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการจัดเตรียมและการจัดการสายการผลิต, การจัดเตรียมวัตถุดิบเมื่อได้รับใบสั่งซื้อ (order), การควบคุมสต็อก และการจัดส่งสินค้า ฯลฯ ระบบข้อมูลหลักขององค์กรมักจะประกอบไปด้วยข้อมูลทางการตลาด, การออกแบบผลิตภัณฑ์และออกแบบทางวิศวกรรม, การวางแผน, การซื้อขาย, วิศวกรรมโรงงาน, ฮาร์ดแวร์ของโรงงานอัตโนมัติ, โกดังสินค้า, การวิจัยและพัฒนา, การวางแผนทางการเงิน, การจัดการข้อมูลข่าวสาร

#### 2.1.3.2 ระบบควบคุมสายการผลิต

ในการวางแผนสายการผลิตนั้นมักจะมีการแบ่งออกเป็นหน่วยงานย่อยๆ เพื่อทำการควบคุมสายงานการผลิตออกมาต่างหาก โรงงานที่มีเทคโนโลยีสมัยใหม่ทางการควบคุมสายการผลิตอาจมีการวางแผนระบบการใช้เครื่องจักรให้มีความยืดหยุ่นของระบบการทำงานในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตได้ โดยจะใช้ระบบที่เรียกว่า FMS (Flexible Manufacturing System) ในหน่วยงานผลิตย่อยความเกี่ยวข้องกันของระบบ FMS กับ CAD/CAM/CIM



รูปที่ 2.3 ระบบฐานข้อมูลขององค์กรที่จำเป็นสำหรับระบบ CIM

#### 2.1.4 ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ CIM

ระบบ CIM มีส่วนประกอบของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 2.1.4.1 ฮาร์ดแวร์

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

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

### 2.1.4.2 ซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์มีอยู่หลากหลายชนิดตัวอย่างคือ โปรแกรม MIS (Management Information System), บริหารการขาย, การตลาด, การเงิน, จัดการฐานข้อมูล, การออกแบบ, การวิเคราะห์, การจำลองแบบ, Communication, Monitoring, ควบคุมการผลิต, Manufacturing area control, Job tracking, สินค้าคงคลัง, บาร์โค้ด, สั่งซื้อ, สายพานลำเลียง, Device driver, วางแผนกระบวนการ, บริหารสาธารณูปโภคของโรงงาน

### 2.1.5 คอมพิวเตอร์ที่ใช้กับระบบ CIM

การเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์จะเป็นขนาดใดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลและความต้องการความเร็วในการประมวลผล โดยปกติแล้วในระบบ CIM สามารถเลือกใช้คอมพิวเตอร์ได้ทั้งสามประเภทคือ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, มินิคอมพิวเตอร์ และเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ โดยประเภทแรกมักจะอยู่ตามสถานีย่อย ๆ และมีการใช้งานในลักษณะโต้ตอบกับผู้ใช้งาน (users interact) ใช้ขณะที่สองประเภทหลังจะใช้เป็นคอมพิวเตอร์ในการดูแลและควบคุม (supervisory computers)

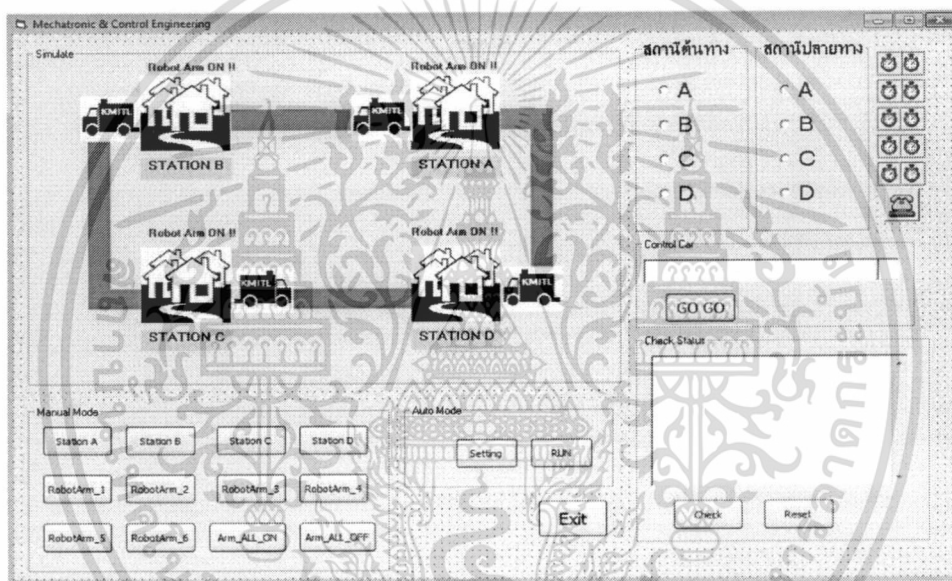
โดยทั่วไปแล้วเราต้องการเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะ นำมาใช้กับระบบ CIM ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ความสามารถที่จะใช้ได้กับซอฟต์แวร์ทุก 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 สามารถประมวลผลหรือกระทำการตามสั่งได้อย่างรวดเร็ว แม้จะมีข้อมูลอย่างมากมาย
4. เข้ากันได้กับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น ๆ เมื่อถูกต่อเข้ากับระบบเครือข่ายและระบบการสื่อสาร
5. แสดงภาพกราฟิกได้อย่างรวดเร็วและสวยงาม
6. ใช้ได้กับระบบปฏิบัติการทั้ง UNIX และ MS-DOS และสามารถแชร์ไฟล์กันได้ที่ทั้ง MS-DOS และ UNIX programs เป็นต้น

## 2.2 แบบจำลองระบบ CIM ในโครงการนี้

ในแบบจำลองการจำลองนี้ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ที่ใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน ซึ่งแบบจำลองนี้ประกอบไปด้วย

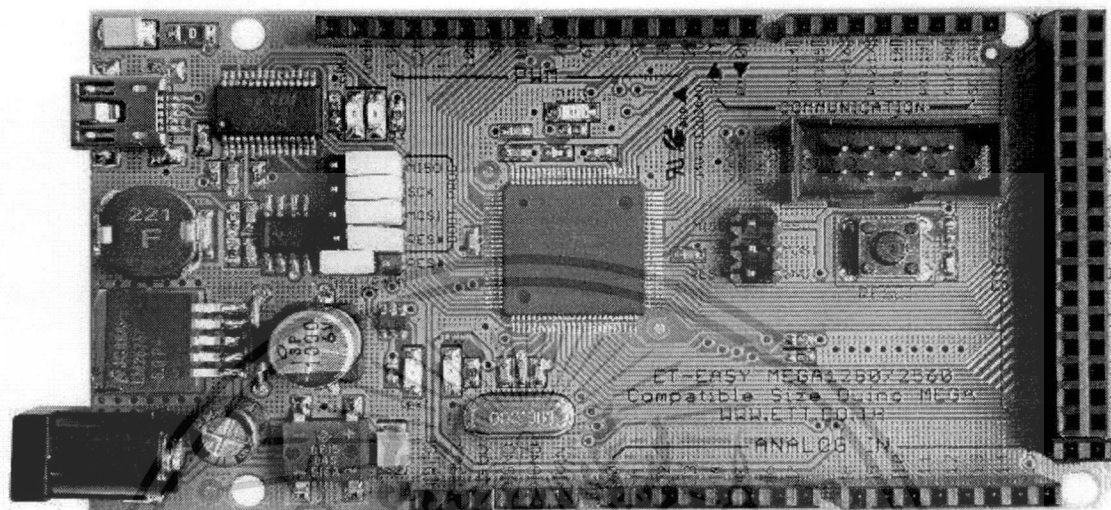
1. ส่วนมอนิเตอร์ ใช้ ET-EASYMEGA 1280 เป็นส่วนที่ใช้ในการแสดงผลการทำงานทั้งหมดของระบบ และใช้ในการควบคุมระบบจำลอง



