

แขนกลคัดแยกวัตถุ

ROBOT ARM FOR OBJECTS CLASSIFICATION



โดย

นาย สัมพัทธ์ วรรณวิไลรัตน์

นาย สิทธิยา สุ่มใจยา

นาย สุเมธ จิรรุ่งสกุลเรือง

นาย สุระศักดิ์ โรจนรัตน์พงศ์

เลขานุการ.....  
เลขหมายเขียน 83065  
วัน,เดือน,ปี 5 ส.ค. 2551

41464297  
b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

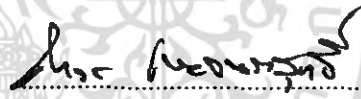
ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง                      แขนกลคัดแยกวัตถุ  
ROBOT ARM FOR OBJECTS CLASSIFICATION

ผู้จัดทำ                      นาย สัมพันธ์      วรรณวิไลรัตน์                      47010826  
   นาย สิทธิยา      สุ่มใจยา                                      47010830  
   นาย สุเมธ              จิรรุ่งสกุลเรือง                              47010888  
   นาย สุระศักดิ์      โรจนรัตนาพงศ์                              47010901



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. ดาวร เบนจอนราสุทธิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แผนกคัดแยกวัตถุ

โดย

นาย สัมพันธ์	วรรณวิไลรัตน์	47010826
นาย สิทธิยา	สุ่มใจยา	47010830
นาย สุเมธ	จิรุงสกุลเรือง	47010888
นาย สุระศักดิ์	โรจนรัตน์นางส์	47010901

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ.ดร. อาร เบญจนราสุทธิ์

ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบระบบอัตโนมัติ สำหรับการควบคุมการทำงานของแขนกลในการคัดแยกวัตถุ โดยโครงสร้างของระบบประกอบด้วย แขนกล กล้องดิจิทัล คอมพิวเตอร์ และวงจรถวลอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง จุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือทำให้แขนกลสามารถคัดแยกวัตถุที่มีสีแตกต่างกันได้ โดยการกำหนดตำแหน่งของวัตถุผ่านการประมวลผลภาพ

ขั้นตอนดำเนินการ เริ่มจากการออกแบบและสร้างแขนกลตามที่ได้ออกแบบ ศึกษาและออกแบบวงจรถวลอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นสำหรับควบคุมแขนกล ซึ่งประกอบด้วยวงจรประกอบการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรถวลมอเตอร์ หลังจากนั้นจึงเขียนโปรแกรมการหาตำแหน่งและคัดแยกสีผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ และนำข้อมูลมาประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีชาร์ป ซึ่งเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ให้เหมาะสม และส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลและส่งสัญญาณควบคุมเพื่อควบคุมแขนกล จากผลการทดลองพบว่าระบบการทำงานที่ได้ออกแบบสามารถทำให้แขนกลคัดแยกวัตถุได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ROBOT ARM FOR OBJECTS CLASSIFICATION

By

Mr. Sumbhath Wanwilairat 47010826

Mr. Sitthaya Sumjaiya 47010830

Mr. Sumate Jirarungsakunruang 47010888

Mr. Surasak Rojanarattanapong 47010901

Advisor

Asst.Prof.Dr. Taworn Benjanarasuth

Academic Year 2007

## ABSTRACT

This thesis presents theories and designs of automatic control systems for controlling a robot arm to classify objects. The robot arm system consist of a computer, a digital camera, electronic circuits and the robot arm. The purpose of this robot arm system is to classify objects with different colors by using image processing.

The project has been conducted as in the following steps. First, the structure of the robot arm is designed, built and assembled. Second, necessary electronic circuits including peripheral circuits of a microcontroller and motor drivers are studied and implemented. Third, a computer program written in Microsoft Visual C# is composed. The program aims to transform the measured variables to the corresponding values and send them to the microcontroller for controlling the robot arm. Lastly, the microcontroller computes the suitable command signal to drive each joint of the robot arm. From the experimental results, the robot arm system can classify objects correctly.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร. ถาวร เบญจนาสุทธี ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำที่ตีมาโดยตลอดนับตั้งแต่ต้นรวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยสนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือนและคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่คิดตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

นาย สัมพันธ์ วรรณวิไลรัตน์

นาย สิทธิยา สุ่มใจยา

นาย สุเมธ จิรรุ่งสกุลเรือง

นาย สุระศักดิ์ โรจนรัตนาพงศ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการวิเคราะห์หุ่นยนต์	4
2.1.1 การแบ่งแยกประเภทหุ่นยนต์	4
2.1.2 ชนิดของหุ่นยนต์ แบ่งตามลักษณะขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์	5
2.1.3 ลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์	8
2.2 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์	8
2.3 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ	9
2.3.1 การกำหนดสี	9
2.3.2 องค์ประกอบของสี	10
2.3.3 ภาพดิจิตอล	11
2.3.3.1 การแทนภาพด้วยข้อมูลดิจิตอล	11
2.3.3.2 ลักษณะการจัดเก็บข้อมูลภาพดิจิตอล	12
2.3.4 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข	12
2.3.5 ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป	13
2.3.6 การสร้างภาพไบนารี	13
2.4 การฟิลเตอร์แบบค่ากลาง	15
2.5 การวิเคราะห์รูปทรง	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.1 หลักการอธิบายพื้นที่	15
2.5.2 โมเมนต์	16
2.6 โทเทนท์อิมิตอร์	16
2.6.1 โทเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงเส้น	16
2.6.2 โทเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงมุม	17
2.7 หลักการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชัน	18
2.8 ระบบควบคุมแบบพี	20
<b>บทที่ 3 หลักการออกแบบ</b>	22
3.1 หลักการทำงานของแชนกัล	22
3.2 หลักการออกแบบชิ้นงาน	23
3.3 การออกแบบโปรแกรม	31
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของแชนกัล	32
3.5 สมการแชนกัล	36
<b>บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง</b>	40
4.1 การทดสอบมอเตอร์	40
4.2 การติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์	41
4.3 ปรับแต่งอุปกรณ์ ก่อนทำการทดลอง	42
4.3.1 การปรับตำแหน่งกล้องดิจิตอล	42
4.3.2 การปรับเทียบขนาดของฟิกเชล	43
4.3.3 การหาจุดอ้างอิงของแชนกัล	44
4.4 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง	46
4.4.1 การทดสอบความแม่นยำของแชนกัล	46
4.4.2 การทดลองหาค่าตำแหน่งของวัตถุ	47
4.4.3 การทดลองเลือกค่าคงที่ของระบบควบคุมแบบพี	49

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	55
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	55
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	55
5.3 แนวทางการแก้ไข	56
5.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	56
5.5 แนวทางพัฒนา	56
<b>ภาคผนวก ก เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์</b>	
ก.1 คู่มือการใช้งาน แอนดเกต (And Gates)	58
ก.2 คู่มือการใช้งาน มอดเฟต (Mosfet IRF9540n)	59
ก.3 คู่มือการใช้งาน มอดเฟต (Mosfet IRFZ44)	62
<b>ภาคผนวก ข โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์</b>	65
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน	5
2.2 หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก	6
2.3 หุ่นพิกัดทรงกลม	6
2.4 หุ่นยนต์ SCARA	7
2.5 หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน	7
2.6 กล้องสีอาร์จีบี	10
2.7 การเก็บข้อมูลของแต่ละพิกเซล	13
2.8 หลักการอธิบายรูป	16
2.9 การต่อแหล่งจ่ายให้กับ โทเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงมุม	17
2.10 โครงสร้างของการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชั่น	18
2.11 สัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชั่น โดยทั่วไป	19
2.12 โครงสร้างของการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชั่นอย่างง่ายโดยทั่วไป	20
2.13 สัญญาณแต่ละภาคตามโครงสร้างรูปที่ 2.12	20
2.14 ระบบป้อนกลับของตัวควบคุมแบบพี	21
2.15 การตอบสนองของระบบป้อนกลับของตัวควบคุมแบบพี	21
3.1 กระบวนการทำงานของระบบแขนกล	23
3.2 โปรแกรม Solid Work 2007	24
3.3 ระยะการเคลื่อนที่ของแขนกล	24
3.4 รูปร่างแขนกลจากโปรแกรม Solid Work และลักษณะมุมของการหมุน	25
3.5 แขนกลเมื่อแยกชิ้นส่วน	25
3.6 ฐานของแขนกล	26
3.7 ชิ้นงานที่ 1	27
3.8 ชิ้นงานที่ 2	28
3.9 ชิ้นงานที่ 3	29
3.10 มือจับ	29
3.11 แขนกลที่ได้จัดทำ	30

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 โปรแกรมประมวลผลในคอมพิวเตอร์	32
3.13 วงจรแปลงไฟ 5 V	33
3.14 วงจรคีเอสปีค	33
3.15 วงจรอนุกรม	34
3.16 วงจรแอนเคด	34
3.17 วงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้มอเตอร์สเฟด ต่อแบบเอช-บริดจ์	35
3.18 ลายแผ่นวงจรควบคุมมอเตอร์	35
3.19 ระบายต่างๆของแขนกล	36
4.1 วิธีการทดสอบมอเตอร์	40
4.2 ลักษณะการวางอุปกรณ์	41
4.3 ด้านหน้าของกล่องใส่วงจรแขนกล แสดงพอร์ตต่างๆ	42
4.4 ภาพที่ได้จากการปรับแต่งให้กล้องดิจิตอลให้มองเห็นได้ทั่วทั้งสนาม	42
4.5 การเปรียบเทียบขนาดของฟิกเชล	43
4.6 การหาจุดอ้างอิงของแขนกล	44
4.7 ขอบเขตการทำงานของแขนกล	45
4.8 การหาค่าระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงกับแขนกล	45
4.9 ภาพถ่ายของวัตถุทั้งสามสี	47
4.10 การหาค่าเทรซโซลของแต่ละสีที่เหมาะสม	48
4.11 การคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุโดยโปรแกรม	48
4.12 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ฐาน	49
4.13 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 2 ขาลง	50
4.14 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 2 ขาขึ้น	51
4.15 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 3 ขาขึ้น	51
4.16 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 3 ขาลง	52
4.17 การทดลองแขนกลไปยังตำแหน่งวัตถุ	53
4.18 ผลตอบสนองของข้อต่อแต่ละข้อต่อของแขนกล	54

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของข้อต่อหุ่นยนต์	4
2.2 ขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ที่ขึ้นอยู่กับแกนหลัก	5
2.3 คุณลักษณะของหุ่นยนต์	8
3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแขนกล	37
4.1 ผลทดสอบมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนส่วนฐานของแขนกล	40
4.2 ผลทดสอบมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนข้อต่อในแต่ละข้อต่อ	40
4.3 ผลการทดลองความแม่นยำแขนกลในแนวแกน X เมื่อกำหนดแกน Z=100 และ Y=0	46
4.4 ผลการทดลองความแม่นยำแขนกลในแนวแกน Y เมื่อกำหนดแกน Z=100 และ X=400	46
4.5 ผลการทดลองหาค่าตำแหน่งของวัตถุ	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและพร้อมตอบสนองความต้องการของมนุษย์มากขึ้น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ มีการพัฒนาตามยุคสมัยทำให้กระบวนการการผลิตสิ่งต่างๆ มีการพัฒนาด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภาคอุตสาหกรรมต้องการศักยภาพในการผลิตมากยิ่งขึ้น ในสมัยก่อนการผลิตชิ้นงานต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้แรงงานจากมนุษย์ แต่ในปัจจุบันเมื่อต้องการความแม่นยำและรวดเร็วในการผลิต จึงมีการนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์เข้ามาแทนที่มนุษย์ เนื่องจากหุ่นยนต์มีความแม่นยำ รวดเร็ว สามารถทำงานในที่ที่อันตรายได้ รวมทั้งเวลาในการหยุดงานน้อยกว่ามนุษย์ จึงถือได้ว่าการนำหุ่นยนต์มาใช้ในกระบวนการการผลิตเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

แขนกลเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีหุ่นยนต์ที่เข้ามาแทนที่มนุษย์ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและได้รับความนิยมน้อยมากเพราะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย อาทิ อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ อุตสาหกรรมประกอบเครื่องจักร อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับสาขาวิชาที่คณะผู้จัดทำกำลังศึกษาอยู่ คณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นความสำคัญและประโยชน์ของแขนกล จึงได้จัดทำแขนกลจำลองเพื่อศึกษา การออกแบบ การควบคุมแขนกลให้ทำงานได้ตามความต้องการและเพื่อสะสมประสบการณ์ด้านวิศวกรรม

แขนกลที่ได้จัดทำขึ้น เป็นแขนกลเพื่อใช้ในการงานคัดแยกวัตถุที่มีสีแตกต่างกัน 3 สี (แดง เขียว น้ำเงิน) โดยอัตโนมัติ ซึ่งแขนกลจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อต้องการคัดแยกวัตถุสีให้ผู้ใช้สามารถสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมที่เขียนไว้จะทำการประมวลผล และสั่งงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ทำให้แขนกลรู้ตำแหน่งของวัตถุสีที่ต้องการและสามารถคัดแยกวัตถุสีนั้นออกมาจากกลุ่มได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการออกแบบชิ้นงาน และการเลือกวัสดุในการจัดทำแขนกล
2. ศึกษาและประยุกต์ใช้ความรู้ในการเขียนโปรแกรมและการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ศึกษาระบบควบคุมของแขนกล
4. ศึกษาการประมวลผลภาพ (Image Processing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการงาน

ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการงาน เริ่มจากการศึกษาองค์ความรู้และรูปแบบการทำงานของแขนกล จากนั้นออกแบบแขนกลแบบข้อต่อหมุน 4 ข้อต่อโดยเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมในการผลิตโครงสร้าง และใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนในแต่ละข้อต่อ โดยออกแบบวงจรขับมอเตอร์ที่ใช้มอสเฟต (MOSFET) ต่อแบบ เอช-บริดจ์ (H-bridge) ในการขับมอเตอร์ ซึ่งมีโพเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงมุม (Rotary Potentiometer) เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดตำแหน่งให้กับกระบวนการในการควบคุมแขนกล ซึ่งจะมีโพเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงมุมอยู่ในทุกๆข้อต่อเพื่อให้สามารถควบคุมตำแหน่งของแขนกลแต่ละข้อต่อได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

จากนั้นศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้ ดีเอสพิก (dsPIC) ขนาด 16 บิต เพราะถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูงและรวดเร็ว ซึ่งหน้าที่หลักของไมโครคอนโทรลเลอร์คือ รับค่าความต่างศักย์จากโพเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงมุม และส่งค่าความต่างศักย์นั้นไปยังคอมพิวเตอร์ โดยพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและแสดงค่าตำแหน่งของแขนกลให้ผู้ใช้ได้ทราบ และนำค่าความต่างศักย์ดังกล่าวมาใช้ในระบบควบคุมแบบพีซี ซึ่งจะควบคุมจากการจ่ายค่าความต่างศักย์แบบพัลส์วidth โมดูเลชัน (Pulse Width Modulation) ไปยังมอเตอร์ในแต่ละข้อต่อของแขนกล เพื่อควบคุมให้แขนกลมีความแม่นยำมากขึ้นกว่าการควบคุมแบบระบบวงเปิด

ในโครงการนี้เลือกพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาซีชาร์ป (C#) เพื่อใช้ในการประมวลผลภาพและควบคุมการทำงานของแขนกล โดยกระบวนการทำงานของระบบควบคุมแขนกลเริ่มจากการถ่ายภาพและส่งข้อมูลของภาพมายังคอมพิวเตอร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์จะทำการคัดแยกสีของวัตถุ พร้อมทั้งหาตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในภาพ และนำค่าตำแหน่งของภาพมาประมวลผลโดยกระบวนการอินเวอร์สไคเนติกส์ (Inverse Kinematics) เพื่อหาค่ามุมของแต่ละข้อต่อของแขนกล จำเป็นจะเคลื่อนที่ไป เพื่อจะสามารถไปกัดแยกวัตถุที่ต้องการนั้น หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะนำค่าของมุมมาประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าความต่างศักย์ที่สอดคล้องกับค่าของมุมในแต่ละข้อต่อ และส่งต่อให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์ไปควบคุมแขนกล และส่งตำแหน่งมุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมกลับมายังคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงตำแหน่งของแขนกล

### 1.4 รายละเอียดของปฏิญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงวัตถุประสงค์ หลักการใหม่ ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงการ พร้อมทั้งรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการออกแบบแผนก การประมวลผลภาพ ทฤษฎีระบบควบคุม หลักการทำงานของดิซีมอเตอร์ และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ ที่เกี่ยวข้องรวมทั้งการนำเอาความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการ

