

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แขนกลพ่นสเปรย์

SPRAYING ROBOT ARM



T119178



นายกิตติพงษ์ ทิษยากร

นายธนากร บุญทัน

นายปราการ ลingham

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **119178**  
วัน,เดือน,ปี. - 6 S.A. 2554

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SPRAYING ROBOT ARM



**KITTIPONG TISSAYAKORN**  
**THANAKORN BOONTAN**  
**PRAKARN SINGKAEW**

**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT**  
**OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF**  
**BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING**  
**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ACADEMIC YEAR 2010**


## ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง                    แขนกลพ่นสเปรย์  
                              SPRAYING ROBOT ARM

ผู้จัดทำ            นายกิตติพงษ์ ทิสยากร 50010117  
                          นายชนากร บุญทัน 50010644  
                          นายปราการ สิงห์แก้ว 50010919



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ถาวร เบลญนราสุทธิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# แผนกฟ่นสเปรย์

โดย

นายกิตติพงษ์ ทิษยากร 50010117  
นายธนากร บุญทัน 50010644  
นายปราการ สิงห์แก้ว 50010919

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. ถาวร เบนญจนราษฎร์

ปีการศึกษา 2553

## บทคัดย่อ

ปฏิญญาพันธบัตรนี้นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบระบบอัตโนมัติสำหรับการควบคุมการทำงานของแขนกลในการพ่นสเปรย์โดยโครงสร้างของระบบประกอบไปด้วย แขนกล หัวสเปรย์ คอมพิวเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรถูกอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง โดยจุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือการให้แขนกลสามารถพ่นสีลงในพื้นผิวของวัสดุที่เป็นผิวโค้งและผิวตรงได้

แขนกลในโครงการนี้ออกแบบให้ส่งงานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยสามารถทำงานทั้งแบบอาศัยผู้บังคับ และแบบอัตโนมัติ จากการทดลองพบว่าระบบแขนกลพ่นสเปรย์ที่สร้างขึ้น สามารถพ่นสเปรย์สีในพื้นผิวทั้งผิวโค้งและผิวตรงได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SPRAYING ROBOT ARM

By

Mr.Kittipong Tissayakorn 50010117

Mr.Thanakorn Boontan 50010644

Mr.Prakarn Singkaew 50010919

Advisor

Assoc.Prof.Dr.Tawon Benjanarasuth

Academic Year 2010

## ABSTRACT

This thesis presents theories and automatic control system design of the spraying robot arm. It consists of the robot arm, spray header, computer system, microcontroller and electronic circuits. The purpose of this spraying robot arm system is to spray objects with curve surfaces and flat surfaces.

The robot in this project is designed to be commanded via the computer program. The robot can work under both manual control mode and automatic control mode. From the experimental results, the spraying robot arm can spray the surface of objects correctly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริยฐานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และเกิดประโยชน์ที่แท้จริง เพราะได้รับความอนุเคราะห์และคำแนะนำที่เป็นอย่างดีจาก รศ.ดร. ถาวร เบญจนราสุทธิ์ และอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม รวมไปถึงรุ่นพี่ศิษย์เก่า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำสิ่งที่ดีมาโดยตลอดนับตั้งแต่ต้นรวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนที่ทำให้กำลังใจและช่วยสนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน และคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

หากโครงการนี้มีข้อผิดพลาดหรือบกพร่องประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับไว้แต่เพียงฝ่ายเดียว แต่หากโครงการนี้มีคุณค่าและประโยชน์อยู่บ้าง ผู้วิจัยใคร่ขออุทิศส่วนดีทั้งหมดแก่ท่านผู้ที่มีส่วนร่วมต่อโครงการนี้ทุกท่าน

ผู้จัดทำ

นายกิตติพงษ์ ทิสิกการ

นายธนากร บุญทัน

นายปราการ สิงห์แก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินการ	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ	1
1.4 เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พื้นฐานวิทยาการหุ่นยนต์	4
2.1.1 การจำแนกหุ่นยนต์แบบแขนกลตามลักษณะขอบเขตการทำงาน	5
2.1.2 ลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์	8
2.1.3 สมการแขนกล	8
2.2 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์	12
2.3 โพลเทนท์ออมิเตอร์	13
2.4 ชุดเฟือง	14
2.4.1 เฟืองตรง	14
2.4.2 เฟืองหนอน	14
2.5 หลักการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิด โมดูลเลชัน	15
2.6 ระบบควบคุมแบบพี	16
2.7 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม RS-232	18
2.7.1 คอนเนคเตอร์ RS-232	18
2.7.2 การควบคุมสัญญาณ	18
2.7.3 ตัวแปลงสัญญาณ RS-232	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำแก้ไข

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 การออกแบบ</b>	23
3.1 การออกแบบชิ้นงาน	23
3.2 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของแขนกล	28
3.3 วงจรควบคุมโซลินอยด์วาล์ว 3/2	30
3.4 การทำงานของแขนกล	31
3.4.1 โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์	31
3.4.2 การเชื่อมต่อผู้ใช้งานทางคอมพิวเตอร์	35
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	37
4.1 การตั้งค่าและเชื่อมต่ออุปกรณ์	37
4.2 ปรับแต่งอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง	38
4.3 การทดลองการปรับเทียบค่ามุมกับระดับค่าวัดดิจิตอล	38
4.4 การทดลองควบคุมแต่ละข้อต่อของแขนกล	41
4.5 การทดลองการเคลื่อนที่ของแขนกล	49
4.6 การทดลองการพ้นสเปร์ย์	52
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	54
5.1 สรุปผลการทดลอง	54
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ปัญหา	54
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	55
5.4 แนวทางพัฒนา	55
<b>ภาคผนวก ก เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์</b>	56
ก.1 คู่มือการใช้งานทรานซิสเตอร์ BC547	57
ก.1 คู่มือการใช้งานไอซีเบอร์ L298N	60
ก.2 คู่มือการใช้งานไอซีเบอร์ 7805	62
ก.3 คู่มือการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011	64
ก.4 คู่มือการใช้งานหัวสเปร์ย์	70
ก.5 คู่มือการใช้โซลินอยด์วาล์ว 3/2	72
<b>ภาคผนวก ข โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์</b>	75
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน	5
2.2 หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก	5
2.3 หุ่นพิกัดทรงกลม	5
2.4 หุ่นยนต์สกร่า	6
2.5 หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน	6
2.6 หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน 4 องศาอิสระ	7
2.7 ระนาบของแกนกล	9
2.8 การต่อแหล่งจ่ายให้กับโพเทนทีโอเมเตอร์แบบเชิงมุม	13
2.9 เฟืองตรง	14
2.10 เฟืองหนอน	15
2.11 โครงสร้างของการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิตโมคูคลชั่น	15
2.12 สัญญาณพัลส์วิตโมคูคลชั่น โดยทั่วไป	16
2.13 ระบบควบคุมแบบพี	17
2.14 การตอบสนองระบบควบคุมแบบพี	17
2.15 การจัดวางตำแหน่งขาคอนเนคเตอร์แบบ DB-9	18
2.16 โครงสร้างภายในและตำแหน่งขาของ MAX-232	19
2.17 การไหลของของไหลที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางต่างกัน	20
2.18 โซลินอยด์วาล์ว 3/2 ปกติปิด	22
3.1 รูปร่างของแกนกลจากโปรแกรม Solid Work	23
3.2 ระยะเวลาเคลื่อนที่ของแกนกลใน โรงงาน	24
3.3 ภาพจำลองโครงสร้างฐานของแกนกล	24
3.4 ภาพจำลองของชิ้นงานที่ 1 ของแกนกล	25
3.5 ภาพจำลองของชิ้นงานที่ 2 ของแกนกล	25
3.6 ภาพจำลองของชิ้นงานที่ 3 ของแกนกล	26
3.7 ภาพจำลองของชิ้นงานที่ 4 ของแกนกล	26
3.8 หัวสเปร์ย์	27
3.9 แกนกลพ่นสเปร์ย์ที่จัดทำ	27
3.10 วงจรแปลงไฟ 5 โวลต์	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญญภาพ(ต่อ)

## รูปที่

## หน้า

3.11 วงจรดีเอสปิก	28
3.12 วงจรอนุกรม	29
3.13 วงจรขับมอเตอร์ L298N	29
3.14 โซลินอยด์วาล์ว 3/2	30
3.15 วงจรไฟฟ้าโซลินอยด์วาล์ว 3/2	30
3.16 กระบวนการทำงานของแขนกล	31
3.17 โพลีชาร์ตโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์	32
3.18 โพลีชาร์ตโปรแกรมย่อยของไมโครคอนโทรลเลอร์	33
3.19 หน้าต่างเชื่อมต่อการประมวลผลในคอมพิวเตอร์	35
4.1 ลักษณะการวางอุปกรณ์	37
4.2 การกำหนดค่าต่าง ๆ บนโปรแกรมการทดลอง	38
4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าวัดมุมของข้อที่หนึ่ง	39
4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าวัดมุมของข้อที่สอง	40
4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าวัดมุมของข้อที่สาม	41
4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าวัดมุมของข้อที่สี่	42
4.7 ผลตอบสนองของข้อต่อที่หนึ่ง ขณะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา	43
4.8 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สอง ขณะเคลื่อนที่ลง	44
4.9 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สอง ขณะเคลื่อนที่ขึ้น	45
4.10 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สาม ขณะเคลื่อนที่ลง	46
4.11 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สาม ขณะเคลื่อนที่ขึ้น	47
4.12 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สี่ ขณะเคลื่อนที่ลง	48
4.13 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สี่ ขณะเคลื่อนที่ขึ้น	49
4.14 ผลตอบสนองของข้อต่อที่ สอง,สาม และสี่ ของแขนกลในการเคลื่อนที่ห้าตำแหน่ง	50
4.15 การเคลื่อนที่ของแขนกลห้าตำแหน่ง	51
4.16 พิกัดการเคลื่อนที่ของแขนกลห้าตำแหน่ง	51
4.17 การเคลื่อนที่ของแขนกลพ่นสเปรย์บนวัตถุพื้นผิวโค้ง	52
4.18 ผลของการพ่นสเปรย์เมื่อวัตถุเป็นพื้นผิวโค้ง	52
4.19 การเคลื่อนที่ของแขนกลพ่นสเปรย์บนวัตถุผิวเรียบ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
4.18 ผลของการพ่นสเปรย์เมื่อวัตถุเป็นพื้นผิวเรียบ 53  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของข้อต่อหุ่นยนต์	4
2.2 ขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ที่ขึ้นอยู่กับแกนหลัก	7
2.3 คุณลักษณะของหุ่นยนต์	8
2.4 ค่าพารามิเตอร์ของแขนกล	10
3.1 การทำงานของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์	34
4.1 การปรับเทียบค่ามุม (องศา) กับค่าดิจิตอล ( $ADC_1$ ) ของมอเตอร์ที่หนึ่ง	39
4.2 การปรับเทียบค่ามุม (องศา) กับค่าดิจิตอล ( $ADC_2$ ) ของมอเตอร์ที่สอง	40
4.3 การปรับเทียบค่ามุม (องศา) กับค่าดิจิตอล ( $ADC_3$ ) ของมอเตอร์ที่สาม	41
4.4 การปรับเทียบค่ามุม (องศา) กับค่าดิจิตอล ( $ADC_4$ ) ของมอเตอร์ที่สี่	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและพร้อมตอบสนองความต้องการของมนุษย์มากขึ้น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ มีการพัฒนาตามยุคสมัยทำให้กระบวนการการผลิตมีการพัฒนาด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภาคอุตสาหกรรมต้องการศักยภาพในการผลิตมากยิ่งขึ้น ในสมัยก่อนการผลิตชิ้นงานส่วนใหญ่อาศัยแรงงานจากมนุษย์ แต่ในปัจจุบันเมื่อต้องการความแม่นยำและความรวดเร็วในการผลิตจึงมีการนำเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์เข้ามาแทนที่มนุษย์ในส่วนใหญ่ เนื่องจากหุ่นยนต์มีความแม่นยำ รวดเร็ว สามารถทำงานในที่ที่อันตรายได้ รวมทั้งเวลาในการหยุดงานน้อยกว่ามนุษย์ จึงถือได้ว่าการนำหุ่นยนต์มาใช้ในกระบวนการการผลิตเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ดังนั้นหุ่นยนต์จึงได้รับความนิยมอย่างมากและถูกนำมาประยุกต์ใช้งานทางอุตสาหกรรมหลากหลายในปัจจุบัน อาทิ อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ อุตสาหกรรมประกอบเครื่องจักร อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

เนื่องด้วยความนิยมในการใช้แขนกลดังกล่าว โครงการในปริญญาโทฉบับนี้จึงจัดทำแขนกลขึ้นโดยเป็นแขนกลที่ถูกใช้ในงานพ่นสเปรย์ เป้าหมายของการควบคุม คือ การทำให้แขนกลพ่นสีลงบนวัตถุพื้นผิวโค้งและพื้นผิวเรียบได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินการ

1. ออกแบบและสร้างแขนกลพ่นสเปรย์แบบสี่องศาอิสระ (4 degrees of freedom) ขับเคลื่อน โดยมอเตอร์กระแสตรง
2. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมแขนกล โดยอาศัยไมโครคอนโทรเลอร์ และคอมพิวเตอร์
3. ออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์โดยอาศัยองค์ความรู้ด้านทฤษฎีระบบควบคุมและวิทยาการหุ่นยนต์

### 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ

ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการเริ่มการศึกษาค้นคว้าความรู้และรูปแบบการทำงานของแขนกล จากนั้นออกแบบแขนกลแบบสี่องศาอิสระ โดยเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมในการผลิต โครงสร้างเอกสารทั้งกล และใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนในแต่ละข้อต่อ การออกแบบวงจรขับมอเตอร์ราคาไม่แพงเกินไป ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ไอซีสำเร็จรูป L298 และใช้โพเทนทิอเมเตอร์แบบเชิงมุม (Rotary potentiometer) เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดตำแหน่งของข้อต่อ

จากนั้นศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งในโครงการนี้เลือกได้ใช้ดีเอสพิก (dsPic) ขนาด 16 บิต เพราะถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความเร็วสูง โดยหน้าที่หลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ การควบคุมพิกัดตำแหน่งที่ได้รับคำสั่งสัญญาณอ้างอิงจากคอมพิวเตอร์ให้ได้ตำแหน่งพิกัดตามต้องการโดยใช้ในระบบควบคุมแบบพีหรือแบบสัดส่วน (Proportional - control หรือ P - control) ซึ่งจะควบคุมการจ่ายค่าความต่างศักย์แบบพัลส์วิตโมดูลเลชัน (Pulse width modulation) ไปยังมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อของแขนกลเพื่อควบคุมให้แขนกลมีความแม่นยำมากขึ้นกว่าการควบคุมแบบเปิด

ขั้นตอนสุดท้ายได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของแขนกล ในโครงการนี้ได้เลือกใช้ภาษาซีชาร์ป (C#) ในการพัฒนา โดยกระบวนการทำงานเริ่มจากการนำค่าตำแหน่งของพื้นผิวที่จะถูกพ่นสเปรย์มาประมวลผลโดยกระบวนการอินเวิร์สไคเนมติกส์ (Inverse Kinematics) เพื่อหาค่ามุมของแต่ละข้อต่อของแขนกลต้องเคลื่อนไปเพื่อสามารถพ่นสเปรย์ตามที่ต้องการได้ หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะนำค่าของมุมมาประมวลผลเพื่อหาค่าระดับสัญญาณดิจิทัลเพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิง แล้วส่งต่อไปกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม นอกจากนี้โปรแกรมเพื่อเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน จะรับข้อมูลการเคลื่อนที่ของแขนกลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงผล

#### 1.4 เนื้อหาที่จะกล่าวในปริยญาณิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงประวัติที่มาของโครงการ วัตถุประสงค์ และการจัดทำโครงการ ตลอดจนเนื้อหาที่จะกล่าวในปริยญาณิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ พื้นฐานวิทยาการหุ่นยนต์ สมการแขนกล หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์ โพเทนทิอเมเตอร์ ชุดเฟือง หลักการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิตโมดูลเลชัน การควบคุมแบบพี การรับส่งข้อมูลผ่าน RS-232 หลักการแบร์นูลลี และโซลินอยด์วาล์ว 3/2

บทที่ 3 การออกแบบ กล่าวถึงหลักการออกแบบแขนกล การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของแขนกล วงจรควบคุมโซลินอยด์วาล์ว 3/2 และนำเสนอแผนผังการทำงานของระบบ-แขนกล

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงการตั้งค่าและเชื่อมต่ออุปกรณ์ ปรับแต่งอุปกรณ์ก่อนทำงาน การทดลองการปรับเทียบค่ามุมกับระดับค่าดิจิทัล การทดลองควบคุมแต่ละข้อต่ออาร์คาน่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแผนก การทดลองการเคลื่อนที่ของแขนกล และการทดลองพ่นสเปรย์ของแขนกลพื้นผิวโค้ง และพื้นผิวเรียบ

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป กล่าวถึงสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2



# ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงการต่าง ๆ นั้น ขั้นแรกในการเริ่มการทำงาน คือการศึกษาหาความรู้และทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ เพื่อที่สามารถจัดทำโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้เอง การทำโครงการแขนงหุ่นยนต์ จึงต้องมีการศึกษาหาความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

### 2.1 พื้นฐานวิทยาการหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ที่มีในปัจจุบันนี้มีหลากหลายและเพิ่มขึ้นอย่างมากมา เนื่องจากมีความต้องการในท้องตลาดมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะฉะนั้นความรู้พื้นฐานวิทยาการหุ่นยนต์จึงมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน การแบ่งแยกประเภทของหุ่นยนต์อาจจำแนกกว้าง ๆ ได้ 2 ประเภท คือจำแนกตามเทคโนโลยีการขับเคลื่อนและจำแนกตามรูปร่างและขอบเขตการทำงานสุทธิ ในโครงการนี้พิจารณาจำแนกตามขอบเขตการทำงานสุทธิ ซึ่งขอบเขตการทำงานสุทธิ หมายถึง ขอบเขตในปริภูมิสามมิติที่ข้อมือของแขนกลสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้นได้ จะเรียกแกนของ 3 ข้อต่อแรกของแขนกลว่า แกนหลัก ซึ่งสามารถพิจารณาดำเนินงานขอบเขตการทำงานได้จากลำดับชนิดของข้อต่อที่ใช้ใน 3 แกนแรก ข้อต่อมีหลายแบบ แต่ที่เป็นพื้นฐานและนิยมใช้มี 2 แบบ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของข้อต่อหุ่นยนต์

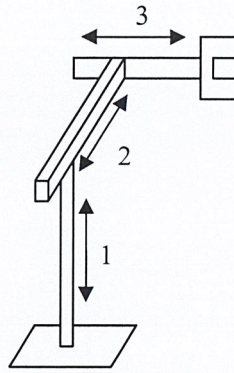
ชนิด	เครื่องหมาย	สัญลักษณ์	การเคลื่อนที่
ข้อต่อหมุน (Revolute)	R		หมุนรอบแกน
ข้อต่อเลื่อน (Prismatic)	P		เชิงเส้นตามแนวแกน

เพื่อสามารถเลือกใช้งานหุ่นยนต์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบการจำแนกหุ่นยนต์แบบแขนกลตามลักษณะขอบเขตการทำงานดังจะอธิบายในหัวข้อย่อยถัดไป

#### 2.1.1 การจำแนกหุ่นยนต์แบบแขนกลตามลักษณะขอบเขตการทำงาน

1. หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียนหรือหุ่นยนต์พิกัดฉาก (Cartesian – coordinate robot หรือ Rectangular – coordinate robot) สัญลักษณ์ PPP ดังรูปที่ 2.1 โดยข้อมือจะเคลื่อน ขึ้น-ลง, เข้า-ออก และ เดินหน้า-หลังทำให้พื้นที่การทำงานมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมุมฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



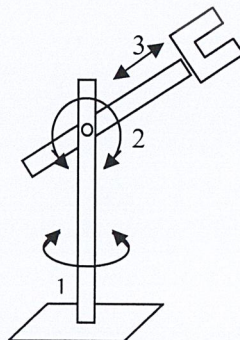
**รูปที่ 2.1** หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน

2. หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก (Cylindrical - coordinate robot) สัญลักษณ์ RPP ดังรูปที่ 2.2 สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงข้างบนได้ตามแกนตั้งที่เป็นหลักสามารถเคลื่อนที่เข้าออกตามแนวรัศมี และ แขนหมุนรอบแกนตั้งฉากกับฐานได้ พื้นที่การทำงานจึงเป็นแบบทรงกระบอก



**รูปที่ 2.2** หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก

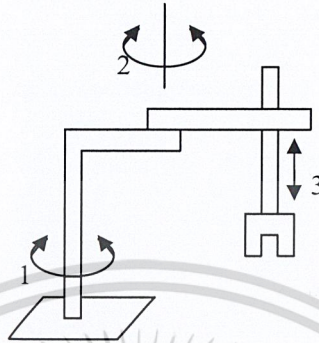
3. หุ่นยนต์พิกัดทรงกลม (Spherical - coordinate robot) สัญลักษณ์ RRP แสดงดังรูปที่ 2.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนจะสามารถยกขึ้นลงได้ในแนวตั้ง โดยยกทำมุมกับฐานแขนสามารถ หมุนได้รอบแกนแนวตั้งของฐาน พื้นที่การทำงานเป็นแบบทรงกลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 2.3** หุ่นพิกัดทรงกลม

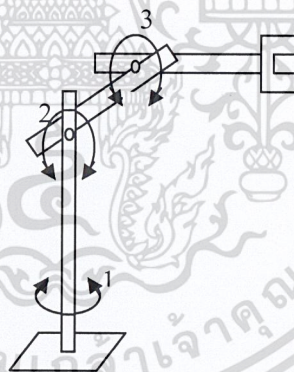
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หุ่นยนต์สกร่า (SCARA : Selective Compliance Assembly Robot Arm) ดังรูปที่ 2.4 มีลักษณะคล้ายหุ่นยนต์พิกัดทรงกลม มีสัญลักษณ์ RRP แต่แกนทั้ง 3 จะอยู่ในแนวตั้งโดยข้อต่อที่ 2 ทำให้แขนหมุนรอบแกนตั้งในแนวนอน เหมือนการหมุนของข้อแรก ภาพตัดขวางในแนวนอนของพื้นที่การทำงานค่อนข้างวางซับซ้อนขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของสองแกนแรก



รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์สกร่า

5. หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน (Articulate - coordinate robot หรือ Revolute robot) ดังรูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ RRR ทั้ง 3 ข้อเป็นข้อต่อหมุน หุ่นยนต์แบบนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับแขนมนุษย์มากที่สุด มีข้อหมุนต่าง ๆ เหมือนกัน ดังนั้นพื้นที่การทำงานจึงสามารถที่จะทำงานได้ในทุกตำแหน่งในระยะความยาวของแขน



รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน

ข้อดี-ข้อเสีย ของหุ่นยนต์แต่ละชนิดนี้แตกต่างกันออกไป เพราะลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันแต่ถ้ามองในแง่ของการทำงานที่เป็นแบบซ้ำ ๆ ที่เดิมตลอด หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียนหรือหุ่นยนต์พิกัดฉาก จะสามารถทำงานได้ดีกว่า คือสามารถเคลื่อนที่ไปหาเป้าหมายโดยมีความผิดพลาดน้อยที่สุด แต่ถ้ามองในแง่การเข้าถึงวัตถุชนิดพิกัดทรงกลม และข้อต่อหมุน หมุน จะสามารถเข้าถึงวัตถุได้มากกว่า

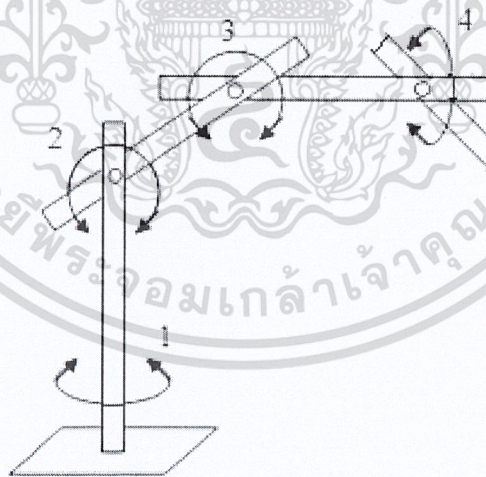
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำแนกหุ่นยนต์ดังอธิบายข้างต้นสามารถสรุปการทำงานของแขนกลทั้ง 5 แบบได้ดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** ขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ที่ขึ้นอยู่กับแกนหลัก

ประเภทแขนกล	แกน 1	แกน 2	แกน 3	จำนวนข้อต่อหมุน
พิกัดคาร์ทีเซียน	P	P	P	0
พิกัดทรงกระบอก	R	P	P	1
พิกัดทรงกลม	R	R	P	2
สกร่า	R	R	P	2
ข้อต่อหมุน	R	R	R	3

เมื่อพิจารณาลักษณะของการทำงานของหุ่นยนต์และการจำแนกหุ่นยนต์ พื้นฐานทั้ง 5 ประเภทข้างต้น โครงงานนี้จึงเลือกพัฒนาหุ่นยนต์ข้อต่อหมุนซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับแขนมนุษย์มากที่สุด ซึ่งเป็นข้อต่อทั้งหมดเหมือนกัน และพื้นที่ในการทำงานสามารถจะทำงานได้ในทุกตำแหน่งในระยะความยาวของแขน ใน โครงงานนี้จะใช้หุ่นยนต์ข้อต่อหมุนสี่องศาอิสระ สัญลักษณ์ RRRR ดังรูปที่ 2.6



**รูปที่ 2.6** หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน 4 องศาอิสระ

โดยหุ่นยนต์ข้อต่อหมุนสี่องศาอิสระมีรูปแบบคล้ายแขนคน โดยประกอบด้วยข้อต่อที่ 1 คือ ช่วงเอว ข้อต่อที่ 2 คือ ท่อนแขนด้านบน ข้อต่อที่ 3 คือ ท่อนแขนด้านล่าง และข้อต่อที่ 4 คือ ข้อมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 ลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์

นอกจากเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้การแบ่งประเภทของหุ่นดังที่กล่าวมาแล้ว คุณสมบัติต่าง ๆ ที่สำคัญในการเลือกใช้หุ่นยนต์แสดงดังตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3** คุณลักษณะของหุ่นยนต์

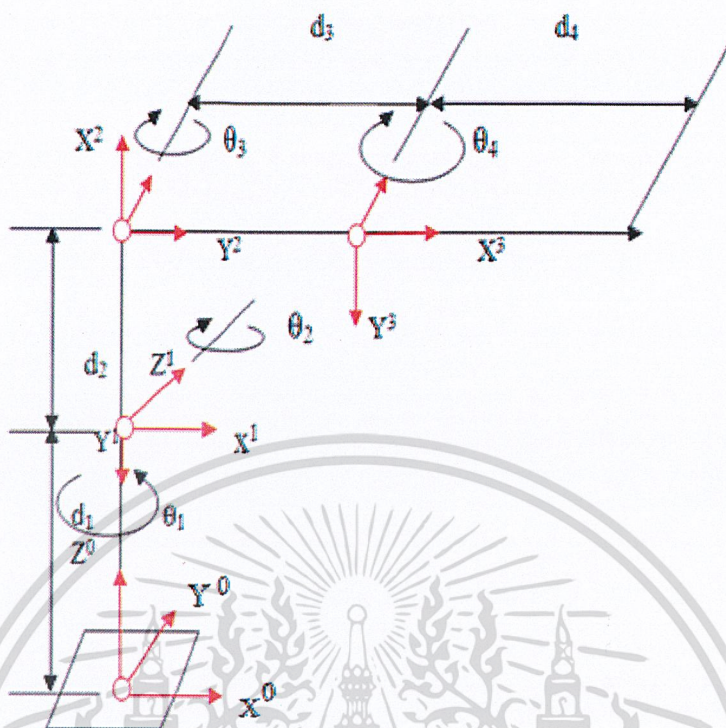
คุณลักษณะ (Characteristics)	หน่วย (Unit)
จำนวนแกน	-
ความสามารถในการยกน้ำหนัก	kg
ความเร็วสูงสุด	mm / sec
ระยะเอื้อมถึงและสโตรก	mm
การหมุนของเครื่องมือ	Deg
การซ้ำตำแหน่งเดิม	Mm
ความละเอียดและความแม่นยำ	Mm

### 2.1.3 สมการแขนกล

พื้นฐานทางวิทยาการหุ่นยนต์ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ สมการแขนกล โดยสมการแขนกลนั้นมีสองประเภทคือ ประเภทแร็กฟอร์เวิร์ดไคเนมติกส์ (Forward kinematics) หรือบางครั้งเรียกไดเร็คไคเนมติกส์ (Direct kinematics) ความยาวของแขนแต่ละข้อ และมุมของแต่ละข้อต่อจะถูกกำหนดมาทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งและทิศทาง ของปลายแขนหุ่นยนต์ได้ซึ่งการแปลงค่ามุมไปเป็นพิกัด จะอ้างอิงจากระนาบของแขนกลและประเภทที่สองอินเวอร์สไคเนมติกส์ (Inverse kinematics) เป็นการหามุมของแต่ละข้อต่อที่จะทำให้ปลายแขนกลอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ

พิจารณาระนาบแขนกลสำหรับแขนกลสี่องศาอิสระที่เลือกศึกษาในโครงการนี้ ดังรูปที่ 2.7 เมื่อ  $X_i, Y_i, Z_i$  คือ ระนาบแกนหมุน ที่  $i$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) โดย  $\theta_i$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) คือ มุมของแขนแต่ละข้อต่อ และ  $d_i$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) คือ ความยาวของแขนแต่ละข้อต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ระนาบของแขนกล

จากระนาบต่าง ๆ ที่มีการหมุนแกนจากระนาบที่ฐานไปยังข้อต่อต่าง ๆ โดยมีสมการการหมุนในแกน X,Y,Z โดยเป็นเมทริกซ์สามคูณสาม ดังนี้

$$\text{แกน X} \quad R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$\text{แกน Y} \quad R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$\text{แกน Z} \quad R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในระบบของแกนกลนั้นจะใช้แกน Z แทนแกนการหมุนของมอเตอร์ และจะใช้แค่สมการการหมุนแกนของแกน Z และแกน X เท่านั้น และจากรูปที่ 2.7 จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาสมการไคเนมติกส์ (Kinematics equation) ดังตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** ค่าพารามิเตอร์ของแกนกล

Axis	$\theta$	$D$	$A$	$\alpha$	$Home(\theta)$
1	$\theta_1$	$d_1$	0	$-\frac{\pi}{2}$	0
2	$\theta_2$	0	$d_2$	0	$-\frac{\pi}{2}$
3	$\theta_3$	0	$d_3$	0	$-\frac{\pi}{2}$
4	$\theta_4$	0	$d_4$	$-\frac{\pi}{2}$	0

เมื่อ

$D$  คือ ค่าระยะทางในแนวแกน Z

$A$  คือ ค่าระยะทางในแนวแกน X

$\alpha$  คือ เป็นค่ามุมการหมุนระนาบโดยมีแกน X เป็นจุดหมุน

$Home(\theta)$  คือ เป็นค่ามุมเริ่มต้นของแกนกล

หลังจากที่ได้ตารางค่าพารามิเตอร์มาแล้วสามารถพิจารณาหาสมการแกนกลได้จากสมการการหมุนแกน Z และแกน X ดังนี้

$$T_{k-1}^k = \begin{bmatrix} \cos \theta_k & -\cos \alpha_k \sin \theta_k & \sin \alpha_k \sin \theta_k & A_k \cos \theta_k \\ \sin \theta_k & \cos \alpha_k \cos \theta_k & -\sin \alpha_k \cos \theta_k & A_k \sin \theta_k \\ 0 & \sin \alpha_k & \cos \theta_k & d_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