รูปที่ 2.4 จอมอนิเตอร์แสดงผลการทำงานของระบบ

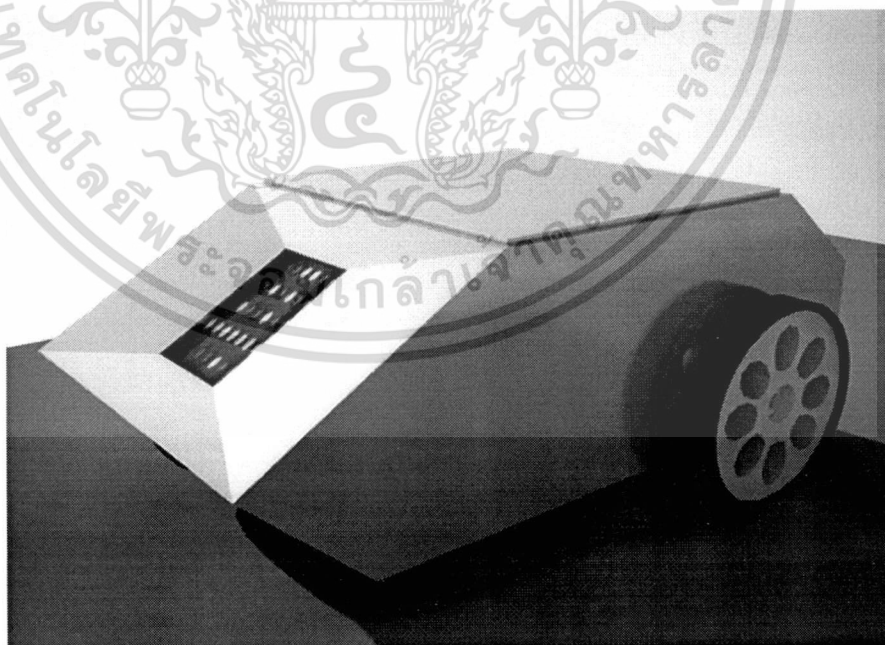
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วน Main Controller ใช้บอร์ด Et-easy mega1280 ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดในระบบลำเลียง คือ รถ, แขนกล และการรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีต่างๆ



รูปที่ 2.5 Main Controller ควบคุม และ สั่งการแต่ละสถานี

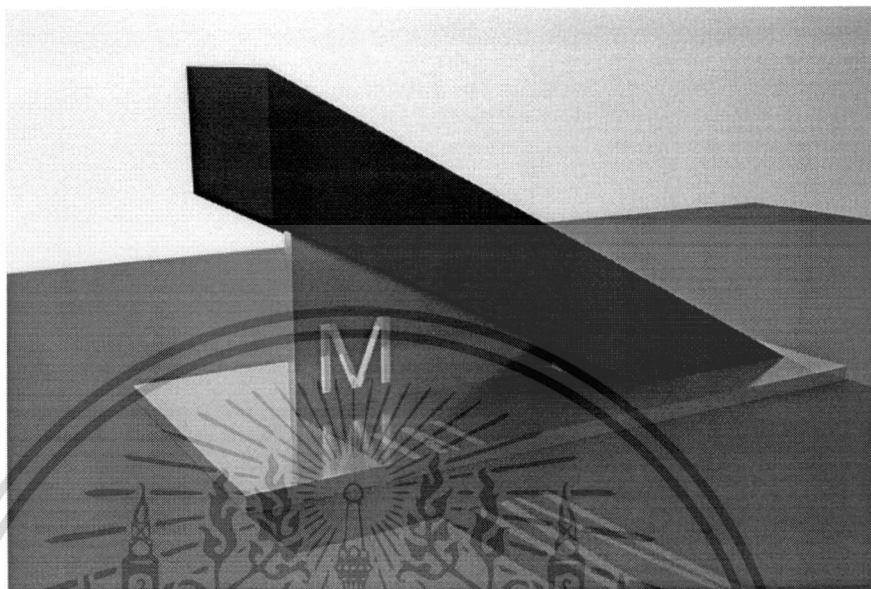
3. ส่วนรถลำเลียง ใช้ PIC16F690 ทำหน้าที่ขนส่งสิ่งของ ไปยังสถานีต่างๆในระบบลำเลียง



รูปที่ 2.6 รถขนส่งสินค้าขนส่งสินค้าระหว่างสถานี

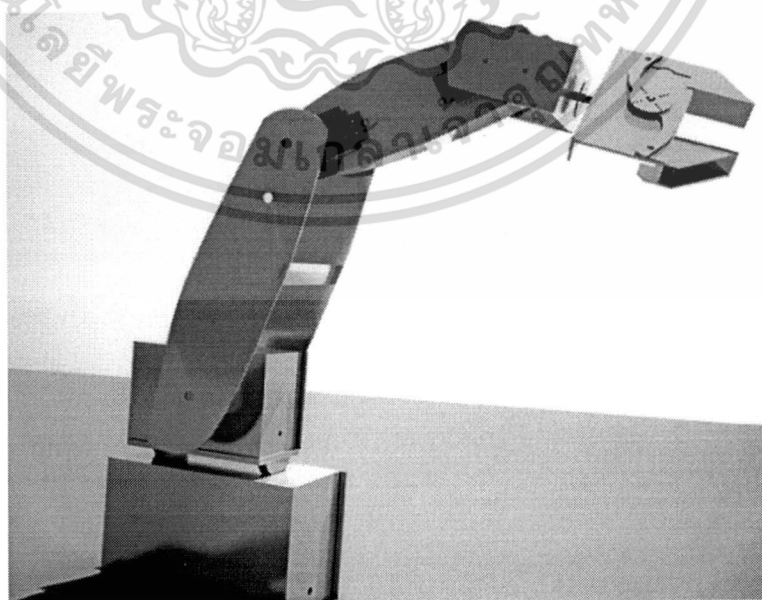
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ส่วนสถานี ใช้ PIC16F690 ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลจาก Main Controller และตรวจเช็คเงื่อนไขคำสั่งจากรถขนส่งสินค้า



รูปที่ 2.7 สถานีขนส่งสินค้า

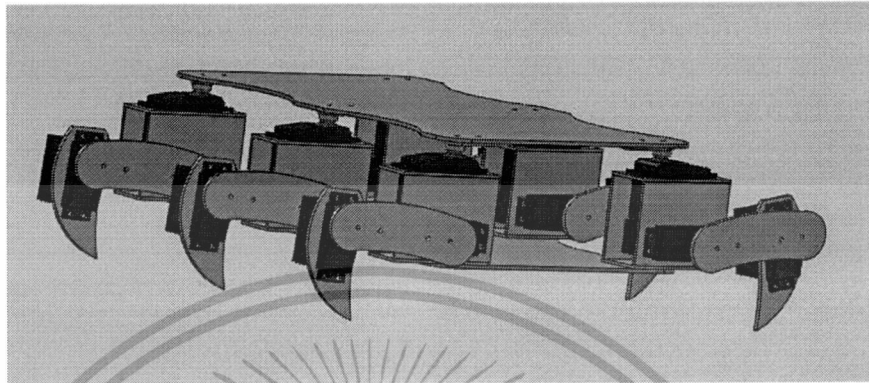
5. ส่วนแขนกล ใช้ ET-EASY168STAMP ทำหน้าที่ เคลื่อนย้ายชิ้นงาน ระหว่างรถลำเลียง และสถานี



รูปที่ 2.8 แขนกลเคลื่อนย้ายชิ้นงาน

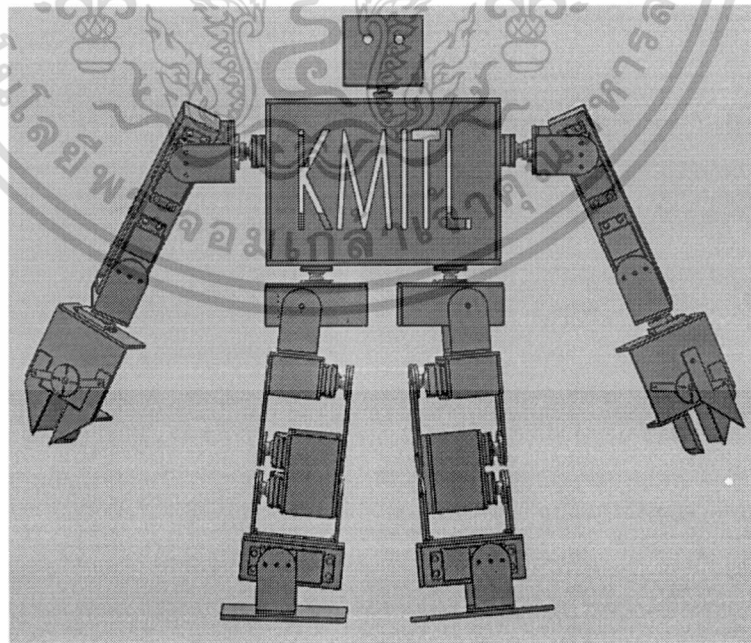
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หุ่นยนต์แมลงหกขาใช้ ET-EASY168 STAMP เป็น Controller ทำหน้าที่ลำเลียงสินค้าในระบบ