บทที่ 3 หลักการออกแบบ นำเสนอแผนผังการทำงานของระบบแผนก หลักการออกแบบ แผนก การออกแบบโปรแกรมควบคุมแผนก การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ หลักการของสมการ แผนก

บทที่ 4 การทดลอง แสดงผลการทดสอบมอเตอร์ ทดสอบความแม่นยำของแผนก ทดสอบ ความแม่นยำของการประมวลผลภาพ ทดสอบว่าแผนกสามารถตัดแยกวัตถุได้หรือไม่

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป สรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุง และพัฒนาโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงการต่าง ๆ นั้น ขั้นตอนแรกในการเริ่มการทำงาน คือการศึกษาหาความรู้และทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ เพื่อให้สามารถจัดทำโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้เอง การทำโครงการแขนกลคัตแควัดถู จึงต้องมีการศึกษาหาความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการวิเคราะห์หุ่นยนต์

หุ่นยนต์ที่มีในปัจจุบันนี้มีหลากหลายและมีการเพิ่มขึ้นอย่างมากมา เนื่องจากมีความต้องการในท้องตลาดมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะฉะนั้นความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหุ่นยนต์จึงมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน พื้นฐานความรู้ที่จำเป็นต้องทราบเพื่อสามารถใช้งานหุ่นยนต์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมีดังนี้

#### 2.1.1 การแบ่งแยกประเภทหุ่นยนต์

การแบ่งแยกประเภทของหุ่นยนต์อาจจำแนกกว้างๆ ได้ 2 ประเภท โดยอาศัยเทคโนโลยีการขับเคลื่อน หรือ รูปทรงของขอบเขตการทำงาน ดังนี้



##### 1. เทคโนโลยีการขับเคลื่อน

พิจารณาจากต้นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ที่นิยมมี 2 แบบคือ การขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าและขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก (Hydraulic) แขนกลส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นแบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า โดยใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (DC Servo Motor) หรือ สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor) แต่ในการเคลื่อนย้ายวัตถุที่ต้องการความเร็วสูง มักนิยมใช้แบบขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก

##### 2. รูปทรงของขอบเขตการทำงาน

ขอบเขตการทำงานสุทธิหมายถึง ขอบเขตในปริภูมิสามมิติที่ข้อมือของแขนกลสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้นได้ เราจะเรียกแกนของ 3 ข้อต่อแรกของแขนกลว่า แกนหลัก ซึ่งสามารถพิจารณาดำเนินขอบเขตการทำงานได้จาก ลำดับชนิดของข้อต่อที่ใช้ใน 3 แกนแรก ข้อต่อมีหลายแบบ แต่ที่เป็นพื้นฐานและนิยมใช้มี 2 แบบ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของข้อต่อหุ่นยนต์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมกันของข้อต่อหมุน และข้อต่อเลื่อนใน 3 แกนหลัก ก่อให้เกิดรูปทรงการเคลื่อนที่หลายรูปแบบ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงเฉพาะรูปแบบที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนกล ข้อต่อหมุน จะวิเคราะห์ยากกว่าแบบข้อต่อเลื่อน ดังนั้นยังมีข้อต่อหมุนมาก แขนกลก็จะต้องซับซ้อนมากขึ้น

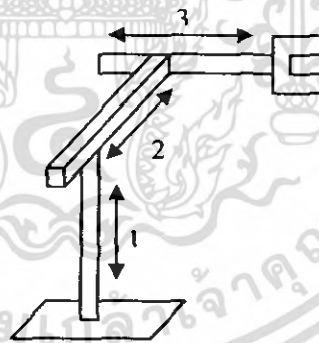
ตารางที่ 2.2 ขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ที่ขึ้นอยู่กับแกนหลัก

Robot	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Total Revolute
Cartesian	P	P	P	0
Cylindrical	R	P	P	1
Spherical	R	R	P	2
SCARA	R	R	P	2
Articulated	R	R	R	3

โดย P = Prismatic (การเลื่อน), R = Revolute (การหมุน)

### 2.1.2 ชนิดของหุ่นยนต์ แบ่งตามลักษณะขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์

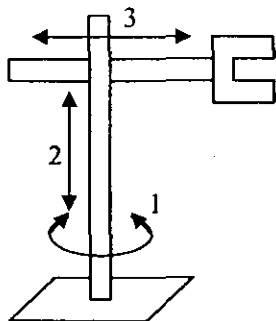
1. หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน หรือหุ่นยนต์พิกัดฉาก (Cartesian-coordinate Robot, Rectangular-coordinate Robot) สัญลักษณ์ PPP ดังรูปที่ 2.1 โดยข้อมือจะเลื่อน ขึ้น-ลง, เข้า-ออก และ เดินหน้า-หลังทำให้พื้นที่การทำงานมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมุมฉาก



รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียน

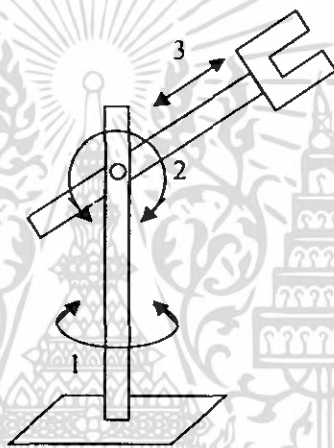
2. หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก (Cylindrical-coordinate Robot) สัญลักษณ์ RPP ดังรูปที่ 2.2 สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงข้างบนได้ตามแกนตั้งที่เป็นหลักสามารถเคลื่อนที่เข้าออกตามแนวรัศมี และ แขนหมุนรอบแกนตั้งฉากกับฐานได้ พื้นที่การทำงานจึงเป็นแบบทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



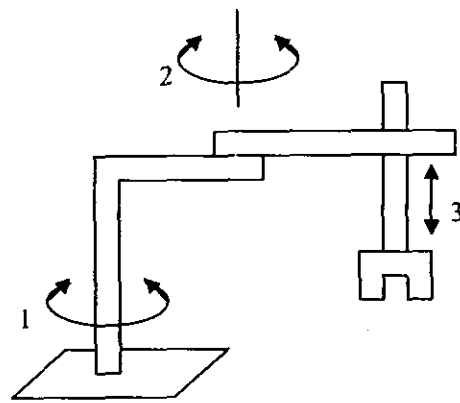
รูปที่ 2.2 หุ่นยนต์พิกัดทรงกระบอก

3. หุ่นยนต์พิกัดทรงกลม (Spherical-coordinate Robot) สัญลักษณ์ RRP แสดงดังรูปที่ 2.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนจะสามารถยกขึ้นลงได้ในแนวตั้ง โดยยกทำมุมกับฐาน แขนสามารถหมุนได้รอบแกนแนวตั้งของฐาน พื้นที่การทำงานเป็นแบบทรงกลม



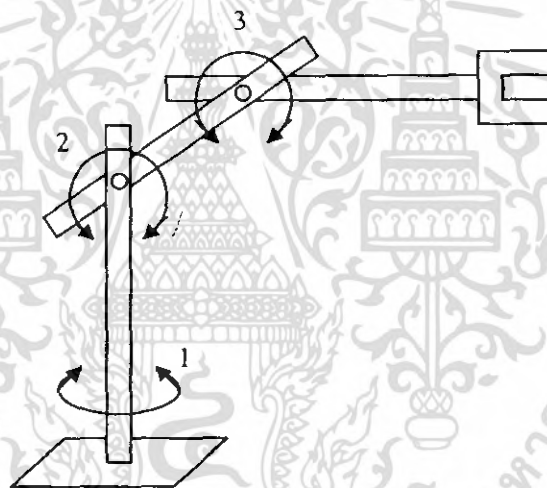
รูปที่ 2.3 หุ่นพิกัดทรงกลม

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



รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์ SCARA

5. หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน (Articulate-coordinate Robot หรือ Revolute Robot) ดังรูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ RRR ทั้ง 3 ข้อเป็นข้อต่อหมุน หุ่นยนต์แบบนี้มีลักษณะใกล้เคียงกับแขนมนุษย์มากที่สุด มีข้อหมุนต่างๆ เหมือนกัน ดังนั้นพื้นที่การทำงานจึงสามารถที่จะทำงานได้ในทุกตำแหน่งในระนาบความยาวของแขน



รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์ข้อต่อหมุน

ข้อดี-ข้อเสีย ของหุ่นยนต์แต่ละชนิดนี้แตกต่างกันออกไป เพราะลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันแต่ถ้ามองในแง่ของการทำงานที่เป็นแบบซ้ำๆ ที่เดิมตลอด หุ่นยนต์พิกัดคาร์ทีเซียนจะสามารถทำงานได้ดีกว่า คือสามารถเคลื่อนที่ไปหาเป้าหมายโดยมีความผิดพลาดน้อยที่สุด แต่ถ้ามองในแง่การเข้าถึงวัตถุชนิดพิกัดทรงกลมและข้อต่อหมุนจะสามารถเข้าถึงวัตถุได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 ลักษณะเฉพาะของหุ่นยนต์

นอกจากเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีลักษณะบางอย่างที่ช่วยผู้ใช้ในการเลือกหุ่นยนต์ที่ต้องการ ลักษณะต่างๆเหล่านี้แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของหุ่นยนต์

คุณลักษณะ (Characteristics)	หน่วย (Unit)
จำนวนแกน	-
ความสามารถในการยกน้ำหนัก	kg
ความเร็วสูงสุด , เวลาครบรอบ	mm / sec
ระยะเชื่อมถึงและสโตรก	mm
การหมุนของเครื่องมือ	deg
การเข้าตำแหน่งเดิม	mm
ความละเอียดและความแม่นยำ	mm

### 2.2 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ซึ่งถูกออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษ คือ แรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ (Armature Current) แรงบิดของเพลลาของมอเตอร์เกิดจากผลการเหนี่ยวนำระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวที่มีกระแสไหลผ่าน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสแสดงดังสมการที่ 2.1

$$T = K_t \phi I \quad (2.1)$$

เมื่อ  $T$  คือแรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร (N-m)  
 $\phi$  คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber)  
 $I$  คือกระแส มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Ampere)  
 $K_t$  คือค่าคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลลาจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กกับกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะเกิดค่าความต่างศักย์คคร่อมตัวมันเอง ค่าความต่างศักย์

นี่จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเฟลตามอเตอร์และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ย้อนกลับและความเร็วของเฟลตามอเตอร์ แสดงได้ดังสมการ (2.2)

$$E = K_m \phi \omega \quad (2.2)$$

เมื่อ	$E$	คือค่าความต่างศักย์ย้อนกลับ (emf) มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt)
	$\phi$	คือเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber)
	$\omega$	คือความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน / วินาที (radian / sec)
	$K_m$	คือค่าคงที่

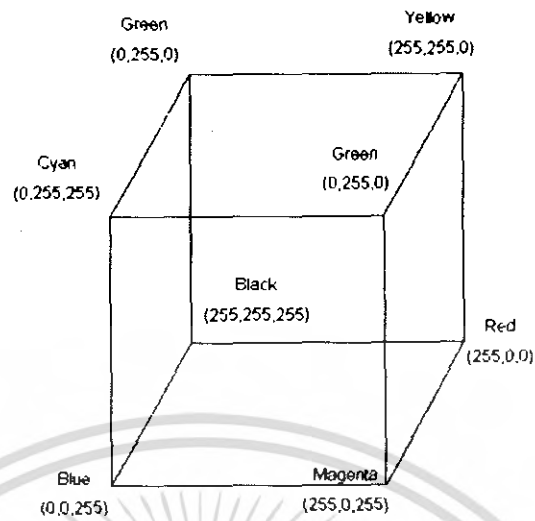
## 2.3 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ

ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการประมวลผลภาพ นับเป็นส่วนสำคัญที่จำเป็นจะต้องศึกษา เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บนสนามได้ ดังนั้นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของการประมวลผลภาพเบื้องต้นซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆดังนี้

### 2.3.1 การกำหนดสี

การกำหนดสีใช้หลักการดังนี้ ในคอมพิวเตอร์สีทุกสีจะประกอบด้วย 3 สีพื้นฐาน คือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน (RGB) ซึ่งสามารถที่จะสังเคราะห์สีอื่นๆได้เกือบทุกสีโดยการผสมสีพื้นฐานทั้งสามนี้ในสัดส่วนต่างๆกัน การผสมสีตั้งอยู่บนพื้นฐานของความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาร์จีบี ซึ่งเรียกว่าอาร์จีบีโมเดล (RGB Model) โดยแต่ละสีถูกนำเสนอโดยสัดส่วนของสีแต่ละสี ซึ่งปริมาณของสีพื้นฐานทั้งสามในแต่ละสีนิยมนำเสนอด้วยค่าขนาด 1 ไบต์หรือเท่ากับ 8 บิต โดยค่าที่เล็กที่สุดคือค่า 0 สอดคล้องกับการไม่มีสีพื้นฐานสีนั้นเลย และค่าที่ใหญ่ที่สุดคือค่า 255 บ่งบอกถึงความเข้มข้นสูงสุดของสีพื้นฐานสีนั้นอาทิเช่น สัดส่วน (0,0,0) สอดคล้องกับสีดำ เพราะสีพื้นฐานทั้งสามสีไม่มีความเข้มข้นเลยในขณะที่สัดส่วน (255,255,255) สอดคล้องกับสีขาว ส่วนสีอื่นๆซึ่งเกิดจากการรวมกันนั้นมีได้มากมาย เช่น(255,0,0) จะเป็นสีแดงบริสุทธิ์ (0,255,255) เป็นสีน้ำเงินเข้ม และ (0,128,128)เป็นสีน้ำเงินอ่อนขึ้น ดังนั้นการรวมกันที่เป็นไปได้ของสีพื้นฐานในกรณีนี้จะมีขนาด 24 บิต หรือมีค่าได้ 256x256x256 ซึ่งเท่ากับ 16,777,216 ระดับสี จึงนิยมจัดเก็บค่าสีในรูปแบบตัวแปร Long Integer) กระบวนการการสร้างสีซึ่งมีสีพื้นฐาน 3 สีนี้ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของกล่องสีอาร์จีบี ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยมุมของกล่องสีนี้จะสอดคล้องกับสีต่างๆดังรูป ปริมาณของสีพื้นฐานทั้ง 3 สีในสีใดๆจะมีค่าตามแกน x y และ z ตามลำดับ สีที่เป็นส่วนกลับ (Complementary Colors) สามารถคำนวณได้อย่างง่ายดายโดยการลบค่าของสีจาก 255 ตัวอย่างเช่นสี (0,0,255) เป็นสีน้ำเงินบริสุทธิ์ เป็นสีส่วนกลับของสีเหลืองบริสุทธิ์ที่สอดคล้องกับค่า (255,255,0) ซึ่งทั้งสองสีดังกล่าวอยู่ที่มุมตรงข้ามกันของกล่องสี ส่วนมุมอื่นๆ ก็เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กล่องสีอาร์จีบี

องค์ประกอบของสี ที่มุมของกล่องสีจะมีความเข้มข้นสูงที่สุด หรือไม่มีความเข้มข้นเลยเท่านั้น เมื่อเคลื่อนที่จากมุมหนึ่ง ไปยังอีกมุมหนึ่งตามขอบที่เหมือนกัน จะมีเพียงแคงค์ประกอบเดียว เท่านั้นที่เปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างเช่นเมื่อเคลื่อนที่จากมุมสีเขียวไปยังมุมสีเหลือง องค์ประกอบของ สี แดงจะเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 255 โดยเมื่อเคลื่อนที่ระหว่างมุมของสีคู่นี้ จะได้ทุกโทนสี จากสีเขียว ไปสีเหลือง