เพราะฉะนั้นสมการแกนกลทั้งหมดได้แก่

$$T_0^1 T_1^2 T_2^3 T_3^4 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 & 0 & d_2 C_2 \\ S_2 & C_1 & 0 & d_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & d_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & d_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & d_4 C_4 \\ S_4 & 0 & C_4 & d_4 S_4 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_0^1 T_1^2 T_2^3 T_3^4 = \begin{bmatrix} C_1 C_{234} & S_1 & -C_1 S_{234} & C_1 (d_4 C_{234} + d_2 C_2 + d_3 C_{23}) \\ SC & C_1 & -S_1 C_{34} & S_1 (d_4 C_{234} + d_2 C_2 + d_3 C_{23}) \\ -S & 0 & -C_{234} & d_1 - d_4 S_{234} - d_2 S_2 - d_3 S_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} C_i &= \cos \theta_i \\ S_j &= \sin \theta_j \\ C_{ijk} &= \cos(\theta_i + \theta_j + \theta_k) \\ S_{ijk} &= \sin(\theta_i + \theta_j + \theta_k) \end{aligned}$$

สิ่งที่ทราบในการทำอินเวอร์สไคเนเมติกส์ คือ ตำแหน่ง  $X, Y, Z$  ระนาบแกน  $Z$  ของปลายแขนกลและมุมของปลายแขนสุดท้าย

หลักที่ 4 ของเมทริกซ์ฟอร์เวิร์สไคเนเมติกส์ ในสมการที่ (2.5) เป็นตัวบอกพิกัด  $X, Y, Z$

หลักที่ 3 ของเมทริกซ์ฟอร์เวิร์สไคเนเมติกส์ ในสมการที่ (2.5) เป็นตัวระนาบแกน  $Z$  ของปลายแขนสุดท้ายเทียบกับฐาน

สมมติให้  $W_4, W_5, W_6$  เป็นค่าระนาบแกน  $Z$  ของแขนกลทำมุมกับระนาบของฐานในแกน  $X, Y, Z$  ตามลำดับ จากสมการที่ (2.5) จะได้ความสัมพันธ์ของตำแหน่ง  $X, Y, Z$  และ  $W_4, W_5, W_6$  ดังสมการที่ (2.6)

$$\begin{bmatrix} C_1 (d_4 C_{234} + d_2 C_2 + d_3 C_{23}) \\ S_1 (d_4 C_{234} + d_2 C_2 + d_3 C_{23}) \\ d_1 - d_4 S_{234} - d_2 S_2 - d_3 S_{23} \\ -(\text{Exp}(\frac{\theta_5}{\pi})) C_1 S_{234} \\ -(\text{Exp}(\frac{\theta_5}{\pi})) S_1 S_{234} \\ -(\text{Exp}(\frac{\theta_5}{\pi})) C_{234} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W_4 \\ W_5 \\ W_6 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

ซึ่งสามารถแก้สมการหาค่า  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  ได้ดังนี้

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (2.7)$$

$$\theta_{234} = \arctan\left[\frac{-(C_1 W_4 + S_1 W_5)}{-W_6}\right] \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_3 = \pm \arccos \left[ \frac{\|b\|^2 - d_2^2 - d_3^2}{2d_2d_3} \right] \quad (2.9)$$

$$\theta_2 = \arctan \left[ \frac{(d_2 + d_3C_3)b_2 - d_2S_3b_1}{(d_2 + d_3C_3)b_1 + d_3S_3b_2} \right] \quad (2.10)$$

เมื่อ

$$b_1 = (C_1X) + (S_1Y) - (d_4C_{234})$$

$$b_2 = d_1 - (d_4S_{234}) - Z$$

## 2.2 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ซึ่งถูกออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษ คือ แรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ (Armature current) แรงบิดของเพลลาของมอเตอร์เกิดจากผลการเหนี่ยวนำระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวที่มีกระแสไหลผ่าน ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสอธิบายได้ดังสมการที่ (2.11)

$$T = K_f \phi I \quad (2.11)$$

เมื่อ  $T$  คือแรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร (Nm)  
 $\phi$  คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber)  
 $I$  คือกระแส มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Ampere)  
 $K_f$  คือค่าคงที่แรงบิดของเพลลา

กล่าวคือแรงบิดของเพลลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กกับกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะเกิดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวมันเอง ค่าความต่างศักย์นี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลลามอเตอร์และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ย้อนกลับและความเร็วของเพลลามอเตอร์ แสดงได้ดังสมการที่ (2.12)

$$E = K_m \phi \omega \quad (2.12)$$

เมื่อ  $E$  คือค่าความต่างศักย์ย้อนกลับ (Emf) มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt)  
 $\omega$  คือความเร็วของมอเตอร์ มีหน่วยเป็น เรเดียน / วินาที (Radian / sec)  
 $K_m$  คือค่าคงที่ความต่างศักย์ย้อนกลับ

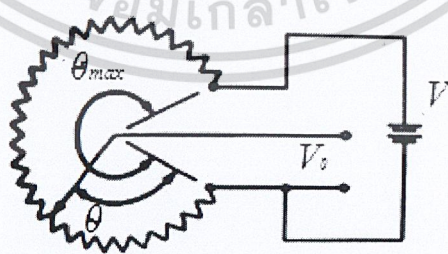
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 โพลเทนทีออมิเตอร์

โพลเทนทีออมิเตอร์ (Potentiometer) ถือได้ว่าเป็นเซนเซอร์ที่มีความสำคัญในการจัดทำโครงการนี้เป็นอย่างมากเนื่องด้วยเป็นเซนเซอร์ที่ใช้ออกตำแหน่งพิกัดของแกนกล เพราะฉะนั้นจึงควรศึกษาและเลือกใช้โพลเทนทีออมิเตอร์ให้เหมาะสมกับงาน โดยทั่วไปแล้วประเภทของโพลเทนทีออมิเตอร์ตามลักษณะการใช้งานจะได้ 2 ประเภท คือ

1. โพลเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงเส้น (Linear potentiometer) เป็นโพลเทนทีออมิเตอร์ที่ใช้กับงานวัฏระยะเชิงเส้น (Linear) หรืองานวัฏระยะที่เป็นแนวราบมีส่วนประกอบของ 2 จุดต่อและมีจุดศูนย์กลางที่เรียกว่า “Wiper, Slider, Tap” ตัวอย่างการทำงานของโพลเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงเส้น ถ้าค่าความต้านทานทั้งหมดของโพลเทนทีออมิเตอร์มี 1000 โอห์ม และตำแหน่งของการเลื่อน (Slider) จะอยู่ที่จุดศูนย์กลางของค่าความต้านทานจะมีค่าเท่ากับ 500 โอห์ม ถ้าต้องการเคลื่อนที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ทางด้านใดด้านหนึ่งของค่าความต้านทานจะอยู่ที่ 750 โอห์ม และอีกที่หนึ่งจะอยู่ที่ 250 โอห์ม

2. โพลเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงมุม (Rotary potentiometer) ใช้สำหรับวัฏระยะในลักษณะการหมุน ข้อแตกต่างระหว่างโพลเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงเส้นกับโพลเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงมุม คือ แกนหมุนของโพลเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงจะเปลี่ยนแปลงโดยการหมุน การหมุนของแกนจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง และค่าความต้านทานจะเป็นตัวกำหนดค่าองศาแต่ละองศา ตัวอย่างเช่น โพลเทนทีออมิเตอร์ มีค่าความต้านทานทั้งหมด 1000 โอห์ม และหมุนได้ 360 องศา ถ้าต้องการ 180 องศาจะต้องหมุนโพลเทนทีออมิเตอร์ให้ได้ค่าความต้านทานที่ 500 โอห์ม เป็นต้น จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ โดยการต่อแหล่งจ่ายให้กับโพลเทนทีออมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ค่าความต้านทานที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าความต่างศักย์ และสามารถนำค่าความต่างศักย์นี้ ไปใช้งานต่อไปได้ เช่นต่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล



รูปที่ 2.8 การต่อแหล่งจ่ายให้กับโพลเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 สามารถคำนวณหาค่ามุม  $\theta$  โดยใช้หลักการแบ่งแรงดันทางไฟฟ้า (Voltage divided circuit) ดังสมการที่ (2.13)

$$\frac{V_o}{V} = \frac{\theta}{\theta_{\max}} \quad (2.13)$$

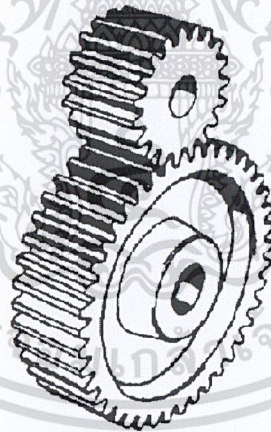
หรือ 
$$\theta = \frac{V_o}{V} \theta_{\max} \quad (2.14)$$

## 2.4 ชุดเฟือง

เฟืองที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีหลายชนิด แต่ละชนิดจะทำหน้าที่ส่งกำลังให้กับชิ้นส่วนอื่น ๆ ของเครื่องจักรกลต่อไป ซึ่งมีลักษณะการใช้งานอยู่ 2 ประเภท ดังนี้

### 2.4.1 เฟืองตรง

เฟืองตรงเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่พบในเครื่องจักรกลทั่วไป โดยใช้ทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลานึง ไปอีกเพลานึงที่ขนานกัน ส่วนมากเฟืองขับ จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม และมีชื่อเรียกเป็นพิเศษว่า พิเนียน ส่วนเฟืองขนาดใหญ่เรียกว่าเฟืองตาม แต่การใช้งานบางโอกาสก็อาจใช้เฟืองใหญ่เป็นเฟืองขับก็ได้ ตัวอย่างเฟืองตรง ดังรูปที่ 2.9

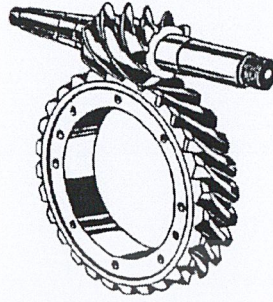


รูปที่ 2.9 เฟืองตรง

### 2.4.2 เฟืองหนอน

ชุดเฟืองหนอนใช้สำหรับส่งกำลังระหว่างเพลานานและไม่ตัดกัน ซึ่งต้องการให้มีอัตราทดสูง ชุดเฟืองหนอนประกอบไปด้วยเกลิยตัวหนอน และเฟืองหนอน ดังรูปที่ 2.10 โดยปกติแล้วจะใช้ชุดเฟืองหนอนส่งกำลังระหว่างเพลานานที่หมุนกัน 90 องศา แม้ว่าจะสามารถใช้เฟืองเฉียงส่งกำลังในลักษณะเดียวกันนี้ แต่ก็ไม่สามารถจะส่งกำลังได้มากกว่าเท่ากับชุดเฟืองหนอน นอกจากนี้ชุดเฟืองหนอนยังสามารถทำงานด้วยอัตราทดสูงถึง 300 โดยใช้การทดเพียงครั้งเดียว ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเม็ดตบแต่งเนื้อผิวและต้องยึดเฟืองลงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

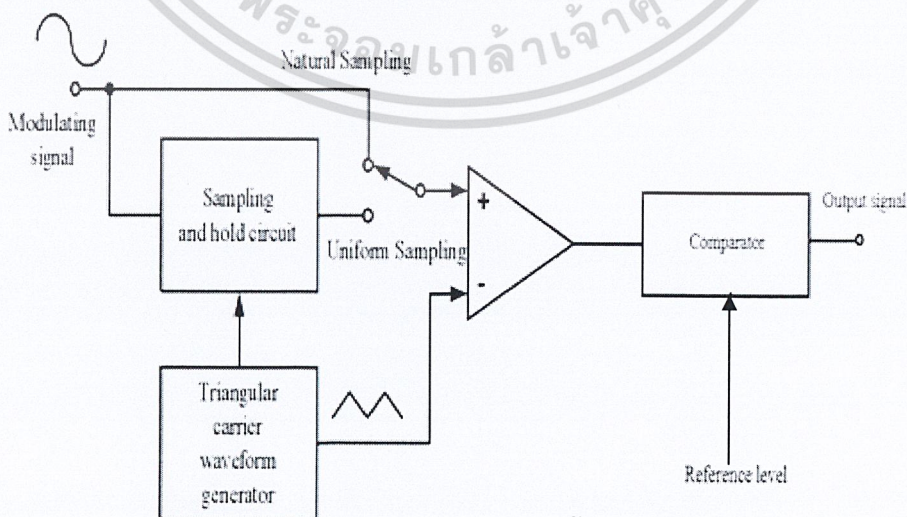
แต่ถ้าใช้เฟืองเพียงจะเกิดปัญหาขึ้นในทางปฏิบัติ เช่น จะต้องใช้เฟืองที่มีจำนวนฟัน 10 ฟัน ขับเฟืองที่มีฟัน 300 ฟัน เป็นต้น การทำงานของชุดเฟืองหนอนจะเรียกว่าเฟืองเฉียง แต่ข้อเสียของชุดเฟืองหนอนก็คือ ประสิทธิภาพของการส่งกำลังจะต่ำและมีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสี



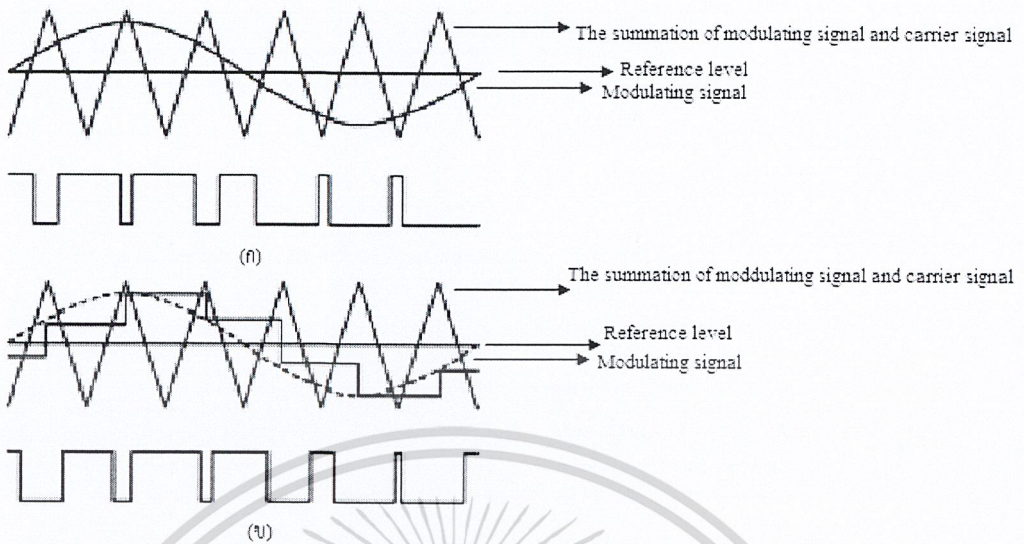
รูปที่ 2.10 เฟืองหนอน

## 2.5 หลักการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชัน

สัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชัน (Pulse Width Modulation) คือ การปรับความกว้างของพัลส์ (Pulse) โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบและสองสัญญาณที่ว่านี้ก็คือสัญญาณพาค์กับสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ ๆ สัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันแบบแรกคือ สัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันที่เกิดจากการสุ่มแบบธรรมชาติ (Natural Sampling) โดยสัญญาณนี้เรียกว่า เอ็นพีดับเบิลยูเอ็ม (NPWM) สัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันอีกแบบหนึ่งคือ สัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันที่เกิดจากการสุ่มแบบ ยูนิฟอร์ม (Uniform Sampling) จะเรียกสัญญาณนี้ว่า ยูพีดับเบิลยูเอ็ม (UPWM) โครงสร้างของการสร้างสัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันทั้งสองแบบ ในรูปที่ 2.11 และแนวคิดการสร้างสัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชัน ทั้งสองแบบอธิบายได้ดังรูปที่ 2.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 2.11** โครงสร้างการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชัน ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.12** สัญญาณพัลส์วิต โมดูลเลชัน โดยทั่วไป

- (ก) สัญญาณพัลส์วิต โมดูลเลชันแบบเอ็นพีดับเบิลยูเอ็ม  
 (ข) สัญญาณพัลส์วิต โมดูลเลชันแบบยูพีดับเบิลยูเอ็ม

จากรูปที่ 2.12 (ก) ซึ่งแสดงแนวคิดการกำเนิดสัญญาณเอ็นพีดับเบิลยูเอ็ม ในรูปนี้ สัญญาณที่จะทำการมอดูเลตเป็นรูปสัญญาณไซน์ จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งเป็นสัญญาณพาห์เอาต์พุตของ การเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ของสัญญาณทั้งสอง คือ สัญญาณเอ็นพีดับเบิลยูเอ็ม ส่วนในกรณีของสัญญาณยูพีดับเบิลยูเอ็ม สัญญาณมอดูเลตจะผ่านวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (Sample and Hold) ก่อนเข้าเปรียบเทียบแรงดันกับสัญญาณสามเหลี่ยม จึงได้สัญญาณพัลส์วิต โมดูลเลชันยูพี-ดับเบิลยูเอ็มแสดงในรูปที่ 2.12 (ข)

สำหรับสัญญาณพาห์สามเหลี่ยมที่นิยมใช้ มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ สัญญาณสามเหลี่ยมและอีกแบบหนึ่ง คือ สัญญาณฟันเลื่อย จากรูปที่ 2.12

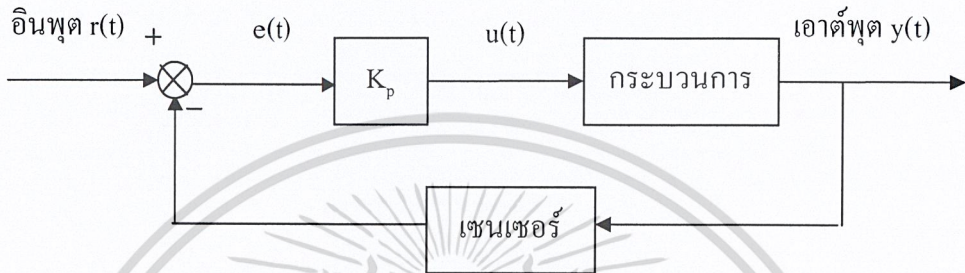
## 2.6 ระบบควบคุมแบบพี

สำหรับระบบควบคุมแบบพี หรือแบบสัดส่วน (Proportional - control หรือ P - control) มีลักษณะการป้อนกลับเป็นแบบเชิงเส้น ถ้ากำหนดให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น  $u(t)$  และสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน  $e(t)$  ซึ่งคือผลต่างของตำแหน่งมุมของแต่ละข้อต่อที่ป้อนกลับกับตำแหน่งมุมของแต่ละข้อต่อที่ต้องการ เป็นอินพุตของตัวควบคุม ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม  $u(t)$  และสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน  $e(t)$  สามารถอธิบายได้ดังสมการ (2.15) โดยที่  $K_p$  คือ ค่าคงที่ของระบบ

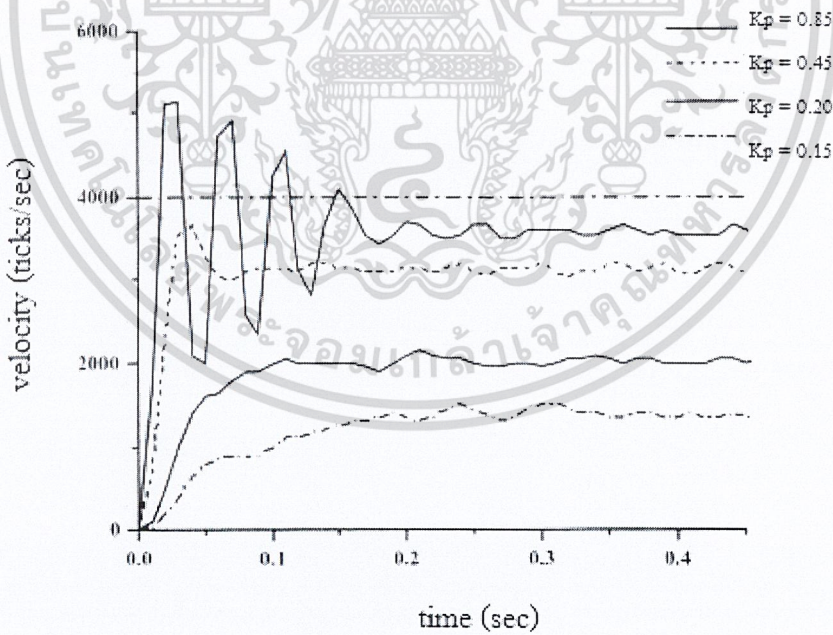
เอกสารฉบับนี้ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u(t) = K_p e(t) \tag{2.15}$$

ไดอะแกรมการป้อนกลับของระบบและการตอบสนองของระบบควบคุมแบบพีโดยทั่วไปแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าโดยปกติแล้วยิ่งเพิ่มค่า  $K_p$  ให้สูงขึ้นระบบก็จะตอบสนองได้เร็วยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามหากค่า  $K_p$  มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้ระบบเกิดการออสซิลเลต (Oscillate) หรืออาจไม่เสถียรได้



รูปที่ 2.13 ระบบควบคุมแบบพี



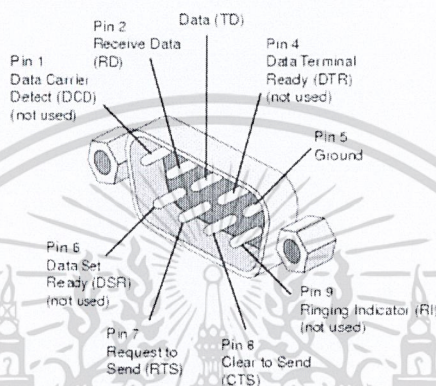
รูปที่ 2.14 ลักษณะการตอบสนองโดยทั่วไปของระบบควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ **119178** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม RS-232

### 2.7.1 คอนเนคเตอร์ RS-232

มาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม RS-232 ที่ใช้ในโครงการนี้จะใช้คอนเนคเตอร์แบบ DB-9 ซึ่งคอนเนคเตอร์แบบ DB-9 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้น ส่วนพอร์ตอื่น ๆ ถูกใช้งานไม่มากนักจึงถูกยกเลิกไป การจัดรูแบบขาคอนเนคเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 แบบ DB-9 สำหรับคอนเนคเตอร์ตัวผู้ แสดงดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 การจัดวางตำแหน่งขาคอนเนคเตอร์แบบ DB-9

การเชื่อมต่อในโครงการนี้กำหนดให้ตัวรับคือคอมพิวเตอร์ส่วนตัวส่งคือไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลดีเอสพีการเชื่อมต่อแสดงได้

การสื่อสารแบบอนุกรมนับว่ามีความสำคัญต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มาก เพราะสามารถใช้เป็นพิมพ์และจอภาพของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นอินพุตและเอาต์พุต ในการติดต่อหรือควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยสัญญาณอย่างน้อยเพียง 3 เส้นเท่านั้นคือ

- สายส่งสัญญาณ ขานี้มีหน้าที่ส่งข้อมูลที่เก็บในบัฟเฟอร์สำหรับส่งออกไปยังตัวรับ
- สายรับสัญญาณ ขานี้มีหน้าที่รับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังตัวรับ โดยนำข้อมูลเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- สายกราวด์

โดยปกติพอร์ตอนุกรม RS-232 จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับชนิดของสายสัญญาณ ระยะทาง และปริมาณสัญญาณรบกวน

### 2.7.2 การควบคุมสัญญาณ

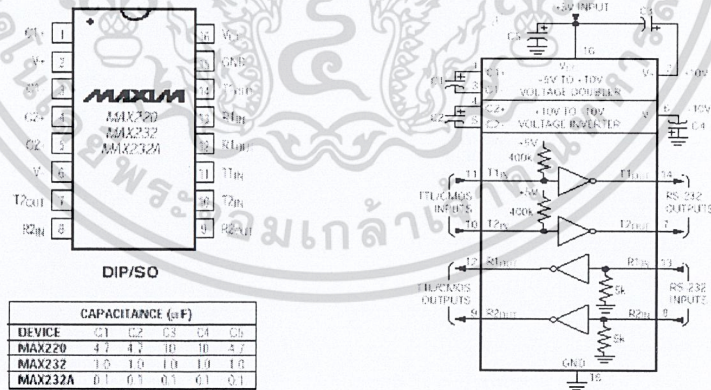
การติดต่อระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลและวงจรรับข้อมูลปลายทางจะมีการควบคุมการไหลของข้อมูลเพื่อไม่ให้เกิดโอเวอร์โฟลว์ (Overflow) ขึ้น ซึ่งมีสองรูปแบบคือ ฮาร์ดโฟลว์-อาร์คไม่ควบคุม (Hard flow control) และซอฟต์แวร์โฟลว์คอนโทรล (Software flow control) ซึ่งมีการนำไปใช้

สำหรับซอฟต์แวร์โพล์คอนโทรล หรืออาจเรียกว่า  $X_{on}/X_{off}$  โพล์คอนโทรล โดยอาศัยรหัส ASCII 17 เป็นสัญญาณ  $X_{on}$  และรหัส ASCII 19 เป็นสัญญาณ  $X_{off}$  หลักการทำงาน คือ มีบัฟเฟอร์ (Buffer) ซึ่งรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์อยู่ ถ้าข้อมูลใกล้เต็มเมื่อไร สัญญาณ  $X_{off}$  จะถูกส่งออกไป เพื่อให้คอมพิวเตอร์หยุดส่งข้อมูลชั่วคราว หลังจากนั้นถ้าบัฟเฟอร์ว่างเมื่อไรสัญญาณ  $X_{on}$  ก็จะถูกส่งให้คอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลต่อ การควบคุมวิธีนี้ประหยัดสายสัญญาณ เพราะข้อมูลถูกส่งผ่านสายส่งสัญญาณและสายรับสัญญาณ แต่อาจมีการทำให้เกิดการส่งล่าช้าในกรณีที่มีการสื่อสารมีความเร็วต่ำ เพราะแต่ละตัวอักษร (ASCII Code) มีขนาด 10 บิต

### 2.7.3 ตัวแปลงสัญญาณ RS-232

สัญญาณลอจิก 0 ของ RS-232 จะมีค่า +3 ถึง +25 โวลต์ และสัญญาณลอจิก 1 ของ RS-232 มีค่า -3 ถึง -25 โวลต์ ช่วง -3 ถึง +3 โวลต์ จะไม่สามารถใช้งานได้ ระดับสัญญาณนี้ใช้ได้กับทุกสัญญาณที่ไม่ใช่เฉพาะสัญญาณรับส่งเท่านั้น

ไอซีที่ใช้ในตัวรับส่งมักเป็นเบอร์ 1489 (RS-232 ไดรเวอร์) และ 1489 (RS-232 รีซีฟเวอร์) โดยแต่ละตัวประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์ 4 ตัว และต้องการไฟเลี้ยง 2 ชุด คือ +7.5 ถึง +15 โวลต์ เพียงชุดเดียว แต่ก็ยังมีไอซี อีกตัวหนึ่งคือ ไอซี ตระกูล MAX-232 มีโครงสร้างภายใน และตำแหน่งขาของ MAX-232 ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งมีวงจรเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นจาก +5 ได้เป็น +10 โวลต์ และ -10 โวลต์ พร้อมทั้งมีขา TxD และ RxD สองชุดอยู่ในไอซีเดียวกัน และรองรับการรับส่งข้อมูลได้ถึง 120 kbps จึงสะดวกมากกว่า เพราะใช้ไอซีเพียงตัวเดียว

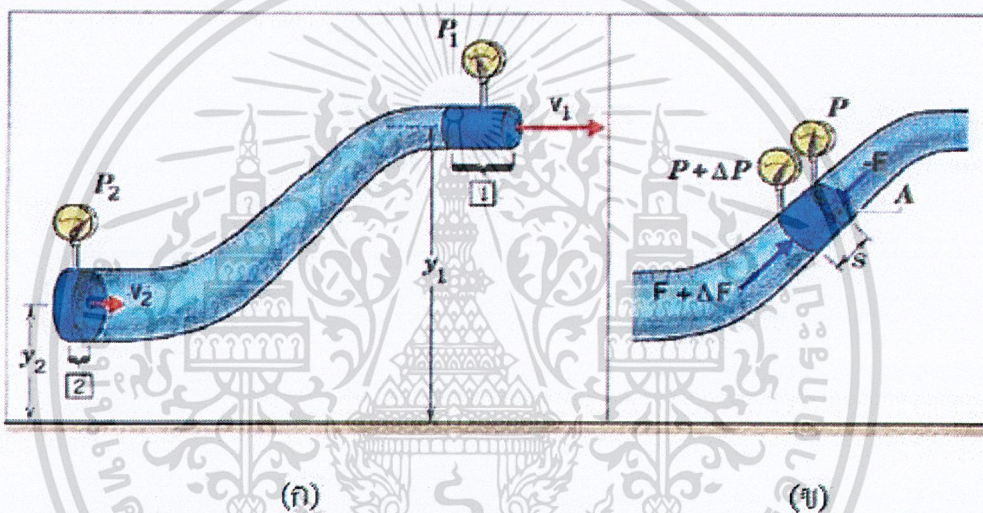


รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในและตำแหน่งขาของ MAX-232

ส่วนการที่จะนำข้อมูลไปใช้จำเป็นต้องแปลงเป็นรูปแบบขนานก่อน ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของยูอาร์ที (UART) ซึ่งทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปอนุกรมแบบซิงโครนัสไปยังอุปกรณ์ปลายทาง เอกสายนอกจากนั้นแล้วยูอาร์ทียังแจ้งข้อมูลอื่นๆ ให้ภาครับทราบด้วย ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 หลักการของแบร์นูลลี

ในโครงการานนี้จะมีส่วนการผันสเปรย์อยู่ ซึ่งภายในหัวสเปรย์นั้นได้ใช้หลักการเดียวกันกับหลักการของแบร์นูลลีทำให้ต้องทราบหลักการของแบร์นูลลีที่กล่าวว่าในการของไหลในอุดมคติ ไหลในท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางเปลี่ยนไปอัตราเร็วของการไหลจะเปลี่ยนไปด้วยทำให้พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหลเปลี่ยนไปด้วยและถ้าท่อไม่อยู่ในแนวระดับพลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหลก็เปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นความดันของของไหลในท่อที่ตำแหน่งต่าง ๆ ก็จะเปลี่ยนไปด้วย นั่นหมายความว่าความดันของของไหลขณะที่กำลังไหลในท่อจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของสายกระแสและขึ้นอยู่กับตำแหน่งความสูง ณ ภาคตัดขวางนั้นๆด้วยดังรูป 2.17



รูปที่ 2.17 การไหลของของไหลที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางต่างกัน

(ก) การไหลของของไหลจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่ง

(ข) แรงที่กระทำต่อของไหลบนพื้นที่หน้าตัดขวาง

เมื่อของไหลไหลขึ้นตามท่อ ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น  $y_1$  มีภาคตัดขวาง  $A_1$  ของไหลมีอัตราเร็ว  $v_1$  และ ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น  $y_2$  ภาคตัดขวางของท่อเป็น  $A_2$  ของไหลมีอัตราเร็ว  $v_2$  เมื่อ  $A_1$  และ  $A_2$  ไม่เท่ากัน  $v_1$  และ  $v_2$  ก็ย่อมไม่เท่ากัน ดังนั้นมวลของของไหลในช่วงนี้ก็จะไหลด้วยอัตราเร่ง แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวลของไหลในช่วงนี้ไม่เป็นศูนย์ ณ ภาคตัดขวางของท่อเสมือนมีแผ่นลูกสูบบาง ๆ ซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงได้ตามภาคตัดขวางของท่อ ดังนั้นของไหลที่อยู่ทางด้านซ้ายของพื้นที่  $A_1$  จะออกแรงดันลูกสูบ  $A_1$  ด้วยขนาดของแรง  $P_1 A_1$  ไปทางขวา ในขณะที่เดียวกันของ