รูปที่ 2.9 โครงสร้างหุ่นยนต์แมลง 6 ขา

7. หุ่นยนต์สองขาใช้ ET-EASY168 STAMP เป็น Controller ทำหน้าที่ลำเลียงสินค้าในระบบ



รูปที่ 2.10 โครงสร้างหุ่นยนต์สองขา

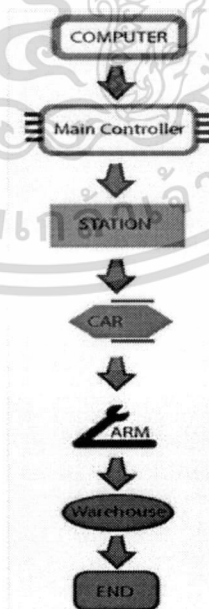
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การติดต่อสื่อสารกันของระบบ

ในการติดต่อกันระหว่างรถกับสถานีเราใช้หลักการของวงจรรีโมตคอนโทรล ตัวส่ง คือ หลอดอินฟราเรด และ ตัวรับ คือ โมดูลรับสำเร็จรูป (3ขา) จะส่งด้วยความถี่ประมาณ 40KHz ประโยชน์เพื่อเป็นความถี่หลักในการตรวจรับว่าเป็นสัญญาณตัวจริงไม่ใช่สัญญาณรบกวน ตัวรับแบบโมดูล (3ขา) โมดูลจะรับสัญญาณที่กระพริบด้วยความถี่ประมาณ 40KHz ถ้าตรงก็จะให้เอาต์พุตที่ขาเอาต์พุตเป็น 0 หลักการของมันก็มีแค่ส่งแสงอินฟราเรดไปยังวัตถุที่ต้องการตรวจจับ ถ้าพบวัตถุนั้นก็จะมีสะท้อนแสงกลับมายังตัวรับ โดยจะติดตั้ง ตัวรับและส่งสัญญาณนี้ไว้ที่ รถ กับ สถานี อย่างละ 1 ชุด

ส่วนการติดต่อกันระหว่าง Main Controller กับสถานีนั้นเราใช้สายแพในการรับส่งข้อมูล โดย Main Controller จะทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลไปยังสถานี เพื่อสั่งการว่าให้รถที่มาจากจุดเคลื่อนที่ไปสถานีใดต่อไป และการติดต่อกันระหว่าง Main Controller กับ Computer จะใช้สาย USB ในการเชื่อมต่อ เพื่อที่จะส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยัง Main Controller ซึ่ง Main Controller จะสั่งการไปยังสถานีนั้นๆ

การทำงานระหว่างแขนกลกับรถ จะแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านตัว Main controller เช่นกัน แต่ตัวแขนกลเอง จะใช้ AVR ATmega168 เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรม Arduino เขียนคำสั่งโดยใช้ภาษาซี ซึ่งแขนกลจะทำงานสัมพันธ์กับรถ โดยใช้การหน่วงเวลาเมื่อทำงานแบบ Automatic



รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการทำงาน

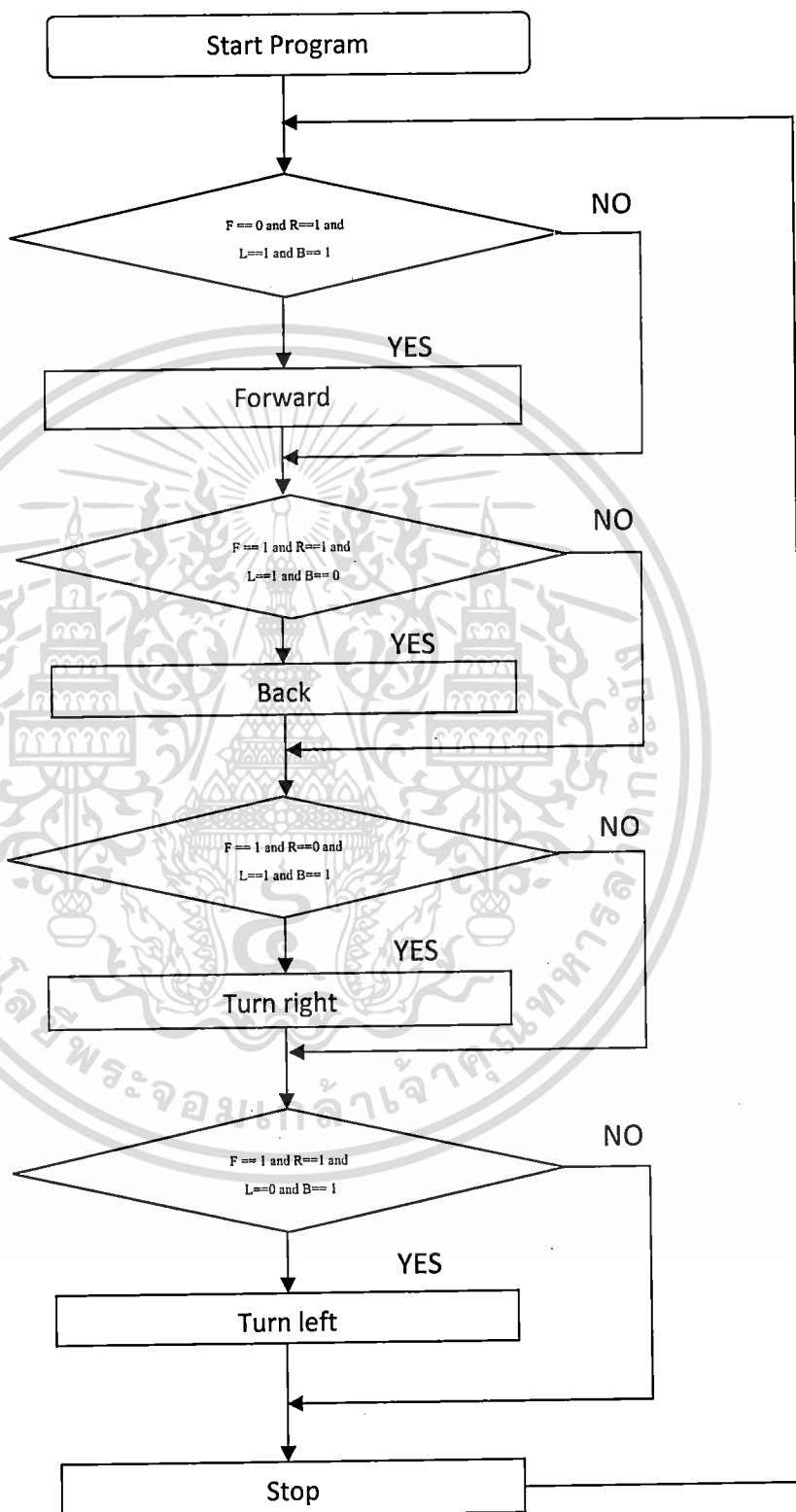
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 การประยุกต์ใช้งาน

งานวิจัยนี้เป็นแบบจำลองการลำเลียงสินค้าด้วยรถขนส่งและแขนกลแบบอัตโนมัติ โดยมีการสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ซึ่งโรงงานในปัจจุบันระบบในโรงงานจะถูกสั่งงานด้วยคอมพิวเตอร์เป็นส่วนใหญ่ แบบจำลองนี้ จึงเป็นไปได้มากในอนาคตที่จะมีการพัฒนานำเข้าไปประยุกต์ใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อลดปริมาณคน ความปลอดภัย เวลา และเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น

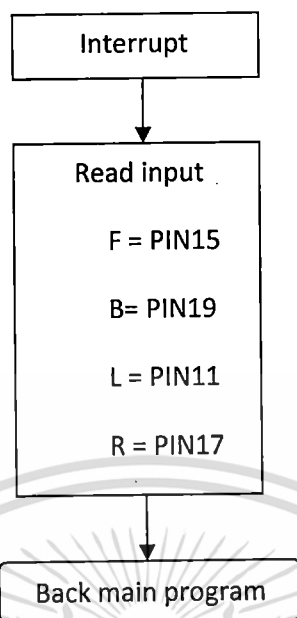


### 3.3.1.10 แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา



รูปที่ 3.23 แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา (Flow Ground)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา (Back Ground)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ทฤษฎีและหลักการทํางานของหุ่นยนต์แมลง