### 2.3.2 องค์ประกอบของสี

ในการประมวลผลภาพบางประเภทอาจต้องการอ่านค่าขององค์ประกอบสีของแต่ละพิกเซลแล้ว แยกองค์ประกอบของ อาร์จีบี เพื่อนำไปใช้งานแยกกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีฟังก์ชันซึ่งทำหน้าที่แยก องค์ประกอบของสีทั้งสามซึ่งจะถูกเก็บไว้ในตัวแปรสองอินดิเจอร์ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3.1 ในตัว แปรสองอินดิเจอร์ดังกล่าวจะประกอบด้วย 4 ไบต์โดยไบต์แรก (The Most Significant Byte) เก็บ 0 ต่อมาเป็นองค์ประกอบของสีน้ำเงิน เขียว และแดงตามลำดับค่าของอินดิเจอร์ซึ่งสอดคล้องกับ สัดส่วนอาร์จีบี (64,32,192) มีค่าเป็น 12,591,168 ซึ่งค่านี้ดูไม่เหมือนกับจำนวนเต็มเลขฐานสิบของ องค์ประกอบของสีด้วยเลขฐานสิบหก (Hexadecimal Format) ซึ่งในตัวอย่างนี้มีค่าเป็น C02040<sub>h</sub> จะเป็นเลขฐานสิบหกของ 12,591,168 ในเลขฐานสิบ จะเห็นว่าสองหลักสุดท้ายในเลขฐานสิบหก สอดคล้องกับองค์ประกอบสีแดง (40<sub>h</sub> = 64) สองหลักถัดมาสอดคล้องกับองค์ประกอบสี เขียว (20<sub>h</sub> = 32) และสองหลักที่มีความสำคัญสูงสุดสอดคล้องกับค่าน้ำเงิน (C0<sub>h</sub> = 192) ด้วย เหตุนี้เลขฐานสิบหกจึงถูกใช้มากในการกำหนดค่าสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 ภาพดิจิตอล

ในการที่จะนำภาพภาพหนึ่งมาประมวลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น ภาพดังกล่าวจำเป็นจะต้องถูกนำเสนอหรือแทนด้วยตัวเลข แต่ภาพที่ได้มาโดยส่วนมากจะเป็นภาพที่ได้จากตัวรับสัญญาณซึ่งอยู่ในรูปของฟังก์ชัน  $f(x, y)$  ที่ต่อเนื่องในระนาบสองมิติ โดยจะเป็นสัดส่วนกับความสว่างหรือความเข้มของภาพที่ตำแหน่ง  $(x, y)$  ซึ่งเรียกว่าระดับสีเทา (Gray Level) สำหรับภาพขาวดำและจะเป็น สัดส่วนกับระดับค่าอาร์จีบีสำหรับภาพสี

#### 2.3.3.1 การแทนภาพด้วยข้อมูลดิจิตอล

ภาพแบบดิจิตอลเป็นภาพที่ถูกแปลงมาจากแบบอนาล็อกเพื่อให้อยู่ในรูปของตัวเลข โดยภาพจะถูกแบ่งพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่เรียกว่าจุดภาพหรือพิกเซล (Pixel) ซึ่งถูกระบุตำแหน่งของพิกเซลโดยพิกัด  $(x, y)$  และในแต่ละพิกเซลจะระบุข้อมูลระดับสีหรือค่า อาร์จีบี สำหรับภาพสี และระดับความเข้มสำหรับระดับสีเทา โดยการแปลงข้อมูลแบบดิจิตอลสามารถทำได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

เมื่อนำภาพแบบอนาล็อกที่ต้องการประมวลผลมาผ่านส่วนที่เรียกว่าดิจิไทเซอร์ (Digitizer) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลอุปกรณ์ประเภทนี้ได้แก่กล้องดิจิไทเซอร์ ซึ่งจะทำการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นฟังก์ชันที่ต่อเนื่อง  $f(x, y)$  ให้กลายเป็นฟังก์ชันที่ไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบของภาพซึ่งเรียกว่าการสุ่ม (Sampling) และผ่านการควอนไทซ์ (Quantization) จะได้ข้อมูลที่เป็นดิจิตอล สมมติว่าสัญญาณภาพต่อเนื่อง  $f(x, y)$  ได้ถูกแปลงให้อยู่ฟังก์ชันที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งจะสามารถนำเสนอในรูปเมตริกซ์และสมมติว่ามีขนาด  $N \times N$  ได้ตามสมการ (2.3)

$$f(x, y) = \begin{matrix} f(0,0) & f(0,1) & f(0,2) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & f(N-1,2) & \dots & f(N-1, N-1) \end{matrix} \quad (2.3)$$

โดยทางขวาของฟังก์ชัน  $f(x, y)$  จะเรียกว่า ภาพดิจิตอล และทุกสมาชิกของเมตริกซ์จะเรียกว่า พิกเซล ซึ่งความละเอียดของภาพตามสมการ (2.3) เป็น  $N \times N$  พิกเซล และในกรณีภาพขาวดำขนาดของข้อมูลภาพที่เป็น ดิจิตอลจะมีขนาดดังสมการ (2.4)

$$B = M \times N \times N \text{ บิต} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $B$  คือขนาดของข้อมูลภาพที่เป็นดิจิตอล (บิต)

$M$  คือจำนวนบิตที่ใช้ในการแทนข้อมูลภาพ 1 พิกเซล สามารถหาได้จากสมการที่ (2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G = 2^M \quad (2.5)$$

เมื่อ  $G$  คือจำนวนระดับของสีเทา (Gray Scale) ที่ต้องการใช้ในการเก็บภาพ

### 2.3.3.2 ลักษณะการจัดเก็บข้อมูลภาพดิจิทัล

โดยทั่วไปแล้วข้อมูลภาพสีหรือภาพขาวดำจะมีค่าตั้งแต่สองระดับขึ้นไป โดยเฉพาะในกรณีภาพขาวดำ นิยมใช้ระดับความเข้มของจุดภาพระดับของสีเทาเท่ากับ 256 ระดับ ซึ่งทำให้จุดภาพมีค่าอยู่ในช่วง 0-255 โดยใช้พื้นที่เก็บข้อมูล 1 ไบต์ หรือ 8 บิต สำหรับข้อมูล 1 จุดภาพ ( $M = 8$ ) ในกรณีที่ต้องการภาพที่มีความละเอียดของระดับความเข้มหรือระดับสีจำนวนมาก อาจจะต้องการจำนวนบิตสำหรับเก็บข้อมูลมากกว่า 8 บิต อาจเป็น 16 หรือ 24 บิต โดยระดับความเข้มของจุดภาพเท่ากับ 65,536 และ 16,777,216 ระดับ โดยจะแยกให้ชัดเจนดังนี้

1. ภาพ 2 ระดับ คือมีเพียงแค่จุดขาวกับจุดดำเท่านั้น โดยแต่ละจุดภาพเป็นข้อมูลขนาด 1 บิต
2. ภาพ 16 ระดับ คือในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 4 บิต สามารถทำให้แสดงได้ 16 ระดับความเข้มหรือระดับสีขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือภาพขาวดำ
3. ภาพ 256 ระดับ คือในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูลขนาด 8 บิต ซึ่งสามารถทำให้แสดงได้ 256 ระดับความเข้มหรือระดับสี ขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือขาวดำ
4. ภาพทิวคัลเลอร์ (True Color) ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 24 บิต สามารถทำให้แสดงภาพสีได้เหมือนจริงที่สุดเพราะสามารถแสดงสีได้ถึง 16,777,216 ระดับสี

### 2.3.4 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข

โดยทั่วไปวิธีการประมวลผลภาพเชิงตัวเลขโดยคอมพิวเตอร์นั้น อาจแบ่งโดยคร่าวๆเป็นสองระดับด้วยกัน คือ การประมวลผลภาพในระดับต่ำ (Low Level Processing) และการประมวลผลภาพในระดับสูง (High Level Processing) การประมวลผลภาพในระดับต่ำจะเป็นการประมวลผลเชิงตัวเลขเกือบทั้งหมดเพื่อหาตัวแปรต่างๆ มาอธิบายข้อมูลภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำตัวแปรเหล่านั้นไปใช้ในการประมวลผลในระดับสูงต่อไป

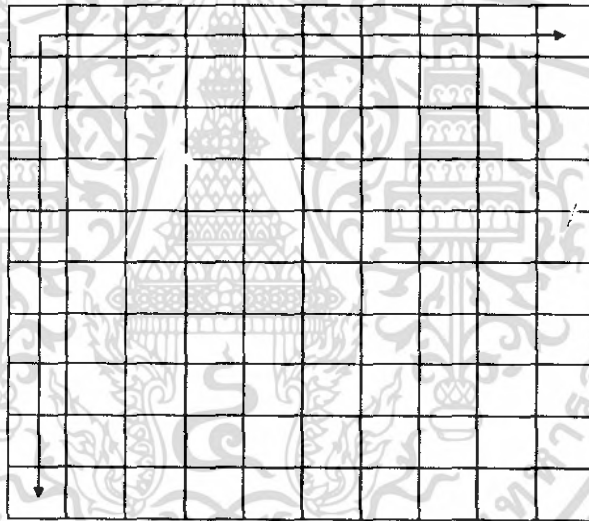
ส่วนการประมวลผลภาพในระดับสูง เป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพในระดับต่ำมาตีความหรือเพื่อส่งข้อมูลไปคอมพิวเตอร์สามารถรู้และเข้าใจได้ ดังนั้นความแตกต่างที่สำคัญของการประมวลผลภาพระดับต่ำและระดับสูง คือ ข้อมูลที่นำเข้ามาในการประมวลผลโดยการประมวลผลภาพในระดับต่ำจะใช้ความเข้มของจุดโดยตรง ส่วนการประมวลผลภาพในระดับสูงนั้น ข้อมูลที่นำมาประมวลผลจะถูกแสดงในรูปของสัญลักษณ์ ซึ่งจะแสดงถึงสิ่งต่างๆที่อยู่ในภาพ เช่น ขนาด หรือรูปร่างของวัตถุในภาพ

### 2.3.5 ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป

รูปแบบของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมป (Bitmap) เป็นรูปแบบไฟล์มาตรฐานสำหรับภาพกราฟฟิกบนวินโดวส์ซึ่งจะใช้ในการคัดต่อ หรือทำสำเนาภาพต่างๆลงบนคลิปบอร์ด (Clipboard) เวลาจัดเก็บไฟล์จะมีนามสกุล .BMP

โครงสร้างของไฟล์ข้อมูลภาพชนิดบิตแมปจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ข้อมูลที่อยู่บริเวณส่วนหัวของไฟล์ (Header) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่บอกรายละเอียดต่างๆของภาพ เช่น ความกว้าง ความยาวของภาพ จำนวนสี จำนวนบิต ความละเอียดของภาพ
2. ข้อมูลจานสี (Palette) เป็นค่าแม่สีอาร์จีบี ของภาพ
3. ข้อมูลภาพ (Data) เป็นส่วนเก็บข้อมูลสีของแต่ละพิกเซลของภาพ โดยข้อมูลแรกจะเป็นค่าสีของพิกเซลที่อยู่แถวบนสุดที่ตำแหน่งซ้ายสุดข้อมูลลำดับต่อไปจะเรียงจากทางขวาจากแถวบนจนถึงแถวล่างสุดดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเก็บข้อมูลของแต่ละพิกเซล

### 2.3.6 การสร้างภาพไบนารี

การสร้างภาพไบนารี หมายถึง การแปลงข้อมูลภาพที่มีความเข้มหลายระดับ ให้เป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับ คือหนึ่งจุดภาพมีค่าได้สองค่าเท่านั้น โดยเป็นค่า 0 กับค่า 1 ซึ่งค่าที่เป็น 1 จะหมายถึงจุดภาพที่มีสีดำ และค่าที่เป็น 0 จะหมายถึงจุดภาพที่มีสีขาว

การสร้างภาพไบนารีสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล (Thresholding Techniques) โดยพิจารณาว่าจุดใดควรเป็นจุดขาวหรือจุดดำ ซึ่งทำได้โดยการเปรียบเทียบระหว่างจุดภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่าค่าเทรชโฮล (Threshold) เทคนิคนี้ใช้กันมากในกรณีที่มีข้อมูลภาพมีลักษณะ

แตกต่างกันระหว่างวัตถุและพื้นหลัง โดยค่าของจุดภาพใดๆที่มีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลจะถูกกำหนดค่าเป็น 1 (จุดสีดำ) และถ้าค่าของจุดภาพที่มีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลจะถูกเปลี่ยนให้เป็นค่า 0 (จุดสีขาว) ซึ่งการทำงานสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.6) และ ตามลำดับ

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & g(x, y) \leq Thr \\ 0, & g(x, y) > Thr \end{cases} \quad (2.6)$$

เมื่อ	$b(x, y)$	คือ ข้อมูลภาพผลลัพธ์ภาพเป็นไบนารี
	$g(x, y)$	คือ ข้อมูลภาพอินพุตที่มีระดับความเข้ม 0 ถึง L ระดับ
	$Thr$	คือ ค่าเทรชโฮลเป็นค่าคงที่ระหว่าง 0 ถึง L ระดับ
	1	คือ จุดภาพที่เป็นสีดำ
	0	คือ จุดภาพที่เป็นสีขาว
	L	คือระดับความเข้มของจุดภาพสูงสุด

ในการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคเทรชโฮล เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความคมชัดและเหมาะสม สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ค่าเทรชโฮล เนื่องจากถ้าเลือกค่าเทรชโฮลที่ไม่เหมาะสม ภาพที่ได้จะไม่คมชัด และรายละเอียดบางส่วนอาจขาดหายไป ดังนั้นปัญหาการสร้างภาพไบนารีด้วยเทคนิคการทำเทรชโฮล คือทำอย่างไรจึงสามารถคำนวณหาค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมได้ ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงวิธีที่นิยมใช้กันคือการหาค่าเทรชโฮลโดยวิธีการกำหนดล่วงหน้า

การหาค่าเทรชโฮลโดยวิธีการกำหนดล่วงหน้า (Preassigned Threshold Value) นี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เป็นการกำหนดค่าเทรชโฮลเองจากผู้ใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้ โดยการเลือกค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งจะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มของข้อมูลอินพุต

วิธีหนึ่งสำหรับการหาค่าเทรชโฮลล่วงหน้าคือ การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Midrange Threshold Value) การหาวิธีนี้จะพิจารณาจากค่ากลาง โดยอาศัยการคำนวณพื้นฐานทางสถิติในการหาค่ากลางมาประยุกต์ค่าที่ได้เป็นค่ากึ่งกลางระหว่างค่าระดับความเข้มสูงสุดกับค่าต่ำสุดของข้อมูลภาพอินพุตสำหรับการหาค่ากึ่งกลางจะแสดงได้ดังสมการที่ (2.7)

$$Thr = \frac{Max(g(x, y)) + Min(g(x, y))}{2} \quad (2.7)$$

เมื่อ	$Thr$	คือ ค่าเทรชโฮล
	$g(x, y)$	คือ ข้อมูลภาพอินพุตที่มีระดับความเข้ม 0 ถึง L ระดับ
	$Max(g(x, y))$	คือ ค่าสูงสุดเกรย์สเกลของข้อมูลอินพุต
	$Min(g(x, y))$	คือ ค่าต่ำสุดเกรย์สเกลของข้อมูลอินพุต
	L	คือระดับความเข้มของจุดภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าเทรชโธลจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตหาได้จากสมการที่ (2.8)

$$Thr = \frac{\sum g(x,y)}{N \times N} \quad (2.8)$$

## 2.4 การฟิลเตอร์แบบค่ากลาง

ในกรณีนี้พิกเซลอินพุตจะถูกแทนที่ด้วยค่ากลางของพิกเซลที่อยู่ในหน้าต่างรอบๆ พิกเซล นั้นคือ

$$V(m,n) = median\{y(m-k, n-l), (k,l) \in W\} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $W$  คือ หน้าต่าง (Window)

อัลกอริทึมสำหรับการฟิลเตอร์ (Filtering) แบบกลางจะทำการเรียงค่าพิกเซลในลักษณะที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วทำการเลือกค่าที่อยู่ตรงกลาง โดยทั่วไปแล้วขนาดของหน้าต่างถูกเลือกให้  $N_w$  มีค่าเป็นเลขคี่ ถ้า  $N_w$  เป็นเลขคู่ ค่ามีเดียนจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างสองค่าตรงกลาง โดยทั่วไปแล้วหน้าต่างจะเป็นแบบขนาด  $3 \times 3$   $5 \times 5$   $7 \times 7$  มีประโยชน์ในการจำกัดเส้นหรือพิกเซลที่แยกออกมา (Isolated) โดยฟิลเตอร์โดยใช้ค่ากลางนั้นจะใช้ได้ดีสำหรับสัญญาณรบกวนแบบไบนารี แต่ใช้ไม่ได้ดีสำหรับสัญญาณรบกวนแบบ เกาส์เซียน (Gaussian) และจะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อจำนวนของพิกเซลที่ถูกปนเปื้อนด้วยสัญญาณรบกวนในหน้าต่าง มีค่ามากกว่าหรือมีค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนพิกเซลในหน้าต่าง