ของไหลที่อยู่ทางด้านขวามีพื้นที่  $A_2$  ก็จะออกแรงดันลูกสูบ  $A_2$  มาทางซ้ายมือด้วยขนาดของแรง  $P_2 A_2$  นั่นก็คือ แรงที่กระทำต่อของไหลถึงมาจากของไหลด้านข้างเคียง เมื่อแรง  $P_1 A_1$  ไม่เท่ากับ  $P_2 A_2$  ใช้

$A_2$  มวลก็เคลื่อนที่มีความเร็ว ถ้าเวลาของการไหลผ่านไปเพียงเล็กน้อย,  $dt$ , ปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่  $A_1$  และ  $A_2$  ย่อมเท่ากันให้เป็น  $dV$  โดยที่  $dV = A_1 ds_1 = A_2 ds_2$  เมื่อ  $ds_1$  และ  $ds_2$  เป็นระยะทางที่ลู่สูบ  $A_1$  และ  $A_2$  เคลื่อนที่ เมื่อใช้กฎอนุรักษ์พลังงาน ณ ตำแหน่งสูง  $y_1$  และ  $y_2$  ที่ว่างานผลลัพท์ของแรงภายนอกที่กระทำต่อมวลจะเท่ากับผลต่างของพลังงานกลของมวล ณ ตำแหน่งทั้งสอง แรงภายนอก  $P_1 A_1$  ทำงานและได้งานเท่ากับ  $P_1 A_1 ds_1$  แต่แรง  $P_2 A_2$  ทำงาน แต่เสียงาน(ดอยหลัง) เท่ากับ  $P_2 A_2 ds_2$  ดังนั้นงานผลลัพท์ในช่วงเวลา  $dt$  ให้เป็น  $dW$

$$dW = P_1 A_1 ds_1 - P_2 A_2 ds_2 \quad (2.16)$$

$$dW = (P_1 - P_2) dV \quad (2.17)$$

ผลต่างของพลังงานกลในช่วงเวลา  $dt$  ให้เป็น  $dE$

$$dE = \frac{1}{2} dm v_2^2 + dm g y_2 - \frac{1}{2} dm v_1^2 - dm g y_1 \quad (2.18)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1) \quad (2.19)$$

จากสมการ (2.18) ถึงสมการ (2.19) คือสมการของแบร์นูลลี ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า งานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของไหล ( $P_1 - P_2$ ) มีค่าเท่ากับผลบวกของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่เกิดขึ้นขณะที่กำลังไหล

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad (2.20)$$

ดังนั้น

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{ค่าคงที่} \quad (2.21)$$

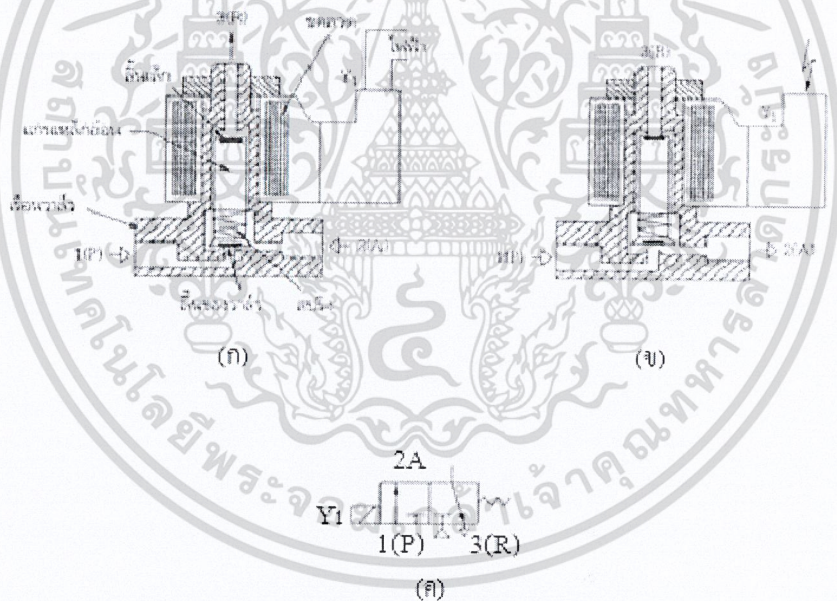
## 2.9 โซลินอยด์ว่าตัว 3/2

โครงการนี้จะมีส่วนเกี่ยวกับการพันสเปรย์ซึ่งจะใช้โซลินอยด์ว่าตัว 3/2 ในการควบคุมลมที่ใช้เอกสารในการพาของเหลว ส่วนประกอบในการทำงานของระบบนิวแมติกส์จะประกอบไปด้วย ชุดต้นไม้วางกำลังซึ่งทำหน้าที่ส่งลมอัดให้กับอุปกรณ์ทั้งหมด อุปกรณ์ให้สัญญาณ อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์

ทำงาน การที่อุปกรณ์ทำงาน เช่น กระจกสูบ จะเคลื่อนที่เข้าออกได้ตามความต้องการก็ต้องอาศัย อุปกรณ์ให้สัญญาณและอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งได้แก่วาล์วต่าง ๆ นั้นเอง วาล์วมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดก็มีหน้าที่แตกต่างกันออกไป เช่น ควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ทำงาน ควบคุมปริมาณการไหลของลมอัด ควบคุมความดันที่ใช้ ควบคุมการเริ่มและหยุดการทำงานของวงจรมิวแมติกส์ เป็นต้น

วาล์วในระบบนิวแมติกส์สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทด้วยกันตามลักษณะหน้าที่และการใช้งาน กล่าวคือ โครงงานนี้ได้เลือกใช้วาล์ว 3/2 ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

ตำแหน่งปกติยังไม่จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า  $Y_1$  จึงไม่มีอำนาจแม่เหล็ก แรงสปริงจะดันให้ลิ้นของวาล์วปิดทำให้ลมไม่สามารถผ่านจาก 1(P) ไป 2(A) ได้ แต่ลมมาก 2(A) จะผ่านไป 3(R) ได้ ตำแหน่งทำงานมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า  $Y_1$  ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กดูดแกนเหล็ก ทำให้ลิ้นของวาล์วเลื่อนและมีลมไหลผ่านจาก 1(P) ไป 2(A) ได้ เมื่อตัดกระแสไฟฟ้าออก ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า  $Y_1$  หหมดอำนาจแม่เหล็ก สปริงจะดันลิ้นของวาล์วเลื่อนกลับตำแหน่งปกติ ดังภาพที่ 2.18



**รูปที่ 2.18** โซลินอยด์วาล์ว 3/2 ปกติปิด

- (ก) ตำแหน่งปกติ
- (ข) ตำแหน่งทำงาน
- (ค) สัญลักษณ์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

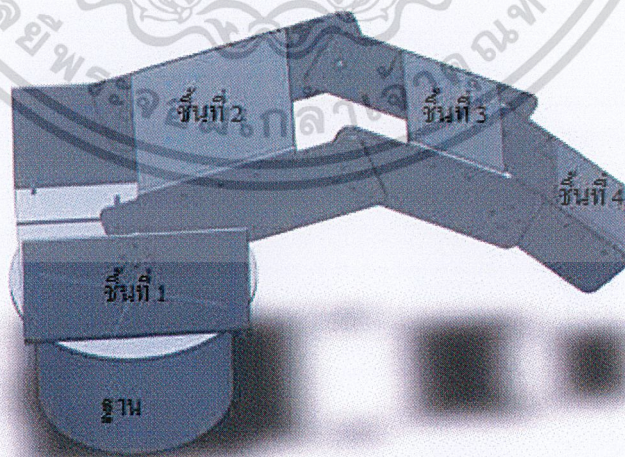
### การออกแบบ

การจัดทำโครงงานนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจในภาพรวมของระบบการทำงานทั้งหมด และหลักการออกแบบ ซึ่งจะช่วยให้การทำงานนั้นง่ายขึ้น และเมื่อเกิดปัญหาขึ้นจะสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ภาพรวมของระบบการทำงานของโครงงานและหลักการออกแบบสามารถแยกได้ดังนี้

#### 3.1 การออกแบบชิ้นงาน

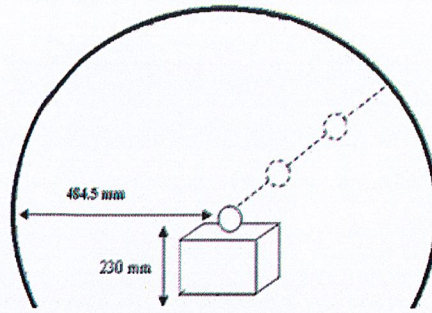
ในการจัดทำแขนกลซึ่งถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญ และต้องมีความแม่นยำเพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบในคอมพิวเตอร์ เพื่อความเหมาะสมและความยากง่ายในการจัดทำแขนกล โดยในโครงงานนี้ได้ออกแบบชิ้นงานโดยโปรแกรม SolidWork 2010 สร้างชิ้นงานจำลองขึ้นมาเพื่อให้ขนาดที่แน่นอนและแม่นยำ ซึ่งจะส่งผลดีในการทำงานไม่ต้องทำงานซ้ำซ้อนหรืองานมีความผิดพลาดลดลง

ในการศึกษาและเก็บข้อมูลได้เลือกการออกแบบแขนกลเป็นแบบข้อต่อหมุนทุกแกน ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนที่คล้ายกับแขนคน โดยประกอบด้วยช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง และข้อมือ ภาพแบบแขนกลในโครงงานแสดงดังรูปที่ 3.1 เห็นว่าการเคลื่อนที่ของแขนกลที่ออกแบบนี้ทำให้ได้พื้นที่การทำงาน ดังรูปที่ 3.2



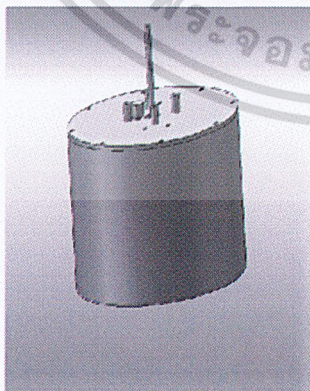
รูปที่ 3.1 รูปร่างของแขนกลจากโปรแกรม Solid Work

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

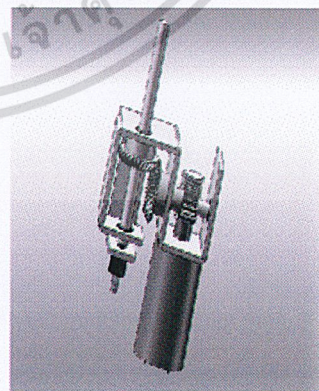


รูปที่ 3.2 ระยะการเคลื่อนที่ของแขนกลในโครงการ  
โดยส่วนประกอบของแขนกลมีดังนี้

1. ฐานและระบบกลไกการทดเฟืองในฐาน ดังรูปที่ 3.3 มีรายละเอียดดังนี้
  - เหล็กกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 200 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 180 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร
  - ฝาปิดทำจากอะลูมิเนียม 3 มิลลิเมตร
  - มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนฐานแขนกล ขนาด 12 โวลต์ 50 รอบต่อนาที
  - โฟเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงมุม
  - ชุดเฟืองคอกจอก 1 ชุด
  - ชุดเฟืองตัวหนอน 1 ชุด
  - เพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร รูเพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 110 มิลลิเมตร
  - เพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร รูเพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร



(ก)



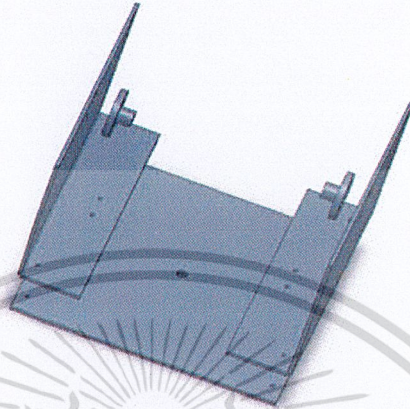
(ข)

รูปที่ 3.3 ภาพจำลอง โครงสร้างฐานของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ (ก) ฐานของแขนกลนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง (ข) กลไกการทดเฟืองภายในของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชิ้นงานที่ 1 ดังรูปที่ 3.4 มีรายละเอียดดังนี้

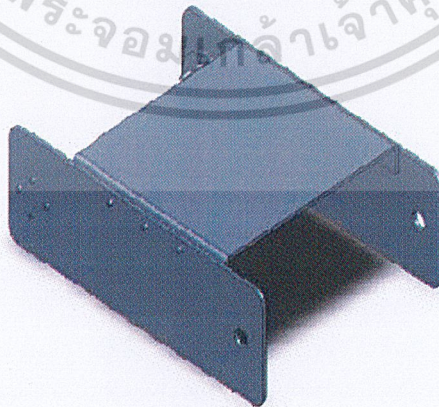
- แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 3 มิลลิเมตร 3 แผ่น พับขึ้นรูป
- ตัวยึดมอเตอร์ 2 ตัว
- ตัวยึด โพลเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงมุม 1 ตัว



รูปที่ 3.4 ภาพจำลองชิ้นงานที่ 1 ของแขนกล

3. ชิ้นงานที่ 2 ดังรูปที่ 3.5 มีรายละเอียดดังนี้

- แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 3 มิลลิเมตร 3 แผ่น พับขึ้นรูป
- ตัวยึดมอเตอร์ 1 ตัว
- ตัวยึด โพลเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงมุม 1 ตัว
- มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนข้อต่อ ขนาด 12 โวลต์ 10 รอบต่อนาที
- โพลเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงมุม

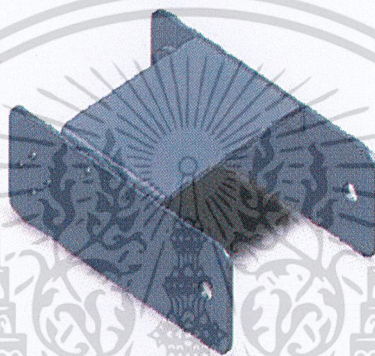


รูปที่ 3.5 ภาพจำลองของชิ้นงานที่ 2 ของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชิ้นงานที่ 3 ดังรูปที่ 3.6 มีรายละเอียดดังนี้

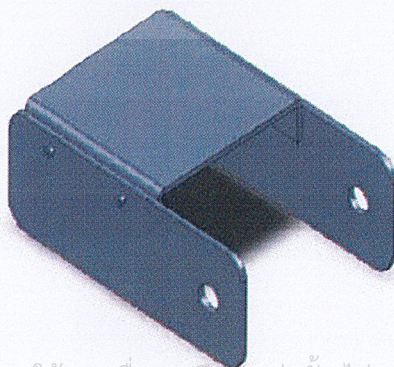
- แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 3 มิลลิเมตร 3 แผ่น พับขึ้นรูป
- มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนข้อต่อ ขนาด 12 โวลต์
- มอเตอร์ 12 โวลต์ 10 รอบต่อนาที
- โพลเททอิมิตเตอร์แบบเชิงมุม
- เพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 90 มิลลิเมตร
- เพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร รูเพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 ภาพจำลองของชิ้นงานที่ 3 ของแขนกล

5. ชิ้นส่วนที่ 4 ดังรูปที่ 3.7 มีรายละเอียดดังนี้

- แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 3 มิลลิเมตร 5 แผ่น พับขึ้นรูป
- มอเตอร์ 12 โวลต์ 20 รอบต่อนาที
- สกรูตัวผู้และตัวเมีย
- ตัวเปลี่ยนขนาดเพลา 6 มิลลิเมตร เป็น 8 มิลลิเมตร
- ตัวยึดเพลา
- แหวนรอง

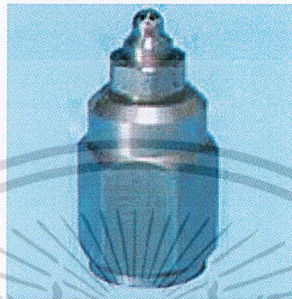


รูปที่ 3.7 ภาพจำลองชิ้นงานที่ 4 ของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

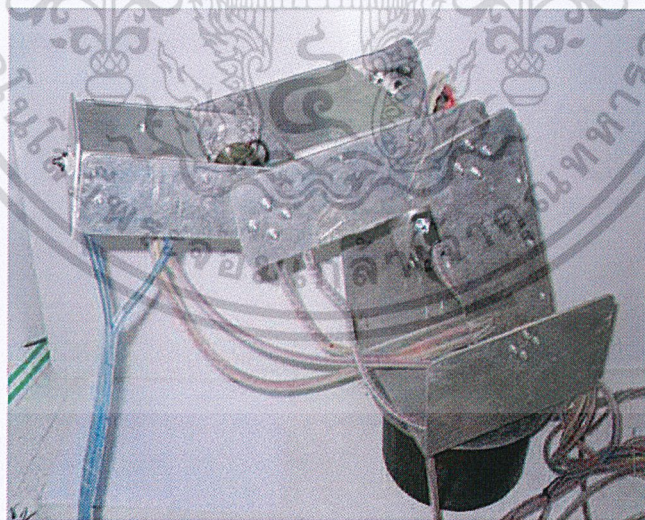
6. หัวสเปร์ย ดังรูปที่ 3.8 มีรายละเอียดดังนี้

- หัวสเปร์ยทำจากสแตนเลส
- มีมุมกว้างให้หัวสเปร์ยทำงาน 80 องศา
- ความละเอียดของละอองของเหลว 20 ไมครอน
- ลักษณะการพ่นจะพ่นแบบเฟลซ



รูปที่ 3.8 หัวสเปร์ย

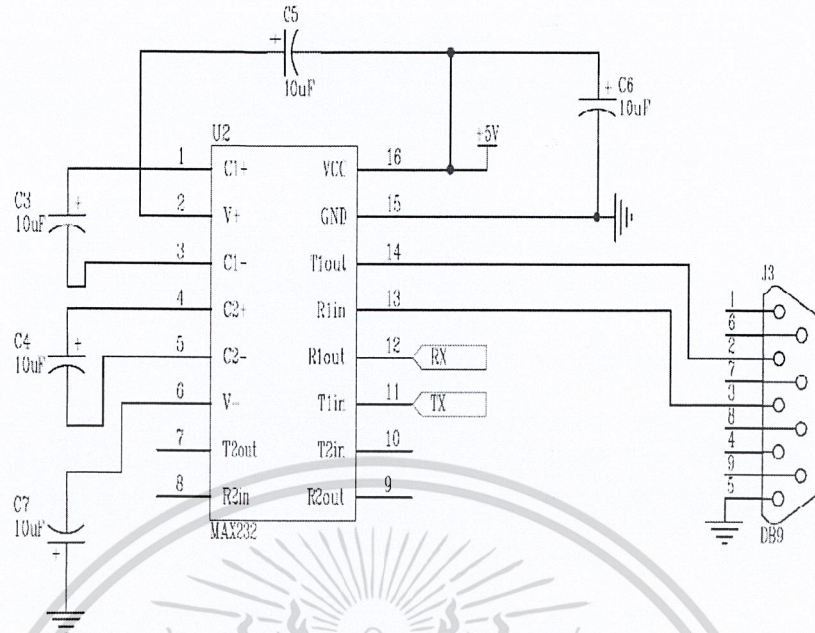
หลังจากการออกแบบข้อต่อของแขนกลโดยใช้โปรแกรม Solid Work เป็นที่เรียบร้อยแล้วก็นำแบบที่เขียนไปสั่งตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ และนำข้อต่อแต่ละชิ้นมาประกอบจะได้แขนกลแบบสี่องศาอิสระตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แขนกลพ่นสเปร์ยที่จัดทำ

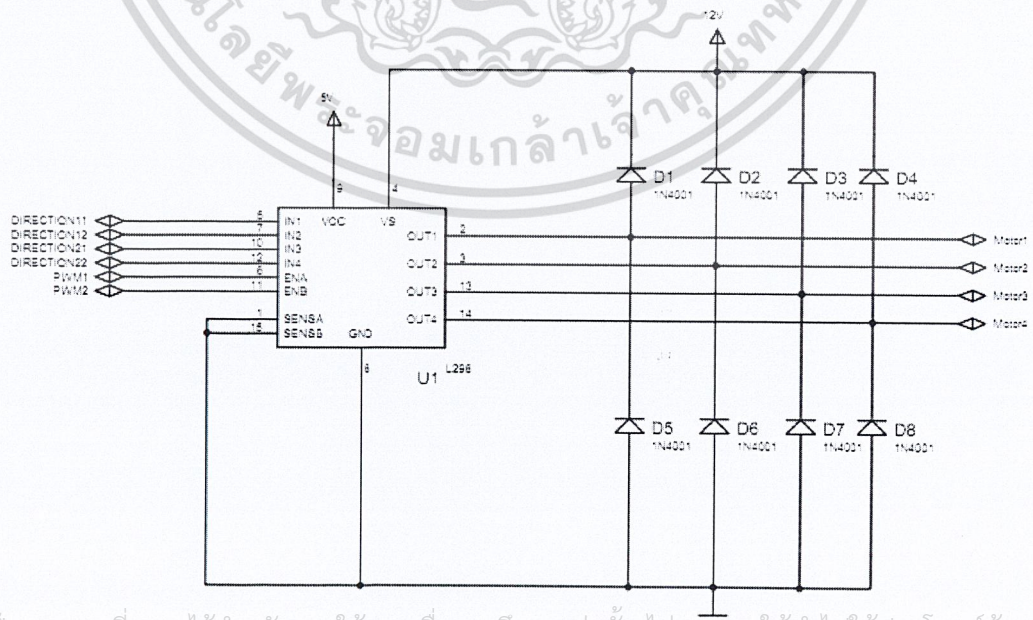
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





**รูปที่ 3.12** วงจรอนุกรม

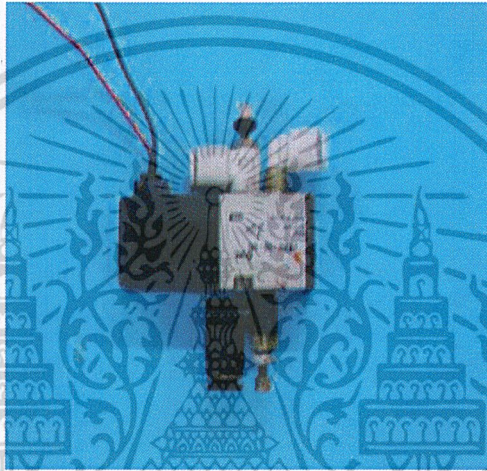
วงจรขับมอเตอร์ที่ถูกใช้ในโครงการแขนกลฟันสเปรย์นั้น ต้องควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงสี่ตัว ดังนั้นจึงเลือกใช้ไอซีสำเร็จรูป L298N โดยมีวงจรดังรูปที่ 3.13 ซึ่งจะให้กระแสที่มากและมีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าการควบคุมแบบอื่น และในโครงการนี้มีความจำเป็นในการใช้พลังงานในการขับมอเตอร์ค่อนข้างสูง ทำให้วงจรขับมอเตอร์นั้นมีความจำเป็นต้องทนค่ากระแสไฟฟ้าได้มาก



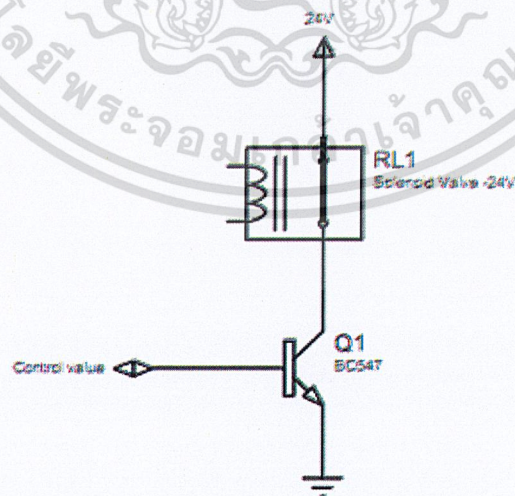
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัด **รูปที่ 3.13** จงจรขับมอเตอร์ L298N เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วงจรควบคุมโซลินอยด์วาล์ว 3/2

การจัดทำโครงงานนี้มีการประยุกต์ใช้โซลินอยด์วาล์ว 3/2 ดังรูปที่ 3.14 ร่วมกับวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของหัวสเปรย์ขณะพ่นสี หลักการทำงานอธิบายได้ดังรูปที่ 3.15 กล่าวคือ เมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้า 24 โวลต์ ให้กับโซลินอยด์วาล์ว 3/2 โซลินอยด์วาล์วจะยังไม่สามารถทำงานได้จนกระทั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณไฟฟ้าลอจิก 1 หรือระดับไฟ 5 โวลต์ ไปไบแอสที่ทรานซิสเตอร์ BC547 ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน กระแสไฟที่จ่ายให้กับวาล์วจึงลงกราวด์ได้ ทำให้วาล์วทำงาน



รูปที่ 3.14 โซลินอยด์วาล์ว 3/2

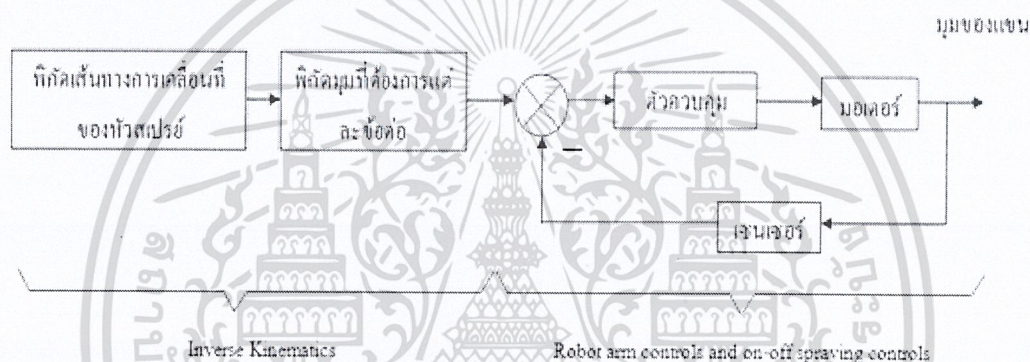


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.15 วงจรไฟฟ้าโซลินอยด์วาล์ว 3/2 ดึงหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การทำงานของแขนกล

ระบบการทำงานของแขนกลพ่นสเปรย์นั้น เริ่มจากคอมพิวเตอร์จะแปลงค่าของตำแหน่งพิกัดปลายแขนกลเป็นมุมด้วยสมการอินเวอร์สไคเนติกส์ เมื่อได้ค่ามุมอ้างอิง โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของโพเทนทิอوميเตอร์ก็จะส่งค่าวัดมุมจริงซึ่งเป็นค่าความต่างศักย์มายังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่าน โมดูล

จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์เปรียบเทียบค่าความแตกต่างค่ามุมอ้างอิงและค่ามุมจริง นำค่าความแตกต่างไปประมวลผลหาสัญญาณควบคุม แบบแนวคิระบบควบคุมแบบพีหรือแบบสัดส่วน เมื่อประมวลผลเสร็จจะส่งสัญญาณควบคุมแบบพัลส์วิด โมดูลเลชั่น ไปควบคุมมอเตอร์ และการทำงานนี้จะวนไปตลอดจนกว่าจะได้รับคำสั่งหยุดการทำงาน โดยระบบการทำงานทั้งหมดนั้นสามารถแสดง ดังรูปที่ 3.16

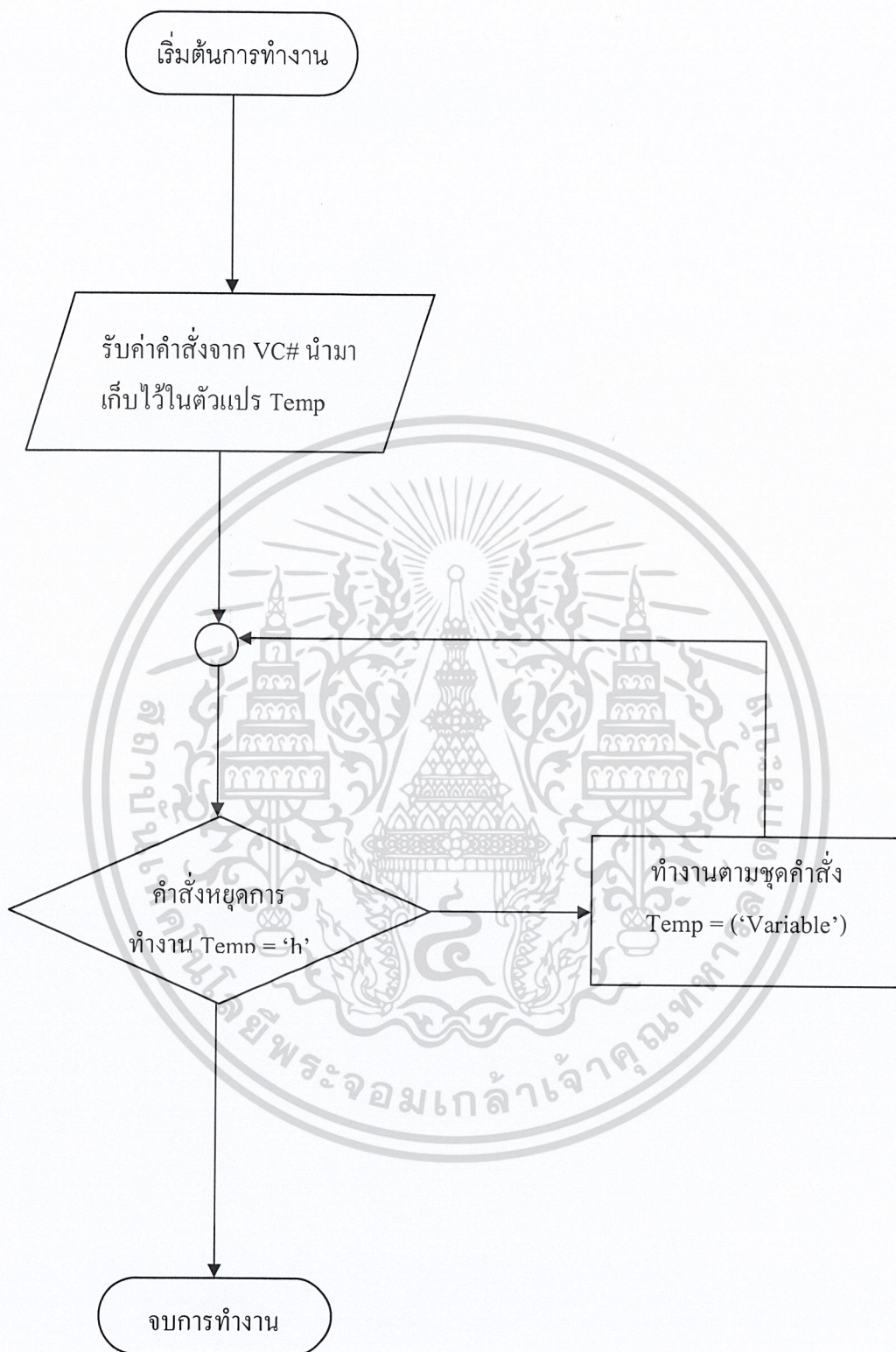


รูปที่ 3.16 กระบวนการทำงานของแขนกล

#### 3.4.1 โปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ดีเอสพีค เบอร์ ds40f4011 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต ถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความเร็วสูง จากประสิทธิภาพที่สูงจึงได้มีแนวความคิดในการพัฒนาให้สามารถรับคำสั่งจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อผู้ใช้งาน ให้ทำงานได้ทั้งแบบผู้ใช้งานสั่งการทำงาน และการทำงานแบบอัตโนมัติ และสามารถรับส่งข้อมูลได้ โดยโพล์ชาร์ต ดังรูปที่ 3.17 เป็นโพล์ชาร์ตการทำงานแบบผู้ใช้งานสั่งการทำงาน และโพล์ชาร์ต ดังรูปที่ 3.18 เป็นโพล์ชาร์ตการทำงานแบบอัตโนมัติหลายสแต็ปการทำงาน