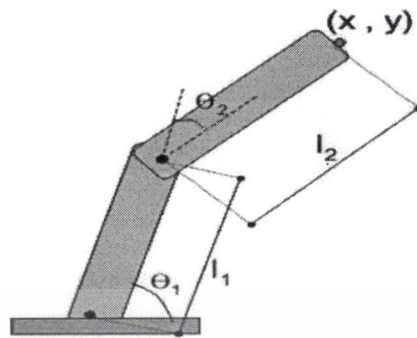
### 3.1 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Robot Kinematics)

ในการวิเคราะห์ Kinematics นั้น ตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของทุกก้านโยง (Links) ของหุ่นยนต์สามารถคำนวณได้โดยไม่พิจารณาแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ แรงที่เกี่ยวข้อง และแรงบิด จะถูกศึกษาในส่วนพลศาสตร์ (Dynamics)

Robot Kinematics ยังเกี่ยวกับการศึกษาในแง่ของการเคลื่อนที่ที่ซ้ำซ้อน การหลีกเลี่ยงการชน และการหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในการศึกษา Kinematics ของหุ่นยนต์ เราจะให้แต่ละส่วนของหุ่นยนต์เป็น Frame ดังนั้นการศึกษากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งมีหลายก้านโยงเชื่อมกัน จึงเป็นการศึกษา Frame แต่ละ Frame ที่เคลื่อนที่ต่อกัน เช่น ก้านโยงที่ 1 ต่อกับเบส ก้านโยงที่ 2 เชื่อมโยงกับก้านที่ 1 Robot Kinematics จะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. Forward Kinematics หรือบางครั้งเรียกว่า Direct Kinematics : ความยาวของแต่ละก้านโยง (Links) และมุมของแต่ละข้อต่อจะถูกกำหนดมา เราสามารถคำนวณตำแหน่งต่างๆของปลายแขนหุ่นยนต์ได้ จากมุมและความยาวก้านโยงที่กำหนดมานี้
2. Inverse Kinematics : ความยาวของแต่ละก้านโยงและตำแหน่งเป้าหมายของหุ่นยนต์ถูกให้มา เราสามารถคำนวณมุมแต่ละมุมได้จากตำแหน่งเป้าหมายเหล่านั้นภายในพื้นที่การทํางานของหุ่นยนต์ วิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้คำนวณสำหรับงานในลักษณะต่างๆ เช่น การหยิบจับวัตถุที่มีตำแหน่งเปลี่ยนแปลงบ่อย

ในการวิเคราะห์หุ่นยนต์ ลักษณะทางกายภาพของหุ่นยนต์สามารถอธิบายในรูปของ Kinematic Diagram ส่วนวิธีที่ใช้ในการคำนวณหรือการกำหนดตัวแปรต่างๆ มีหลายวิธี เช่น Denavit-Hartenberg , การแปลงทางเรขาคณิต และวิธีทางพีชคณิต เป็นต้น



รูปที่ 3.1 Robot Kinematics

### 3.2 การออกแบบหุ่นยนต์แมลง 6 ขา

ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนโครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา ใช้โปรแกรม Solid Works 2010 ในการออกแบบ และใช้โปรแกรม Solid CAM 2010 ในการ Generate- G-Code เพื่อนำ G-Code ไปกัดชิ้นงานโดยเครื่องซีเอ็นซี (Computer Numerical Control , CNC )
2. ส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ใช้โปรแกรม Altium Designer Summer 2009 ในการออกแบบ

### 3.3 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา

หุ่นยนต์แมลงหกขาประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ฮาร์ดแวร์และส่วนซอฟต์แวร์

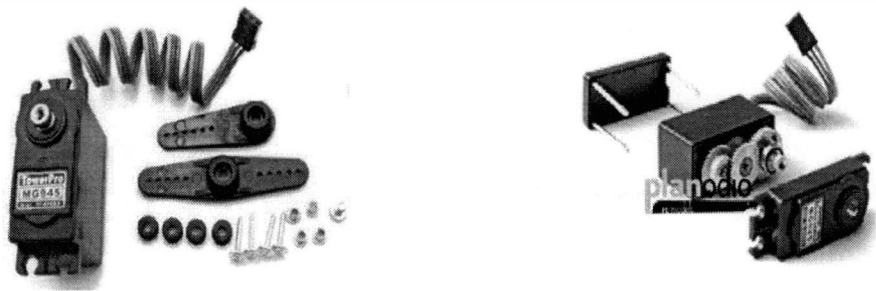
- ส่วนฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย โครงสร้างหุ่นยนต์แมลง 6 ขา, เซอร์โวมอเตอร์, บอร์ดควบคุม ET-Easy168 STAMP, Li-po Battery 4000 mAh , วงจรควบคุมหุ่นยนต์แมลงแบบไร้สาย , วงจรควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แมลง

-ส่วนซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย โปรแกรม Arduino

### 3.3.1 เซอร์โวมอเตอร์

#### 3.3.1.1 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับชุดเกียร์ และ ส่วนควบคุม ต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือ ภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC,GNDและ สายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวาได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณ การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation , PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลต์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ จะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา, ให้แรงบิดสูง ,กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุมด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ(Driver) อื่นๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่ง หรือ ทิศทางองศาที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่เซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้แค่เพียงในช่วงประมาณ 180° หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น หรือ บางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210° แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์และตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้น เซอร์โวมอเตอร์จึงถูกออกแบบให้หมุนได้เพียงแค่ประมาณ 180° หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวต้านทานปรับค่าได้ แต่ถ้าหากเราต้องการให้มอเตอร์หมุนเป็นวงรอบ (360°) นั้นก็สามารถทำได้ โดยจะต้องทำการปรับแต่ง (Modify) ดัดแปลงชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์

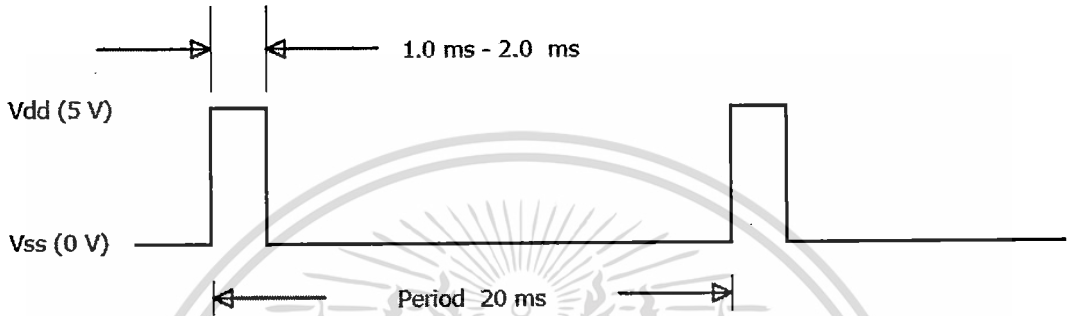


รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

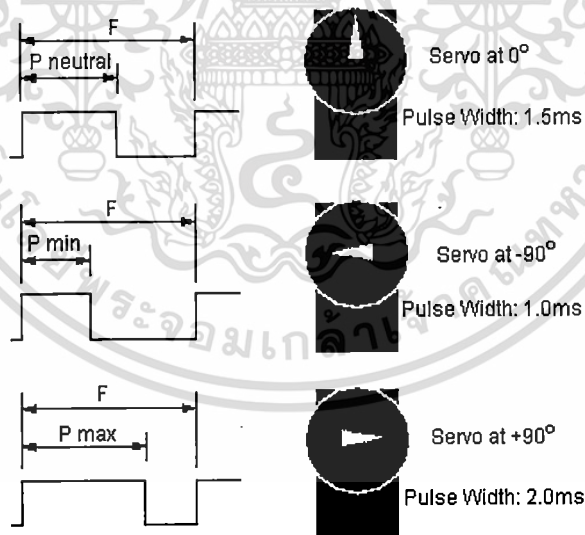
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.2 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูป คือ



รูปที่ 3.3 สัญญาณในหนึ่งคาบที่ส่งให้เซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 3.4 สัญญาณในหนึ่งคาบที่ส่งให้เซอร์โวมอเตอร์ตำแหน่งกลาง ซ้าย ขวา