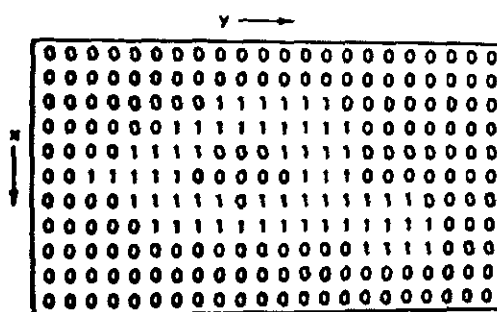
## 2.5 การวิเคราะห์รูปทรง

การคำนวณหาค่าจากภาพที่ได้ถ่ายมานั้น เพื่อใช้ในการคำนวณนั้นสามารถทำได้หลายวิธีเพื่อบอกคุณลักษณะของภาพในรูปของเลขฐานสอง

### 2.5.1 หลักการอธิบายพื้นที่

เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถบอกพื้นที่ของกลุ่มภาพ โดยแปลงกลุ่มภาพนั้นเป็นในรูปแบบเลขฐานสองซึ่งวิธีนี้มีความแม่นยำค่อนข้างสูงแต่มีความยากในการคำนวณ โดยเฉพาะถ้ารูปมีขนาดใหญ่

ในการคำนวณหาค่าการอธิบายพื้นที่โดยที่  $R$  แทนค่าพื้นที่ของรูปภาพ  $I(k, j)$  โดยที่  $R$  เป็นกลุ่มค่าของแต่ละพิกเซล แม้ว่ารูปที่คิดนั้นอาจมีรูหรือช่องว่างในรูปภาพโดยสมมุติให้ภาพ  $I(k, j)$  นั้นเป็นรูปภาพแบบฐานสองโดยที่ ค่าของภาพที่จับได้ (Foreground) มีค่าเป็น 1 และส่วนที่เหลือ (Background) มีค่าเป็น 0 ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 หลักการอธิบายรูป

### 2.5.2 โมเมนต์

เป็นกระบวนการหาค่าของโมเมนต์ (Moments) โดยสมมติให้  $x$  แทนค่าแถวและ  $y$  แทนค่าของหลักของภาพฐานสอง โดยเราสามารถคำนวณหาค่าของโมเมนต์ได้ดังสมการที่ (2.10)

$$M_{kj} = \sum_{(x,y) \in R} x^k y^j; k \geq 0, j \geq 0 \quad (2.10)$$

โมเมนต์ระดับต่ำ (Low-order Moments) เป็นกระบวนการที่นำทฤษฎีของโมเมนต์ มาหาค่าของจุดศูนย์กลางของวัตถุ  $(x, y)$  โดยสามารถหาค่าจุดศูนย์กลางของวัตถุได้ดังนี้

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad (2.11)$$

$$y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2.12)$$

### 2.6 โพลเทนทีอิมิเตอร์

โพลเทนทีอิมิเตอร์ (Potentiometer) ถือได้ว่าเป็นเซนเซอร์ที่มีความสำคัญในการจัดทำโครงการนี้อย่างมากเนื่องจากเป็นเซนเซอร์ที่ใช้บอกตำแหน่งพิกัดของแขนกล เพราะฉะนั้นจึงควรศึกษาและเลือกใช้โพลเทนทีอิมิเตอร์ให้เหมาะสมกับงาน โดยทั่วไปแล้วหากแบ่งประเภทของโพลเทนทีอิมิเตอร์ตามลักษณะการใช้งาน จะสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

#### 2.6.1 โพลเทนทีอิมิเตอร์แบบเชิงเส้น

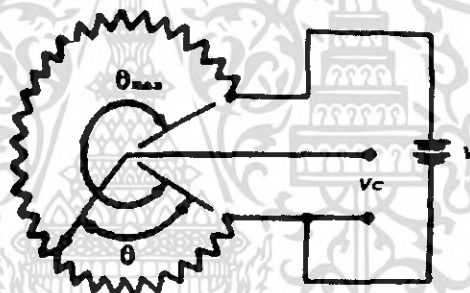
โพลเทนทีอิมิเตอร์แบบเชิงเส้น (Linear Potentiometer) เป็นโพลเทนทีอิมิเตอร์ที่ใช้กับงานวัดระยะเชิงเส้น (Linear) หรืองานวัดระยะที่เป็นแนวราบมีส่วนประกอบของ 2 จุดต่อและมีจุดศูนย์กลางที่เรียกว่า “Wiper, Slider, Tap” ตัวอย่างการทำงานของโพลเทนทีอิมิเตอร์แบบเชิงเส้น ถ้าค่าความต้านทานทั้งหมดของ โพลเทนทีอิมิเตอร์มี 1000  $\Omega$  และตำแหน่งของการเลื่อน (Slider) จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ที่จุดศูนย์กลางของค่าความต้านทานจะมีค่าเท่ากับ 500 Ω ถ้าต้องการเคลื่อนที่ 75% ทางด้านใด ด้านหนึ่งของค่าความต้านทานจะอยู่ที่ 750 Ω และอีกที่หนึ่งจะอยู่ที่ 250 Ω

2.6.2 โพลเทนทีอิมิเตอร์แบบเชิงมุม

โพลเทนทีอิมิเตอร์แบบเชิงมุม (Rotary Potentiometer) ใช้สำหรับวัดระยะในลักษณะการหมุน ข้อแตกต่างระหว่างโพลเทนทีอิมิเตอร์แบบเชิงเส้นกับโพลเทนทีอิมิเตอร์แบบเชิงมุม คือแกนหมุนของโพลเทนทีอิมิเตอร์แบบเชิงจะเปลี่ยนแปลงโดยการหมุน การหมุนของแกนจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง และค่าความต้านทานจะเป็นตัวกำหนดค่าองศาแต่ละองศาตัวอย่างเช่น โพลเทนทีอิมิเตอร์มีค่าความต้านทานทั้งหมด 1000 Ω และหมุนได้ 360 องศา ถ้าต้องการ 180 องศาจะต้องหมุน โพลเทนทีอิมิเตอร์ให้ได้ค่าความต้านทานที่ 500 Ω เป็นต้น จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ โดยการต่อแหล่งจ่ายให้กับโพลเทนทีอิมิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ค่าความต้านทานที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าความต่างศักย์ และสามารถนำค่าความต่างศักย์นี้ ไปใช้งานต่อไปได้ เช่นต่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รู้ค่ามุม (องศา)



รูปที่ 2.9 การต่อแหล่งจ่ายให้กับโพลเทนทีอิมิเตอร์แบบเชิงมุม

หากพิจารณาโดยใช้หลักการแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divided Circuit) จะหาค่าความต่างศักย์  $V_o$  ได้จากสมการที่ (2.13)

$$\frac{V_o}{V} = \frac{\theta}{\theta_{max}} \tag{2.13}$$

เมื่อ  $V$  คือค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมทั้งหมดตลอดความยาวของโพลเทนทีอิมิเตอร์ และ  $\theta_{max}$  คือมุมหมุนทั้งหมดของโพลเทนทีอิมิเตอร์ ดังนั้นอัตราส่วนของเอาต์พุต  $V_o$  กับอินพุต  $\theta$  หาได้จากสมการที่ (2.14)

$$\frac{Output}{Input} = \frac{V_o}{V} = \frac{\theta}{\theta_{max}} = K \quad (\text{ค่าคงที่}) \tag{2.14}$$

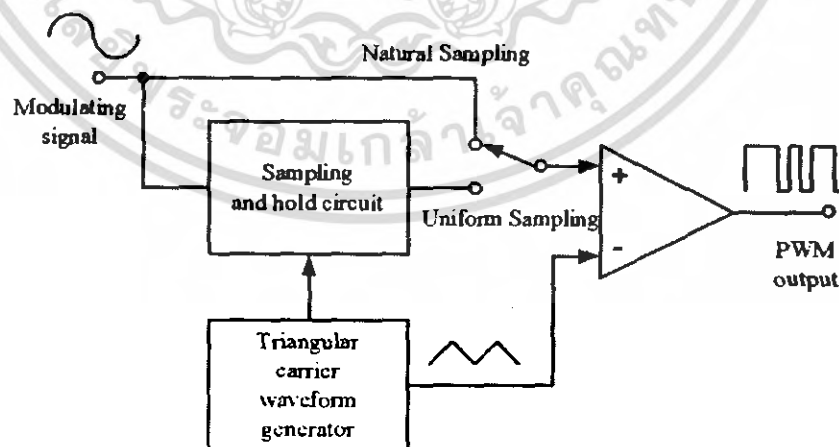
นอกจากนี้ การเลือกใช้โพเทนทีออมิเตอร์ต้องคำนึงถึงค่าความละเอียดของโพเทนทีออมิเตอร์ ด้วยค่าความละเอียดเป็นค่าที่บ่งบอกว่าโพเทนทีออมิเตอร์สามารถวัดค่าได้ละเอียดแค่ไหน หากค่าความละเอียดน้อยแสดงว่ามีความละเอียดในการวัดสูง ในโครงการนี้หากเลือกโพเทนทีออมิเตอร์ที่มีความละเอียดในการวัดไม่เหมาะสมอาจทำให้แขนกลทำงานผิดพลาดได้ ค่าความละเอียดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.15)

$$\text{ความละเอียด (Resolution)} = \frac{\text{Full scale displacement}}{\text{Number of turn of wire}} \quad (2.15)$$

การปรับสภาพสัญญาณรบกวนของโพเทนทีออมิเตอร์จะเกิดจากวัตถุที่ใช้ทำ พบว่าค่ารบกวนดัง กล่าวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิและกระแสของตัวมัน ดังนั้นเพื่อให้มีค่ารบกวนน้อยที่สุด จึงต้องรักษาแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้มีค่าที่ต่ำที่สุด

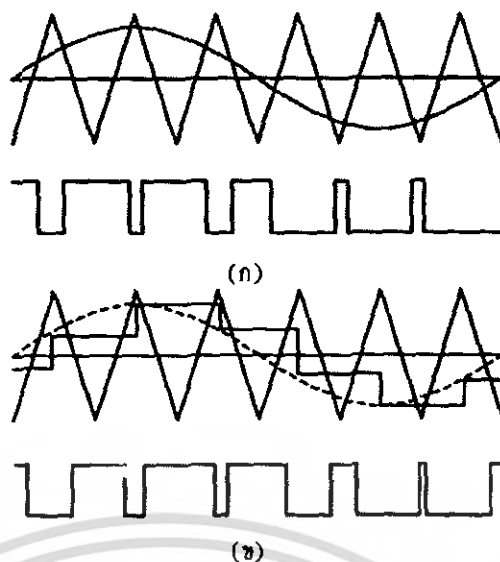
## 2.7 หลักการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชัน

ตามปกติสัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชัน (Pulse Width Modulation) สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ สัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันแบบแรกคือ สัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันที่เกิดจากการสุ่มแบบธรรมชาติ (Natural Sampling) โดยสัญญาณนี้เรียกว่า เอ็นพีดับเบิลยูเอ็ม (NPWM) สัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันอีกแบบหนึ่งคือ สัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันที่เกิดจากการสุ่มแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Sampling) เราจะเรียกสัญญาณนี้ว่า ยูพีดับเบิลยูเอ็ม (UPWM) โครงสร้างของการสร้างสัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชันทั้งสองแบบแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดโมดูลเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



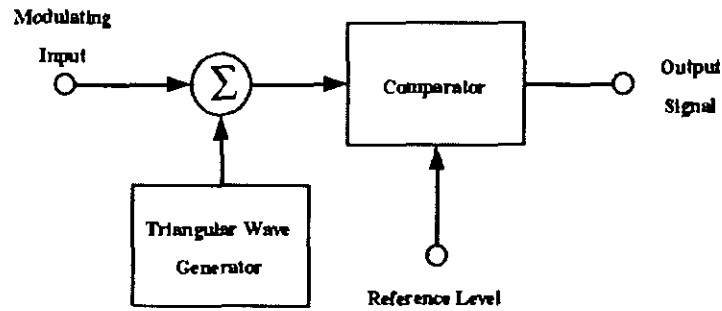
รูปที่ 2.11 สัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชัน โดยทั่วไป

- (ก) สัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชันแบบ เอ็นพีดับเบิลยูเอ็ม
- (ข) สัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชันแบบ ยูพีดับเบิลยูเอ็ม

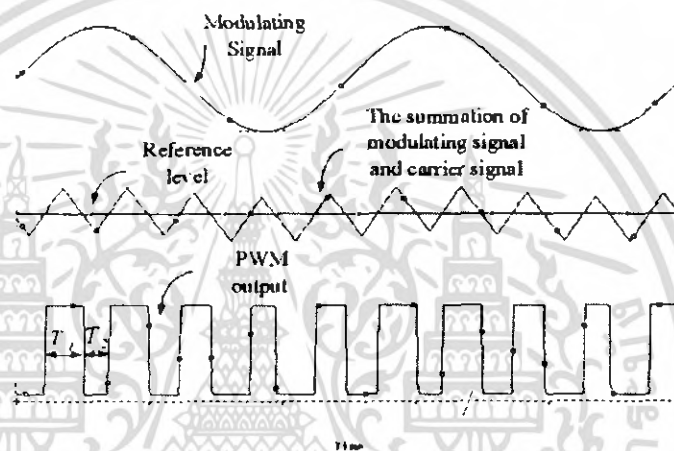
จากรูปที่ 2.11 (ก) กรณีที่เป็นการกำเนิดสัญญาณ เอ็นพีดับเบิลยูเอ็ม สัญญาณข่าวสาร (Modulating Signal) จะถูกเปรียบเทียบแรงดันกับสัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งเป็นสัญญาณพาห์ เอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ก็จะเป็นสัญญาณ เอ็นพีดับเบิลยูเอ็ม ส่วนในกรณีของสัญญาณ ยูพีดับเบิลยูเอ็ม สัญญาณข่าวสารจะผ่านวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (Sample and Hold) ก่อนเข้าเปรียบเทียบแรงดันกับสัญญาณสามเหลี่ยม จึงได้สัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชันทั้งสองแบบ แสดงในรูปที่ 2.11 (ข)

สำหรับสัญญาณพาห์สามเหลี่ยม มีอยู่ 2 รูปแบบคือสัญญาณฟันเลื่อย (Single Sided) เนื่องจากเพียงขอบสัญญาณขอบเดียวที่ถูกมอดูเลต (Modulate) อีกแบบหนึ่งเป็นสัญญาณสามเหลี่ยม (Double Sided)

โครงสร้างของการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชันอย่างง่ายโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.12 ถ้าหากสมมติว่าสัญญาณข่าวสารเป็นสัญญาณรูปคลื่นซายน์ดังสัญญาณบนของรูปที่ 2.13 ผลรวมทางขนาดของสัญญาณพาห์สามเหลี่ยมและสัญญาณข่าวสารจะได้ตามสัญญาณกลางในรูปที่ 2.13 ส่วนสัญญาณล่าง เป็นสัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชันเอาท์พุทที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์กับระดับอ้างอิง (Reference Level)



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของการกำเนิดสัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชั่นอย่างง่ายโดยทั่วไป



รูปที่ 2.13 สัญญาณแต่ละภาคตาม โครงสร้างรูปที่ 2.12

จากรูปที่ 2.13 เราจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าถึงแม้ความถี่พาหียังมีค่าไม่มากกว่าความถี่ของสัญญาณข่าวสารมากนัก ความถี่ของสัญญาณพัลส์วิด โมดุลเลชั่นเอาต์พุตก็จะมีค่าไม่คงที่ดังนั้นในการใช้งานโดยทั่วไปจึงมักกำหนดให้ความถี่พาหียมากกว่าความถี่ข่าวสาร 10 เท่าขึ้นไป

## 2.8 ระบบควบคุมแบบพี

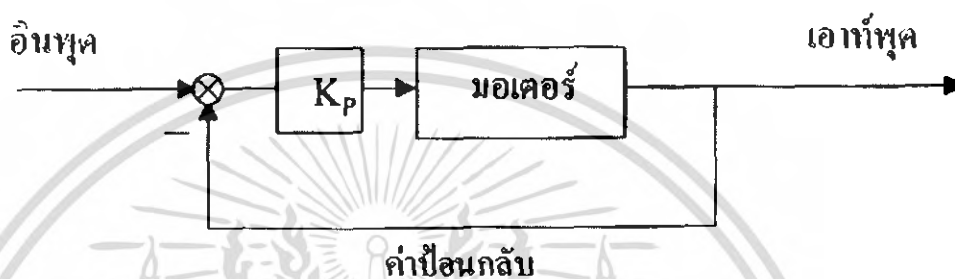
สำหรับระบบควบคุมแบบพี หรือแบบสัดส่วน (Proportional-control หรือ P-control) มีลักษณะการป้อนกลับเป็นแบบเชิงเส้น ถ้ากำหนดให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น  $R(t)$  และสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน  $e(t)$  ซึ่งคือผลต่างของตำแหน่งมุมของแต่ละข้อต่อที่ป้อนกลับกับตำแหน่งมุมของแต่ละข้อต่อที่ต้องการ เป็นอินพุตของตัวควบคุม ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณควบคุม  $R(t)$  และสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน  $e(t)$  สามารถอธิบายได้ดังสมการ (2.16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