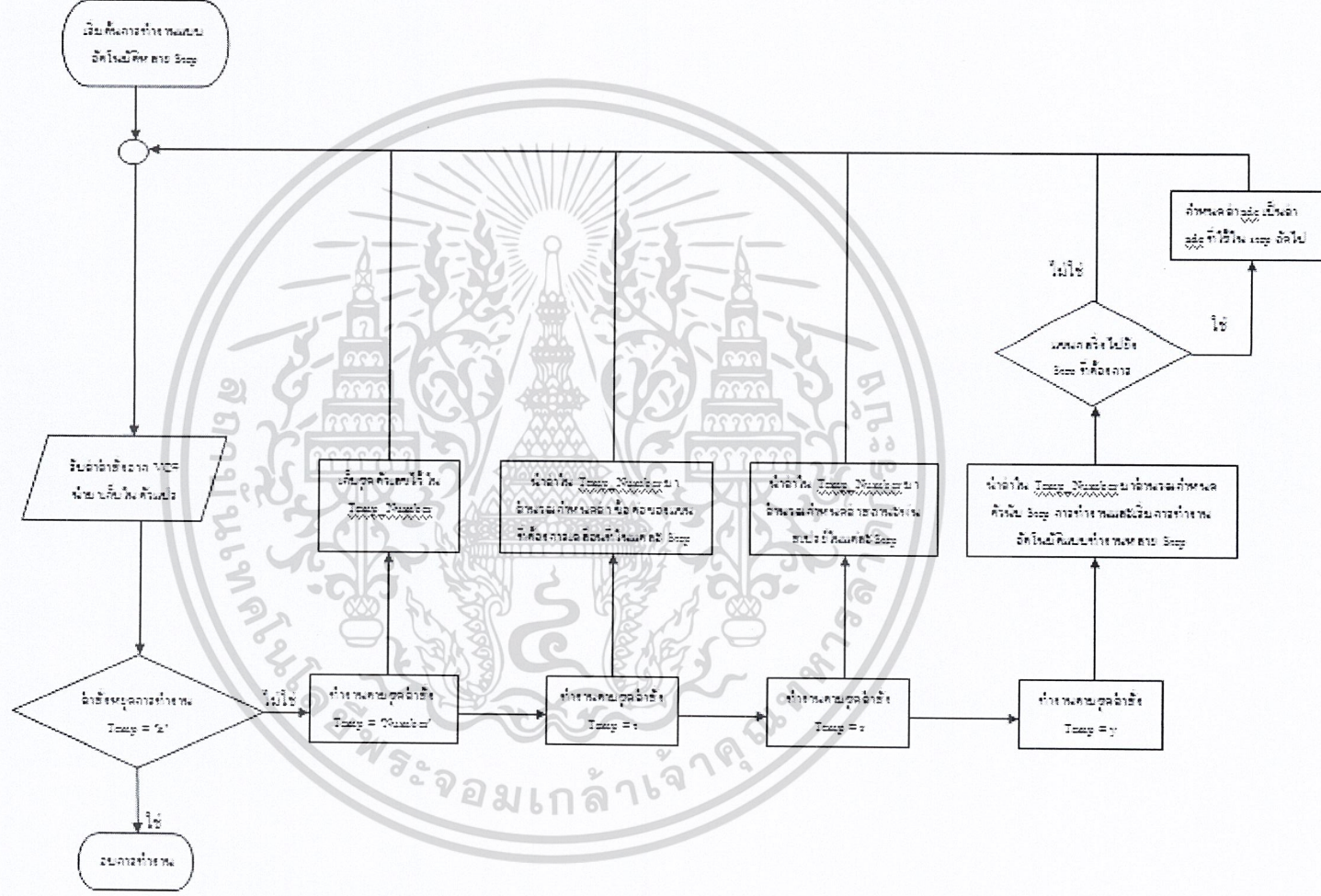
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.17** โฟลว์ชาร์ตโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 โฟลว์ชาร์ต โปรแกรมย่อยของโมดูลคอนโทรลเลอร์



### ตารางที่ 3.1 การทำงานของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

Temp	การดำเนินการ
q	อ่าน ADC ส่งไปที่ VC#
w	เริ่มปรับเทียบเซนเซอร์อัตโนมัติ(เคลื่อนที่ 1 step)
e	ส่งค่ากราฟไปให้ VC#
r	รับค่าตรวจสอบการเปิด spray ในแต่ละ step (เคลื่อนที่หลายstep)
t	รับค่า ADC ที่กำหนดให้เซนเซอร์แต่ละ step มาเก็บไว้ใน dspic
y	รับค่าจำนวน step การทำงานที่ VC# กำหนดให้
u	แสดงค่า Gain Kp ที่ชัดเจนในแต่ละ joint ในขณะที่เคลื่อนที่ขึ้น/ลง
i	แสดงค่า Gain Kp ที่ชัดเจนในแต่ละ joint ในขณะที่เคลื่อนที่ขึ้น/ลง
o	กำหนด Set joint จากค่า ADC ที่อ่านได้ ณ ขณะนั้น
p	เปิดการใช้เคลื่อนที่แบบ Manual
a	กำหนด Set joint จากค่าที่ VC# ส่งให้ dspic
s	ปรับปรุงค่า Set joint จากค่าที่ VC# ส่งให้ dspic
d	เปิด/ปิด Splay
f	อ่าน ADC ที่กำหนดไว้ใน Set joint
h	หยุดการทำงานของโปรแกรม
j	หยุดการทำงานของเซนเซอร์
k	ปรับปรุงค่า Gain Kp จากค่าที่ VC# ส่งให้ dspic
l	ข้อต่อที่ 4 เคลื่อนที่ลง
z	ข้อต่อที่ 1 เคลื่อนที่ขึ้น
x	ข้อต่อที่ 2 เคลื่อนที่ขึ้น
c	ข้อต่อที่ 3 เคลื่อนที่ขึ้น
v	ข้อต่อที่ 4 เคลื่อนที่ขึ้น
b	ข้อต่อที่ 1 เคลื่อนที่ลง
n	ข้อต่อที่ 2 เคลื่อนที่ลง
m	ข้อต่อที่ 3 เคลื่อนที่ลง
number 1-10	นำค่าชุดตัวเลขที่ป้อนไปเก็บใน Temp_Number

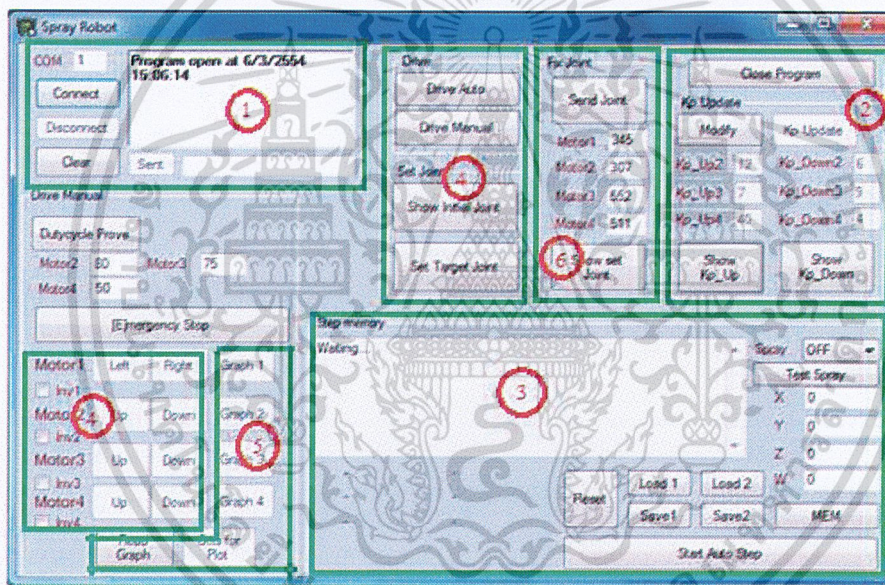
จากตารางที่ 3.1 เป็นคำสั่งที่คอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อผู้ใช้งาน ส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ให้ประมวลผลคำสั่งที่ส่งมา และทำงานตามคำสั่งนั้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การเชื่อมต่อผู้ใช้งานทางคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้นมีส่วนสำคัญ ได้แก่

1. ส่วนหน้าจอเชื่อมต่อผู้ใช้งาน
2. ส่วนการปรับปรุงค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบพี (K<sub>p</sub>)
3. ส่วนคำนวณมุมอ้างอิงด้วยสมการอินเวอร์สไคเนมติกส์
4. ส่วนควบคุมแขนกล โดยผู้ใช้งานและส่วนควบคุมแบบอัตโนมัติ
5. ส่วนเก็บค่าและพล็อตกราฟ
6. ส่วนปรับค่าเริ่มต้นของปลายของแขนกล

ส่วนประกอบของโปรแกรมประกอบไปด้วยหน้าจอแสดงผลการผลต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.19 และการทำงานของแต่ละส่วน



รูปที่ 3.19 หน้าต่างเชื่อมต่อการประมวลผลในคอมพิวเตอร์

ส่วนที่ 1 ส่วนหน้าจอเชื่อมต่อผู้ใช้งาน ประกอบไปด้วยไอคอนการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อผู้ใช้งาน

ส่วนที่ 2 ส่วนการปรับปรุงค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบพี ประกอบไปด้วยไอคอนการปรับปรุงค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบพี ขณะเคลื่อนที่ขึ้น และค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบพี ขณะเคลื่อนที่ลง ของแต่ละข้อต่อ

ส่วนที่ 3 ส่วนคำนวณมุมอ้างอิงด้วยสมการอินเวอร์สไคเนมติกส์ ประกอบไปด้วยไอคอนที่ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิได้เห็นแต่เพียงอย่างเดียว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 4 ส่วนควบคุมแขนกลโดยผู้ใช้งานและส่วนควบคุมแบบอัตโนมัติ ประกอบไปด้วย ไอคอนควบคุมแขนกลโดยผู้ใช้งานของแต่ละข้อต่อ และไอคอนควบคุมแบบอัตโนมัติ

ส่วนที่ 5 ส่วนเก็บค่าและพล็อตกราฟ ประกอบไปด้วยไอคอนส่วนเก็บ และแสดงการพล็อตกราฟของแต่ละข้อต่อ

ส่วนที่ 6 ส่วนปรับค่าเริ่มต้นของปลายของแขนกล ประกอบไปด้วยไอคอนการสั่งการที่ตั้งค่าให้ทำงานไปยังตำแหน่งค่าเริ่มต้นของปลายแขนกล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

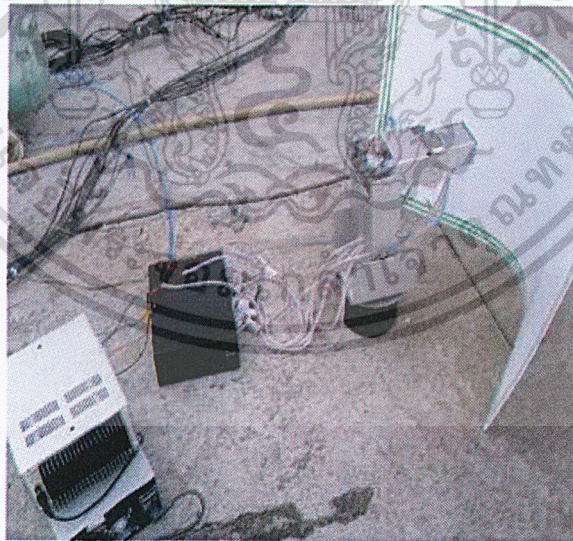
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการตั้งค่า เชื่อมต่ออุปกรณ์ การปรับแต่งอุปกรณ์ และการทดลองต่างๆ ของแขนกลหุ่นยนต์ ได้แก่ การทดลองการทดลองการปรับเทียบค่ามุม กับระดับค่าวัดคิติดอล การทดลองการเคลื่อนที่ของแขนกล และการทดลองการหุ่นยนต์ลงบนพื้นผิววัตถุที่เป็นผิวโค้ง และพื้นผิววัตถุที่เป็นผิวเรียบ ดังนี้

#### 4.1 การตั้งค่าและเชื่อมต่ออุปกรณ์

ในการทำการทดลองนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ให้เหมาะเพื่อความสะดวกและความแม่นยำในการทำการทดลองดังรูปที่ 4.1 จะเห็นว่ามีอุปกรณ์ดังนี้ คือ แขนกลหุ่นยนต์ แหล่งจ่ายไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ กล้องใส่งจรควบคุมแขนกล ถังลม และพื้นผิวที่จะถูกหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ โดยนำสายเชื่อมต่อข้อมูลแบบ RS-232 เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และสุดท้ายเชื่อมต่อแขนกลกับวงจรควบคุมแขนกลซึ่งรวมไปถึงวงจรควบคุมการไหลของโซลินอยด์วาล์ว 3/2 ด้วย



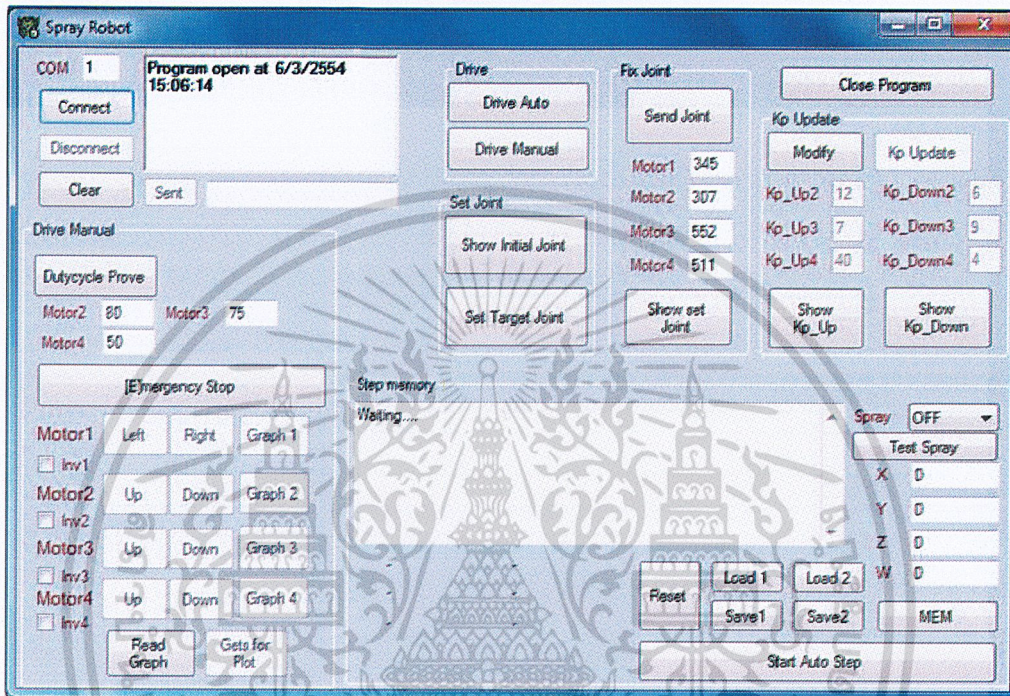
รูปที่ 4.1 ลักษณะการวางอุปกรณ์

**หมายเหตุ** ท่าของแขนกลดังรูปที่ 4.1 คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของแขนกล (Home Position)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ปรับแต่งอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง

ก่อนที่ทำการทดลองจะต้องทำการกำหนดค่าต่าง ๆ ลงไปยังรูป 4.2 ประกอบไปด้วย ค่า ดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ค่าเกณฑ์ของการควบคุมแบบพีเคเคลื่อนที่ขึ้น ( $K_p\_Up$ ) ค่าเกณฑ์ของการควบคุมแบบพีเคเคลื่อนที่ลง ( $K_p\_Down$ ) ตลอดจนการกำหนดค่าตำแหน่งที่จะพ่นสเปรย์ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การกำหนดค่าต่าง ๆ บนโปรแกรมการทดลอง

## 4.3 การทดลองการปรับเทียบค่ามุมกับระดับค่าวัดดิจิตอล

ทดลองโดยทำการลองหมุนให้มอเตอร์แต่ละข้อต่อเคลื่อนไปตำแหน่งต่าง ๆ โดยพิจารณากรณีการวัดค่ามุม ที่ทราบค่าซึ่งใช้ระดับน้ำเป็นเครื่องมือวัด ค่าดิจิตอล และบันทึกที่ระดับค่าวัดดิจิตอล (ADC) ดังต่อไปนี้

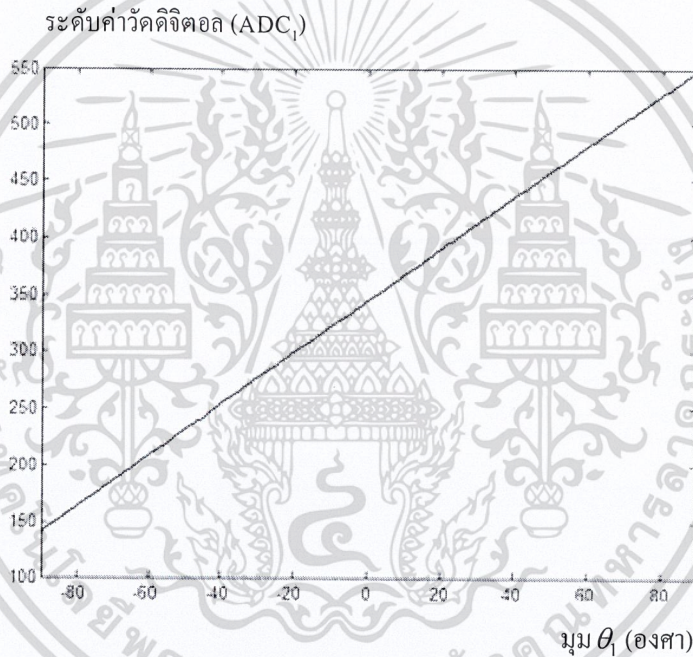
ข้อต่อที่หนึ่ง เมื่อทำการทดลองโดยปรับแกนกลในช่วงมุม  $\theta_1$  -90 ถึง 90 องศา และบันทึกที่ระดับค่าวัดดิจิตอลที่สอดคล้อง ( $ADC_1$ ) ได้ผลดังตารางที่ 4.1 และ ดังรูปที่ 4.3 จากผลการทดลองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง  $\theta_1$  และ ( $ADC_1$ ) ได้ดังสมการที่ (4.1)

$$\theta_1 = \left[ \frac{(ADC_1) - 345}{204} \right] * 90 \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** การเปรียบเทียบค่ามุม (องศา) กับระดับค่าวัดดิจิทัล ( $ADC_1$ ) ของมอเตอร์ที่หนึ่ง

มุม $\theta_1$ (องศา)	ระดับค่าวัดดิจิทัล ( $ADC_1$ )
-90	141
-45	243
0	345
45	447
90	549



**รูปที่ 4.3** ผลการเปรียบเทียบค่าวัดมุมของข้อที่หนึ่ง

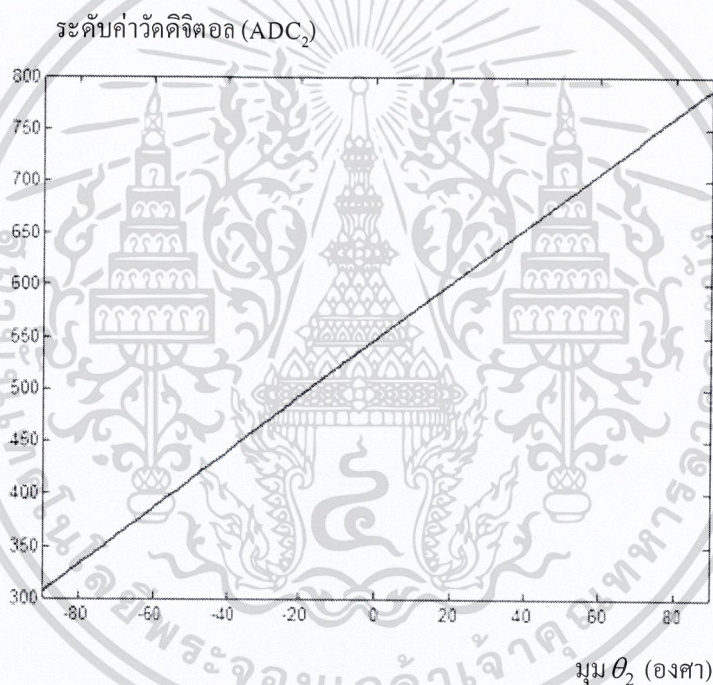
ข้อต่อที่สอง เมื่อทำการทดลองโดยปรับแกนกลในช่วงมุม  $\theta_2$  -90 ถึง 90 องศา และบันทึกระดับค่าวัดดิจิทัลที่สอดคล้อง ( $ADC_2$ ) ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และ ดังรูปที่ 4.4 จากผลการทดลองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง  $\theta_2$  และ ( $ADC_2$ ) ได้ดังสมการที่ (4.2)

$$\theta_2 = \left[ \frac{(ADC_2) - 547}{240} \right] * 90 \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** การเปรียบเทียบค่ามุม (องศา) กับระดับค่าวัดดิจิทัล (ADC<sub>2</sub>) ของมอเตอร์ที่สอง

มุม $\theta_2$ (องศา)	ระดับค่าวัดดิจิทัล (ADC <sub>2</sub> )
-90	307
-45	427
0	547
45	667
90	787



**รูปที่ 4.4** ผลการเปรียบเทียบของมอเตอร์ที่สอง

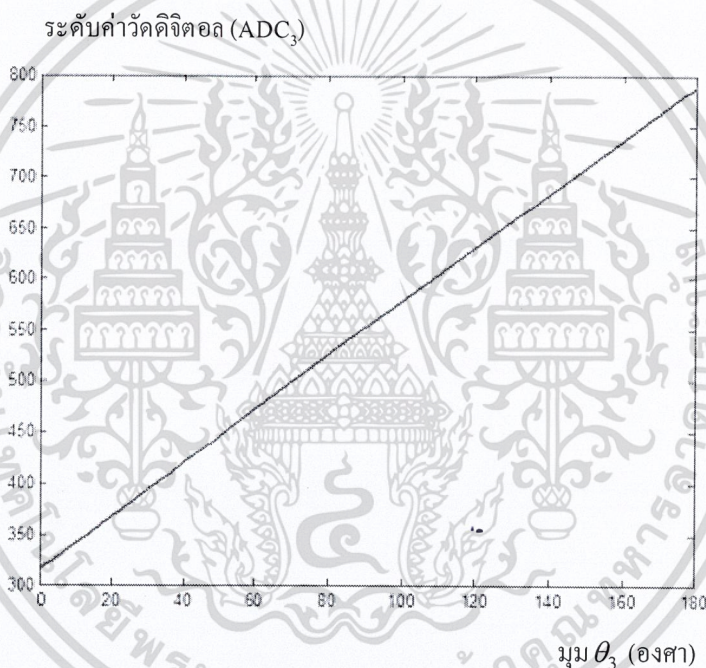
ข้อต่อที่สาม เมื่อทำการทดลองโดยปรับแกนกลในช่วงมุม  $\theta_3$  0 ถึง 180 องศา และบันทึกระดับค่าวัดดิจิทัลที่สอดคล้อง (ADC<sub>3</sub>) ได้ผลดังตารางที่ 4.3 และ ดังรูปที่ 4.5 จากผลการทดลองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง  $\theta_3$  และ (ADC<sub>3</sub>) ได้ดังสมการที่ (4.3)

$$\theta_3 = \left[ \frac{(ADC_3) - 316}{236} \right] * 90 \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 236 ศึกษา ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** การเปรียบเทียบค่ามุม (องศา) กับระดับค่าวัดดิจิทัล (ADC<sub>3</sub>) ของมอเตอร์ที่สาม

มุม $\theta_3$ (องศา)	ระดับค่าวัดดิจิทัล (ADC <sub>3</sub> )
0	316
45	434
90	552
135	670
180	788



**รูปที่ 4.5** ผลการเปรียบเทียบของมอเตอร์ที่สาม

ข้อต่อที่สี่ เมื่อทำการทดลองโดยปรับแกนกลในช่วงมุม  $\theta_4$  -90 ถึง 90 องศา และบันทึกระดับค่าวัดดิจิทัลที่สอดคล้อง (ADC<sub>4</sub>) ได้ผลดังตารางที่ 4.4 และ ดังรูปที่ 4.6 จากผลการทดลองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง  $\theta_4$  และ (ADC<sub>4</sub>) ได้ดังสมการที่ (4.4)

$$\theta_4 = \left[ \frac{(ADC_4) - 511}{-269} \right] * 90 \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** การเปรียบเทียบค่ามุม (องศา) กับระดับค่าวัดดิจิทัล (ADC<sub>4</sub>) ของมอเตอร์ที่สี่

มุม $\theta_4$ (องศา)	ระดับค่าวัดดิจิทัล (ADC <sub>4</sub> )
-90	780
-45	645
0	511
45	377
90	242



**รูปที่ 4.6** ผลการเปรียบเทียบของมอเตอร์ที่สี่

จากผลการทดลองเกี่ยวกับการเปรียบเทียบค่ามุม (องศา) กับระดับค่าวัดดิจิทัล (ADC) ของมอเตอร์ทั้งสี่พบว่ารูปที่ 4.3 4.4 และ 4.5 จะได้กราฟผลของการเปรียบเทียบของมอเตอร์ที่หนึ่ง สอง และสาม ที่มีความชันเป็นบวกแต่รูปที่ 4.6 จะได้กราฟผลของการเปรียบเทียบของมอเตอร์ที่สี่ที่มีความชันเป็นลบเพียงกราฟเดียวเพราะเกิดจากการสลับทิศทางการหมุนของโพเทนทิออมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดลองควบคุมแต่ละข้อต่อของแขนกล

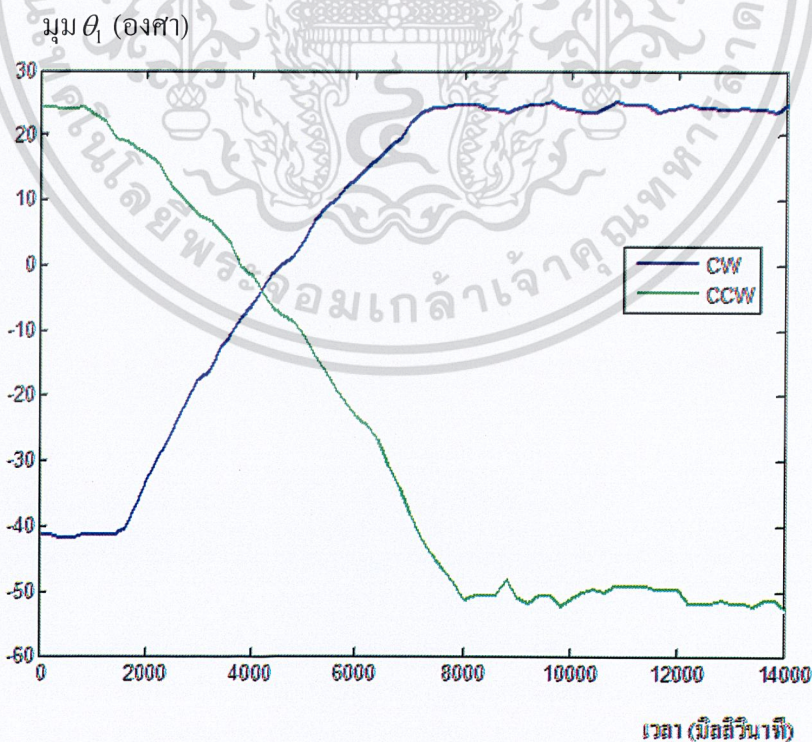
เนื่องจากการศึกษา จะพบว่าในส่วนข้อต่อที่ 1 นั้นก่อนที่ที่จะช้า เนื่องมีการทดเฟือง สามารถใช้การควบคุมแบบเปิดปิด (On – off control) ได้ และในส่วนข้อต่อที่ 2 ข้อต่อที่ 3 และข้อต่อที่ 4 นั้นจะต้องใช้การควบคุมแบบพีหรือแบบสัดส่วน

ทดลองเลือกค่าคงที่  $K_p$  ของระบบควบคุมแบบพี สำหรับข้อต่อของแขนกลทำโดยการสุ่มค่า  $K_p$  และเปรียบเทียบผลทดลองที่แตกต่างกัน แล้วดูผลตอบสนองของระบบโดยข้อต่อที่หนึ่งเป็นการควบคุมแบบเปิดปิด ส่วนข้อต่อที่สอง สามและสี่จะเป็นการควบคุมแบบพีหรือแบบสัดส่วนซึ่งจะได้ผลการปรับค่าควบคุมดังนี้

##### 1. ทดลองหาผลตอบสนองของข้อต่อที่หนึ่ง

1.1 ขณะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา (CCW) ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่ามุมจาก 24 องศา (ค่าดิจิทัล 400) ถึง -51 องศา (ค่าดิจิทัล 230) ซึ่งสามารถดูลักษณะการตอบสนองของข้อต่อที่หนึ่ง ขณะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 4.7

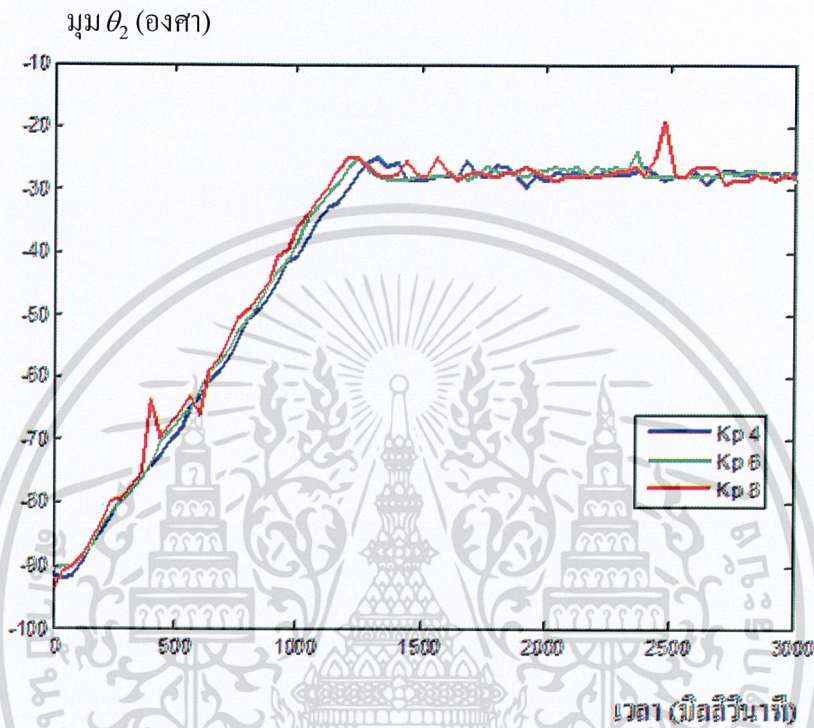
1.2 ขณะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา (CW) ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่ามุมจาก -42 องศา (ค่าดิจิทัล 250) ถึง 24 องศา (ค่าดิจิทัล 400) ซึ่งสามารถดูลักษณะการตอบสนองของข้อต่อที่หนึ่ง ขณะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 4.7



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.7 ผลตอบสนองของข้อต่อที่หนึ่ง ขณะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา การกระทำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ทดลองหาผลตอบสนองของข้อต่อที่สอง

2.1 ขณะเคลื่อนที่ลง ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่ามุมจาก -90 องศา (ค่าดิจิทัล 307) ถึง -27 องศา (ค่าดิจิทัล 475) ซึ่งสามารถดูลักษณะการตอบสนองของระบบของข้อต่อที่สอง ขณะเคลื่อนที่ลงได้จากรูปที่ 4.8