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือ จุดกึ่งกลางของมอเตอร์

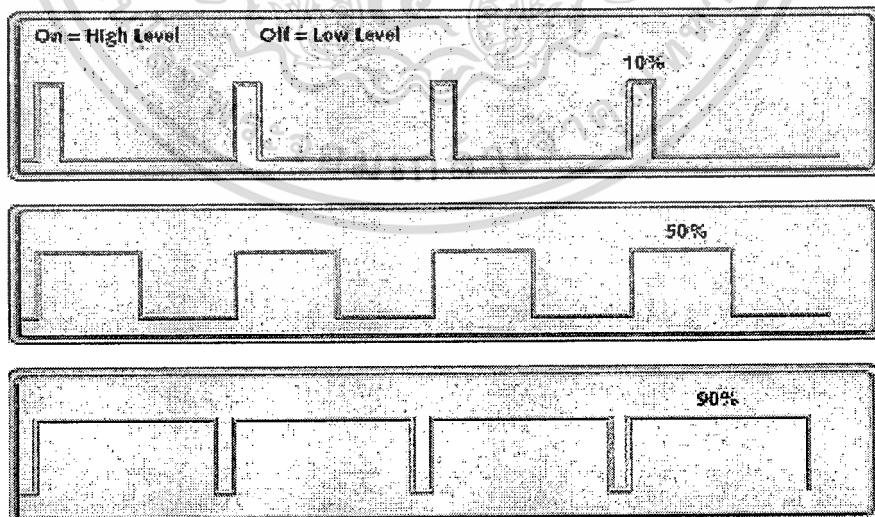
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม + 90 องศา หรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

### 3.3.1.3 การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ แบบ PWM

Pulse width modulation (PWM) คือ เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลของไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม

การทำงานของสัญญาณ PWM

- โดย รูปที่ 3.5 ก แสดงสัญญาณ PWM ที่ 10% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 90% ของคาบสัญญาณ
  - โดย รูปที่ 3.5 ข แสดงสัญญาณ PWM ที่ 50% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 50% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 50% ของคาบสัญญาณ
  - โดย รูปที่ 3.5 ค แสดงสัญญาณ PWM ที่ 90% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 90% ของคาบสัญญาณ และ จะออฟเป็น 10% ของคาบสัญญาณ
- เช่น ถ้า Power Supply มี 9V และ duty cycle เป็น 10% จะได้อาต์พุต 0.9V



รูปที่ 3.5 สัญญาณ PWM ที่แตกต่างกัน 3 สัญญาณ

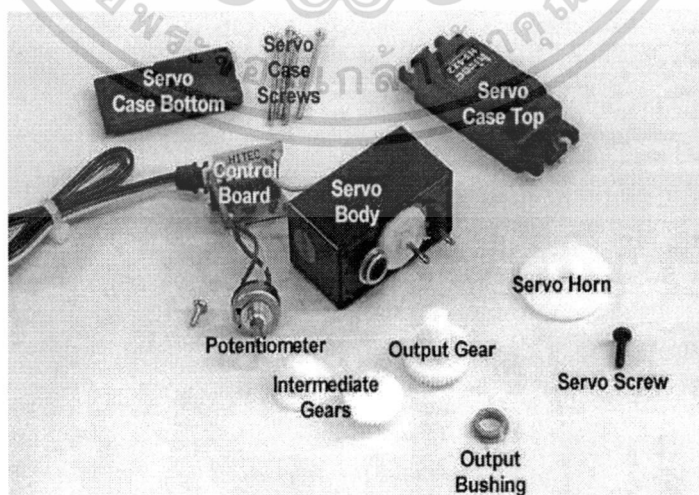
ทำไมถึงใช้ PWM ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

มีหลายเหตุผลว่าทำไม PWM ถึงถูกเลือกใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เช่น

- PWM ง่ายในการใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ใช้เพียงแค่เอาท์พุทสัญญาณเดียวในการควบคุมความเร็ว
- PWM มีประสิทธิภาพ คือ แหล่งจ่ายไฟจะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF(FULL ON and FULL OFF)
- PWM ทำให้ได้ค่า ทอร์ค และ ความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ เป็นเพราะ แหล่งจ่ายไฟจะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF(FULL ON and FULL OFF)

#### 3.3.1.4 ข้อมูลของเซอร์โวมอเตอร์

Speed : 0.23sec/60degrees at 4.8V , 0.23sec/60degrees at 6V  
 Torque : 10kg.cm(4.8V) , 12kg.cm(6V)  
 Size : 40.7 X 19.7 X 42.9 mm.  
 Weight : 55g

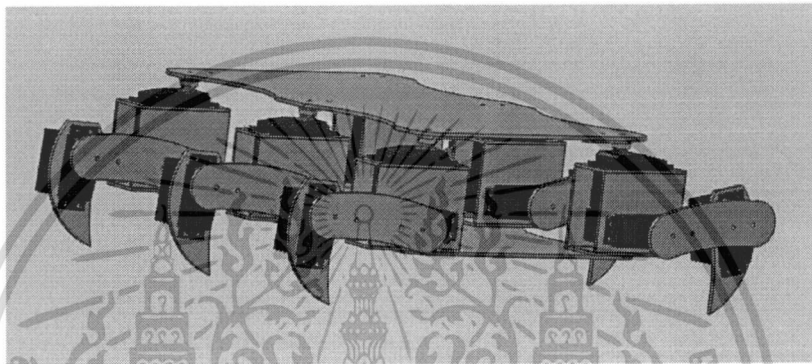


รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบภายในของเซอร์โวมอเตอร์

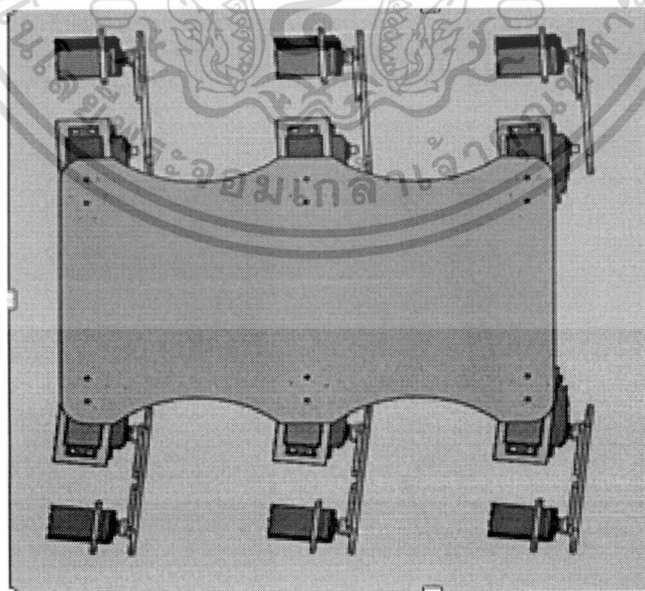
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.5 โครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา

โครงสร้างของหุ่นยนต์แมลงประกอบด้วยส่วนฮาร์ดแวร์ ได้แก่ โครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขาที่ทำมาจากอะคริลิก, บอร์ดควบคุม ET-easy168 STAMP, วงจรที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์แมลง 6 ขา และเซอร์โวมอเตอร์ ส่วนของซอฟต์แวร์ ได้แก่ โปรแกรม Arduino ซึ่งใช้ภาษาซีในการเขียนคำสั่ง

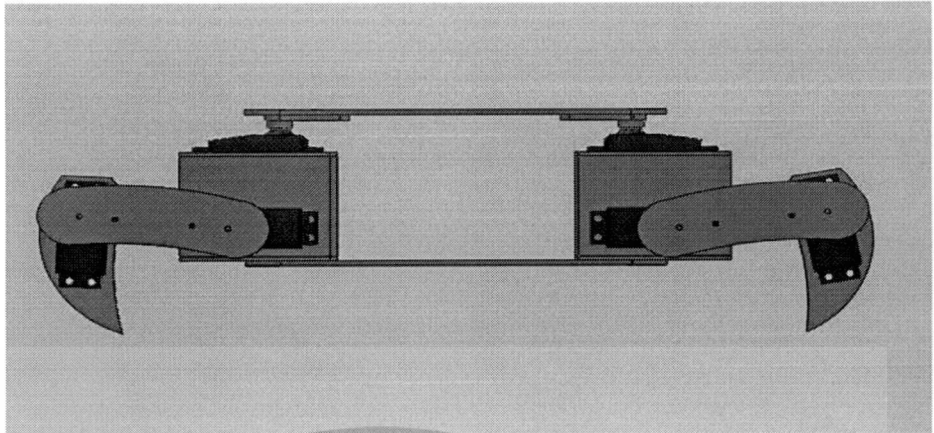


รูปที่ 3.7 ภาพโครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขาแบบ Isometric