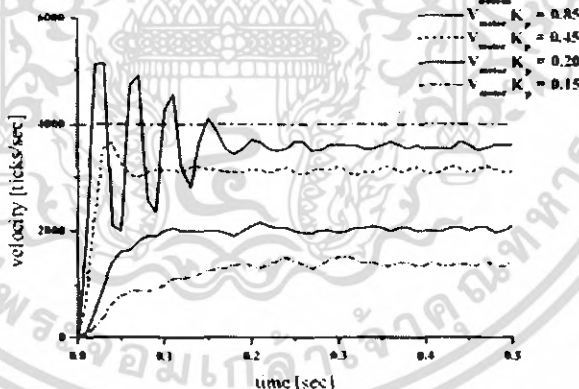
$$R(t) = K_p e(t) \quad (2.16)$$

โดยที่  $K_p$  คือ ค่าคงที่ของระบบควบคุมแบบพี

ไดอะแกรมการป้อนกลับของระบบและการตอบสนองของมอเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15 จะเห็นว่ายิ่งเพิ่มค่า  $K_p$  ให้สูงขึ้นระบบก็จะตอบสนองได้เร็วยิ่งขึ้นอย่างไรก็ตามหากค่า  $K_p$  มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้ระบบเกิดการออสซิลเลต (Oscillate) ได้



รูปที่ 2.14 ระบบป้อนกลับของตัวควบคุมแบบพี



รูปที่ 2.15 การตอบสนองของระบบป้อนกลับของตัวควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### หลักการออกแบบ

การจัดทำโครงการนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจในภาพรวมของระบบการทำงานทั้งหมด และหลักการออกแบบ ซึ่งจะช่วยให้การทำงานนั้นง่ายขึ้น และเมื่อเกิดปัญหาขึ้นจะสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว

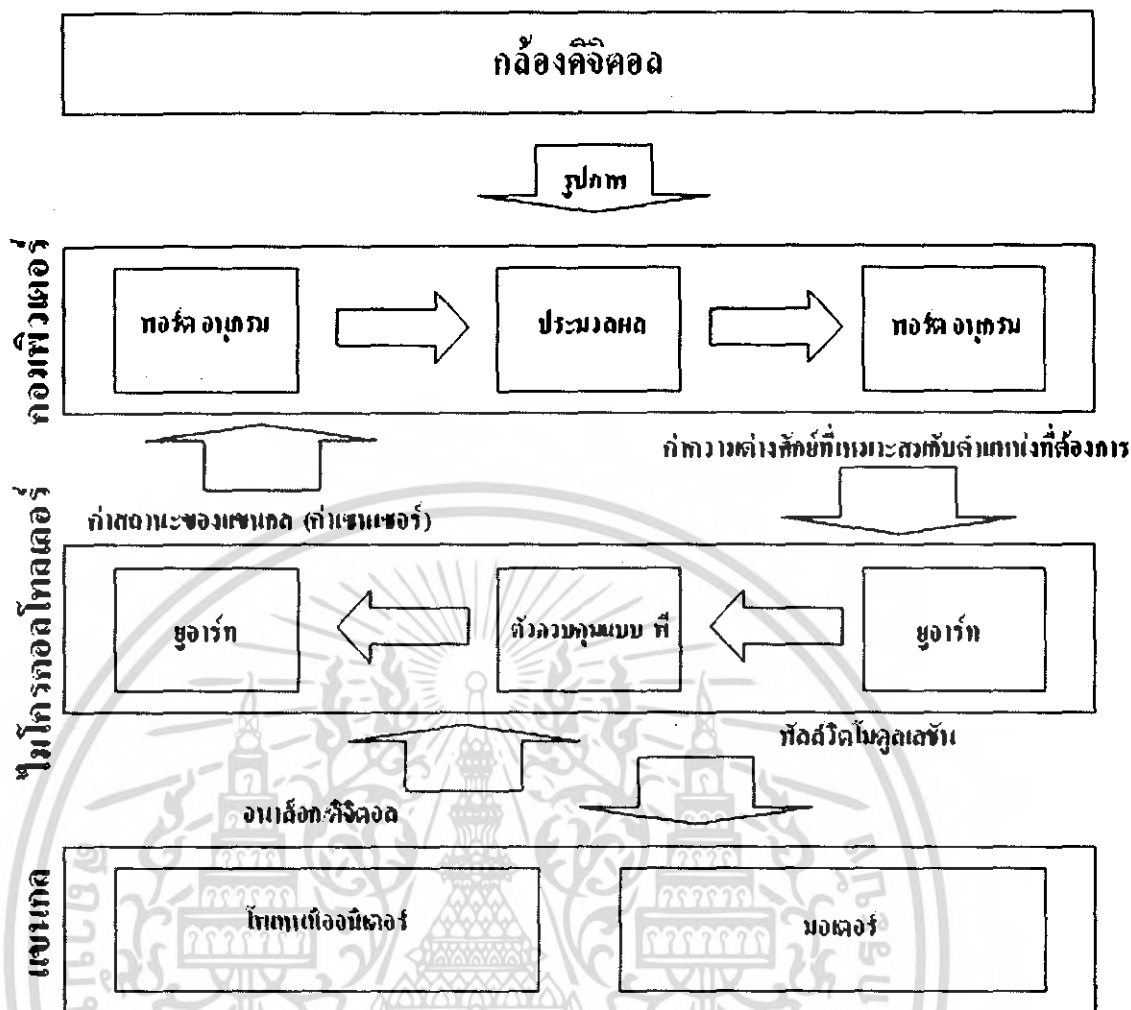
ภาพรวมของระบบการทำงานของโครงการและหลักการออกแบบสามารถแยกได้ 5 ประเภท ดังนี้

#### 3.1 หลักการทำงานของแขนกล

ระบบการทำงานของแขนกลในการคัดแยกวัสดุนั้น เริ่มจากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล หลังจากนั้นจะส่งค่าเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เมื่อคอมพิวเตอร์รับข้อมูล จะนำข้อมูลไปประมวลผลเป็นภาพแบบ ไบนารี คัดแยกวัตถุตามสี และหาตำแหน่งของวัตถุโดยอาศัยการประมวลผลภาพ หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะแปลงค่าของตำแหน่งเป็นองศาด้วยสมการอินเวอร์สไคเนติกส์ เมื่อได้ค่าขององศาตัวโปรแกรมจะใช้สมการเชิงเส้น เปลี่ยนค่าขององศาเป็นค่าความต่างศักย์ และส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลต่อไปและรอรับค่าความต่างศักย์หลังจากการควบคุมผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลแสดงสถานะของแขนกล

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลค่าความต่างศักย์มาจากคอมพิวเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำไปประมวลผลด้วยระบบควบคุมแบบปิด โดยเป็นลักษณะระบบควบคุมแบบพี เมื่อประมวลผลเสร็จจะส่งสัญญาณพัลส์วิด โมดูลเลชัน เพื่อไปควบคุมมอเตอร์และคอยรับค่าความต่างศักย์กลับมาจาก โปเทนทิอوميเตอร์แบบเชิงมุมซึ่งติดอยู่กับแต่ละข้อต่อของแขนกล และนำมาประมวลผลควบคุมต่อไปและส่งข้อมูลสถานะกลับไปสู่คอมพิวเตอร์

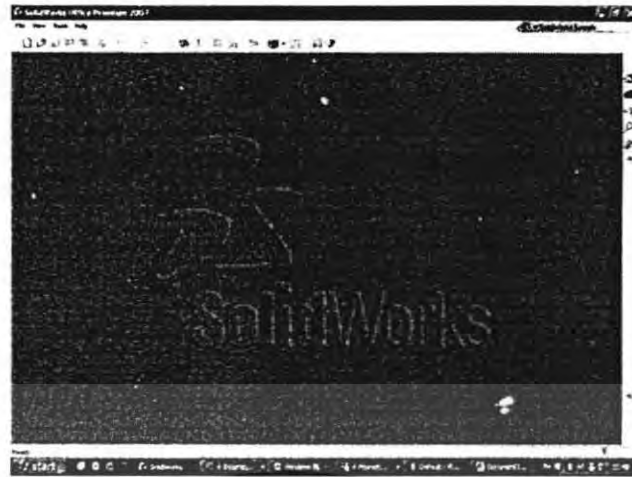
เมื่อแขนกลได้รับสัญญาณพัลส์วิด โมดูลเลชันจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แขนกลจะมีการขยับข้อต่อแต่ละข้อตามคำสั่งที่ได้รับเข้ามา โดยในขณะนั้นค่าของโตนโพเทนทิอوميเตอร์แบบเชิงมุมจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปตามการเคลื่อนที่ของแขนกล และทำให้ค่าความต่างศักย์มีการเปลี่ยนแปลงและส่งค่าการเปลี่ยนแปลงนั้นกลับไปไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมแขนกล และส่งสถานะกลับไปยังคอมพิวเตอร์ โดยระบบการทำงานทั้งหมดนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระบวนการทำงานของระบบเมช

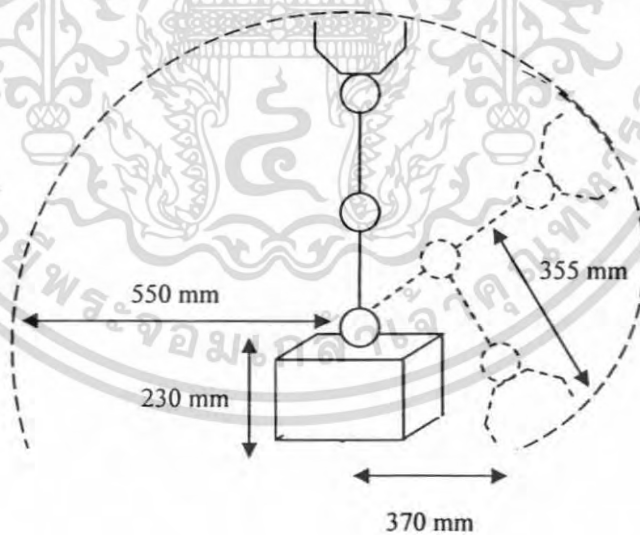
### 3.2 หลักการออกแบบชิ้นงาน

ในการจัดทำเมชซึ่งถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญ และต้องมีความแม่นยำเพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบในคอมพิวเตอร์ เพื่อความเหมาะสมและความง่ายในการจัดทำเมช โดยในโครงการนี้ได้ออกแบบโดยโปรแกรม Solid Work 2007 สร้างชิ้นงานจำลองขึ้นมาเพื่อให้ขนาดที่แน่นอนและแม่นยำ ซึ่งจะส่งผลดีในการทำงานไม่ต้องทำงานซ้ำซ้อนหรืองานมีความผิดพลาดลดลง



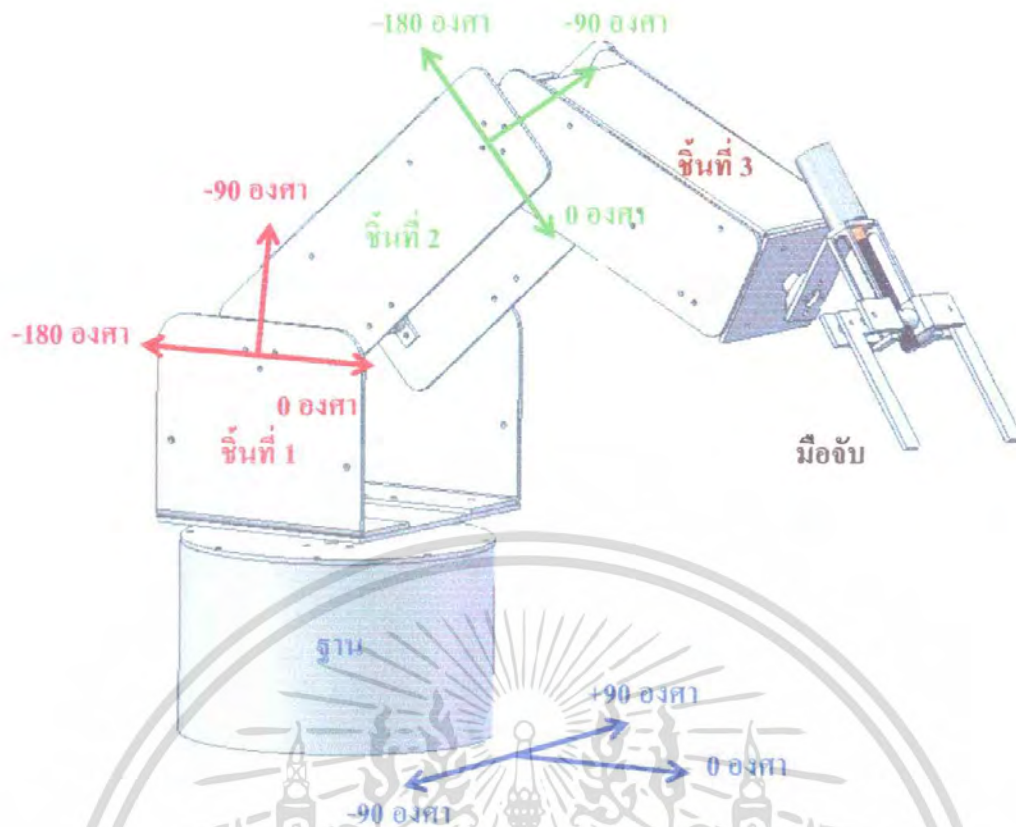
รูปที่ 3.2 โปรแกรม Solid Work 2007

โดยชิ้นงานมีทั้งหมด 4 ส่วน เป็นแบบหุ่นยนต์ข้อต่อหมุน โดยมีสัญลักษณ์ RRR โดยใช้มอเตอร์ทั้งหมด 4 ตัวในการขับเคลื่อน และมี 4 ดีกรีออฟฟร็ดอม (Degree of Freedom) โดยมีวัตถุประสงค์ในการจับสิ่งของภายในระยะไม่เกิน 35 เซนติเมตร จากจุดศูนย์กลางโดยมีรหัสการทำงานดังรูปที่ 3.3

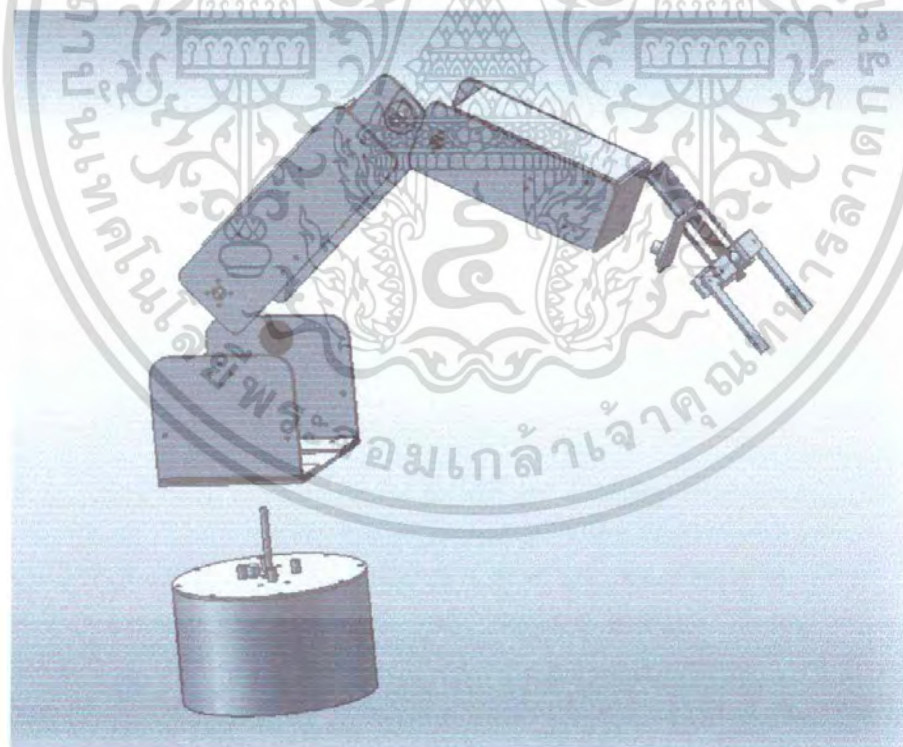


รูปที่ 3.3 ระยะเวลาเคลื่อนที่ของแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปร่างแขนกลจากโปรแกรม Solid Work และลักษณะมุมของการหมุน