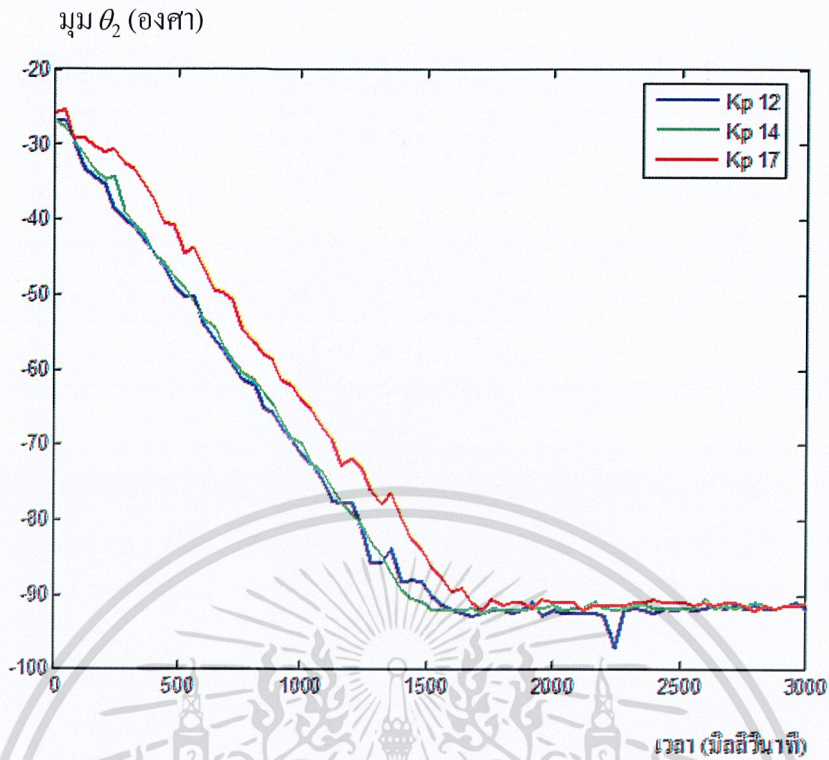


รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สอง ขณะเคลื่อนที่ลง

จากรูปที่ 4.8 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K_p = 4$  แล้ว ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว ช้ากว่าการใช้ค่า  $K_p = 6$  และ 8 จากการทดลองหาปรับค่า  $K_p = 6$  จะพบว่ามีการใช้เวลาเท่ากับ  $K_p = 8$  แต่ที่สภาวะอยู่นั้นค่า  $K_p = 8$  จะมีการแกว่งมากกว่าค่า  $K_p = 6$  ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $K_p = 6$  สำหรับข้อต่อที่สอง ขณะเคลื่อนที่ลง

2.2 ขณะเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่ามุมจาก -27 องศา (ค่าดิจิทัล 475) ถึง -90 องศา (ค่าดิจิทัล 307) ซึ่งสามารถดูลักษณะการตอบสนองของระบบของข้อต่อที่สอง ขณะเคลื่อนที่ขึ้นได้จากรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



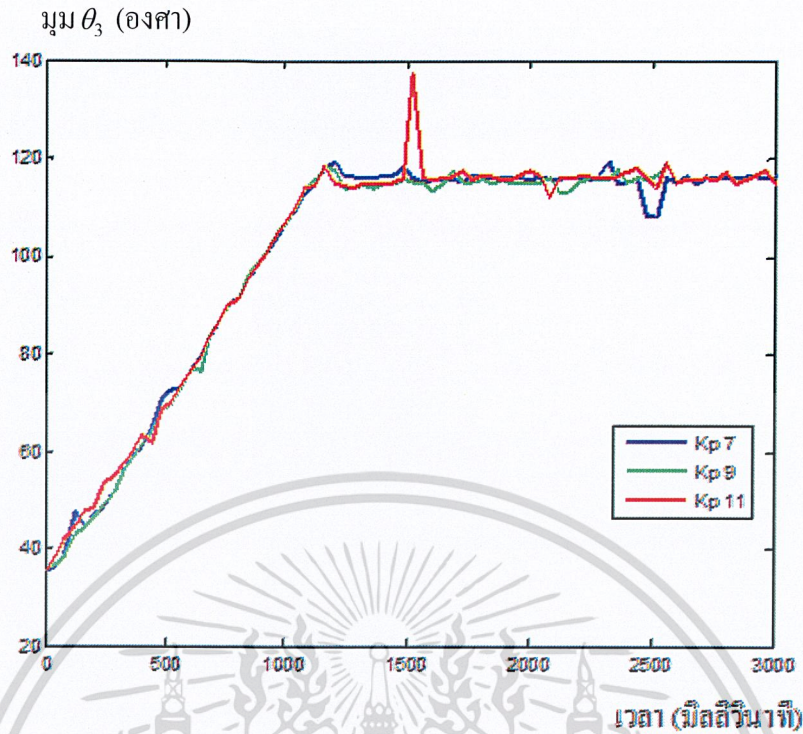
รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สอง ขณะเคลื่อนที่ขึ้น

จากรูปที่ 4.9 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K_p = 14$  แล้ว ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวช้ากว่าการใช้ค่า  $K_p = 12$  และ 17 จากการทดลองหากปรับค่า  $K_p = 12$  จะพบว่ามีการใช้เวลาเท่ากับ  $K_p = 17$  แต่ที่สภาวะอยู่ตัวนั้นค่า  $K_p = 17$  จะมีการแกว่งมากกว่าค่า  $K_p = 12$  ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $K_p = 12$  สำหรับข้อต่อที่สอง ขณะเคลื่อนที่ขึ้น

### 3. ทดลองหาผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่สาม

3.1 ขณะเคลื่อนที่ลง ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่ามุมจาก 36 องศา (ค่าดิจิทัล 410) ถึง 117 องศา (ค่าดิจิทัล 623) ซึ่งสามารถดูลักษณะการตอบสนองของระบบของข้อต่อที่สอง ขณะเคลื่อนที่ลงได้จากรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

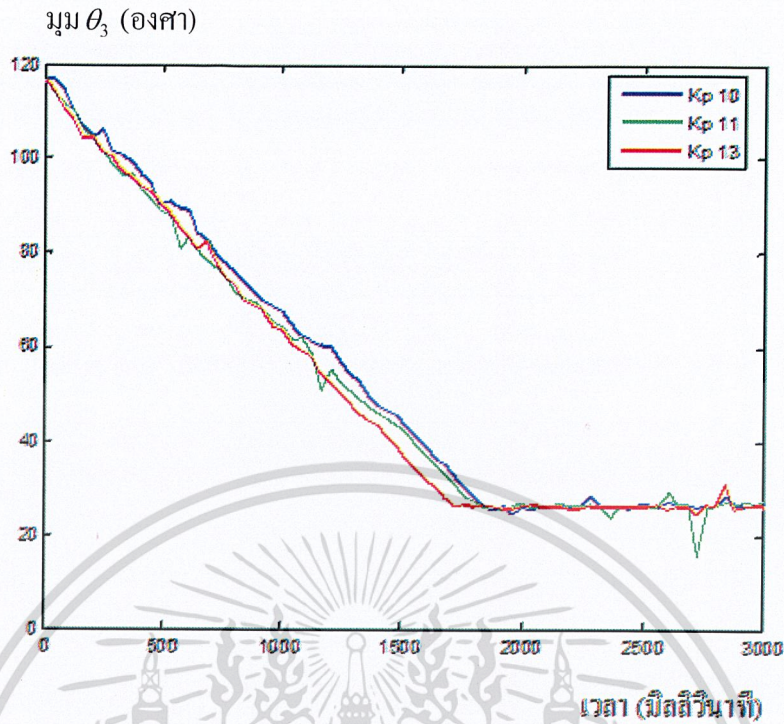


รูปที่ 4.10 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สาม ขณะเคลื่อนที่ลง

จากรูปที่ 4.10 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K_p = 7$  แล้ว ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวช้ากว่าการใช้ค่า  $K_p = 9$  และ 11 จากการทดลองหากปรับค่า  $K_p = 9$  จะพบว่ามีการใช้เวลาเท่ากับ  $K_p = 11$  แต่ที่สภาวะอยู่ตัวนั้นค่า  $K_p = 11$  จะมีการแกว่งมากกว่าค่า  $K_p = 9$  ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $K_p = 9$  สำหรับข้อต่อที่สาม ขณะเคลื่อนที่ลง

3.2 ขณะเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่ามุมจาก 117 องศา (ค่าดิจิทัล 623) ถึง 27 องศา (ค่าดิจิทัล 387) ซึ่งสามารถดูลักษณะการตอบสนองของระบบของข้อต่อที่สาม ขณะเคลื่อนที่ขึ้นได้จากรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



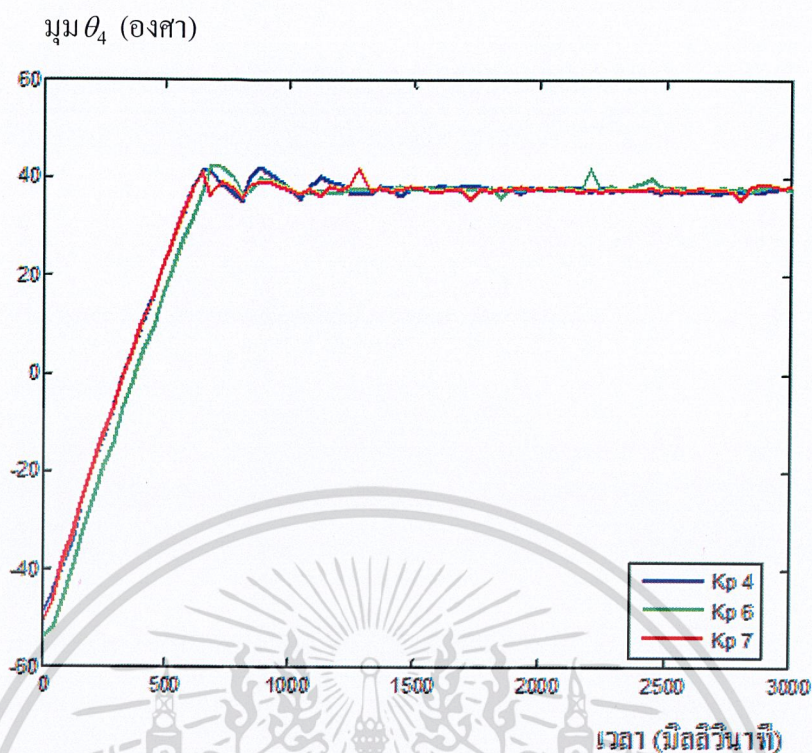
รูปที่ 4.11 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สาม ขณะเคลื่อนที่ขึ้น

จากรูปที่ 4.11 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K_p = 10$  แล้ว ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวช้ากว่าการใช้ค่า  $K_p = 13$  และ 11 จากการทดลองหาค่าปรับค่า  $K_p = 13$  จะพบว่ามีการใช้เวลาเท่ากับ  $K_p = 11$  แต่ที่สภาวะอยู่ตัวนั้นค่า  $K_p = 11$  จะมีการแกว่งมากกว่าค่า  $K_p = 13$  ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $K_p = 13$  สำหรับข้อต่อที่สาม ขณะเคลื่อนที่ลง

#### 4. ทดลองหาผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่สี่

4.1 ขณะเคลื่อนที่ขา ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่ามุมจาก 36 องศา (ค่าดิจิทัล 403) ถึง -54 องศา (ค่าดิจิทัล 672) ซึ่งสามารถดูลักษณะการตอบสนองของระบบของข้อต่อที่สี่ ขณะเคลื่อนที่ลงได้จากรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

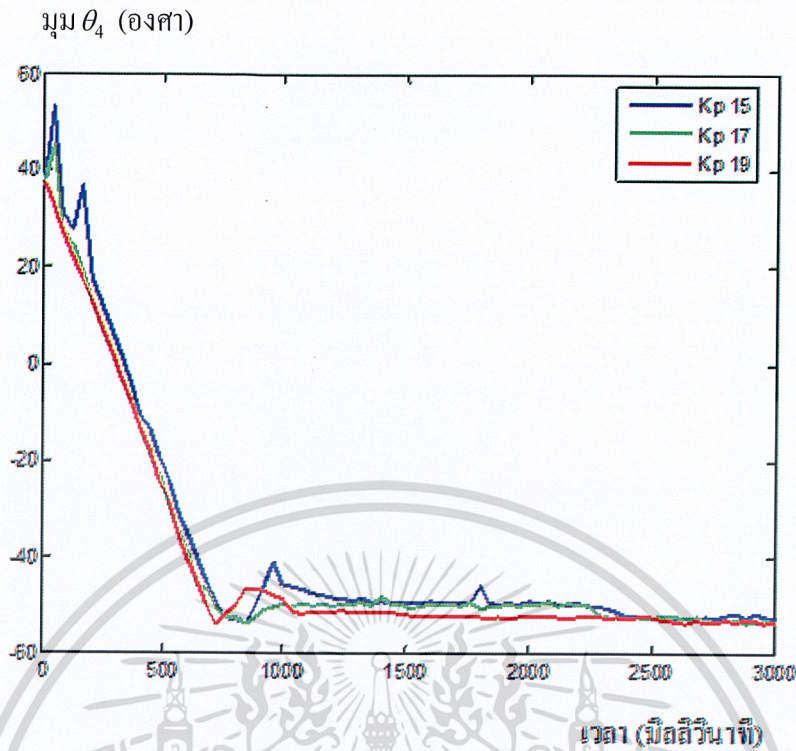


รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สี่ ขณะเคลื่อนที่ลง

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K_p = 7$  แล้ว ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวช้ากว่าการใช้ค่า  $K_p = 4$  และ 6 จากการทดลองหากปรับค่า  $K_p = 4$  จะพบว่ามีการใช้เวลาเท่ากับ  $K_p = 6$  แต่ที่สภาวะอยู่ตัวนั้นค่า  $K_p = 6$  จะมีการแกว่งมากกว่าค่า  $K_p = 4$  ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $K_p = 4$  สำหรับข้อต่อที่สี่ ขณะเคลื่อนที่ลง

4.2 ขณะเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่ามุมจาก -54 องศา (ค่าดิจิทัล 672) ถึง 36 องศา (ค่าดิจิทัล 403) ซึ่งสามารถดูลักษณะการตอบสนองของระบบของข้อต่อที่สี่ ขณะเคลื่อนที่ขึ้นได้จากรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลตอบสนองของข้อต่อที่สี่ ขณะเคลื่อนที่ขึ้น

จากรูปที่ 4.13 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K_p = 15$  แล้ว ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่ภาวะอยู่ตัวช้ากว่าการใช้ค่า  $K_p = 19$  และ 17 จากการทดลองหากปรับค่า  $K_p = 19$  จะพบว่ามีการใช้เวลาเท่ากับ  $K_p = 17$  แต่ที่สถานะอยู่ตัวนั้นค่า  $K_p = 17$  จะมีการแกว่งมากกว่าค่า  $K_p = 19$  ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $K_p = 19$  สำหรับข้อต่อที่สี่ ขณะเคลื่อนที่ขึ้น

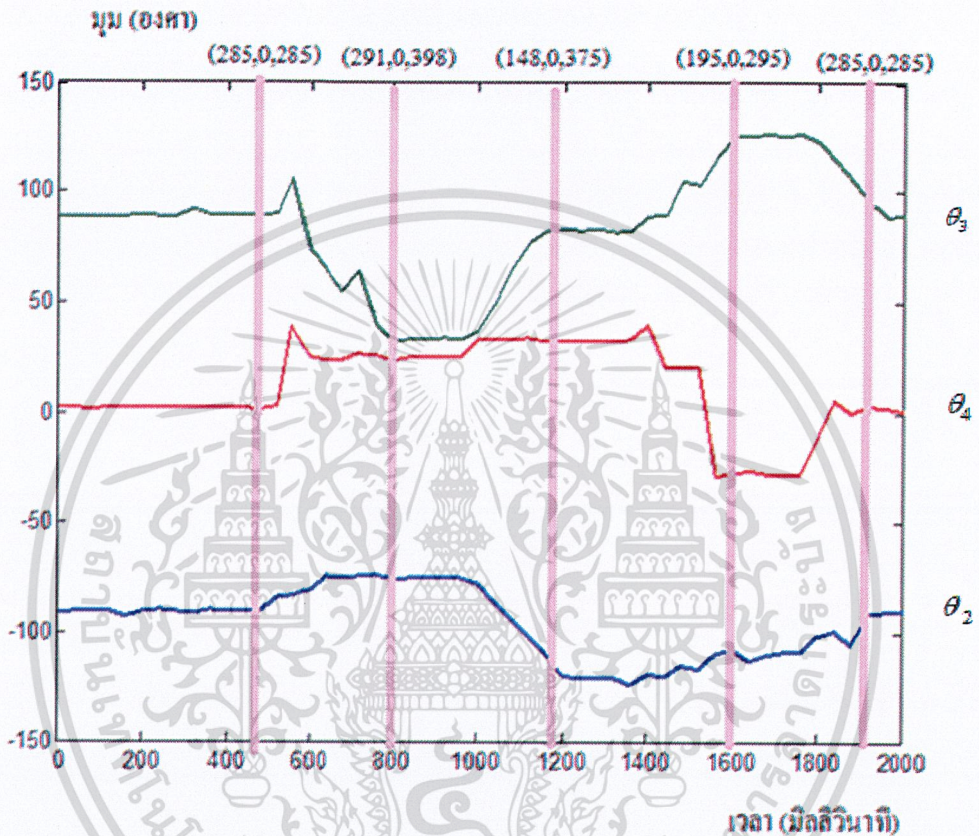
#### 4.5 การทดลองการเคลื่อนที่ของแขนกล

หลังจากจัดเตรียมอุปกรณ์และปรับแต่งตั้งค่าเริ่มต้น และค่าอัตราขยายของตัวควบคุมในแต่ละข้อต่อเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในการทดลองนี้จะทดลองควบคุมแขนกลให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยในการทดลองนี้ แขนกลจะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งปลาย 5 ตำแหน่ง ได้แก่ เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้น (285,0,285) ไปยังตำแหน่ง (291,0,398) ไปยังตำแหน่ง (148,0,375) ไปยังตำแหน่ง (195,0,295) และกลับไปยังตำแหน่ง (285,0,285)

ผลตอบสนองของข้อต่อแต่ละข้อต่อของแขนกลแสดงได้ดังรูปที่ 4.14 เมื่อเส้นกราฟสีน้ำเงินเป็นผลตอบสนองของข้อต่อที่สอง เส้นกราฟสีเขียวเป็นผลตอบสนองของข้อต่อที่สาม และเส้นกราฟสีแดงเป็นผลตอบสนองของข้อต่อที่สี่

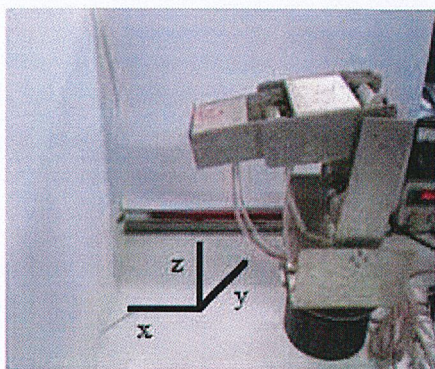
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า ระบบแขนกลที่พัฒนาขึ้นมาสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ตั้งแต่ขั้นตอนการจัดเตรียมและตั้งค่าเริ่มต้นต่างๆ การหาตำแหน่งของวัตถุผ่านการแปลงค่าต่างๆของสมการอินเวิร์สไคเนติกส์ (Inverse kinematics) และส่งสัญญาณควบคุมไปยังแขนกลให้สามารถเคลื่อนไปยังตำแหน่งพื้นผิวที่ได้ตามต้องการได้

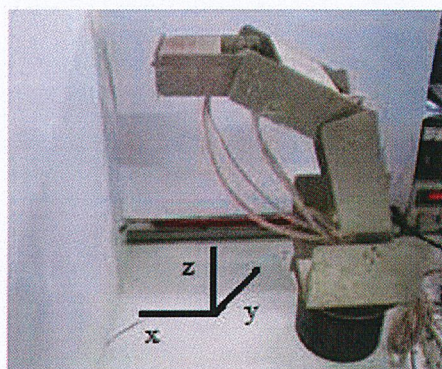


รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองของข้อต่อที่ สอง,สาม และสี่ ของแขนกลในการเคลื่อนที่ห้าตำแหน่ง

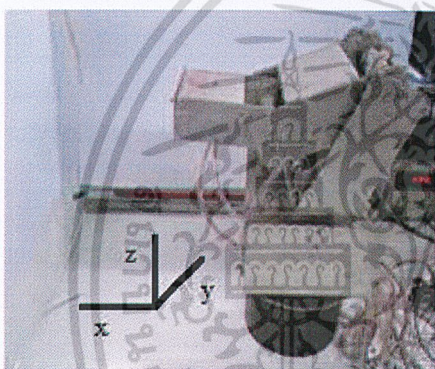
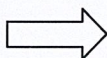
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



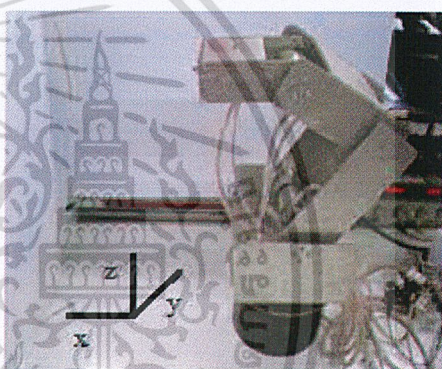
ตำแหน่งพิกัดปลาย (285,0,285)



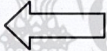
ตำแหน่งพิกัดปลาย (291,0,398)



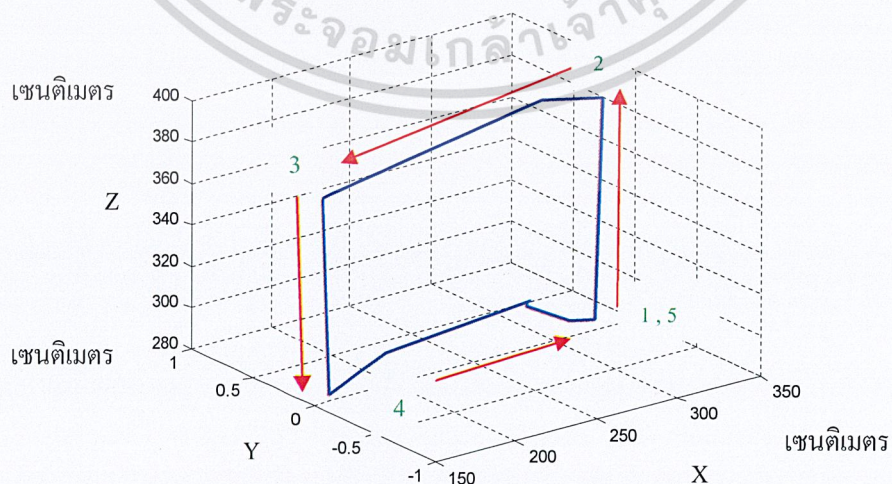
ตำแหน่งพิกัดปลาย (195,0,295)



ตำแหน่งพิกัดปลาย (148,0,375)



รูปที่ 4.15 การเคลื่อนที่ของแขนกลห้าตำแหน่ง

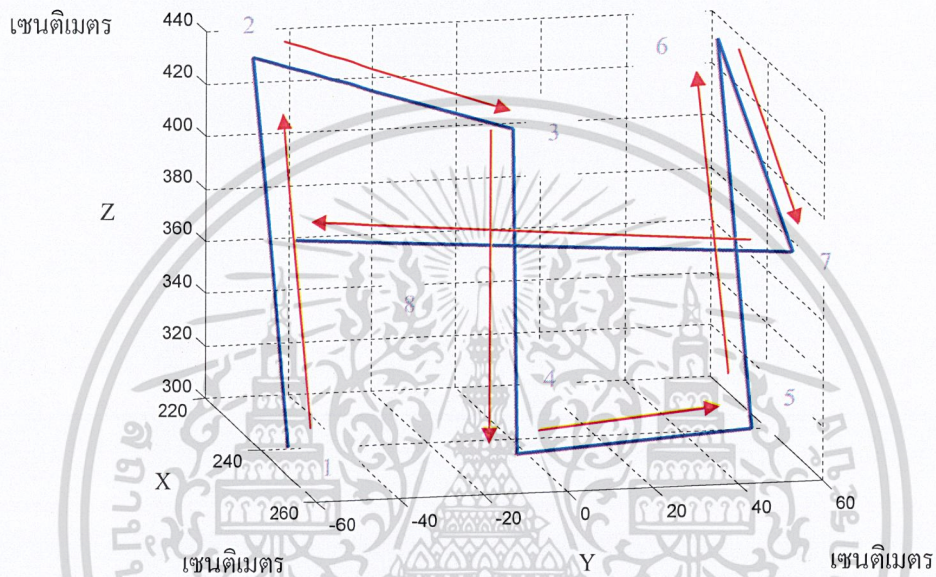


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.16 พิกัดการเคลื่อนที่ของแขนกลห้าตำแหน่ง  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 การทดลองการพ่นสเปรย์

หลังจากทดลองการเคลื่อนที่ของแขนกลห้าตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว ในการทดลองนี้จะทดลองควบคุมให้แขนกลทำงานแบบอัตโนมัติ โดยในการทดลองนี้ แขนกลจะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่และพ่นสเปรย์ลงบนพื้นผิววัตถุที่เป็นผิวโค้งและพื้นผิววัตถุที่เป็นผิวเรียบ

จากการทดลองพ่นสเปรย์ลงบนพื้นผิววัตถุที่เป็นผิวโค้ง โดยการเคลื่อนที่ของตำแหน่งพิกัดปลายของแขนกลดังรูปที่ 4.17 และแสดงพื้นผิวโค้งที่ถูกพ่นสเปรย์จริงดังรูป 4.18

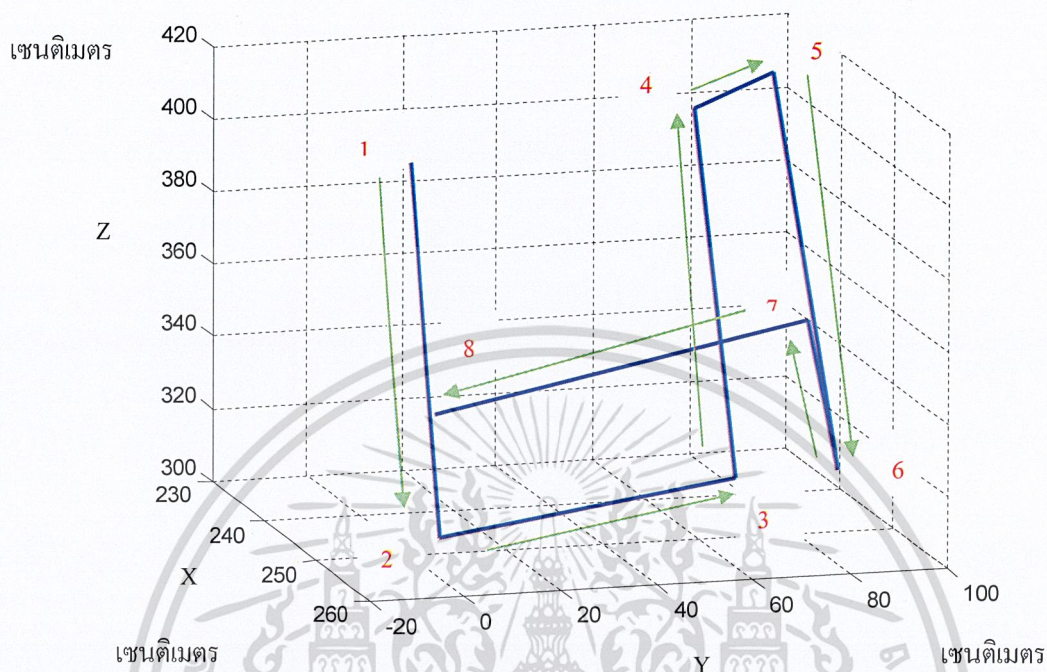


รูปที่ 4.17 การเคลื่อนที่ของแขนกลพ่นสเปรย์บนวัตถุพื้นผิวโค้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.18 ผลของการพ่นสเปรย์เมื่อวัตถุเป็นพื้นผิวโค้ง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพ่นสเปรย์ลงบนพื้นผิววัตถุที่เป็นผิวเรียบ โดยการเคลื่อนที่ของตำแหน่งพิกัด  
ปลายของแกนกดรูปที่ 4.19 และแสดงพื้นผิวเรียบที่ถูกพ่นสเปรย์จริงดังรูป 4.20



รูปที่ 4.19 การเคลื่อนที่ของแกนกดพ่นสเปรย์บนวัตถุพื้นผิวเรียบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.20 ผลของการพ่นสเปรย์เมื่อพื้นผิวเป็นผิวเรียบ ำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. สามารถสื่อสารการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. สามารถนำข้อมูลพิกัดตำแหน่งปลายของแขนกลเปลี่ยนเป็นมุมของแต่ละข้อต่อ โดยอาศัยอินเวอร์สไคเนเมติกส์และเปลี่ยนไปเป็นค่าความต่างศักย์ที่เหมาะสมกับค่ามุมของแต่ละข้อต่อของแขนกล
3. สามารถประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมตำแหน่งของแขนกลให้มีความแม่นยำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยทฤษฎีควบคุมแบบพี และสามารถส่งคำสั่งในการควบคุมแขนกล โดยใช้คำสั่งพัลส์วิดโมดูเลชัน และสามารถรับค่าของโพเทนทิอوميเตอร์ จากทุกข้อต่อของแขนกล
4. แขนกลสามารถทำงานและรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และแขนกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถเคลื่อนที่ไปยังพิกัดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ
5. แขนกลสามารถพันสเปรย์ตามพื้นผิวโค้ง และพื้นผิวเรียบได้อย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว

### 5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา

1. ค่าของโพเทนทิอوميเตอร์ มีค่าไม่แน่นอนเพราะว่าแหล่งจ่ายที่จ่ายให้โพเทนทิอوميเตอร์นั้นมีค่าที่ไม่คงที่ การแก้ไขนั้นได้พยายามใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าให้คงที่
2. แขนกลที่มีน้ำหนักมากหากอยู่ในท่าที่ต้องใช้แรงบิดมากนานๆ อาจทำให้มอเตอร์มีปัญหาส่งผลให้มุมมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ตำแหน่งของแขนกลคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ในการแก้ไขนั้นได้พยายามให้ข้อต่อแต่ละข้อต่อให้อยู่ในทิศทางที่รับแรงบิดไม่มากเกินไป
3. เนื่องจากการพันสเปรย์ต้องใช้สีในการพัน เมื่อทำการพันเสร็จแล้วควรรีบทำความสะอาดหัวสเปรย์เพราะอาจทำให้หัวสเปรย์อุดตันได้ การแก้ไขปัญหาโดย หลังจากพันสีเสร็จให้ทำการพันทินเนอร์ต่อเพื่อไล่สีออกจากหัวสเปรย์ให้หมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. สามารถนำความรู้และประสบการณ์มาประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง
2. ฝึกและเรียนรู้หาความรู้ใหม่ๆมาประยุกต์ใช้ในการทำงาน
3. สามารถทำงานเป็นทีมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
4. ฝึกกระบวนการความคิดในการทำงาน
5. รู้จักอุปกรณ์ต่าง ๆ ในทางอุตสาหกรรมมากขึ้น
6. รู้จักแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 5.4 แนวทางพัฒนา

พัฒนาแขนกลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น สามารถพันสเปรย์บนพื้นผิวของวัตถุที่มีรูปร่าง ขนาด ที่แตกต่างและสีลื่นที่หลากหลาย ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น สามารถใช้งานได้ในระนาบ 3 มิติ นำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีด้านอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงาน ตลอดจนการเพิ่มตัวควบคุมแบบไอ (Integral control) และตัวควบคุมแบบดิ (Derivative control) เพื่อให้ระบบควบคุมมีสมรรถนะที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

## ก.1 คู่มือการใช้งานทรานซิสเตอร์ BC547

## FEATURES

- Low current (max. 100 mA)
- Low voltage (max. 65 V).