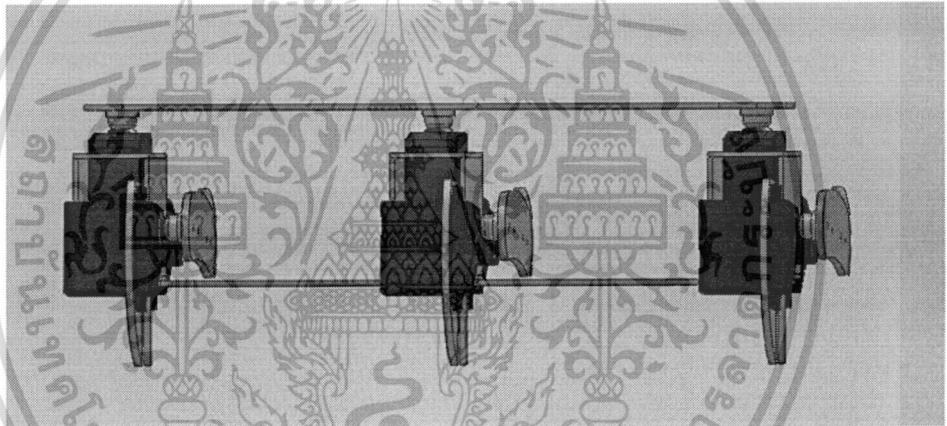


รูปที่ 3.8 ภาพโครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา ด้านบน

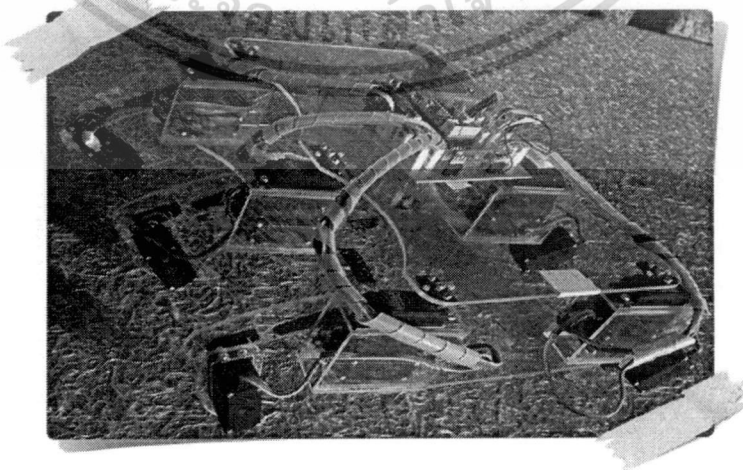
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ภาพ โครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา ด้านหน้า



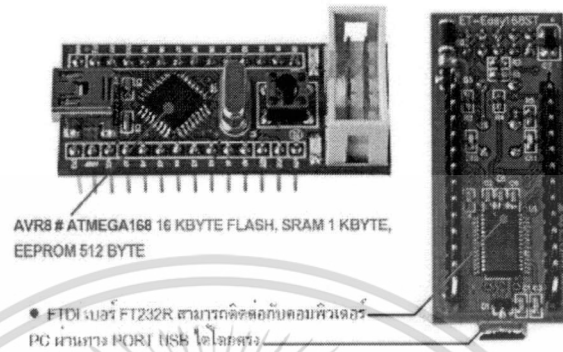
รูปที่ 3.10 ภาพ โครงสร้างของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา ด้านข้าง



รูปที่ 3.11 หุ่นยนต์แมลง 6 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.6 บอร์ดควบคุม ET-easy168 STAMP



รูปที่ 3.12 บอร์ดควบคุม ET-easy168 STAMP

คุณสมบัติของบอร์ด ET-easy168 STAMP

- เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR8 เบอร์ ATMEGA 168 ของ Atmel ใช้งาน RUN ความถี่ 16.00 Mhz
- หน่วยความจำ Flash 16 Kbyte, SRAM 1 Kbyte, EEPROM 512 byte
- มี GPIO ใช้งาน 22 bit เป็น Digital จำนวน 14 bit และ A to D ขนาด 10 bit จำนวน 8 bit
- Power Supply ต่อใช้งาน 5 VDC จาก Port USB และจากแหล่งจ่าย 5VDC ภายนอก พร้อม LED POWER แสดงสถานะ
- มีวงจร External แบบ reset RC reset และ SW reset
- ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน Pin header ระยะห่าง 2.54 mm. ขนาด 28 PIN ระยะห่าง 600 MIL ง่ายต่อการนำไปต่อประยุกต์ใช้งาน และต่อทดลองบน Project Board
- ขนาดบอร์ด 2 x 5 CM. ขนาดบอร์ดประมาณเท่ากับไอซี 28 PIN
- ขั้วต่อ USB MINI และ ไอซี USB BRIDGE ของ FTDI เบอร์ FT232R บนบอร์ด
- ขั้วต่อ AVR ISP แบบ IDE 10 PIN สำหรับต่อใช้งาน Download ให้กับ MCU ในบอร์ด ในกรณีไม่ต้องการ Download ผ่านทาง Port USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.7 Li-po Battery 4000 25C

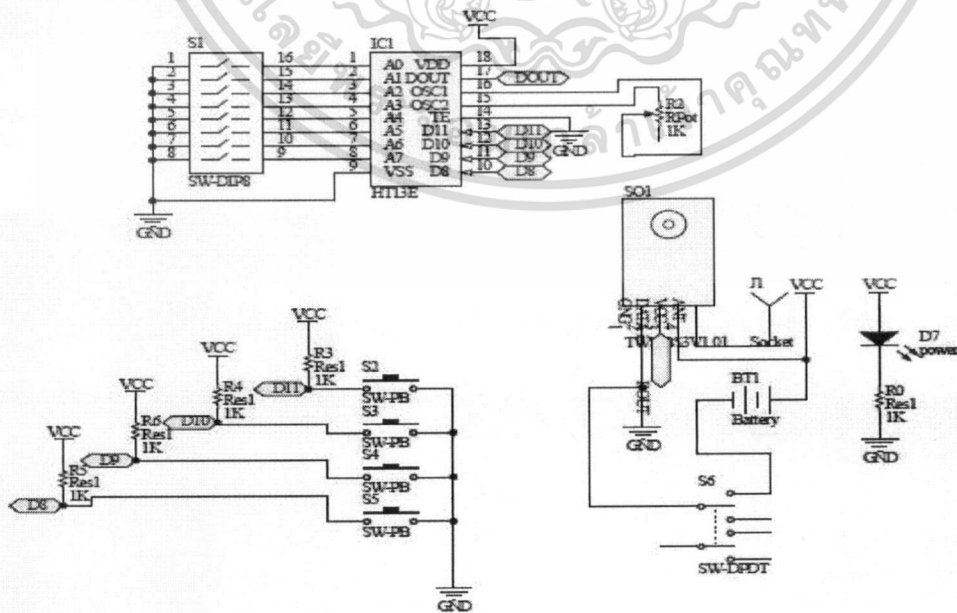


รูปที่ 3.13 Li-po Battery 4000 25C

Quick Details :

Brand Name: Turbojet	Model Number: 25C, 4000mAh,7.4V
Type: Li-Ion	Application: RC Car
Voltage: 7.4V	Weight: 220g Size: 22*47*138mm
Colour: Black	Nominal Capacity: 4000mAh

3.3.1.8 วงจรควบคุมหุ่นยนต์แมลงแบบไร้สาย

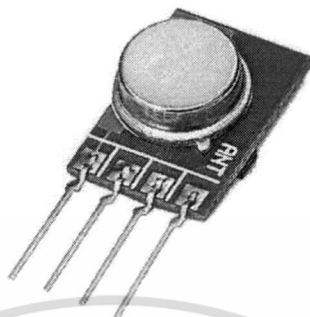


รูปที่3.14 วงจรควบคุมหุ่นยนต์แมลงแบบไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรควบคุมหุ่นยนต์แมลงแบบไร้สาย ก็สามารถแบ่งตามหน้าที่ได้ดังนี้