รูปที่ 3.5 แขนกลเมื่อแยกชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยส่วนประกอบของแขนกลมีดังนี้

1.ฐาน และระบบกลไกการทอดเฟืองในฐาน ดังรูปที่ 3.6

- เหล็กกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 200 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 180 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร
- ฝาปิดทำจากอะลูมิเนียม 3 มิลลิเมตร
- มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนฐานแขนกล ขนาด 12 โวลต์ 50 รอบ/นาที
- โทเทนท์อิมิตเตอร์แบบเชิงมุม
- 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 3.6 ฐานของแขนกล

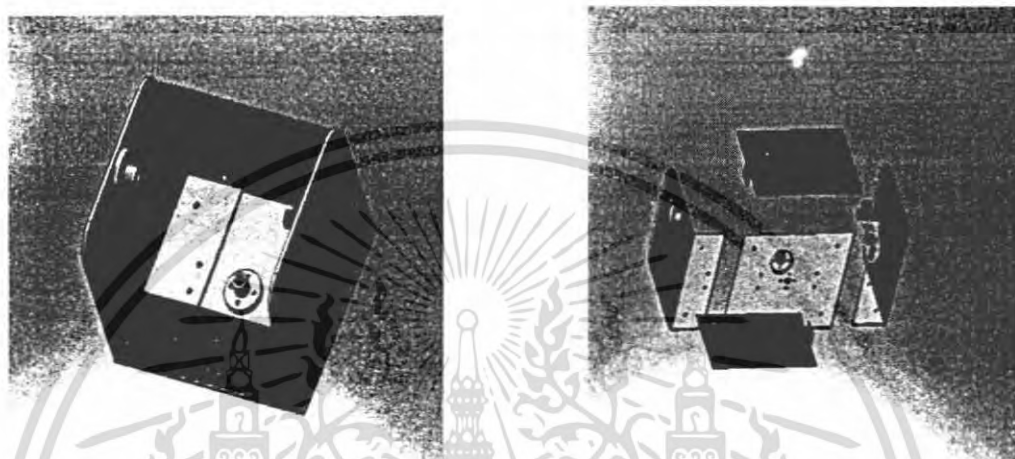
(ก) ภาพจำลองฐานของแขนกล

(ข) กลไกการทอดเฟืองที่อยู่ภายในฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ชิ้นงานที่ 1 ดังรูปที่ 3.7

- แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 3 มิลลิเมตร 5 แผ่น พับขึ้นรูป
- ตัวยึดมอเตอร์ 2 ตัว
- ตัวยึดโพเทนทิอوميเตอร์แบบเชิงมุม 1 ตัว



(ก)

(ข)

### รูปที่ 3.7 ชิ้นงานที่ 1

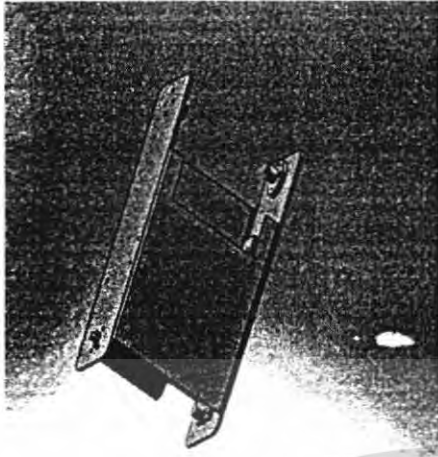
(ก) ภาพจำลองชิ้นงานที่ 1 แขนกล

(ข) ภาพจำลองชิ้นงานที่ 1 แขนกลแบบแยกส่วน

## 3. ชิ้นงานที่ 2 ดังรูปที่ 3.8

- แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 3 มิลลิเมตร 4 แผ่น พับขึ้นรูป
- ตัวยึดมอเตอร์ 1 ตัว
- ตัวยึดโพเทนทิอوميเตอร์แบบเชิงมุม 1 ตัว
- มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนข้อต่อ ขนาด 12 โวลต์
- โพเทนทิอوميเตอร์แบบเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

### รูปที่ 3.8 ชั้นงานที่ 2

(ก) ภาพจำลองชั้นงานที่ 2 แขนกล

(ข) ภาพจำลองชั้นงานที่ 2 แขนกลแบบแยกส่วน

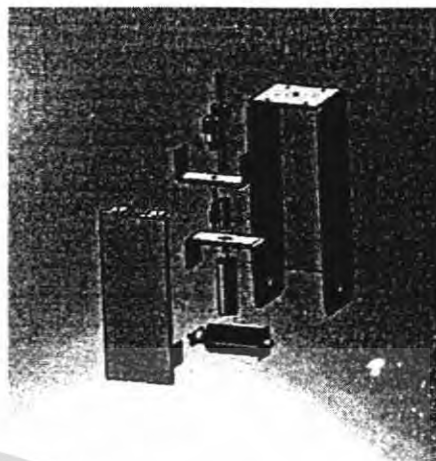
### 4. ชั้นงานที่ 3 ดังรูปที่ 3.9

- แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 3 มิลลิเมตร 7 แผ่น พับขึ้นรูป
- มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนข้อต่อ ขนาด 12 โวลต์
- มอเตอร์ 12 โวลต์ 20รอบ/นาที
- โฟเทนทีออมิเตอร์แบบเชิงมุม
- เฟือง 20 ฟัน 2 ชั้น
- เพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 90 มิลลิเมตร
- เพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร รูเพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร
- คิวเปลี่ยนขนาดเพลา 6 มิลลิเมตร เป็น 8 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

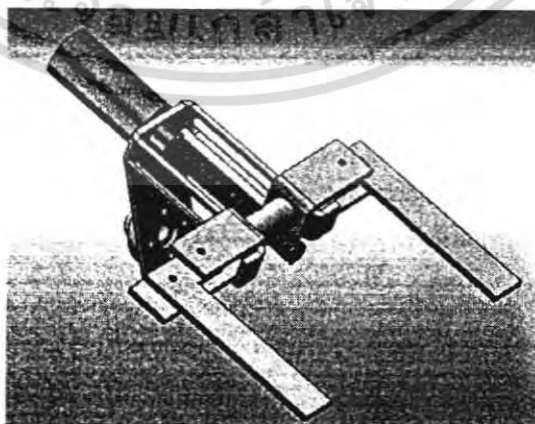
### รูปที่ 3.9 ชิ้นงานที่ 3

(ก) ภาพจำลองชิ้นงานที่ 3 แขนกล

(ข) ภาพจำลองชิ้นงานที่ 3 แขนกลแบบแยกส่วน

### 5.มือจับ ดังรูปที่ 3.10

- แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 3 มิลลิเมตร 5 แผ่น พับขึ้นรูป
- มอเตอร์ 12 โวลต์ 20รอบ/นาที
- สกรูตัวผู้และตัวเมีย
- คิวเปลี่ยนขนาดเพลลา 6 มิลลิเมตร เป็น 8 มิลลิเมตร
- คิวยึดเพลลา
- แหวนรอง



### รูปที่ 3.10 มือจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แขนกตที่ไ้จัดทำ

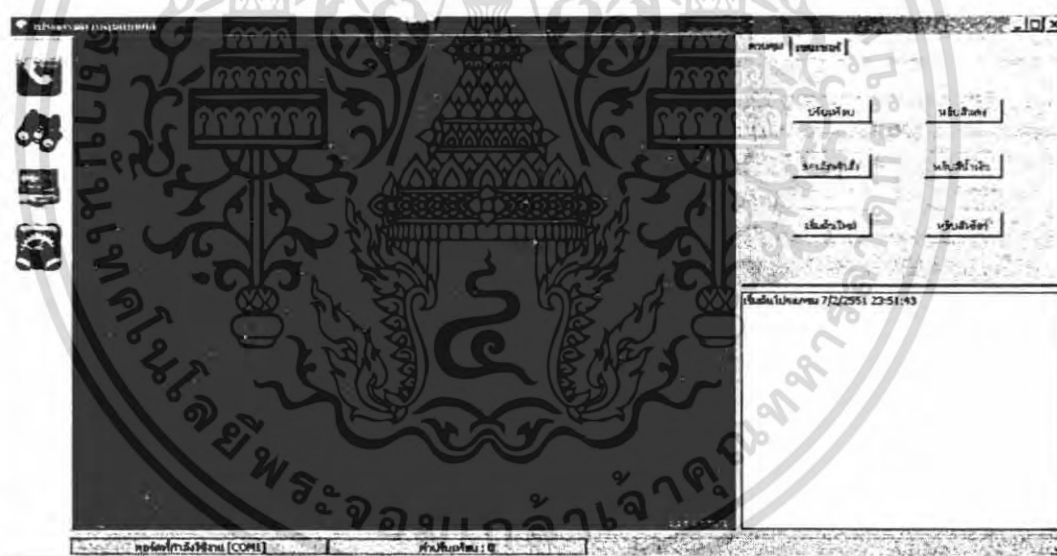
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบโปรแกรม

โปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้นมีส่วนสำคัญที่มีการประมวลผลคือ

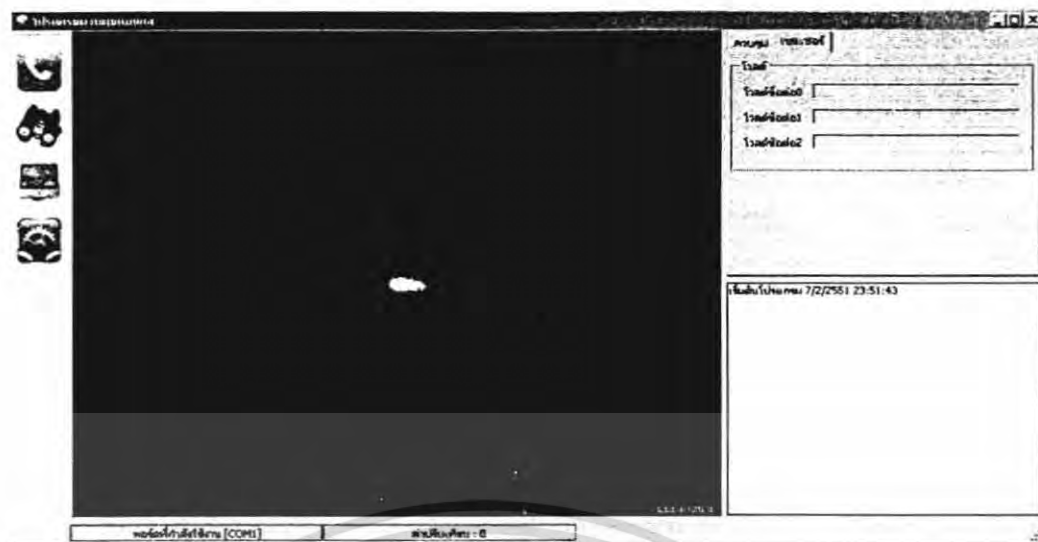
- 1.การประมวลผลภาพ
- 2.คำนวณสมการด้วยสมการอินเวิร์สโคไซน์เมตริกส์
- 3.ประมวลผลเพื่อเปลี่ยนค่าของมุมเป็นค่าความต่างศักย์ด้วยสมการเชิงเส้น

ส่วนประกอบของโปรแกรมประกอบด้วยหน้าจอแสดงภาพจากกล้องดิจิทัล ทางด้านซ้ายของโปรแกรมจะมีไอคอนอยู่ 4 ตัวโดยแต่ละตัวจะทำหน้าที่ปรับแต่งฟังก์ชันให้เหมาะสมกับการทำงานประมวลผลด้วยภาพ เรียงตามลำดับจากบนลงข้างล่างดังนี้ โดยไอคอนอันที่ 1 มีไว้สำหรับติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ไอคอนอันที่ 2 สำหรับติดต่อกับกล้องดิจิทัล ไอคอนที่ 3 สำหรับปรับสีเพื่อให้เหมาะสมกับการประมวลผลภาพ ไอคอนที่ 4 สำหรับตั้งค่าโปรแกรม ส่วนประกอบทางด้านขวาจะมี 2 หน้าต่าง โดยหน้าต่างแรกจะเป็นการป้อนคำสั่งเกี่ยวกับการทำงานของแขนกล ดังในรูปที่ 3.12 (ก) ส่วนหน้าต่างที่ 2 จะบอกสถานะของเซนเซอร์ ในแต่ละข้อต่อของแขนกล ดังรูปที่ 3.12 (ข)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

### รูปที่ 3.12 โปรแกรมประมวลผลในคอมพิวเตอร์

(ก) โปรแกรมประมวลผลภาพ

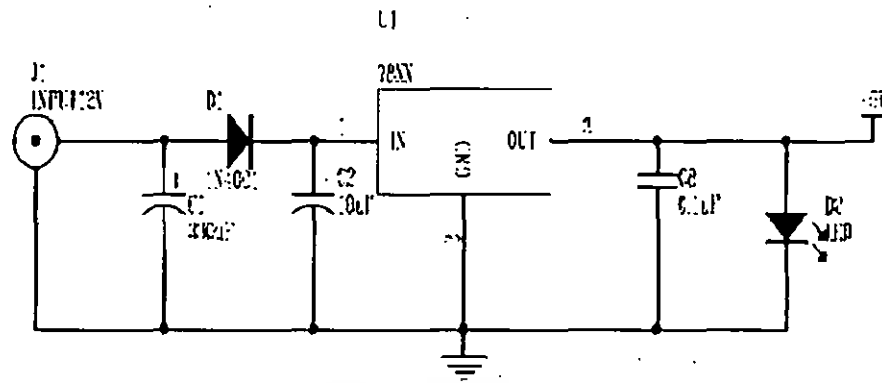
(ข) โปรแกรมบอกสถานะของเซนเซอร์

#### 3.4 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของแขนกล

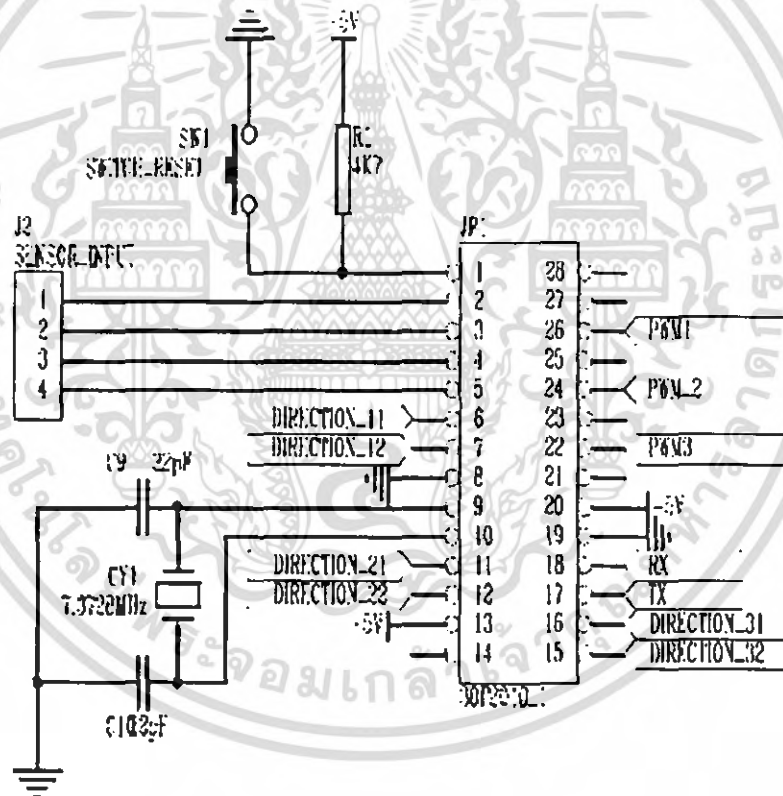
ในการจัดทำโครงงานนั้นนอกจากจะอาศัยหลักการข้างต้นดังกล่าวมาแล้ว ยังต้องอาศัยวงจรควบคุมการทำงานของแขนกลที่มีประสิทธิภาพ จึงจะส่งผลให้แขนกลสามารถทำงานได้ตรงตามเป้าหมาย ซึ่งมีรายละเอียดของวงจรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของแขนกลดังนี้