## APPLICATIONS

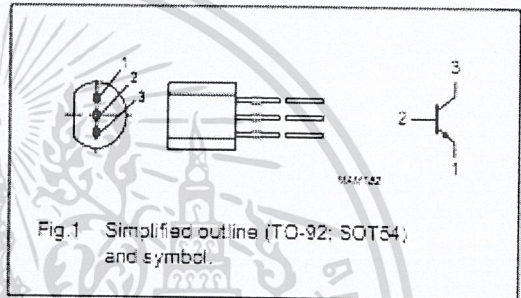
- General purpose switching and amplification.

## DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92; SOT54 plastic package.  
PNP complements; BC558 and BC557.

## PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector



## LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{CB0}$	collector-base voltage	open emitter			
	BC546		-	90	V
	BC547		-	50	V
$V_{CE0}$	collector-emitter voltage	open base			
	BC546		-	65	V
	BC547		-	45	V
$V_{EB0}$	emitter-base voltage	open collector			
	BC546		-	6	V
	BC547		-	6	V
$I_C$	collector current (DC)		-	100	mA
$I_{CM}$	peak collector current		-	200	mA
$I_{BM}$	peak base current		-	200	mA
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$ ; note 1	-	500	mW
$T_{stg}$	storage temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$
$T_J$	junction temperature		-	150	$^\circ\text{C}$
$T_{amb}$	operating ambient temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{\theta JA}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	0.25	K/mW

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

CHARACTERISTICS

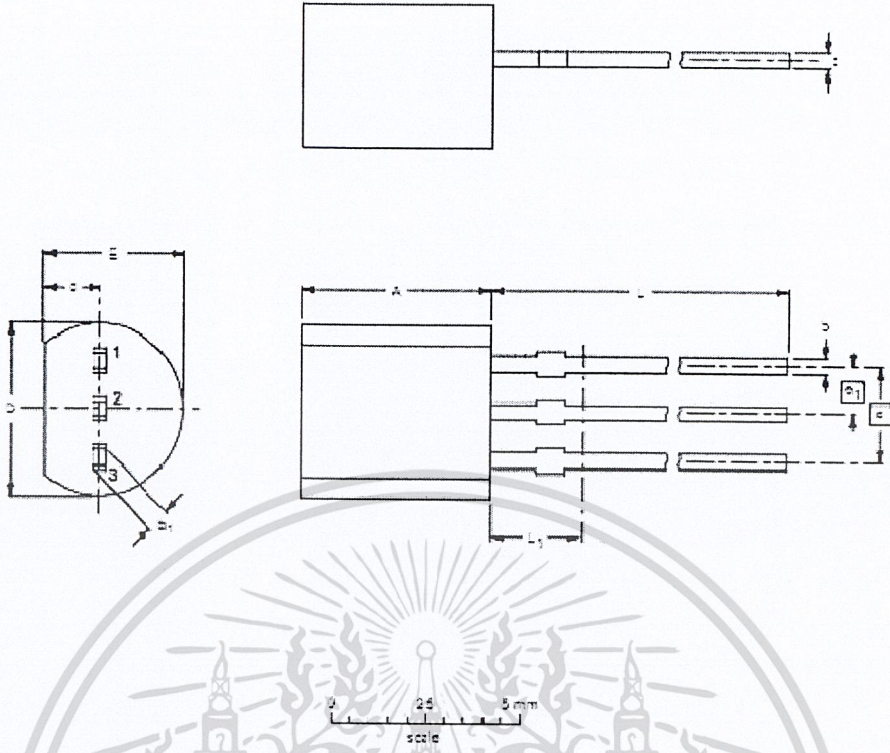
$T_J = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_{CBO}$	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CE} = 30\text{ V}$	–	–	15	nA
		$I_E = 0; V_{CE} = 30\text{ V}; T_J = 150^\circ\text{C}$	–	–	5	$\mu\text{A}$
$I_{EBO}$	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{BE} = 5\text{ V}$	–	–	100	nA
$h_{FE}$	DC current gain BC546A BC546B; BC547B BC547C	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	–	90	–	–
		$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	110	180	220	–
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	200	280	450	–
	DC current gain BC546A BC546B; BC547B BC547C BC547 BC546	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	–	–	–	–
		$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	110	180	220	–
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	200	280	450	–
$V_{CEsat}$	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA}$ $I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA}$	–	90	250	mV
$V_{BEsat}$	base-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA};$ note 1	–	700	–	mV
		$I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA};$ note 1	–	900	–	mV
$V_{BE}$	base-emitter voltage	$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ note 2	580	660	700	mV
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}$	–	–	770	mV
$C_c$	collector capacitance	$I_E = I_B = 0; V_{CE} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	1.5	–	pF
$C_e$	emitter capacitance	$I_C = I_E = 0; V_{BE} = 0.5\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	11	–	pF
$f_T$	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	–	–	MHz
F	noise figure	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V};$ $R_s = 2\text{ k}\Omega; f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$	–	2	10	dB

Notes

1.  $V_{BEsat}$  decreases by about 1.7 mV/K with increasing temperature.
2.  $V_{BE}$  decreases by about 2 mV/K with increasing temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b <sub>1</sub>	c	D	d	E	a	a <sub>1</sub>	L	L <sub>1</sub> /L <sub>11</sub>
mm	5.2	0.48	0.66	0.45	4.8	1.7	4.2	2.54	1.27	14.5	2.6
	5.0	0.40	0.56	0.40	4.4	1.4	3.8			12.7	

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for bow, flex and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT54		TO-92	SC-43		24.02.28

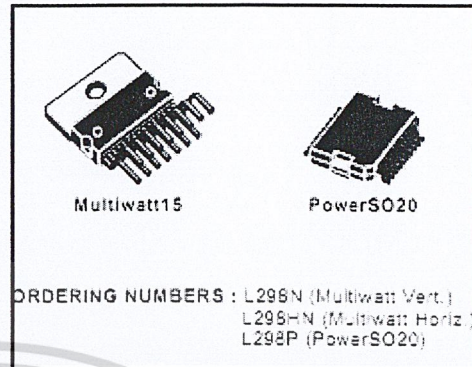
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.2 คู่มือการใช้งานไอซีสำเร็จรูป (L298)

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

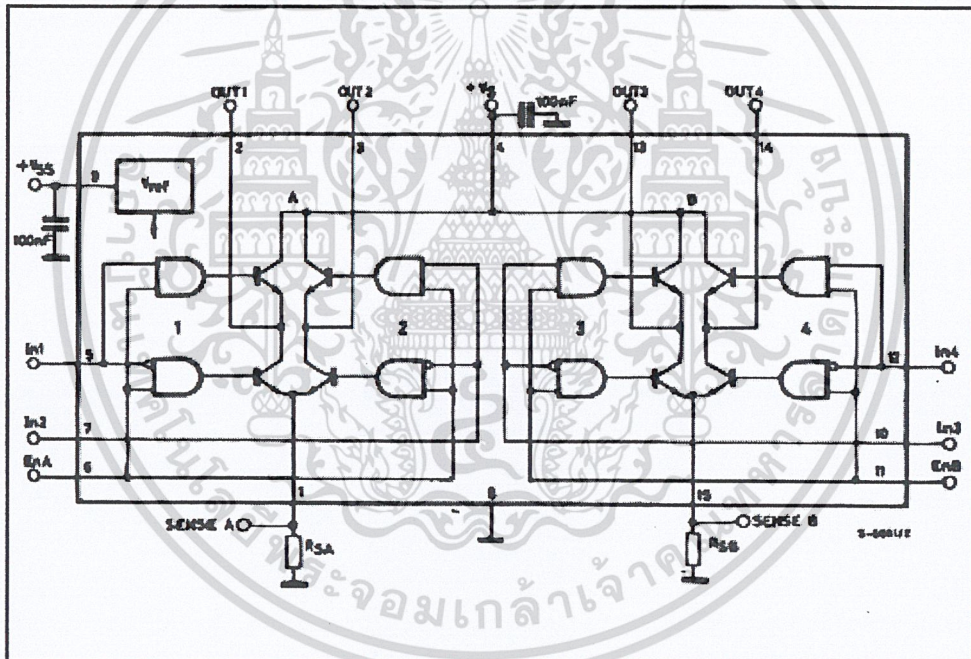
### DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

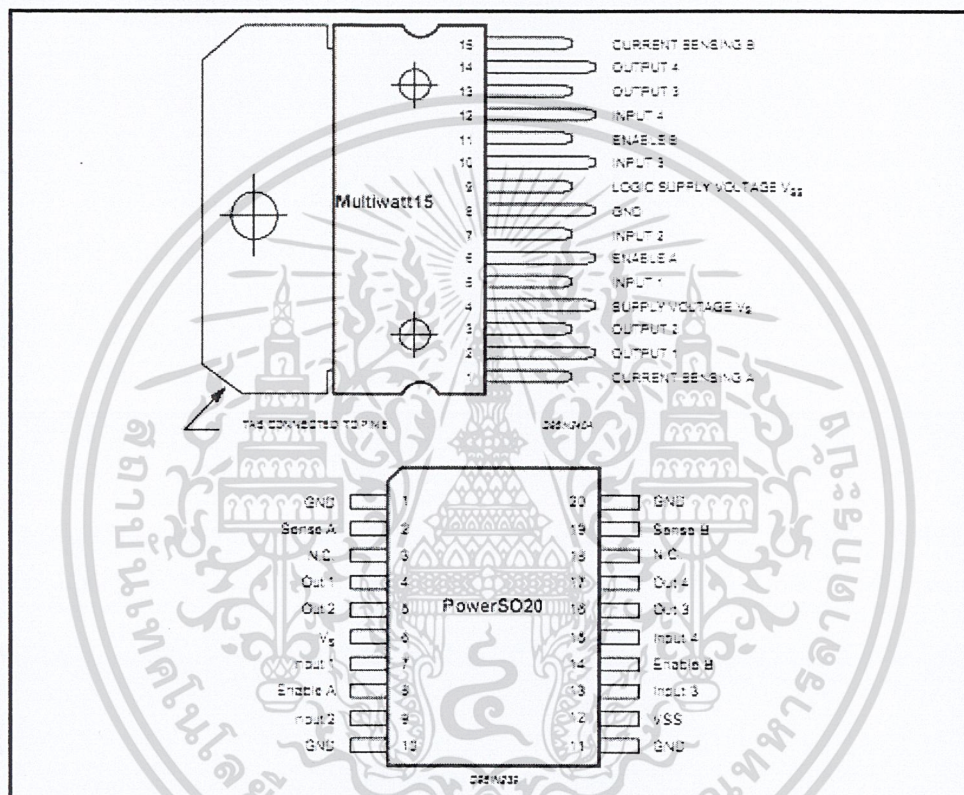
### BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_s$	Power Supply	50	V
$V_{ES}$	Logic Supply Voltage	7	V
$V_i, V_e$	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
$I_o$	Peak Output Current (each Channel) - Non Repetitive ( $t = 100\mu s$ ) - Repetitive (90% on -20% off, $t_{ON} = 10ms$ ) - DC Operation	3 2.5 2	A A A
$V_{SENS}$	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation ( $T_{case} = 75^\circ C$ )	25	W
$T_{j0}$	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
$T_{stg}, T$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

#### PIN CONNECTIONS (top view)



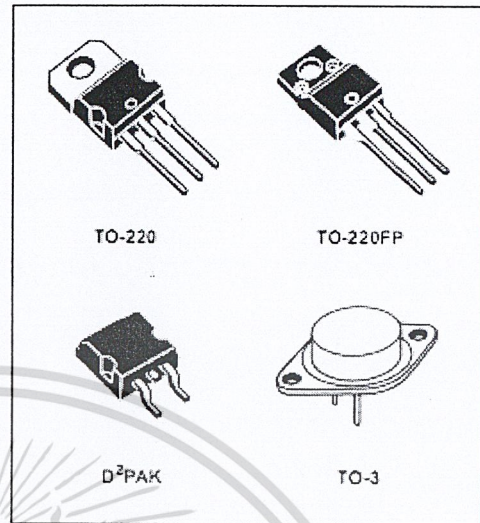
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.3 คู่มือการใช้งานไอซี (IC 7805)

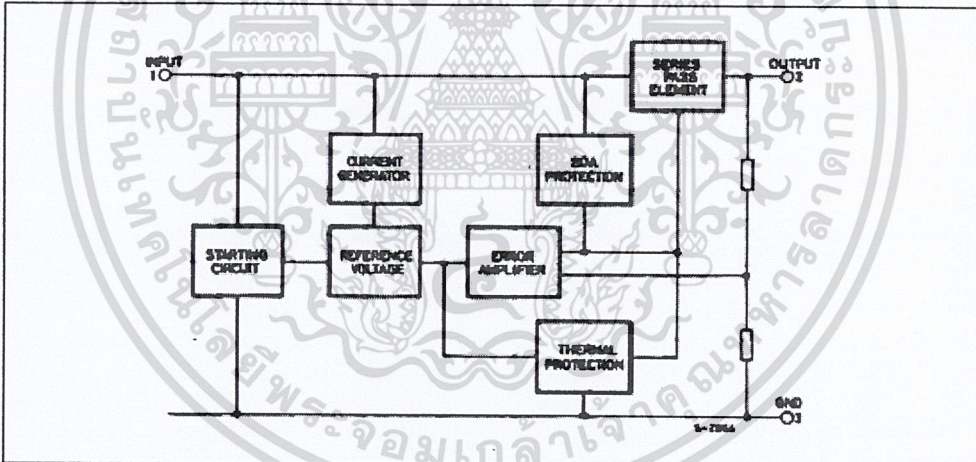
- OUTPUT CURRENT TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

#### DESCRIPTION

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3 and D<sup>2</sup>PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.



#### SCHEMATIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

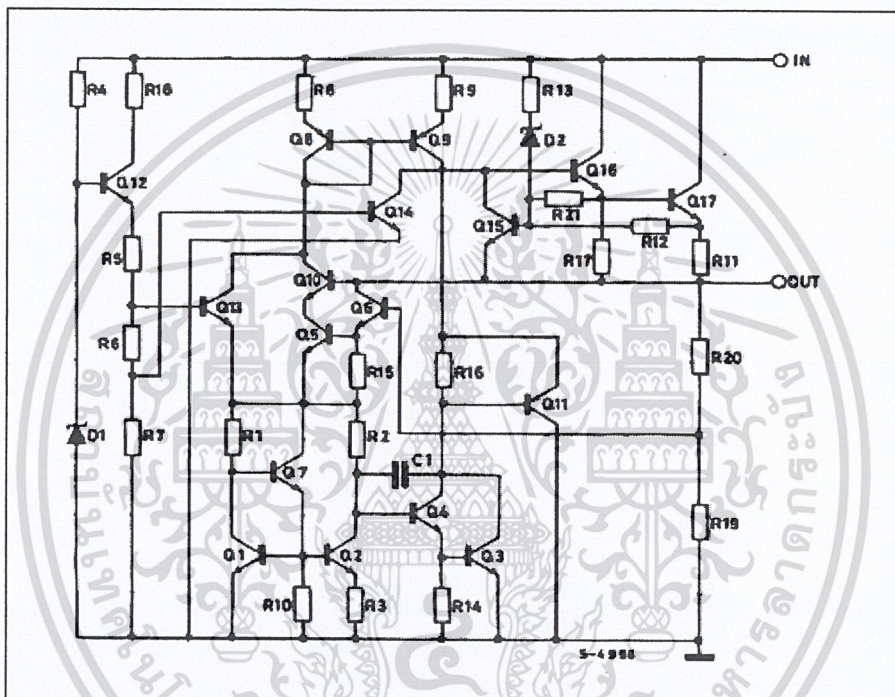
Symbol	Parameter <sup>1</sup>		Value	Unit
V <sub>I</sub>	DC Input Voltage	for V <sub>O</sub> = 5 to 18V	35	V
		for V <sub>O</sub> = 20, 24V	40	
I <sub>O</sub>	Output Current		Internally Limited	
P <sub>tot</sub>	Power Dissipation		Internally Limited	
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature Range		-55 to 150	°C
T <sub>oc</sub>	Operating Junction Temperature Range	for L7800	-55 to 150	°C
		for L7800C	0 to 150	

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these conditions is not implied.

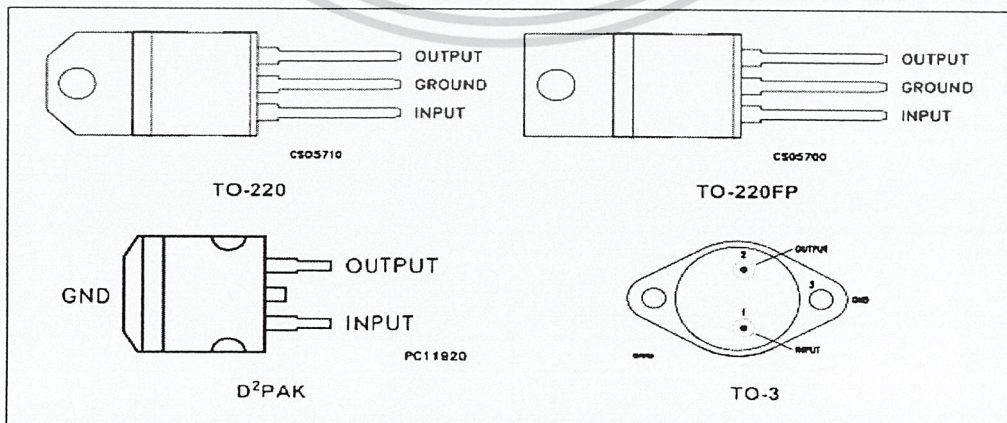
**THERMAL DATA**

Symbol	Parameter	D <sup>2</sup> PAK	TO-220	TO-220FP	TO-3	Unit
R <sub>θ(j-c)</sub>	Thermal Resistance Junction-case Max	3	5	5	4	°C/W
R <sub>θ(j-a)</sub>	Thermal Resistance Junction-ambient Max	62.5	50	60	35	°C/W

**SCHEMATIC DIAGRAM**



**CONNECTION DIAGRAM (top view)**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.4 คู่มือการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011



**MICROCHIP**

**dsPIC30F4011/4012**

### dsPIC30F4011/4012 Enhanced Flash 16-bit Digital Signal Controller

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual* (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual* (DS70030).

#### High Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture with flexible addressing modes
- 44 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 48 Kbytes on-chip Flash program space (16K instruction words)
- 2 Kbytes of on-chip data RAM
- 1 Kbytes of non-volatile data EEPROM
- Up to 30 MIPS operation:
  - DC to 40 MHz external clock input
  - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 30 interrupt sources:
  - 3 external interrupt sources
  - 8 user selectable priority levels for each interrupt source
  - 4 processor trap sources
- 16 x 16-bit working register array

#### DSP Engine Features:

- Dual data fetch
- Accumulator write back for DSP operations
- Modulo and Bit-Reversed Addressing modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/integer multiplier
- All DSP instructions single cycle
- $\pm$  16-bit single cycle shift

#### Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Timer module with programmable prescaler:
  - Five 16-bit timers/counters; optionally pair 16-bit timers into 32-bit timer modules
- 16-bit Capture input functions
- 16-bit Compare/PWM output functions
- 3-wire SPI™ modules (supports 4 Frame modes)
- I<sup>2</sup>C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- 2 UART modules with FIFO Buffers
- 1 CAN module, 2.0B compliant

#### Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels
  - Complementary or Independent Output modes
  - Edge and Center Aligned modes
- 3 duty cycle generators
- Dedicated time base
- Programmable output polarity
- Dead-time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for A/D conversions

#### Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ลบล้างให้วางไปให้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## dsPIC30F4011/4012

### Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (AD) with 4 S/H Inputs:
  - 500 Ksps conversion rate
  - 9 input channels
  - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

### Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
  - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
  - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control

- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
  - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

### CMOS Technology:

- Low power, high speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

### dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family\*

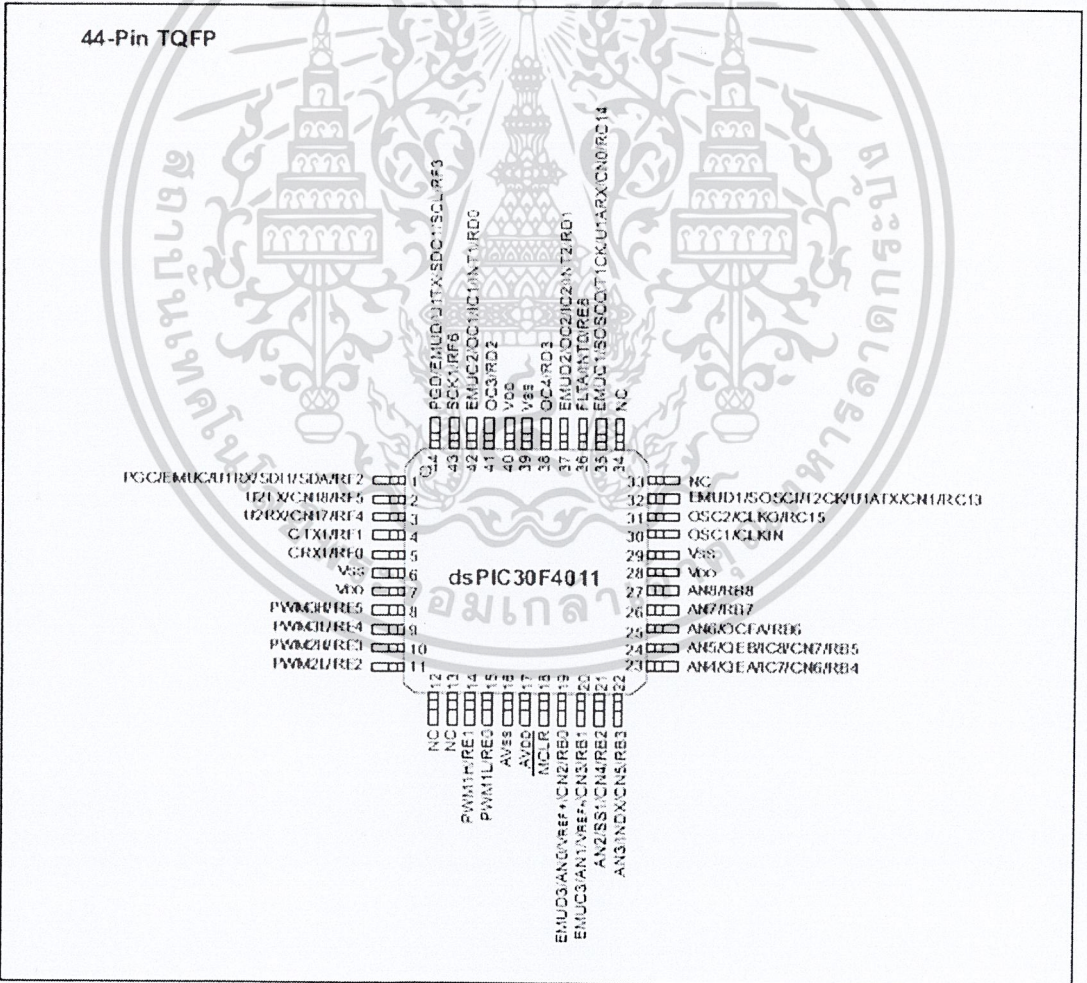
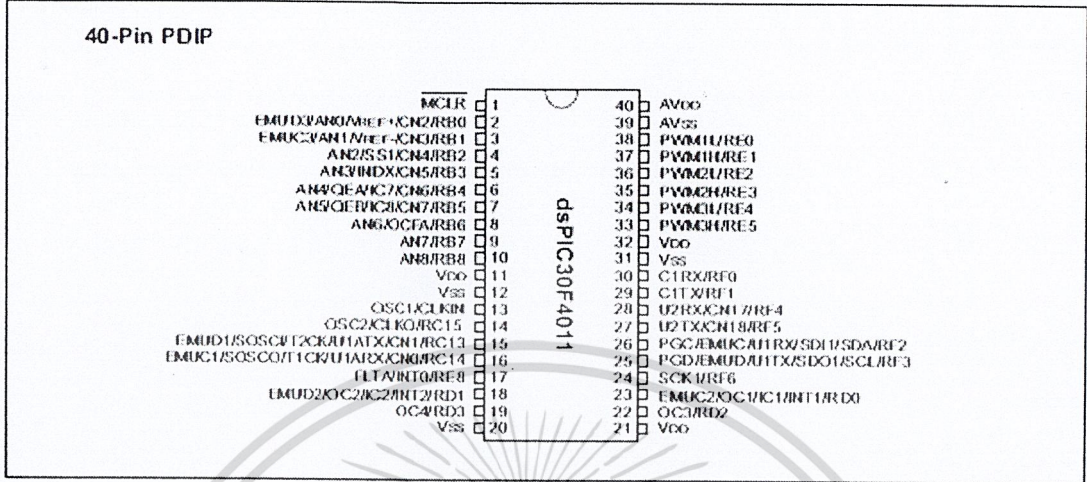
Device	Pins	Program Mem. Bytes/Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Moto Control PWM	A/D 10-bit 500 Ksps	Quad Enc	UART	SPI™	I <sup>2</sup> C™	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F3011	40/44	24K/8K	1024	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	-
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1
dsPIC30F5015	64	66K/22K	2048	1024	5	4	4	8 ch	16 ch	Yes	1	2	1	1
dsPIC30F6010	80	144K/48K	8192	4096	5	8	8	8 ch	16 ch	Yes	2	2	1	2

\* This table provides a summary of the dsPIC30F6010 peripheral features. Other available devices in the dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family are shown for feature comparison.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# dsPIC30F4011/4012

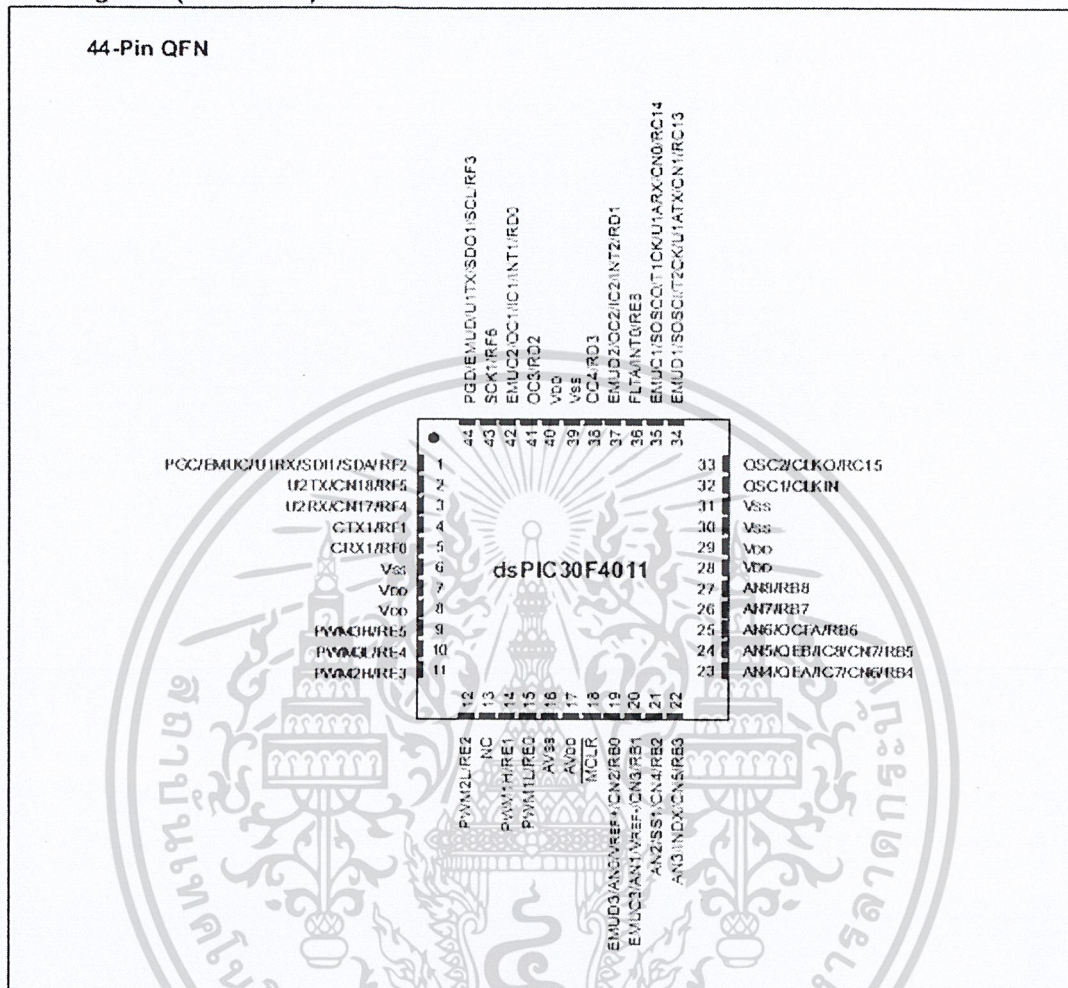
## Pin Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# dsPIC30F4011/4012

## Pin Diagrams (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## dsPIC30F4011/4012

Table 1-1 provides a brief description of the device I/O pinout and the functions that are multiplexed to a port pin. Multiple functions may exist on one port pin. When multiplexing occurs, the peripheral module's functional requirements may force an override of the data direction of the port pin.

TABLE 1-1: dsPIC30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN8	I	Analog	Analog input channels. AN0 and AN1 are also used for device programming data and clock inputs, respectively.
AVDD	P	P	Positive supply for analog module.
AVSS	P	P	Ground reference for analog module.
CLKI CLKO	I O	ST/CMOS —	External clock source input. Always associated with OSC1 pin function. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLK0 in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function.
CN0-CN7 CN17-CN18	I	ST	Input change notification inputs. Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
C1RX C1TX	I O	ST —	CAN1 bus receive pin. CAN1 bus transmit pin.
EMUD EMUC EMUD1 EMUC1 EMUD2 EMUC2 EMUD3 EMUC3	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	ST ST ST ST ST ST ST ST	ICD Primary Communication Channel data input/output pin. ICD Primary Communication Channel clock input/output pin. ICD Secondary Communication Channel data input/output pin. ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin. ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin. ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin.
IC1, IC2, IC7, IC8	I	ST	Capture inputs 1, 2, 7 and 8.
INDX QEA QEB	I I I	ST ST ST	Quadrature Encoder Index Pulse input. Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode. Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode.
INT0 INT1 INT2	I I I	ST ST ST	External interrupt 0. External interrupt 1. External interrupt 2.
FLTA PWM1L PWM1H PWM2L PWM2H PWM3L PWM3H	I O O O O O O	ST — — — — — —	PWM Fault A input. PWM 1 Low output. PWM 1 High output. PWM 2 Low output. PWM 2 High output. PWM 3 Low output. PWM 3 High output.
MCLR	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low Reset to the device.
OCFA OC1-OC4	I O	ST —	Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4). Compare outputs 1 through 4.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output      Analog = Analog input  
ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels      O = Output  
I = Input      P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## dsPIC30F4011/4012

TABLE 1-1: dsPIC30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
OSC1 OSC2	I I/O	ST/CMOS —	Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode, CMOS otherwise. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes.
PGD PGC	I/O I	ST ST	In-Circuit Serial Programming data input/output pin. In-Circuit Serial Programming clock input pin.
RB0-RB4	I/O	ST	PORTB is a bidirectional I/O port.
RC13-RC15	I/O	ST	PORTC is a bidirectional I/O port.
RD0-RD3	I/O	ST	PORTD is a bidirectional I/O port.
RE0-RE5, RE8	I/O	ST	PORTE is a bidirectional I/O port.
RF0-RF6	I/O	ST	PORTF is a bidirectional I/O port.
SCK1	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI™ 1
SDI1	I	ST	SPI 1 Data In.
SDO1	O	—	SPI 1 Data Out.
SS1	I	ST	SPI 1 Slave Synchronization.
SCL	I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I <sup>2</sup> C.
SDA	I/O	ST	Synchronous serial data input/output for I <sup>2</sup> C.
SOSCO	O	—	32 kHz low power oscillator crystal output.
SOSCI	I	ST/CMOS	32 kHz low power oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
T1CK	I	ST	Timer1 external clock input.
T2CK	I	ST	Timer2 external clock input.
U1RX	I	ST	UART1 Receive.
U1TX	O	—	UART1 Transmit.
U1ARX	I	ST	UART1 Alternate Receive.
U1ATX	O	—	UART1 Alternate Transmit.
U2RX	I	ST	UART2 Receive.
U2TX	O	—	UART2 Transmit.
VDD	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
VSS	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VREF+	I	Analog	Analog Voltage Reference (High) input
VREF-	I	Analog	Analog Voltage Reference (Low) input.