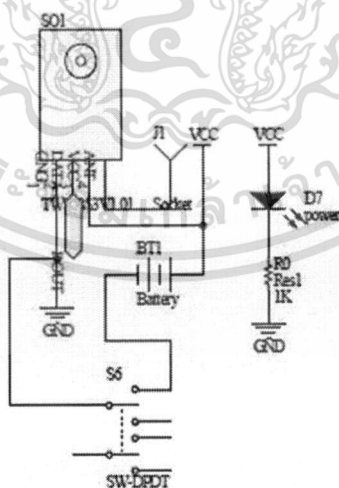
- ส่วน ส่งสัญญาณ



รูปที่ 3.15 อุปกรณ์ส่งสัญญาณ

เลือกใช้ Wireless Transmitter Module Series รุ่น TWS-BS-3 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้แก่หุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์ทำตามคำสั่ง ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- Frequency Range: 433.92MHz
- Modulate Mode: ASK
- Circuit Shape: SAW
- Data Rate: 8Kbps
- Supply Voltage: 3~12V



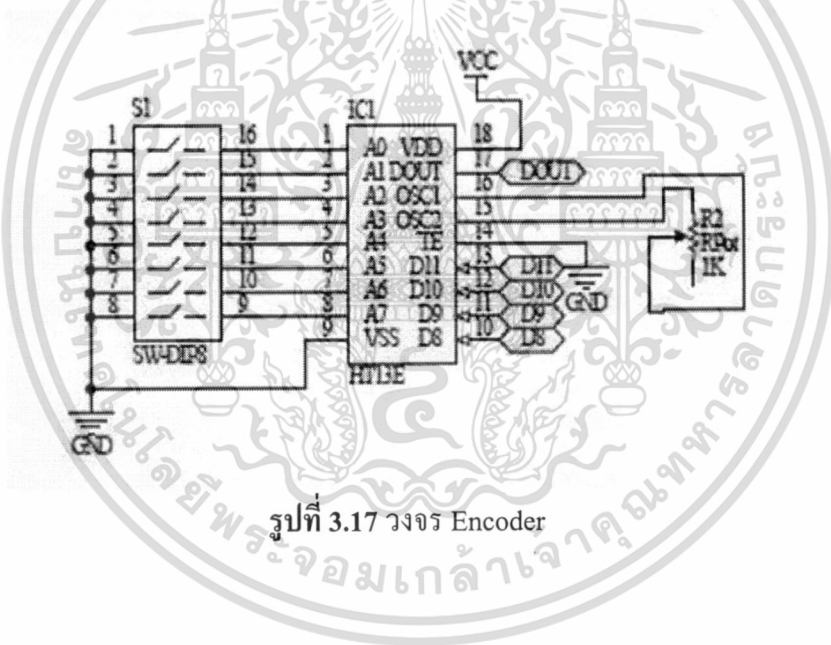
รูปที่ 3.16 วงจรส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

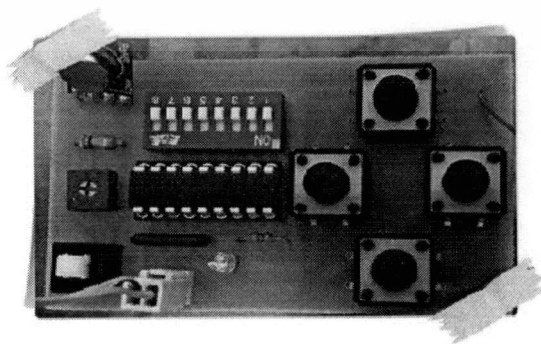
- ส่วนของ Encoder

เลือกใช้ 2<sup>12</sup> Series of Encoders รุ่น HT12E 18 DIP ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- Operating voltage : 2.4V~5V for the HT12A และ 2.4V~12V for the HT12E
- Low power and high noise immunity CMOS technology
- Low standby current: 0.1  $\mu$ A (typ.) at VDD=5V
- HT12A with a 38kHz carrier for infrared transmission medium
- Minimum transmission word : Four words for the HT12E
- Built-in oscillator needs only 5% resistor
- Data code has positive polarity
- Minimal external components
- HT12A/E: 18-pin DIP/20-pin SOP package

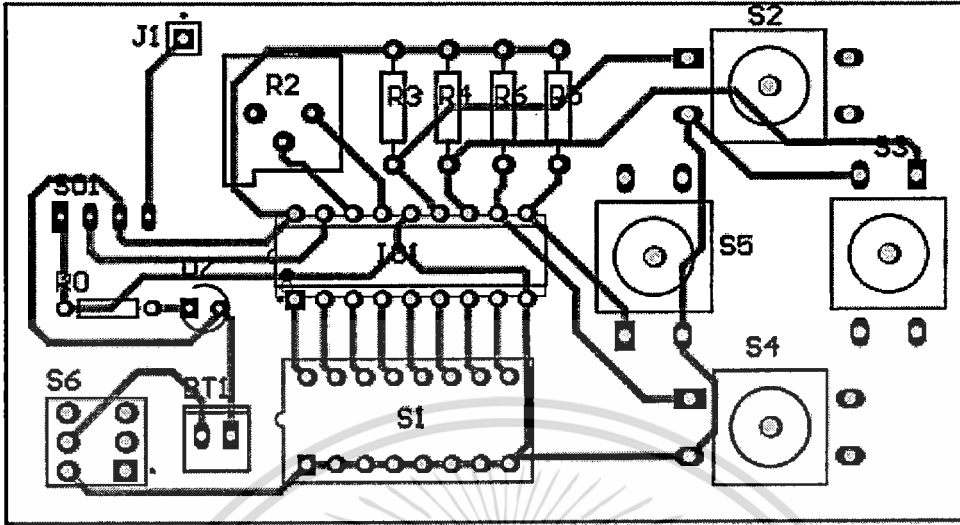


รูปที่ 3.17 วงจร Encoder



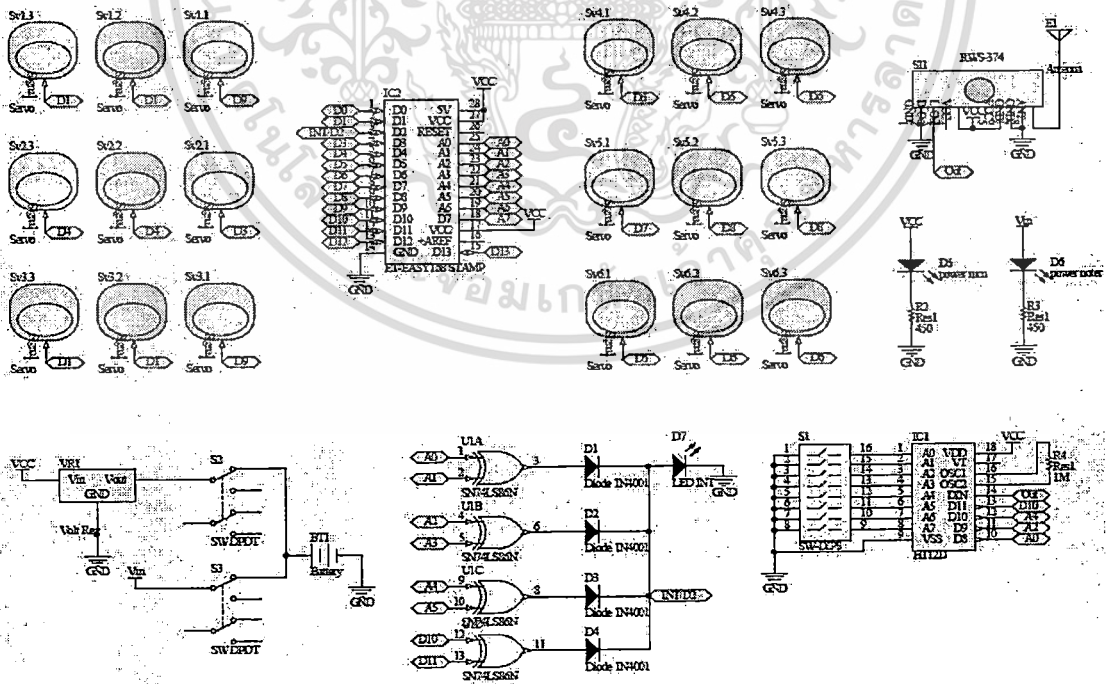
รูปที่ 3.18 วงจรจริงบนรีโมท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