1. วงจรแปลงไฟฟ้า 5 V (IC 7805) โดยนำค่าความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายพลังงานแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 V เพื่อนำมาเลี้ยงวงจร ดังรูปที่ 3.13
2. วงจรดีเอสปิก ใช้เพื่อประมวลผลข้อมูลในการควบคุมแขนกล ดังรูปที่ 3.14
3. วงจรพอร์ตอนุกรม (Max-232) เพื่อติดต่อข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม ดังรูปที่ 3.15
4. วงจรแอนเดท (And Gate) ใช้วงจรแอนเดทเพื่อประยุกต์ใช้ในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

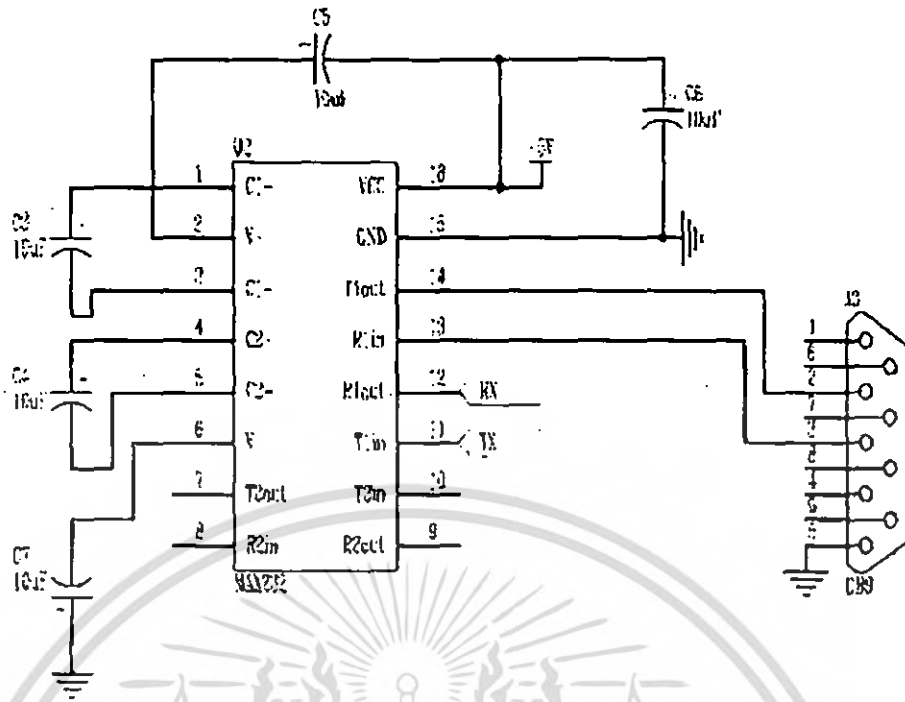


รูปที่ 3.13 วงจรแปลงไฟ 5 V

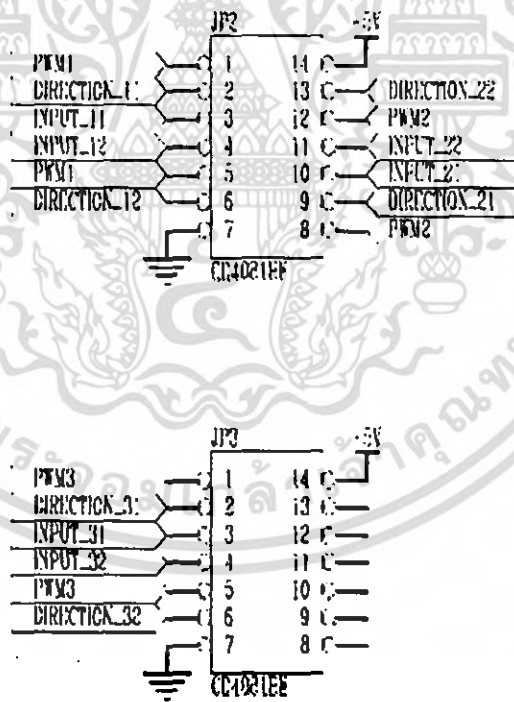


รูปที่ 3.14 วงจรตีเอสปีค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



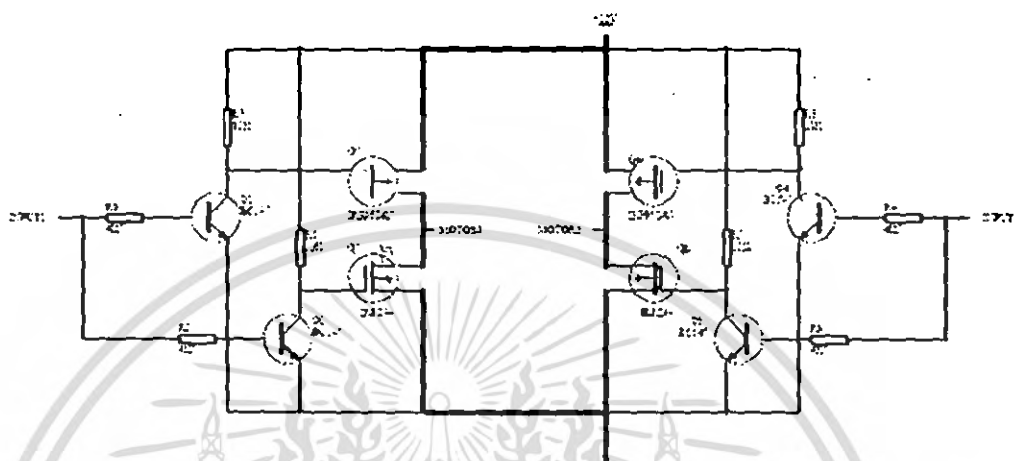
รูปที่ 3.15 วงจรอนุกรม



รูปที่ 3.16 วงจรแอนเกด

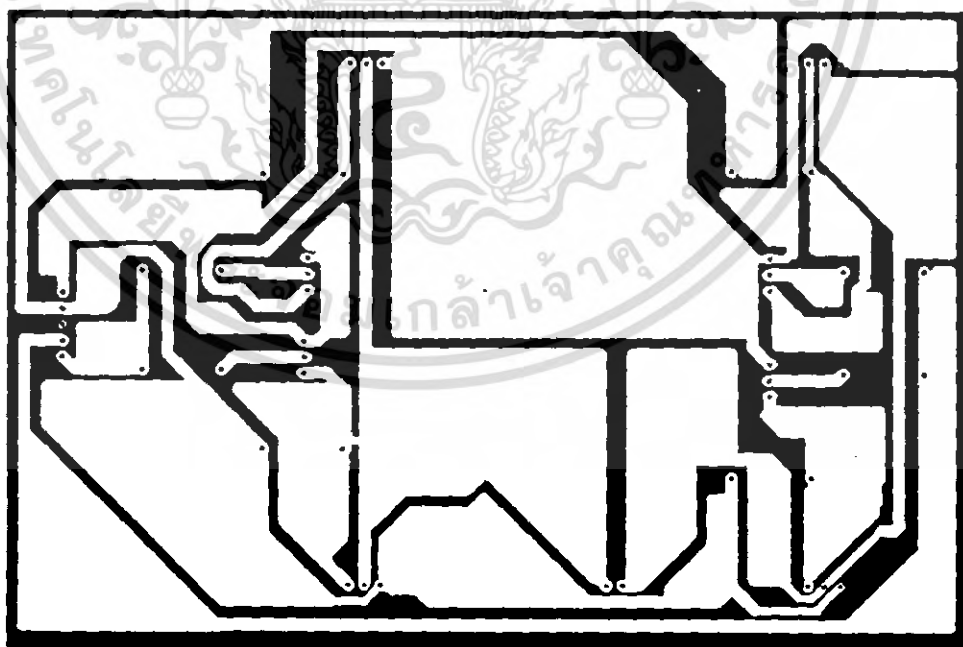
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้มอสเฟต (Mosfet) ต่อแบบเฮซ-บริดจ์ (H-bridge) ดังรูปที่ 3.17 ใช้ในการควบคุมมอเตอร์และใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวช่วยในการกำหนดการทำงาน ซึ่งจะให้กระแสที่มากและมีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าการควบคุมแบบอื่น และในโครงการนี้มีความจำเป็นในการใช้พลังงานในการขับมอเตอร์ค่อนข้างสูง ทำให้วงจรขับมอเตอร์นั้นจำเป็นต้องทนค่ากระแสไฟฟ้าได้มาก จึงได้เลือกใช้วงจรควบคุมแบบมอสเฟตแทนวงจรสำเร็จรูป



รูปที่ 3.17 วงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้มอสเฟต ต่อแบบเฮซ-บริดจ์

จากรูป 3.17 คณะผู้จัดทำโครงการได้ออกแบบลายวงจร โดยใช้โปรแกรม โปรเทล 99 (Protel 99) ซึ่งได้ดังรูปที่ 3.18

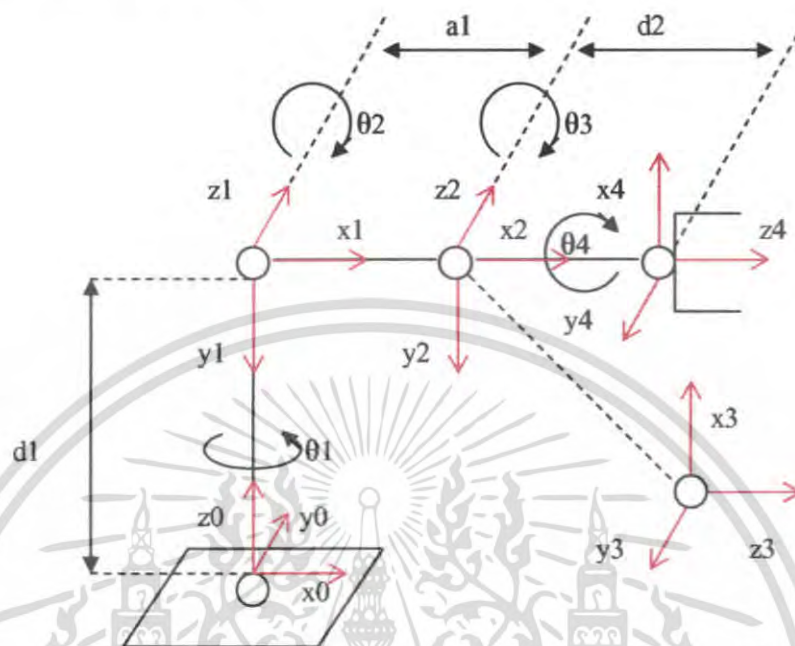


รูปที่ 3.18 ลายแผ่นวงจรควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 สมการแขนกล

ฟอร์เวิร์สไคเนติกส์ (Forward Kinematics) เป็นการแปลงค่ามุมไปเป็นพิกัดโดยจะอ้างอิงจากระนาบต่างๆ ของแขนกลดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ระนาบต่างๆของแขนกล

จากระนาบต่างๆ ได้มีการหมุนแกนจากระนาบที่ฐาน ไปยังข้อต่อต่างๆ โดยมีสมการการหมุนในแกน X,Y,Z โดยเป็นเมตริกซ์  $3 \times 3$  ดังนี้

แกน X

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

แกน Y

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

แกน Z

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในระบบของแขนกลนั้นจะใช้แกน Z แทนแกนการหมุนของมอเตอร์ และจะใช้แค่สมการการหมุนแกนของแกน Z และแกน X เท่านั้น และจากรูปที่ 3.19 จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ไว้ช่วยในการหาสมการไคเนมติกส์ (Kinematics Equation) ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแขนกล

Axis	$\theta$	$D$	$A$	$\alpha$	$Home(\theta)$
1	$\theta_1$	$D_1$	0	$\frac{-\pi}{2}$	0
2	$\theta_2$	0	$A_1$	0	0
3	$\theta_3$	0	0	$\frac{-\pi}{2}$	$\frac{-\pi}{2}$
4	$\theta_4$	$D_2$	0	0	0

- ค่า  $\theta$  ต่างๆเป็นค่าที่ต้องการหรือที่ป้อนเข้าสู่ระบบ
- ค่า  $D$  คือค่าระยะทางในแนวแกน Z
- ค่า  $A$  คือค่าระยะทางในแนวแกน X
- ค่า  $\alpha$  เป็นค่ามุมการหมุนรอบโดยมีแกน X เป็นจุดหมุน
- ค่า  $Home(\theta)$  เป็นค่ามุมในระนาบโดยมีแกน Z เป็นจุดหมุน

หลังจากที่ได้ตารางค่าพารามิเตอร์มาแล้ว เราสามารถพิจารณาหาสมการแขนกลได้จากสมการการหมุนแกน Z และแกน X ดังนี้

$$T_{k-1}^k = \begin{bmatrix} \cos \theta_k & -\cos \alpha_k \sin \theta_k & \sin \alpha_k \sin \theta_k & A_k \cos \theta_k \\ \sin \theta_k & \cos \alpha_k \cos \theta_k & -\sin \alpha_k \cos \theta_k & A_k \sin \theta_k \\ 0 & \sin \alpha_k & \cos \theta_k & D_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

เพราะฉะนั้นสมการแขนกลทั้งหมดได้แก่

$$T_0^1 T_1^2 T_2^3 T_3^4 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & D_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2 & s_2 & 0 & A_1 c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & A_1 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2 & s_2 & 0 & A_1 c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & A_1 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2 & s_2 & 0 & A_1 c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & A_1 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= \begin{bmatrix} c_1 c_2 & -c_1 s_2 & -s_1 & A_1 c_2 \\ s_1 c_2 & -s_1 s_2 & c_1 & A_1 s_2 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & D_1 - A_1 s_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_3 c_4 & -c_3 s_4 & -s_3 & D_2 s_3 \\ s_3 c_4 & -s_3 s_4 & c_3 & D_2 c_3 \\ -s_4 & -c_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} c_1 c_4 c_{2+3} + s_1 s_2 & -c_1 s_4 c_{2+3} & -c_1 s_{2+3} & c_1 (-D_2 s_{2+3} + A_1 c_2) \\ s_1 c_4 c_{2+3} - c_1 s_4 & -s_1 s_4 c_{2+3} - c_1 s_4 & -s_1 s_{2+3} & s_1 (-D_2 s_{2+3} + A_1 c_2) \\ -s_{2+3} c_4 & -s_{2+3} s_4 & -c_{2+3} & -D_2 c_{2+3} - A_1 s_2 + D_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)
\end{aligned}$$

เมื่อได้สมการแขนกลซึ่งเป็นฟอร์เวิร์สไคนิเมติกส์และทราบมุมของข้อต่อแต่ละข้อต่อ จะสามารถหาพิกัดปลายแขนได้

นอกจากฟอร์เวิร์สไคนิเมติกส์แล้ว ยังต้องการอินเวิร์สไคนิเมติกส์เพื่อให้ทราบมุมของแต่ละข้อต่อที่จะทำให้แขนกลขยับไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยอ้างอิงจากเมตริกซ์ของฟอร์เวิร์สไคนิเมติกส์ดังนี้

สิ่งที่ทราบในการทำอินเวิร์สไคนิเมติกส์คือ ตำแหน่ง X,Y,Z ระนาบแกน Z ของปลายแขนกล และมุมของมือจับ

หลักที่ 4 ของเมตริกซ์ฟอร์เวิร์สไคนิเมติกส์ของสมการที่ (3.5) นั้นจะเป็นตัวบอกพิกัด X,Y,Z

หลักที่ 3 ของเมตริกซ์ฟอร์เวิร์สไคนิเมติกส์ของสมการที่ (3.5) นั้นจะเป็นตัวระนาบแกน Z ของมือจับเทียบกับฐาน

และจากรูปที่ 3.19 สมมุติให้  $W, W_5, W_6$  เป็นค่าระนาบแกน Z ของแขนกลทำมุมกับระนาบของฐานในแกน X,Y,Z ตามลำดับจะได้สมการที่ (3.6)

$$\begin{bmatrix} c_1 (-D_2 s_{2+3} + A_1 c_2) \\ s_1 (-D_2 s_{2+3} + A_1 c_2) \\ -D_2 c_{2+3} - A_1 s_2 + D \\ -(\text{Exp}(\frac{\theta_4}{\pi})) c_1 s_{2+3} \\ -(\text{Exp}(\frac{\theta_4}{\pi})) s_1 s_{2+3} \\ -(\text{Exp}(\frac{\theta_4}{\pi})) c_{2+3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W_4 \\ W_5 \\ W_6 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

หากแก้สมการหาค่า  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  ได้ดังนี้

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_{2+3} = \arctan \left[ -\frac{(\cos \theta_1 W_4 + \sin \theta_1 W_5)}{(-W_6)} \right] \quad (3.8)$$

$$\theta_3 = \arcsin \left[ \frac{(\cos \theta_1 X_1 + \sin \theta_1 Y_1)^2 + (D_1 - Z_1)^2 - D_2^2 - A_1^2}{2A_1 D_2} \right] \quad (3.9)$$

$$\theta_2 = \arctan \left[ \frac{\tan \theta_{2+3}}{\tan \theta_3 + (\tan \theta_{2+3} \times \tan \theta_3)} \right] \quad (3.10)$$