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output      Analog = Analog input  
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels      O = Output  
 I = Input      P = Power

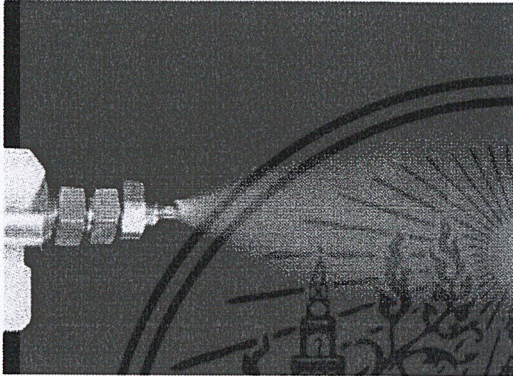
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.5 คู่มือการใช้งานหัวสเปรย์

# Small Capacity Fine Mist Nozzles

## BIM series Fine Mist Nozzles

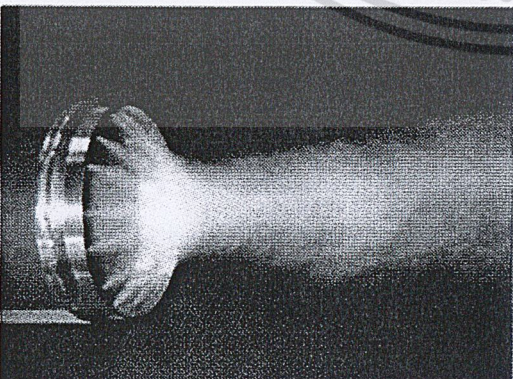
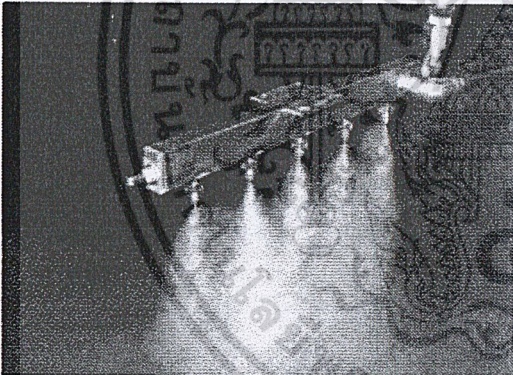
Patent registered



- BIM series fine mist nozzles generate fine mist having mean droplet diameter of 10-50 $\mu$ m measured by Fraunhofer Diffraction Method.
- KEUCHI's unique design minimizes clogging and offers longer life.
- Assembled by fewer components for easy maintenance and lower price.
- Spray pattern available in three types, BIMV nozzles (flat spray type), BIMK nozzles (hollow cone spray) and BIMJ nozzles (full cone spray).
- Available with compact spray header combining conduits for air and liquid.

### Contents

BIMV series Small Capacity Fine Mist Nozzles / Flat Spray —Liquid pressure type—	P.15~16
BIMV-S series Small Capacity Fine Mist Nozzles / Flat Spray —Liquid siphon type—	P.17~18
BIMK series Small Capacity Fine Mist Nozzles / Hollow Cone Spray —Liquid pressure type—	P.19~20
BIMK-S series Small Capacity Fine Mist Nozzles / Hollow Cone Spray —Liquid siphon type—	P.21~22
BIMJ series Small Capacity Fine Mist Nozzles / Full Cone Spray —Liquid pressure type—	P.23~24
Types and Structures of Adaptors for BIM series nozzles	P.25
Dimensions and Pipe connection size	P.27
How to use BIM controlling adaptors	P.28
BIM-PP series Small Capacity Fine Mist Nozzles —Liquid pressure type—	P.29
Integrated Spray Header with BIM Fine Mist Nozzles	P.30
Common applications	P.32
List of spray tips interchangeable	P.33



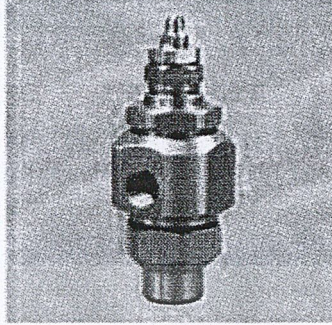
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Small Capacity Fine Mist Nozzles / Flat Spray — Liquid Pressure Type —

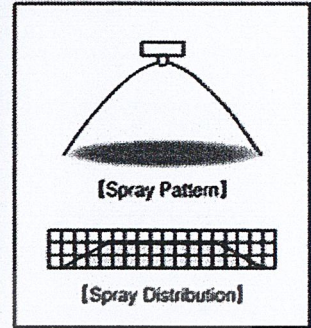
**BIMV**

**Features**

- Pneumatic nozzle producing fine atomization having mean droplet diameter of 50 $\mu$ m or less measured by Fraunhofer Diffraction Method.
- Feature large turn-down ratio under liquid pressure of 0.1~0.3MPa.
- Three spray angles of 110°, 80°, and 45° are available.
- Produce two basically different spray patterns, even flat spray pattern with uniform spray distribution and standard flat spray pattern having gradually tapered edges.



BIMV with SN-type adaptor



**Applications**

- Spraying: Lubricant, deodorant, oil, surface treatment agent, rust preventive, hydromel, insecticide, aqueous urea, etc.
- Cooling: Dies, gas, glass, steel plates, steel pieces, moldings, automobile bodies, plastic products, etc.
- Moisture control: Paper, gas, ceramics, concrete, etc.
- Washing: Printed circuit boards, glass tubes, etc.

**Structure & Materials**

- Comprising 4 parts: Spray tip, core, cap and adaptor. (Details of adaptors are shown in page 25,26.)
- Materials: SUS303 (Optional material: SUS316L)

**Dimensions & Pipe Conn. Sizes**

- Dimensions and pipe connection sizes are shown in page 27.

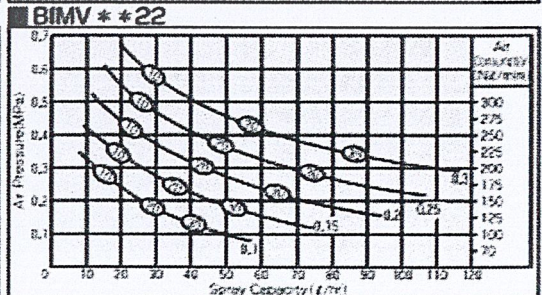
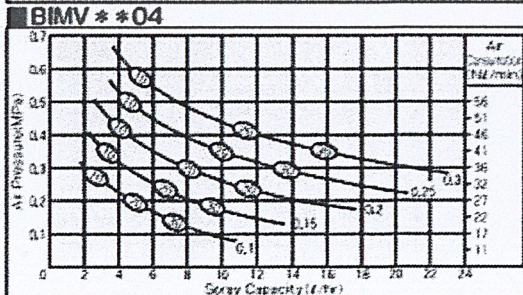
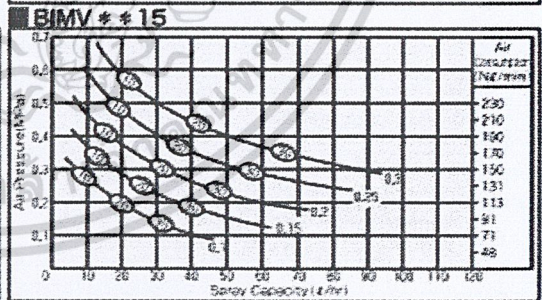
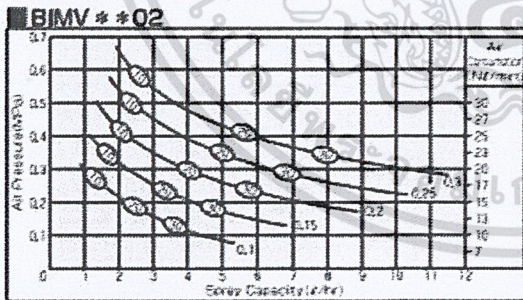
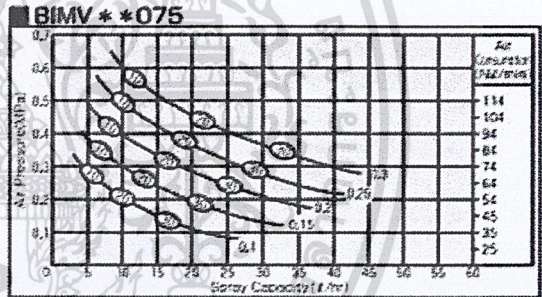
**Accessories**

- Fixing support for easy installation is shown in page 28.

**Flow-rate Diagram**

**How to read chart**

- 1 The spray capacity shown is for one nozzle.
- 2 Bold line (—) represents semi-fine atomization. Regular line (—) represents fine atomization.
- 3 Figure at foot of each curve indicates liquid pressure in MPa.
- 4 Figure in oval indicates Sauter mean droplet diameter ( $\mu$ m) measured by Fraunhofer Diffraction Method.
- 5 \*\* to be replaced by spray angle of 110°, 80° or 45°.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.6 คู่มือการใช้งานโซลินอยด์วาล์ว 3/2

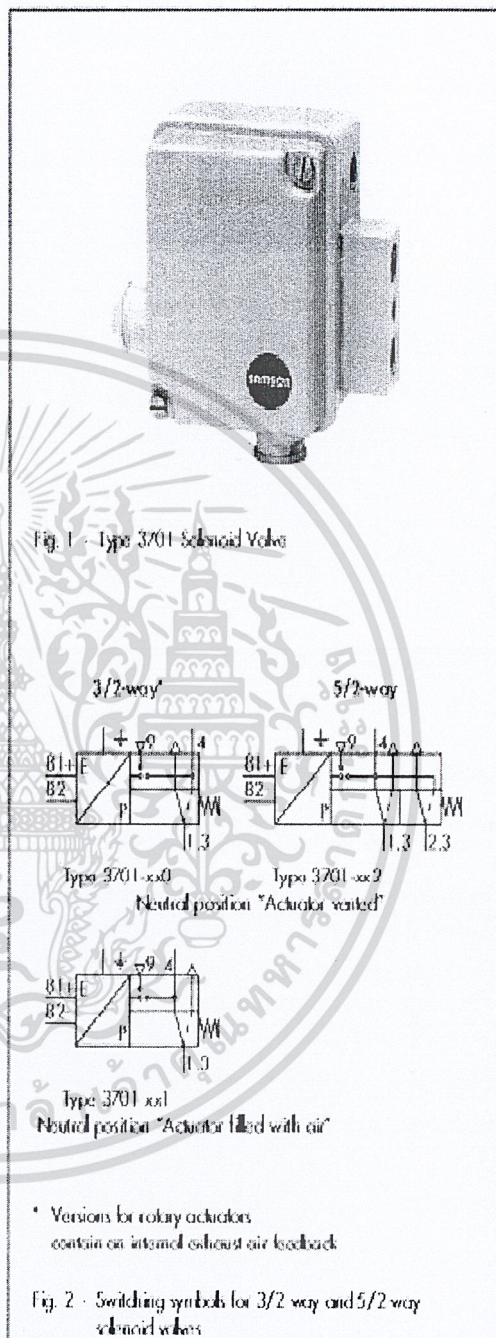
low power binary signals issued by automation equipment or fieldbus systems can be used for controlling purposes. Intrinsically safe versions can also be implemented.

### Features

- High level of operational reliability owing to the flapper/nozzle assembly and booster valve with a diaphragm actuator
- Standard version for nominal signals 6, 12, 24 V DC, 24, 48, 115 or 230 V AC
- Type of protection "Intrinsic safety"  $\text{I} \llcorner 2 \text{ G EEx ia IIC T6}$ , "non-sparking"  $\text{I} \llcorner 3 \text{ G EEx nA IIC T6}$  according to ATEX, CSA and FM, for nominal signals of 6, 12 or 24 V DC
- 6 to 27 mW or 0.04 to 0.46 VA power consumption, depending on nominal signal
- Electrical connection over M20 x 1.5 cable gland or optionally with plug connector
- Corrosion-resistant housing in degree of protection IP 54 or IP 65
- Versions compatible with paint/free of silicone on request
- Air supply 1.4 to 6 bar
- Service life: More than 20 million switching cycles
- Ambient temperature  $-45$  to  $80$  °C, depending on type of protection, temperature class and seals
- Type testing performed by TÜV Rheinland for safety-related applications according to DIN 3393 Part 1, DIN EN 161, DIN 32 725 and optionally according to DIN 32 730
- Suitable for safety shut-off valves up to SIL 4 according to IEC 61508 (optional)
- Cable breakage protection available

### Versions

- 3/2 way or 5/2 way solenoid valve with  $K_s = 0.25$
- Special switching functions on request
- The actuator can be vented or alternatively filled with air in the neutral position of the 3/2 way solenoid valve
- Attachment to linear actuators with NAMUR rib or rod-type yoke as well as to rotary actuators with NAMUR interface
- Interfaces for special attachment available on request

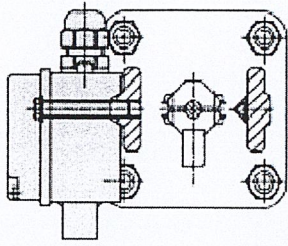


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

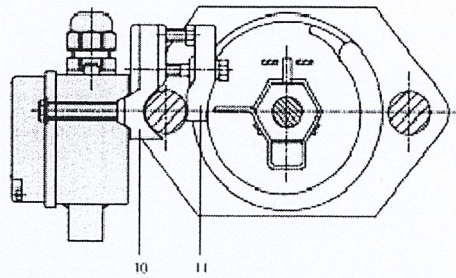
General data									
Construction		Solenoid with kopper/nozzle assembly and diaphragm switching elements							
Degree of protection		IP 54 with filter · IP 65 with filter check valve							
Material	Enclosure	Al Mg, powder coated, grayish beige RAL 1019							
	NAMUR adaptor plate	Al Mg, powder coated, grayish beige RAL 1019							
	Screws	1.4571							
	Springs	1.4310							
	Seals	Silicone rubber, Perbunan							
Diaphragm	Chloroprene rubber 57 G 868 (-20 ... +80 °C) · Silicone rubber (-45 ... +80 °C)								
Ambient temperature		See "Electrical data"							
Mounting position		Any position							
Weight		Approx. 450 g							
Electrical data									
Nominal signal	$U_n$	6 V DC	12 V DC	24 V DC	24 V AC	48 V AC	115 V AC	230 V AC	
	$U_{max}$	27 V	25 V	32 V	36 V	80 V	130 V	255 V	
	$I$	48 ... 62 Hz							
Switching point	On	$U_{on}$	> 4.0 V	> 9.3 V	> 10 V	> 19 ... 36 V	> 42 ... 80 V	> 92 ... 130 V	> 100 ... 255 V
		$I_{on}$	> 1.41 mA	> 1.52 mA	> 1.57 mA	> 1.9 mA	> 1.9 mA	> 2.2 mA	> 2.6 mA
		$P_{on}$	≥ 5.47 mW	≥ 13.05 mW	≥ 26.71 mW	≥ 0.04 VA	≥ 0.07 VA	≥ 0.17 VA	≥ 0.46 VA
	Off	$U$	< 1.0 V	< 2.4 V	< 4.7 V	< 4.5 V	< 9 V	< 1.8 V	< 3.6 V
Input impedance	R	2.6 kΩ	5.5 kΩ	10.7 kΩ	Appr. 10 kΩ	Appr. 24 kΩ	Appr. 40 kΩ	Appr. 80 kΩ	
Temperature effect		0.4 %/°C	0.2 %/°C	0.1 %/°C	0.1 %/°C	0.1 %/°C	0.05 %/°C	0.03 %/°C	
Type of protection <sup>1)</sup>		"Intrinsic safety" $\text{Ex} \text{I} \text{I} 2 \text{G EEx ia IIC T6}$ "Non-sparking" $\text{Ex} \text{II} 3 \text{G EEx nA II T6}$				Without explosion protection			
Output voltage <sup>2)</sup>	$U_e$ [V]	25 · 27	28 · 30	32					
Output current <sup>2)</sup>	$I_e$ [mA]	150 · 125	115 · 100	85					
Power dissipation	$P_e$	250 mW	No limitation						
External inductance <sup>3)</sup>	$L_e$	Negligible							
External capacitance <sup>3)</sup>	$C_e$	Negligible							
Ambient temperature <sup>2)</sup>		20 ... +60 °C (temperature class 16) 20 ... +70 °C (temperature class 15) 20 ... +80 °C (temperature class 14)				45 ... +80 °C			
Connection		See "Article code"							
Pneumatic data									
Type 3701		-xx0 / -xx1					-xx2		
Safety function		10V-0 S11.4.9							
Version		3/2 way function					5/2 way function		
$K_v$ <sup>4)</sup>		0.25					0.25		
Air supply	Medium	Instrument air, free of corrosive particles and nitrogen							
	Pressure	1.4 ... 6 bar							
Operating medium		Instrument air, free of corrosive particles <sup>5)</sup>					Air containing oil, nitrogen, non-corrosive gases <sup>6)</sup>		
Operating pressure		Max. 6 bar							
Output signal		Operating pressure							
Air consumption		≈ 80 l <sub>h</sub> /h at 1.4 bar, supply air in neutral position ≈ 10 l <sub>h</sub> /h at 1.4 bar, supply air in operating position							
Switching time <sup>7)</sup>		≤ 65 ms							
Service life		≥ 2 × 10 <sup>6</sup> switching cycles (at 20 ... +80 °C) ≥ 2 × 10 <sup>6</sup> switching cycles (at 45 ... +80 °C)							
Connection		G 1/2 (G 1/2 NPT)							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

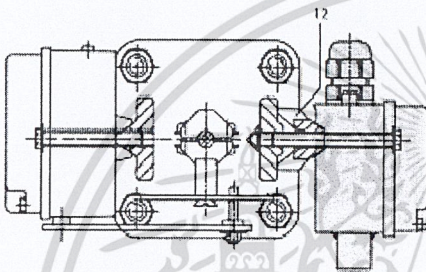
Attachment and dimensions [in mm] of the Type 3701 Solenoid Valve



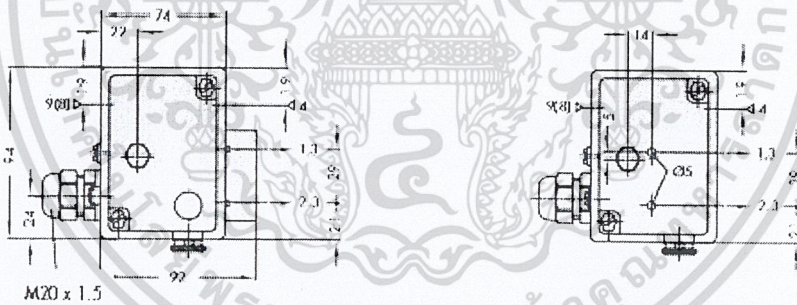
Attachment acc. NAMUR, e.g. to Series 240, 250 valves



Attachment with clamping plate to valves with rod type yoke  
(10, 11 - Support with clamping plate, order no. 1400 5742)

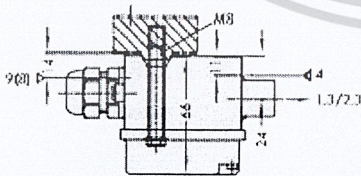


Attachment to valves in DN 15 to 80 with attached positioner (12 - Distance piece, order no. 1400-5905)

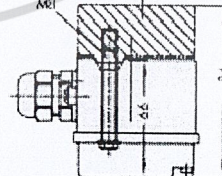


M20 x 1.5

Adapter plate with NAMUR interface 1400 5235



Dimensions for attachment according to NAMUR



Dimensions for attachment to adapter plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

```

#include<p30f4011.h>
#include<pwm.h>
#include<adc10.h>
#include<timer.h>
#include<uart.h>

_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL4) // ประกาศปิด Sw และ Mon เลือกใช้ เฟสลิคัลรูปเท่ากับ 4
_FWDT(WDT_OFF); // ปิด รัวชด็อกไทมเมอร์

#define direc_11 LATDbits.LATD1
#define direc_12 LATDbits.LATD3
#define direc_21 LATFbits.LATF2
#define direc_22 LATFbits.LATF3
#define direc_31 LATFbits.LATF5
#define direc_32 LATFbits.LATF0
#define direc_41 LATDbits.LATD0
#define direc_42 LATDbits.LATD2
#define pwme LATBbits.LATB7
#define spray LATFbits.LATF6
#define UART_TX_PIN_NORMAL 0xF7FF // ประกาศค่าฟังก์ชันกำหนดคบิต ในฟังก์ชัน ยูอาร์ท
unsigned int ADC_Joint[]={0,0,0,0}; // ตัวแปรเก็บค่า เอดีซี แต่ละ ข้อต่อ
unsigned int Set_Joint[]={0,0,0,0}; // ตัวแปรเก็บค่า เอดีซี ที่ต้องการวิ่งไปแต่ละ ข้อต่อ
unsigned int Step_Joint[48]; // ตัวแปรเก็บค่าการทำงานของแต่ละ ข้อต่อในแต่ละขั้นตอนการทำงาน
unsigned int Kp_Up[4]={1,1,1,1}; // ตัวแปรเก็บค่า เคพี ที่ใช้ชดเชยเมื่อแขนเคลื่อนที่ขึ้น
unsigned int Kp_Down[4]={1,1,1,1}; // ตัวแปรเก็บค่า เคพี ที่ใช้ชดเชยเมื่อแขนเคลื่อนที่ลง
signed int initial_error[4]={1023,1023,1023,1023}; // ตัวแปรที่ใช้เก็บค่าความต่าง ของ เอดีซีของข้อต่อ ณ
ขณะนั้น กับ เอดีซีของข้อต่อ ที่ต้องการวิ่งไป

unsigned int Graph1[100]; // ตัวแปรเก็บค่ากราฟ เอดีซี ของแขน ข้อต่อ ที่ 1
unsigned int Graph2[100]; // ตัวแปรเก็บค่ากราฟ เอดีซี ของแขน ข้อต่อ ที่ 2
unsigned int Graph3[100]; // ตัวแปรเก็บค่ากราฟ เอดีซี ของแขน ข้อต่อ ที่ 3
unsigned int Graph4[100]; // ตัวแปรเก็บค่ากราฟ เอดีซี ของแขน ข้อต่อ ที่ 4
unsigned int PERIOD=920; // ค่ากำหนดความถี่ที่ใช้ในฟังก์ชัน เอ็มซีพีดับเบิลยูเอ็ม
unsigned int *adcptr; // ตัวแปรที่อยุ่เคอร์ ที่ใช้ชี้ค่า เอดีซี ของแต่ละข้อต่อ