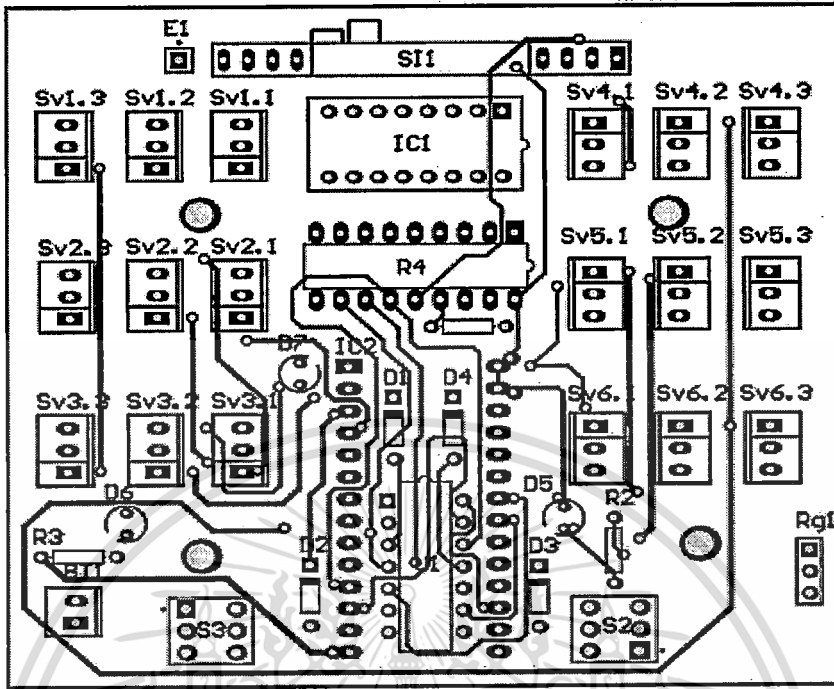
รูปที่3.19 บอร์ดวงจรควบคุมหุ่นยนต์แมลง 6 ขา แบบไร้สาย

### 3.3.1.9 วงจรควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แมลง

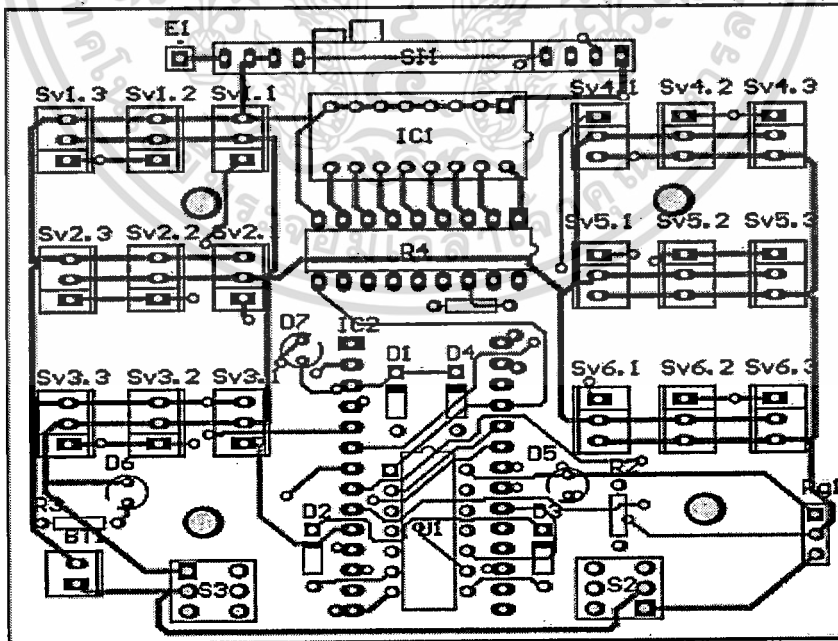


รูปที่3.20 ภาพวงจรควบคุมของหุ่นยนต์แมลง 6 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.21 บอร์ดวงจรควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แบบ 2 ชั้น (ชั้นบน)



รูปที่3.22 บอร์ดวงจรควบคุมการเดินของหุ่นยนต์แบบ 2 ชั้น (ชั้นล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลอง

จากหลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ในบทที่ 3 การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด คือ

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศาหรือจุดกึ่งกลางของมอเตอร์

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม + 90 องศา หรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

การทดลองในครั้งนี้จึงได้ทำการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ขนาด 1 ms ขนาด 1.5 ms และขนาด 2 ms โดยทำการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ขนาดละ 10 ครั้ง และทำการวัดตำแหน่งมุมในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์แล้วหาค่าเฉลี่ย

## 4.2 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณความถี่กับตำแหน่งโมโนแกรมของเซอร์โวมอเตอร์

สัญญาณ ความถี่พัลส์	ตำแหน่งมุม ครั้งที่1	ตำแหน่งมุม ครั้งที่2	ตำแหน่งมุม ครั้งที่3	ตำแหน่งมุม ครั้งที่4	ตำแหน่งมุม ครั้งที่5	ตำแหน่งมุม ครั้งที่6	ตำแหน่งมุม ครั้งที่7	ตำแหน่งมุม ครั้งที่8	ตำแหน่งมุม ครั้งที่9	ตำแหน่งมุม ครั้งที่10	ตำแหน่งมุม เฉลี่ย	% Duty cycle
1 ms	-90.5°	-90.5°	-90°	-90.5°	-89°	-91°	-90.5°	-91°	-89.5°	-90°	-90.25°	5%
1.5 ms	0.5°	0°	-1°	-0.5°	-0.5°	-1°	0°	-0.5°	0.5°	0°	-0.25°	7.5%
2 ms	90°	90.5°	89°	89°	89.5°	89.5°	90.5°	90°	89.5°	90°	89.75°	10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# ปัญหาและอุปสรรค วิธีการแก้ไข และสรุปผลการทดลอง

### 5.1 ปัญหาและอุปสรรค

1. เมื่อทำการกัดชิ้นงาน ชิ้นงานที่ได้จะมีขนาดคลาดเคลื่อนจากที่กำหนดไว้ เนื่องจากเครื่องกัด CNC ในแต่ละเครื่องมีความเสถียรต่างกัน
2. เมื่อลงโปรแกรมควบคุมในหุ่นยนต์แมลง 6 ขา และนำมาทดลองใช้ในระบบจริงพบว่า ไม่สามารถใช้กับระบบได้กล่าวคือ หุ่นยนต์แมลง 6 ขาไม่สามารถบรรทุกของได้
3. เซอร์โวมอเตอร์บางตัวอาจเกิดการขัดของฟันเฟืองภายในมอเตอร์ทำให้การทำงานล่าช้า

### 5.2 วิธีแก้ไขปัญหา

1. ในการกัดชิ้นงานถ้าเป็นชิ้นงานในส่วนเดียวกันให้กัดชิ้นงานในเครื่อง CNC เดียวกันถ้า เครื่องกัด CNC เกิดการคลาดเคลื่อนให้ทำการปรับค่าใน โปรแกรมที่ใช้กัด
2. ทำการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แมลง 6 ขาใหม่ให้สามารถใช้กับระบบจริงได้
3. ทำการซ่อมเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่เกิดการขัดของฟันเฟืองภายในมอเตอร์และเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ชำรุดให้ใช้งานได้

### 5.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms ขนาด 1.5 ms และขนาด 2 ms โดยทำการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์จำนวน 10 ครั้ง และทำการวัดตำแหน่งมุมในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์แล้วหาค่าเฉลี่ยของมุม สรุปได้ว่าสามารถควบคุมตำแหน่งของมุมในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ได้จริงแต่ยังมีความผิดพลาดของตำแหน่งมุมในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์อยู่เล็กน้อย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Yoram Korem. **Computer Control of Manufacturing Systems**. McGraw Hill. Inc. 1983.287 pp.
- [2] Wikipedia. "Computer-integrated manufacturing." [Online].  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-integrated\\_manufacturing](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-integrated_manufacturing). 2010.
- [3] ทีมงานอีทีที. "SERVO MOTOR." [Online].  
[www.kmitl.ac.th/robot/article/servo\\_motor\\_book.pdf](http://www.kmitl.ac.th/robot/article/servo_motor_book.pdf). 2546.
- [4] อ.วสินวีโรตม์ เนติศักดิ์. "บทที่ 1." [Online].  
[www.lcct.ac.th/office/home\\_el/book/cim.doc](http://www.lcct.ac.th/office/home_el/book/cim.doc). 2011
- [5] ประจัน พลังสันติกุล. **เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์ เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : อินโนเวตีฟ เอ็ดจิวเรียมেন্ট. 2547.