```

```

char flag0=1; // ตัวแปรหยุดการทำงานของโปรแกรม
char flag1=0; // ตัวแปรเช็คการทำงานของแบบอัตโนมัติ
unsigned int count[4]={0,0,0,0}; // ตัวแปรบอกค่าสถานะของแต่ละแขน
unsigned int countstep=0; // ตัวแปรนับ ขั้นตอน การทำงานของแขนกล
char BufINT[100]; // ตัวแปรเก็บค่าสำหรับ แปลงค่าข้อมูลให้เป็นเป็น ฮา เพื่อ
// ส่งให้ วิชาชีพรพ
char DataRecive[50]; // ตัวแปรรับค่าข้อมูล เพื่อนำมาแปลงค่าต่อไป
unsigned int ADC_Data[100];
unsigned int g=0; // ตัวแปรกำหนดค่าตำแหน่งกราฟ
unsigned int rep=50; // ตัวแปรขยายเวลาการเก็บกราฟ 1ค่า ต่อการ อินเทอร์รัพท์
unsigned int pwmprove[8]={0,0,0,0,0,0,0,0};
unsigned int dtc[3]={1840,1840,1840}; // ตัวแปรเก็บค่า คิวคิวไคที่เกิดขึ้นที่ปรับปรุงขณะใช้การทำงาน
แบบแมนนวล
void Uart1_PrintStr(unsigned char *str_uart) // ฟังก์ชันส่งค่าให้ วิชาชีพรพ ส่งเป็นชุด สตริง
{
    putsUART1((unsigned int *)str_uart);
    while(BusyUART1());
}
void ADC10_Init(void) // ฟังก์ชันกำหนดค่าการทำงาน เอดีซี
{
    unsigned int config1, config2, config3;
    unsigned int configport, configscan;
    unsigned int channel;
    CloseADC10(); // ปิดฟังก์ชัน เอดีซี
    config1 = ADC_MODULE_OFF & // ปิด โมดูล เอดีซี
        ADC_IDLE_CONTINUE & // ทำงานเมื่อใน โหมด ไอเดิล
        ADC_FORMAT_INTG & // เก็บค่า เหตุติ เป็นแบบตัวเลข
        ADC_CLK_AUTO & // แปลงค่า เหตุติ อัต โนมัติ
        ADC_SAMPLE_INDIVIDUAL & // แปลงค่าแบบเรียงลำดับ
        ADC_AUTO_SAMPLING_ON & // เลือกสุ่มค่าอัตโนมัติ
        ADC_SAMP_ON; // เปิดการสุ่มสัญญาณ
    config2 = ADC_VREF_AVDD_AVSS & // แรงดันอ้างอิงด้านบวกจากขา เอวีดีตี และแรงดันอ้างอิง
        ลบจากขา เอวีเอสเอส
        ADC_SCAN_OFF & // ปิดการใช้งานการสแกนขาอินพุต
        ADC_CONVERT_CH_0ABC & // แปลงสัญญาณช่อง 0 เอบีซี
        ADC_SAMPLES_PER_INT_4 & // เมื่อมีการสุ่มแปลงสัญญาณ สี่ครั้ง
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADC_ALT_BUF_OFF & // ใช้บัฟเฟอร์ข้อมูลสิบหกเวิร์ด
ADC_ALT_INPUT_OFF; // เลือกเฉพาะอินพุต มัลติ

config3 = ADC_SAMPLE_TIME_3 & // เวลาสุ่มสัญญาณอัตโนมัติที่เวลา สามคาบเวลา
ADC_CONV_CLK_SYSTEM & // แหล่งสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการแปลง เหนือ ใช้จาก
วงจร อาร์ซีภายใน
ADC_CONV_CLK_3Tcy2; // เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณเท่ากับสามส่วนสองที่ซีวาย

channel = ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN3 & // เหนือต่ออินพุตด้านบวกช่องที่ศูนย์
ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF & // เหนือต่ออินพุตด้านลบช่องที่ศูนย์
ADC_CHX_POS_SAMPLEA_AN0AN1AN2 & // พอร์ตด้านบวกของเหนือช่องที่หนึ่งสองสามต่อกับเอเอ็น
ศูนย์ เอเอ็นหนึ่งและเอเอ็นสองสำหรับสุ่มสัญญาณช่อง เอ
ADC_CHX_NEG_SAMPLEA_NVREF; // เหนือซีแนล เอ บี ซี ต่ออินพุตด้านลบ
configport = 0xFFFF0; // กำหนดพอร์ตที่ใช้ในการแปลง เหนือ
configscan = SCAN_NONE; // ไม่สแกนอินพุต
OpenADC10(config1, config2, config3, configport, configscan); // เปิดค่า เหนือสิบ
SetChanADC10(channel); // เซ็ตแนล เหนือสิบ
}
void delay(unsigned int ms) // ฟังก์ชัน ดีเลย์การทำงาน
{
    unsigned int x,a;
    for(x=0;x<ms;x++)
    {
        for(a=0;a<(728);a++); // ดีเลย์หนึ่งมิลลิวินาที เมื่อ ใช้ความถี่ 7.3728 MHz
    }
}
void pwm_initial(unsigned int a) // ฟังก์ชันกำหนดค่าการทำงาน ให้ ค่าเริ่มต้น เอ็มซีพี
ดับเบิลยูเอ็ม
{
    unsigned int config1,config2,config3; // ประกาศตัวแปรสำหรับ ใช้งานเปิด เอ็มซีพีดับเบิลยูเอ็ม
    unsigned int period;
    period=a;
    ConfigIntMCPWM(PWM_INT_DIS&PWM_FLTA_DIS_INT); // ปิดการใช้งานฟังก์ชันอินเทอร์รัพท์
และปิดการใช้งานอินเทอร์รัพท์FaultA
    SetMCPWMFaultA( // กำหนดการทำงานของ ฟลท์เอ
PWM_OVA1H_INACTIVE& // ขับสัญญาณ โลว์เมื่อเกิด ฟลท์เอทีขา หนึ่งเฮซ

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PWM_OVA2H_INACTIVE& // จับสัญญาณ โลว์เมื่อเกิด ฟลลท์เอทีขา สองเฮซ
PWM_OVA3H_INACTIVE& // จับสัญญาณ โลว์ เมื่อฟลลท์เอทีขา สามเฮซ
PWM_FLTA_MODE_LATCH & // กำหนดให้ ฟลลท์เอ ขอบคุมตามบิต
PWM_FLTA1_DIS & // ปิดการใช้งาน ฟลลท์เอหนึ่ง
PWM_FLTA2_DIS & // ปิดการใช้งาน ฟลลท์เอสอง
PWM_FLTA3_DIS); // ปิดการใช้งาน ฟลลท์เอสาม
config1= PWM_EN & // เปิด โมดูลพีเอ็มดับเบิลยู
PWM_OP_SCALE1 & // กำหนดโพสสเกล หนึ่งต่อหนึ่ง
PWM_IPCLK_SCALE16& // กำหนดพรีสเกลเลอร์ หนึ่งต่อสิบหก
PWM_MOD_FREE; // กำหนดโหมดทำงานแบบทำงานอิสระ
config2= PWM_MOD1_IND & // กำหนด เอาทพุตเป็น เอาทพุต อิสระ ที่ขา พีเอ็มดับเบิลยู
หนึ่ง เฮซและ หนึ่งแอล
PWM_MOD2_IND & // กำหนด เอาทพุต เป็น เอาทพุต อิสระ ที่ขา พีเอ็ม
ดับเบิลยู สองเฮซและ สองแอล
PWM_MOD3_IND & // กำหนด เอาทพุต เป็น เอาทพุตอิสระ ที่พีเอ็มดับเบิลยู
สาม เฮซและ สามแอล
PWM_PEN1L & // เปิดการใช้งาน เอาทพุตหนึ่งแอล เป็น พีดับเบิลยูเอ็ม
PWM_PEN2L & // เปิดการใช้งาน เอาทพุตสองแอล เป็น พีดับเบิลยูเอ็ม
PWM_PEN3L & // เปิดการใช้งาน เอาทพุตสามแอล เป็น พีดับเบิลยูเอ็ม
PWM_PEN1H & // เปิดการใช้งาน เอาทพุตหนึ่งเฮซ เป็น พีดับเบิลยูเอ็ม
PWM_PEN2H & // ปิดการใช้งาน เอาทพุตสองเฮซ เป็น พีดับเบิลยูเอ็ม
PWM_PEN3H; // ปิดการใช้งาน เอาทพุตสามเฮซ เป็น พีดับเบิลยูเอ็ม
config3= PWM_SEVOPS1 & // กำหนดโพสสเกลเลอร์กระตุ้นเหตุการณ์พิเศษ หนึ่งต่อ
หนึ่ง
PWM_OSYNC_PWM & // แปลงค่า รีจิสเตอร์โอวีดีคอน ให้สัมพันธ์กับเวลา พี
ดับเบิลยูเอ็ม
PWM_UEN; // เปิดการใช้งานฟังก์ชันปรับปรุง พีดับเบิลยูเอ็ม
OpenMCPWM(period,0x0,config1,config2,config3); // เปิดการใช้งาน คอนฟิค หนึ่งสองสาม
}
void timer1_init() // ฟังก์ชันกำหนดค่าการทำงาน ให้ ค่าเริ่มต้นตามเมอร์
สำหรับอินเทอร์รัพท์
{
ConfigIntTimer1(T1_INT_ON&T1_INT_PRIOR_1); // เปิดการใช้งานตามเมอร์อินเทอร์รัพท์
กำหนดความสำคัญอันดับ หนึ่ง
WriteTimer1(0); // เขียนข้อมูลไปที่ รีจิสเตอร์ ขนาด สิบหก บิตให้กับ พีเอ็ม

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

IFS0bits.T1IF=0; // เคลียร์ทามเมอร์อินเทอร์รัพท์แฟล็ก
OpenTimer1(T1_ON& // เริ่มต้นการทำงานของทามเมอร์
    T1_GATE_OFF& // ปิดเกตควบคุมการทำงานของทามเมอร์
    T1_IDLE_STOP& // หยุดการทำงานเมื่อเข้าสู่โหมด ไอเดิล
    T1_PS_1_1& // อัตราส่วน พรีสเกลเลอร์ทามเมอร์ เท่ากับหนึ่งต่อหนึ่ง
    T1_SYNC_EXT_OFF& // ปิดการซิงโครไนส์กับสัญญาณภายนอก
    T1_SOURCE_INT,36864); // ใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน และ ให้ นับ ชั่วโมงลิเซ็ค
}

void init_uart() // ฟังก์ชันกำหนดค่าการทำงาน ให้ คำเริ่มต้นยูอาร์ท
{
    CloseUART1(); // ปิดยูอาร์ทก่อนตั้งค่า ใหม่
    ConfigIntUART1(UART_RX_INT_DIS&UART_TX_INT_DIS); // ปิดการทำงานของอินเทอร์รัพท์ของ
    อาร์เอ็ก และ ทีเอ็ก
    OpenUART1(UART_EN & // เปิดโมดูลยูอาร์ท
        UART_IDLE_CON & // หยุดการทำงานเมื่อเข้าสู่โหมด ไอเดิล
        UART_ALTRX_ALTTX & // เลือกขาที่ใช้ติดต่อยูอาร์ทที่ขาเป็นขา อัลติเน็ตยูอ
        UART_DIS_WAKE & // ปิดการทำงานโหมด เวกอัพ
        UART_DIS_LOOPBACK & // ปิดการใช้งานโหมด ลูปแบ็ค
        UART_DIS_ABAUD & // โมดูลอินพุต จับขาดสัญญาณจาก ไอซีเอ็ก
        UART_NO_PAR_8BIT & // กำหนดบิตข้อมูล ยูอาร์ทเท่ากับแปดบิต ไม่มีการเทียบค่า
        UART_1STOPBIT& // บิตหยุดจำนวนหนึ่งบิต
        UART_INT_TX_BUF_EMPTY & // อินเทอร์รัพท์ เมื่อ รีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์ ทีเอ็ก ว่าง
        UART_TX_PIN_NORMAL& // กำหนดขา ยูเอ็กทีเอ็ก ทำงานปกติ
        UART_TX_ENABLE & // เปิดขาส่งข้อมูล
        UART_INT_RX_3_4_FUL & // อินเทอร์รัพท์ ทุกครั้งที่มีข้อมูล อักกระ ครบ สาม ข้อมูล
        UART_ADR_DETECT_DIS & // ปิดการตรวจจับบิตที่ 8
        UART_RX_OVERRUN_CLEAR,47); // เคลียร์บิตโอเวอร์รัน และ กำหนด ค่าการรับส่งข้อมูล =
    960
}

void _ISR_T1Interrupt(void) // ฟังก์ชันทามเมอร์อินเทอร์รัพท์
{
    unsigned int i=0;
    signed int error;
    adcptr = &ADCBUF0; // กำหนดตัวแปรพอยเตอร์ชี้ที่ เอดีซีบัฟเฟอร์
    _ADON=1; // เคลียร์บิตแชนเปลิ่ง
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

_DONE = 0; // เคลียร์บิตคอนเวอร์ต
while (!_DONE); // รอการแปลงค่า เมื่อเสร็จจะออกไปทำคำสั่งถัดไป
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        ADC_Joint[i] = *adcptr++; // อ่านค่าเอาดิวตี้ที่ได้จากการคอนเวอร์ต
        initial_error[i]=Set_Joint[i]-ADC_Joint[i]; // กำหนดให้ค่า ความแตกต่างระหว่างเอาดิวตี้ที่ต้องการกับค่า
        // ที่อยู่ขณะนั้น = ตัวแปร initial error
        if(initial_error[i]<0) // หากค่าอินทิเกรตเอเรอร์น้อยกว่าศูนย์
        {
            error=initial_error[i]*Kp_Down[i]; // นำ ค่าเอเรอร์เริ่มต้น ที่ได้คูณค่า เคพีดาวน์ แล้วเก็บไว้ที่ค่าเอ
            เรอร์
            switch(i) // เลือกการทำงานของแขน
            {
                case 0: // ข้อต่อที่ 4
                    direc_41=0;
                    direc_42=1;
                    break;
                case 1: // ข้อต่อที่ 1
                    direc_11=0;
                    direc_12=1;
                    break;
                case 2: // ข้อต่อที่ 2
                    direc_21=1;
                    direc_22=0;
                    break;
                case 3: // ข้อต่อที่ 3
                    direc_31=1;
                    direc_32=0;
                    break;
            }
        }
        else if(initial_error[i]>0)
        {
            error=initial_error[i]*Kp_Up[i]; // นำ ค่าเอเรอร์เริ่มต้น ที่ได้คูณค่า เคพีอัพ แล้วเก็บไว้ที่ค่าเอ
            เรอร์

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 switch(i) // เลือกการทำงานของแขน  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    case 0:                // ข้อต่อที่ 4
        direc_41=1;
        direc_42=0;
        break;
    case 1:                // ข้อต่อที่ 1
        direc_11=1;
        direc_12=0;
        break;
    case 2:                // ข้อต่อที่ 2
        direc_21=0;
        direc_22=1;
        break;
    case 3:                // ข้อต่อที่ 3
        direc_31=0;
        direc_32=1;
        break;
}
else if(error<0)
{
    error*=-1;           // ทำเอเรอร์ให้เป็นค่าบวก
}
else if(error>1024)    // ทำเอเรอร์ให้ไม่เกิน 1024
{
    error=1024;
}

    if(i==0)
    {
        generate_pwm3(i+1,error);    // ปรับปรุงค่าข้อต่อที่สี่
    }
    else if(i==1)
    {
        pwme=1;                    // ไม่ปรับปรุงค่า
    }
}
else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    generate_pwm(i,error);           // ปรับปรุงค่าข้อต่อที่สองและสาม
}
}

for(i=0;i<4;i++)                   // ดูป้ะค่าการทำงานของแต่ละข้อต่อว่าเข้าใกล้ค่าที่
ต้องการครบหรือไม่
{
    if(2>initial_error[i] && initial_error[i]>0)
    {
        count[i]=1;
    }
    else if(-2<initial_error[i] && initial_error[i]<0)
    {
        count[i]=1;
    }
    if(count[0]==1 && count[1]==1 && count[2]==1 && count[3]==1)
    {
        flag1=1;                   // หากครบให้ส่งค่าไปเปิดอุปกรณ์ทำงาน อัตโนมติ
    }
}

if(rep==50)                        // หากตัวแปรขยายเวลาการเก็บค่ากราฟเท่ากับห้าสิบ ให้
เก็บค่าหนึ่งค่า
{
    if(g<80)
    {
        rep=0;                     // เคลียตัวแปร ขยายเวลาการเก็บค่ากราฟ
        Graph4[g]=ADC_Joint[0];    // เก็บค่ากราฟสี่
        Graph1[g]=ADC_Joint[1];    // เก็บค่ากราฟหนึ่ง
        Graph2[g]=ADC_Joint[2];    // เก็บค่ากราฟสอง
        Graph3[g]=ADC_Joint[3];    // เก็บค่ากราฟสาม
        g++;                        // เลื่อนตำแหน่ง ในตัวแปรกราฟ ไปหนึ่ง
    }
}
else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        rep++; // หากตัวแปรขยายเวลานับค่าไม่เท่ากับ 50 ให้บวกตัวแปร
ขยายเวลานับค่า
    }

    IFS0bits.T1IF=0; // เคลียร์ อินเทอร์รัพท์ทามเมอร์เฟลค
}

void generate_pwm2(unsigned int dtc1,unsigned int dtc2,unsigned int dtc3) // แก้วไข พัดดับเบิลยูเอ็ม ทำงานแบบ
แมนนวล
{
    unsigned int dutycycle1,dutycycle2,dutycycle3,updatedisable;
    dutycycle1=dtc1; // กำหนดค่า duty cycle ที่ 1 จากตัวแปรภายนอกฟังก์ชัน
    dutycycle2=dtc2; // กำหนดค่า duty cycle ที่ 2 จากตัวแปรภายนอกฟังก์ชัน
    dutycycle3=dtc3; // กำหนดค่า duty cycle ที่ 3 จากตัวแปรภายนอกฟังก์ชัน
    updatedisable = 0; // ไม่มีการส่งค่ากลับ
    SetDCMCPWM(1,dutycycle1,updatedisable); // กำหนดการเปิดขาแฉกหนึ่ง เอ็มซีพีดับเบิลยูเอ็ม โดยรับ
ตัวแปรพีชานเนลจากภายนอก
    SetDCMCPWM(2,dutycycle2,updatedisable); // กำหนดการเปิดขาแฉกหนึ่ง เอ็มซีพีดับเบิลยูเอ็ม โดยรับ
ตัวแปรพีชานเนล จากภายนอก
    SetDCMCPWM(3,dutycycle3,updatedisable); // กำหนดการเปิดขาแฉกหนึ่ง เอ็มซีพีดับเบิลยูเอ็ม โดยรับ
ตัวแปรพีชานเนลจากภายนอก
}

void generate_pwm(char chanel,unsigned int pow) // ฟังก์ชัน นำค่า ชดเชย เคพี มากำหนด ของการทำงาน
{
    unsigned int dutycycle;
    float temp;
    temp=(pow/1024.0f)*0xE66;
    dutycycle=temp;
    SetDCMCPWM(chanel,dutycycle,0); // เปิดค่า พัดดับเบิลยูเอ็ม พร้อมกับค่าที่ชดเชยจากข้อต่อที่
สองและสาม
}

void generate_pwm3(char chanel,unsigned int pow) // ฟังก์ชัน นำค่า ชดเชย เคพี มากำหนดค่า duty cycle ของการ
ทำงาน
{
    unsigned int dutycycle;
    float temp;
    temp=(pow/1024.0f)*0x7D0;

```

```

    dutycycle=temp;
    SetDCMCPWM(chanel,dutycycle,0); // เปิดค่า พีดับเบิลยูเอ็ม พร้อมกับค่าที่ชดเชยจากข้อต่อที่สี่
}
int main()
{
    init_uart(); // เรียกใช้ฟังก์ชันยูอาร์ท
    ADC10_Init(); // เรียกใช้ฟังก์ชันเอทูดิ
    pwm_initial(PERIOD); // เรียกใช้ฟังก์ชัน พีดับเบิลยูเอ็ม และ กำหนด ช่วง ของ พี
    คับเบิลยูเอ็ม
    timer1_init(); // เรียกใช้ฟังก์ชัน ทามเมอร์
    unsigned int i=0;
    unsigned int j=0;
    unsigned int k=0;
    unsigned int ii=0;
    unsigned int ij=0;
    unsigned int ik=0;
    unsigned int iii=0;
    unsigned int iij=0;
    unsigned int Buf_Set_Joint[4]={0,0,0,0};
    unsigned int Buf_Step_Joint[48];
    unsigned int spray_OF[12];
    unsigned int Buf_Duty[4]={0,0,0,0};
    unsigned int Step_Recive=0;
    unsigned int stepauto=0;
    char temp;
    char Temp_Numbers[204]; // สร้าง ตัวแปรรับค่า ชุดตัวเลข จากยูอาร์ท
    TRISB=0xF; // กำหนดอินพุต พอร์ต บี
    TRISD=0x0; // กำหนด อินพุต พอร์ต ดี
    TRISF=0x00; // กำหนดอินพุต พอร์ต เอฟ
    pwme=1; // กำหนด เอาต์พุต พอร์ต บีเจ็ด
    DisableIntT1; // ปิด ทามเมอร์อินเทอร์รัพท์
while(1)
{
    if(flag0==1) // เช็คเฟล็กศูนย์เท่ากับศูนย์ให้โปรแกรมหยุดการทำงาน
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    EnableIntT1; // เปิดทามเมอร์อินเทอร์รัพท์
    sprintf(BufINT,"Step%u\n",countstep); // ส่งค่าแสดงสถานะการทำงานให้วีช่วล์ซีชาร์ป
    Uart1_PrintStr(BufINT);
    delay(2000); // คีเลย์สองวินาที เพื่อปรับสถานะของแขนให้นิ่ง
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        count[i]=0; // เคลียร์ค่าการทำงานของ ตัวแปรบ่งบอกสถานะของแต่ละแขน
    }
    /*
    if(countstep==4) // หากนับสตีปการทำงานได้เท่ากับสี่ให้หยุดการทำงานใช้
สำหรับเก็บค่าสีกราฟ
    {
        g=0;
        DisableIntT1;
    }
    */
    if(stepauto==1) // ถ้าเลือกการทำงานแบบ อัตโนมัต วิ่งไปหลายจุด (หลายสตีป)
    {
        for(i=0;i<4;i++)
        {
            Set_Joint[i]=Step_Joint[k]; // กำหนดค่าข้อต่อที่ต้องการ
            k++;
        }
        if(spray_OF[iii]==1) // เช็คค่าว่าจุดที่จะวิ่งไปมีการ พ่นสเปรย์หรือไม่
        {
            spray=1;
        }
        else
        {
            spray=0;
        }
        iii++;
        countstep++; // เลื่อนค่าไปที่ step ถัดไป
        if(countstep>=Step_Recive) // ถ้าเกิดว่านับสตีปการทำงาน

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        k=0; // เคลียร์ค่าตำแหน่งในกราฟ
        countstep=1; // เคลียร์ค่าเริ่มนับสแต็ปใหม่ (วนทำซ้ำ)
        stepauto=0; // ปิดการเลือกการทำงานแบบอัตโนมัติ วิ่งไปหลายจุด
    }
}
flag1=0; // ออกจากลูปเช็คการทำงานอัตโนมัติ
}

```

(หลาย สแต็ป)

```

while(DataRdyUART1()) // วนลูปรอนจนกว่าจะมีค่ามาที่ยูอาร์ท
{
    temp=ReadUART1(); // กำหนดตัวแปร เทมปี เท่ากับ ค่าที่อ่านได้จากยูอาร์ท
    if(temp=='q') // หากค่า เทมปี เท่ากับ คิว
    {
        adcptr = &ADCBUF0; // กำหนดตัวแปร adcptr เป็นพอยเตอร์ชี้ที่ ADCBUF0
        _ADON=1; // เคลียร์บิตแชนเปลิ่ง
        _DONE = 0; // เคลียร์บิตคอนเวอร์ท
        while (!_DONE); // รอการคอนเวอร์ทเสร็จ
        for(i=0;i<4;i++)
        {
            ADC_Joint[i] = *adcptr++; // วนอ่านค่าเอาตุติ
        }
        for(i=1;i<5;i++) // วนส่งค่าที่อ่านได้จากเอาตุติ
        {
            if(i<=3) // ส่งค่าเอาตุติที่อ่านได้จาก ข้อต่อที่หนึ่งถึงสาม
            {
                sprintf(BufINT,"Motor%u=%u\n",i,ADC_Joint[i]);
                Uart1_PrintStr(BufINT);
            }
        }
        else // ส่งค่าเอาตุติที่อ่านได้จากข้อต่อที่สี่
        {
            sprintf(BufINT,"Motor4=%u\n",ADC_Joint[0]);
            Uart1_PrintStr(BufINT);
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if(temp=='w') // หากค่า เหมปี เท่ากับ คับเบิ้ลยู
{
    k=0; // ทำงานแบบอัตโนมัติสตีปเดียว
    g=0; // เคลียร์ค่าตัวแปรเคในกราฟ
    countstep=0; // เคลียร์ค่าตัวแปรนับสตีปขณะทำงาน
    stepauto=0; // ปิดการทำงานอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง
    EnableIntT1; // เปิดอินเทอร์รัพท์ทามเมอร์
    Uart1_PrintStr("Starting Automatic 1 Step\n");
}

else if(temp=='e') // หากค่า เหมปี เท่ากับ อี
{
    for(i=0;i<80;i++) // ให้ส่งค่ากราฟทั้งสี่ ข้อต่อไปยังวีซีวีซีชาร์ป
    {
        sprintf(BufINT,"%u",Graph1[i]);
        Uart1_PrintStr(BufINT); // ส่งค่ากราฟหนึ่งไป แปลตลิบค่า
    }
    Uart1_PrintStr("a");
    for(i=0;i<80;i++)
    {
        sprintf(BufINT,"%u",Graph2[i]);
        Uart1_PrintStr(BufINT); // ส่งค่ากราฟสองไป แปลตลิบค่า
    }
    Uart1_PrintStr("a");
    for(i=0;i<80;i++)
    {
        sprintf(BufINT,"%u",Graph3[i]); // ส่งค่ากราฟสามไป แปลตลิบค่า
        Uart1_PrintStr(BufINT);
    }
    Uart1_PrintStr("a");
    for(i=0;i<80;i++)
    {
        if(i<79)
        {
            sprintf(BufINT,"%u",Graph4[i]); // ส่งค่ากราฟสี่ไป เจ็ดลิบแก้ค่า
            Uart1_PrintStr(BufINT);
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if(i=79)
{
    sprintf(BufINT,"%u#",Graph4[79]); // ส่งค่ากราฟที่สี่โดยส่งค่าตัวสุดท้ายและปิดด้วย
    Uart1_PrintStr(BufINT);
}
}
}

```

ชาร์พ

```

else if(temp=='u') // หากค่าเทมปีเท่ากับยู
{
    for(i=2;i<5;i++) // แสดงค่าเคฟี่ที่ใช้ในการยกแขนขึ้น
    {
        if(i<=3)
        {
            sprintf(BufINT,"Kp Joint%u = %u\n",i,Kp_Down[i]); // แสดงค่าเคฟี่อัพ
            Uart1_PrintStr(BufINT);
        }
        else
        {
            sprintf(BufINT,"Kp Joint4 = %u\n",Kp_Up[0]);
            Uart1_PrintStr(BufINT);
        }
    }
}
else if(temp=='i') // หากค่าเทมปีเท่ากับไอ
{

```

```

    for(i=2;i<5;i++) // แสดงค่าเคฟี่ที่ใช้ในการยกแขนลง
    {
        if(i<=3)
        {
            sprintf(BufINT,"Kp Joint%u = %u\n",i,Kp_Up[i]); // แสดงค่าเคฟี่ดาวัน
            Uart1_PrintStr(BufINT);
        }
        else
        {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 sprintf(BufINT,"Kp Joint4 = %u\n",Kp\_Down[0]);  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

else if(temp=='6')           // หากค่าเทมปีเท่ากับหก
{
    Temp_Numbers[j]=6; // แปลงค่า Char'6' เป็น Int = 6 เก็บลงบัฟเฟอร์ตัวเลข
    j++;              // เลื่อนตำแหน่งของบัฟเฟอร์เก็บข้อมูล
}
else if(temp=='7')         // หากค่าเทมปี เท่ากับ เจ็ด
{
    Temp_Numbers[j]=7; // แปลงค่า Char'7' เป็น Int = 7 เก็บลงบัฟเฟอร์ตัวเลข
    j++;              // เลื่อนตำแหน่งของบัฟเฟอร์เก็บข้อมูล
}
else if(temp=='8')         // หากค่าเทมปีเท่ากับแปด
{
    Temp_Numbers[j]=8; // แปลงค่า Char'8' เป็น Int = 8 เก็บลงบัฟเฟอร์ตัวเลข
    j++;              // เลื่อนตำแหน่งของบัฟเฟอร์เก็บข้อมูล
}
else if(temp=='9')         // หากค่าเทมปีเท่ากับเก้า
{
    Temp_Numbers[j]=9; // แปลงค่า Char'9' เป็น Int = 9 เก็บลงบัฟเฟอร์ตัวเลข
    j++;              // เลื่อนตำแหน่งของบัฟเฟอร์เก็บข้อมูล
}
else if(temp=='0')         // หากค่าเทมปีเท่ากับศูนย์
{
    Temp_Numbers[j]=0; // แปลงค่า Char'0' เป็น Int = 0 เก็บลงบัฟเฟอร์ตัวเลข
    j++;              // เลื่อนตำแหน่งของบัฟเฟอร์เก็บข้อมูล
}
else if(temp=='a')         // หากค่าเทมปีเท่ากับเอ
{
    j=0;              // เคลียร์ค่าตัวแปร j ที่ใช้ใน Temp_Numbers[j]
    ii=0;             // เคลียร์ค่าตัวแปร ii
    Uart1_PrintStr("Set Joint\n");
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        Buf_Set_Joint[i]=Temp_Numbers[ii]*1000; // นำตัวเลขมากำหนด

```

เป็นหลักพัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 Buf\_Set\_Joint[i]+=Temp\_Numbers[ii]\*100; // นำตัวเลขมากำหนดเป็นหลักร้อย  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ii++;
Buf_Set_Joint[i]+=Temp_Numbers[ii]*10;    // นำตัวเลขมากำหนดเป็นหลักสิบ
ii++;
Buf_Set_Joint[i]+=Temp_Numbers[ii];      // นำตัวเลขมากำหนดเป็นหลักหน่วย
ii++;
    }
for(i=0;i<4;i++)
{
    Set_Joint[i]=Buf_Set_Joint[i]; // กำหนดค่า Set_Joint
}
for(i=1;i<5;i++) // แสดงค่าที่ตั้งไว้ ส่งให้วีซีดีซีชาร์ปแสดงผล
{
    if(i<=3)
    {
        sprintf(BufINT,"Motor%u = %u\n",i,Set_Joint[i]);
        Uart1_PrintStr(BufINT);
    }
    else
    {
        sprintf(BufINT,"Motor4 = %u\n",Set_Joint[0]);
        Uart1_PrintStr(BufINT);
    }
}
}
else if(temp=='k') // หากค่าเพิ่มเท่ากับเคย์
{
    j=0; // เคลียร์ค่าตัวแปร j ที่ใช้ใน Temp_Numbers[j]
    ii=0;
    Uart1_PrintStr("Kp_Update\n");
    for(i=0;i<4;i++) // อัปเดตค่าเคพี
    {
        Kp_Up[i]=Temp_Numbers[ii]*10; // นำตัวเลขมากำหนดเป็นหลักสิบ
        ii++;
        Kp_Up[i]+=Temp_Numbers[ii]; // นำตัวเลขมากำหนดเป็นหลักหน่วย
        ii++;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(i=0;i<4;i++)
{
    Kp_Down[i]=Temp_Numbers[ii]*10; // นำตัวเลขมากำหนดเป็นหลักสิบ
    ii++;
    Kp_Down[i]+=Temp_Numbers[ii]; // นำตัวเลขมากำหนดเป็นหลักหน่วย
    ii++;
}
}

else if(temp=='s') // หากค่าเทมปีเท่ากับเอส
{
    j=0; // เคลียร์ค่าตัวแปร j ที่ใช้ใน Temp_Numbers[j]
    ii=0; // ปรับปรุงค่าตัวชี้ไจเคิล
    Uart1_PrintStr("update dutycycle\n");
    for(i=0;i<3;i++)
    {
        Buf_Duty[i]=Temp_Numbers[ii]*100; // นำตัวเลขมากำหนดเป็น
        ii++;
        Buf_Duty[i]+=Temp_Numbers[ii]*10; // นำตัวเลขมากำหนดเป็นหลักสิบ
        ii++;
        Buf_Duty[i]+=Temp_Numbers[ii]; // นำตัวเลขมากำหนดเป็นหลัก
        ii++;
    }
    for(i=0;i<3;i++) // คำนวณค่าจากเปอร์เซ็นต์ตัวชี้ไจเคิลที่กำหนดใช้ในวิซัวร์
    {
        dtc[i]=(PERIOD/50)*Buf_Duty[i];
    }
    generate_pwm2(dtc[0],dtc[1],dtc[2]); // เปลี่ยนค่าตัวชี้ไจเคิล
    sprintf(BufINT,"Duty%u = %u\n",1,dtc[1]);
    Uart1_PrintStr(BufINT);
    sprintf(BufINT,"Duty%u = %u\n",2,dtc[2]);
    Uart1_PrintStr(BufINT);
    sprintf(BufINT,"Duty%u = %u\n",3,dtc[0]);
    Uart1_PrintStr(BufINT);
}

```

หลักร้อย

หน่วย

วิซัวร์สำหรับกำหนดค่าปรับปรุงค่าตัวชี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

else if(temp=='z') // หากค่าเทมปีเท่ากับ แซ็ค
{
    direc_11=1; // แขนข้อต่อที่หนึ่งทำงาน
    direc_12=0;
    Uart1_PrintStr("Direc11 Running\n");
}

else if(temp=='x') // หากค่าเทมปีเท่ากับเอ็กซ์
{
    direc_21=1; // แขนข้อต่อที่สอง ทำงาน
    direc_22=0;
    Uart1_PrintStr("Direc21 Running\n");
}

else if(temp=='c') // หากค่าเทมปีเท่ากับ ซี'
{
    direc_31=1; // แขนข้อต่อที่สามทำงาน
    direc_32=0;
    Uart1_PrintStr("Direc31 Running\n");
}

else if(temp=='v') // หากค่าเทมปีเท่ากับวี
{
    direc_41=1; // แขนข้อต่อที่สี่ทำงาน
    direc_42=0;
    Uart1_PrintStr("Direc41 Running\n");
}

else if(temp=='b') // หากค่าเทมปีเท่ากับบี
{
    direc_11=0; // แขนข้อต่อที่หนึ่งทำงาน
    direc_12=1;
    Uart1_PrintStr("Direc12 Running\n");
}

else if(temp=='n') // หากค่าเทมปีเท่ากับเอ็น
{
    direc_21=0;
    direc_22=1; // แขนข้อต่อที่สองทำงาน
    Uart1_PrintStr("Direc22 Running\n");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
else if(temp=='m') // หากค่าเทมปี เท่ากับ เอ็ม
{
    direc_31=0;
    direc_32=1; // แขนข้อต่อที่สามทำงาน
    Uart1_PrintStr("Direc32 Running\n");
}
else if(temp=='l') // หากค่าเทมปี เท่ากับ แอล
{
    direc_41=0;
    direc_42=1; // แขนข้อต่อที่สี่ทำงาน
    Uart1_PrintStr("Direc42 Running\n");
}
else if(temp=='j') // หากค่าเทมปีเท่ากับ เจ
{ // หยุดการทำงานทุกอย่างรอรับคำสั่งถัดไป
    DisableIntT1;
    direc_11=1;
    direc_12=1;
    direc_21=1;
    direc_22=1;
    direc_31=1;
    direc_32=1;
    direc_41=1;
    direc_42=1;
    Uart1_PrintStr("Break\n");
}
else if(temp=='o') // หากค่าเทมปี เท่ากับ จี
{
    adcptr = &ADCBUF0; // กำหนดตัวแปร adcptr เป็นพอยเตอร์ชี้ที่ ADCBUF0
    _ADON=1; // เคลียร์บิตแชนเปลี่ง
    _DONE = 0; // เคลียร์บิตคอนเวอร์ท์
    while (!_DONE); // รอการคอนเวอร์ท์เสร็จ
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        ADC_Joint[i] = *adcptr++; // วนอ่านค่าเอาทูดี้
        Set_Joint[i]=ADC_Joint[i]; // กำหนดค่า Set Joint
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

Uart1_PrintStr("Set Joint Complete\n");
}

else if(temp=='t')          // หากค่าเทมปี เท่ากับ ที
{
    // รับค่า Set_Joint ในแต่ละสแต็ปมาเก็บไว้
    j=0;                    // เคลียร์ค่าตัวแปรเจที่ไว้ใน Temp_Numbers[j]
    ii=0;
    ij=0;
    ik=4;
    iij=0;
    Uart1_PrintStr("Memmory Step\n");
    for(ij=0;ij<48;ij+=4)
    {
        for(i=ij;i<ik;i++) // 0-4
        {
            Buf_Step_Joint[i]=Temp_Numbers[ii]*1000; // นำตัวเลขมากำหนดเป็น
            ii++;
            Buf_Step_Joint[i]+=Temp_Numbers[ii]*100; // นำตัวเลขมากำหนดเป็น
            ii++;
            Buf_Step_Joint[i]+=Temp_Numbers[ii]*10; // นำตัวเลขมากำหนดเป็น
            ii++;
            Buf_Step_Joint[i]+=Temp_Numbers[ii]; // นำตัวเลขมากำหนดเป็น
            ii++;
        }
        ik+=4;
    }
    for(i=0;i<43;i++)
    {
        Step_Joint[i]=Buf_Step_Joint[i]; // กำหนดค่า Set_Joint
        sprintf(BufINT,"Step Joint%u = %u\n",i,Step_Joint[i]);
        Uart1_PrintStr(BufINT);
    }
}

```

หลักพัน

หลักร้อย

หลักสิบ

หลักหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
else if(temp=='y')           // หากค่าเทมปี เท่ากับ วย
{
    // รับค่าจำนวนสเติปที่วิช่วลชีชาร์ปส่งให้

    j=0;                      // เคลียร์ค่าตัวแปรเจที่ใช้ใน Temp_Numbers[j]
    Step_Recive=Temp_Numbers[0]*10;
    Step_Recive+=Temp_Numbers[1];

    sprintf(BufIINT,"Step Working = %u\n",Step_Recive);
    Uart1_PrintStr(BufIINT);
    Step_Recive+=1;
    iii=0;                    // เคลียร์ค่าตัวแปรไอไอไอที่ใช้ใน สเปรย์[ไอไอไอ]
    stepauto=1;               // กำหนดตัวแปรสเติปไอไอไอได้เริ่ม โปรแกรมทำงาน
เคลื่อนไหวแบบ หลายสเติป
    countstep=1;              // กำหนดตัวแปรสเติปเริ่มต้นที่หนึ่ง
    flag1=1;                  // กำหนดเริ่มรูปการทำงานแบบเคลื่อนไหวแบบหลายส
เติป
}
else if(temp=='d')           // หากค่า temp = char 'd'
{
    // เลือกเปิดหรือปิดการทำงานของสเปรย์แบบแมนนวล

    if(i==0)
    {
        i=1;
        spray=1;              // เปิดสเปรย์
        Uart1_PrintStr("Spray On\n");
    }
    else
    {
        i=0;
        spray=0;              // ปิดสเปรย์
        Uart1_PrintStr("Spray Off\n");
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. **การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย Matlab**. ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.
- [2] นคร ภักดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. **คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C**. กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด. 2549.
- [3] เกียรติศักดิ์ สกฤษพันธ์. **Solid Work: Engineering Drawing Workshop**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ที่อป. 2548.
- [4] Katsuhiko Ogata. **Modern Control Engineering**. New Jersey : Prentice-Hall,Inc. 1997.
- [5] วัฒนาพงษ์ วิทยธรณ, อาทร แก้วเจริญรุ่งเรือง. **“แขนกล.”** ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [6] ธนพงศ์ แสนแสง , นายนพพร เชื้อมสุวรรณ. **“แขนกล.”** ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้