เมื่อ

$$c_i = \cos \theta_i$$

$$s_j = \sin \theta_j$$

$$c_{i+j} = \cos(\theta_i + \theta_j)$$

$$s_{i+j} = \sin(\theta_i + \theta_j)$$



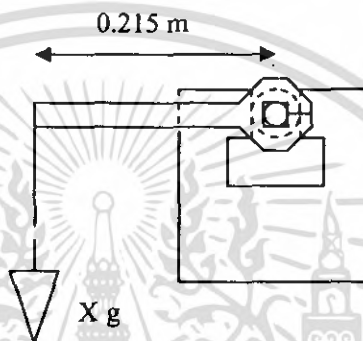
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดสอบมอเตอร์

การทดสอบมอเตอร์ที่จะนำมาใช้งาน เพื่อหาค่ากระแสสูงสุดที่มอเตอร์ต้องใช้เมื่อใช้ค่าแรงบิดสูงสุด ทำการทดสอบโดยใช้คีมลึงแกนของมอเตอร์ไว้แล้วใช้คีมน้ำหนักถ่วงไว้ทางปลายของคีมลึงและให้คีมลึงอยู่ในลักษณะขนานกับพื้น ดังรูปที่ 4.1 แสดงวิธีการทดลอง



รูปที่ 4.1 วิธีการทดสอบมอเตอร์

ตารางที่ 4.1 ผลทดสอบมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนส่วนฐานของแขนกล

น้ำหนัก (รวมคีมลึง 500 g)	ความยาวคีมลึง (0.215 m)	i ที่ทำให้คีมขนานกับพื้น	T	Kt
0.7 kg	0.215 m	0.15 A	1.505	10.03
0.8 kg	0.215 m	0.22 A	1.720	7.82
0.9 kg	0.215 m	0.29 A	1.935	6.67
1.0 kg	0.215 m	0.28 A	2.150	7.68
เฉลี่ย				8.05

ตารางที่ 4.2 ผลทดสอบมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนข้อต่อในแต่ละข้อต่อ

น้ำหนัก (รวมคีมลึง 500 g)	ความยาวคีมลึง (0.215 m)	i ที่ทำให้คีมขนานกับพื้น	T	Kt
1.0 kg	0.215 m	0.32 A	2.150	6.72
1.5 kg	0.215 m	0.41 A	3.225	7.87
2.5 kg	0.215 m	0.78 A	5.375	6.89
เฉลี่ย				7.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์

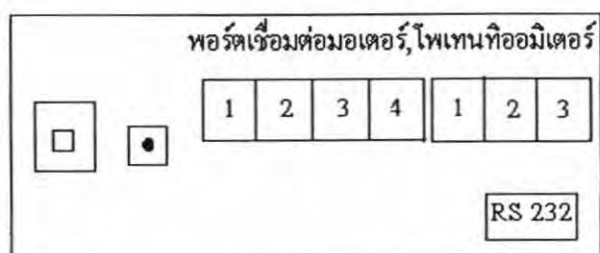
ในการทำการทดลองนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ให้เหมาะเพื่อความสะดวกและความแม่นยำในการทำการทดลองดังรูปที่ 4.2 จะเห็นว่ามีอุปกรณ์ดังนี้ คือ กล้องดิจิทัล ขาดังกล้อง คอมพิวเตอร์ กล้องไฟสว่างจระควบคุมแขนกล แขนกล ซึ่งสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ โดยนำสายเชื่อมต่อข้อมูลแบบยูเอสบี (USB) จากกล้องดิจิทัลต่อกับคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำสายเชื่อมต่อข้อมูลแบบอาร์เอส-232 เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับพอร์ตอนุกรมอาร์เอส-232 (ซึ่งอยู่ที่กล่องไฟสว่างจระควบคุมแขนกล) และสุดท้ายทำการเชื่อมต่อระหว่างแขนกลกับวงจระควบคุมแขนกล หมายเหตุ ท่าของแขนกลดังรูปที่ 4.2 คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของแขนกล (Home Position)



รูปที่ 4.2 ลักษณะการวางอุปกรณ์

นอกจากการจัดวางอุปกรณ์แล้วยังมีการเชื่อมต่อระหว่างกล่องไฟสว่างจระกับแขนกลและคอมพิวเตอร์ โดยการเชื่อมต่อสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- สวิตช์ไฟเลี้ยงวงจร
- สวิตช์ควบคุมมอเตอร์

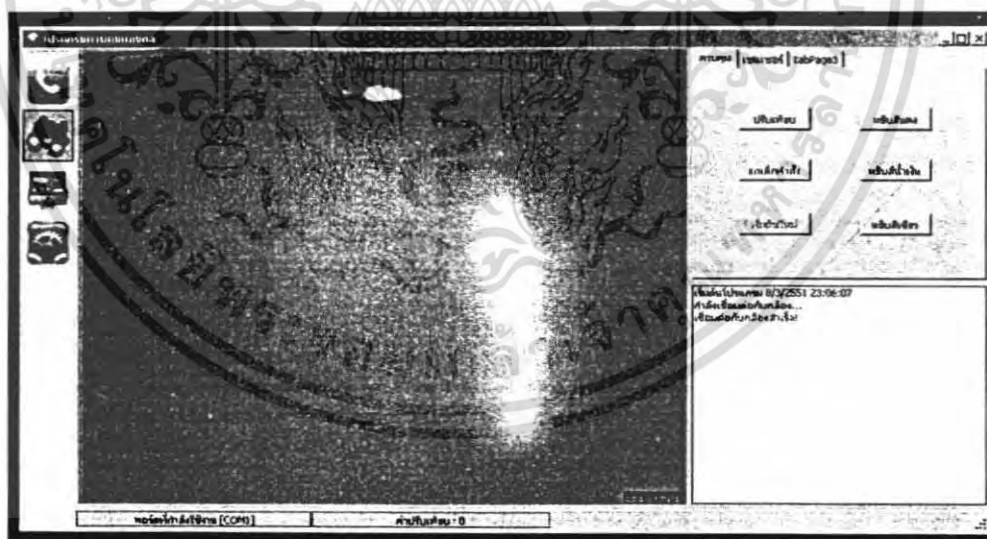
รูปที่ 4.3 ด้านหน้าของกล่องใส่วงจรแขนกล แสดงพอร์ตต่างๆ

### 4.3 ปรับแต่งอุปกรณ์ ก่อนทำการทดลอง

ก่อนที่ทำการทดลองจะต้องทำการปรับแต่งอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การปรับตำแหน่งกล้องดิจิตอล

ในการจัดเตรียมอุปกรณ์นั้นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือการวางตำแหน่งของกล้องให้สามารถเห็นสนามตามที่เราต้องการดังรูปที่ 4.4

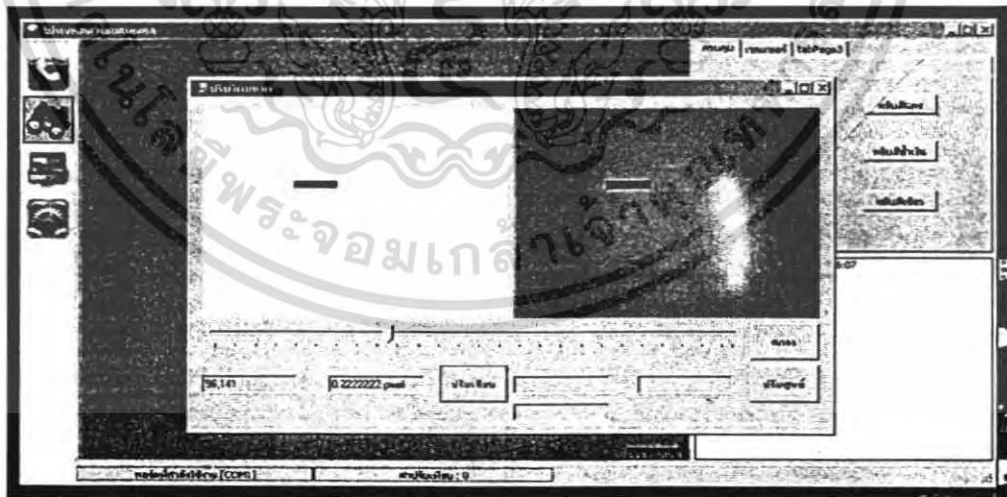


รูปที่ 4.4 ภาพที่ได้จากการปรับแต่งให้กล้องดิจิตอลให้มองเห็นได้ทั่วทั้งสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 การเปรียบเทียบขนาดของฟิสิกเซล

ในการประมวลผลด้วยภาพนั้น มีความจำเป็นที่ต้องทราบขนาดของฟิสิกเซล ซึ่งคณะผู้จัดทำได้นำแผ่นกระดาษสีดำ ความยาว 10 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร มาวางไว้บนสนามเพื่อคำนวณหาขนาดของฟิสิกเซลว่า 1 ฟิสิกเซลมีความยาวเท่าไรเมื่อเทียบกับขนาดจริง โดยอาศัยการเทียบบัญชีไตรยางในการคำนวณค่า หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณต่อไป ดังรูปที่ 4.5 (ก) และการประมวลผลภาพดังรูปที่ 4.5 (ข) โดยที่ด้านขวาคือภาพถ่ายที่ได้จากกล้อง ด้านซ้ายคือภาพที่ผ่านการประมวลผลภาพ



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบขนาดของฟิสิกเซล

(ก) การวางกระดาษบนสนาม

(ข) การคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

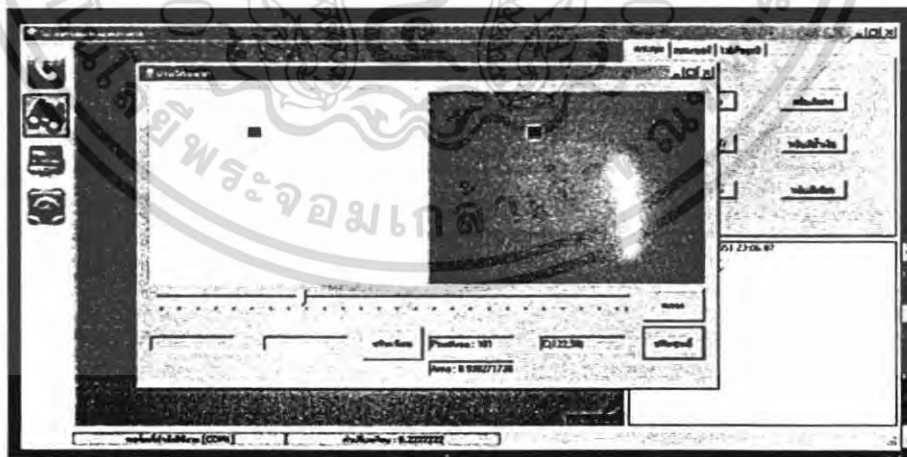
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 การหาจุดอ้างอิงของแขนกล

ในการคำนวณตำแหน่งวัตถุที่เราจำเป็นต้องทราบตำแหน่งอ้างอิงของแขนกลแต่การที่จะให้นำภาพของแขนกลมาคำนวณนั้น เป็นวิธีการที่ค่อนข้างยาก เพราะฉะนั้นคณะผู้จัดทำจึงนำแผ่นกระดาษสีดำ ความยาว 2.5 เซนติเมตร กว้าง 2.5 เซนติเมตร มาวางไว้บนสนามเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงกับแขนกลดังรูปที่ 4.6 (ก) จากนั้นก็ทำการวัดระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของฐานแขนกลกับจุดกึ่งกลางของแผ่นกระดาษสีดำตามแนวแกน X ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งวัดได้ 34.5 เซนติเมตรเมื่อมีการประมวลผลด้วยภาพแล้ว จึงมีการนำค่าที่ได้ในระยะแกน X บวก ค่าระยะห่างระหว่างแขนกลกับจุดอ้างอิงสีดำ ทำให้ทราบตำแหน่งเมื่อเทียบกับแขนกลจริงๆ



(ก)



(ข)

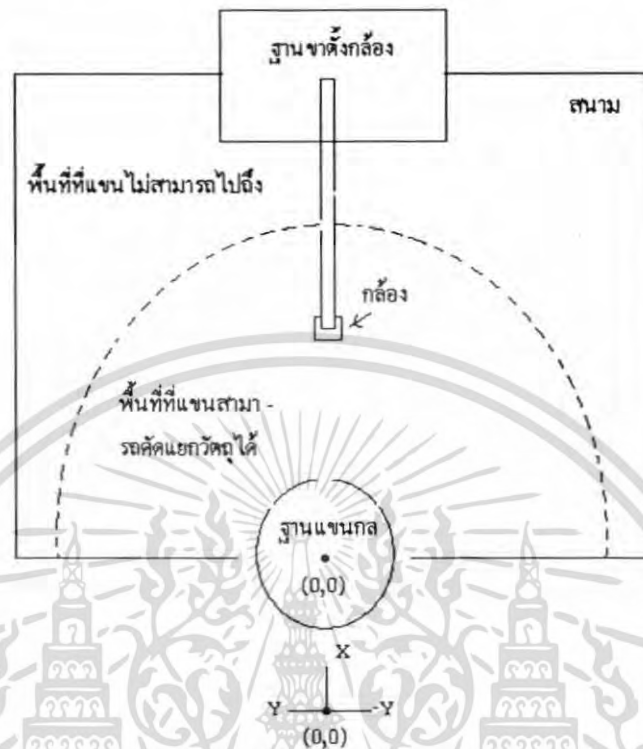
### รูปที่ 4.6 การหาจุดอ้างอิงของแขนกล

(ก) การวางกระดาษบนสนาม

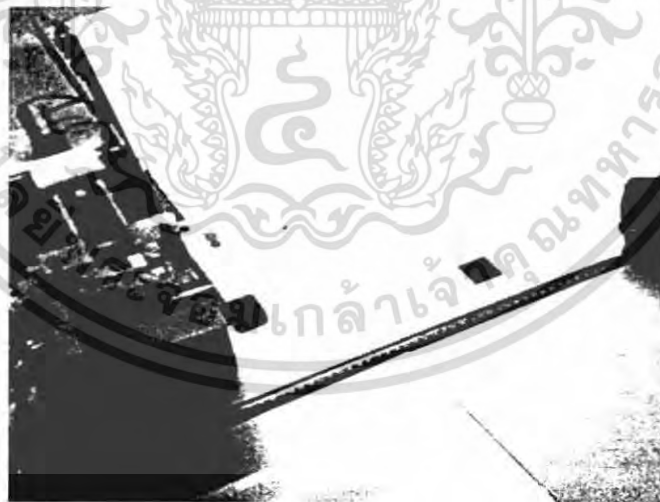
(ข) การคำนวณด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6(ข) ภาพทางด้านขวามือคือภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิทัล ส่วนด้านซ้ายมือคือภาพที่ได้จากการแปลงภาพเป็นไบนารีเพื่อหาค่าแห่งกระดาศยสีดำ



รูปที่ 4.7 ขอบเขตการทำงานของแขนกล



รูปที่ 4.8 การหาค่าระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงกับแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับแล้ว ทำให้ระบบการทำงานนั้นทราบตำแหน่งอ้างอิงของแขนกล ต่อมาจะทำการทดลองแขนกลดังนี้

##### 4.4.1 การทดสอบความแม่นยำของแขนกล

การทดสอบความแม่นยำของแขนกล ทำได้โดยการป้อนตำแหน่งที่ต้องการให้แขนกลเคลื่อนที่ไปลงในคอมพิวเตอร์ เมื่อแขนกลเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ตำแหน่งนั้นแล้ว จากนั้นจึงทำการวัดตำแหน่งของวัตถุโดยใช้คัลลิเบรเตอร์ เมื่อวัดเสร็จก็สั่งให้แขนกลเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นก่อน แล้วจึงป้อนค่าที่ต้องการให้แขนเคลื่อนที่ไป ลงไปใหม่ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองความแม่นยำแขนกลในแนวแกน X เมื่อกำหนดแกน Z=100 และ Y=0

ตำแหน่งที่ต้องการให้แขนเคลื่อนที่ไป (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งที่แขนเคลื่อนที่ไปได้จริง (มิลลิเมตร)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
450	448	447	449	448
480	477	478	478	477.7
500	495	496	498	496.3
530	530	531	529	530
550	550	549	551	550

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองความแม่นยำแขนกลในแนวแกน Y เมื่อกำหนดแกน Z=100 และ X=400

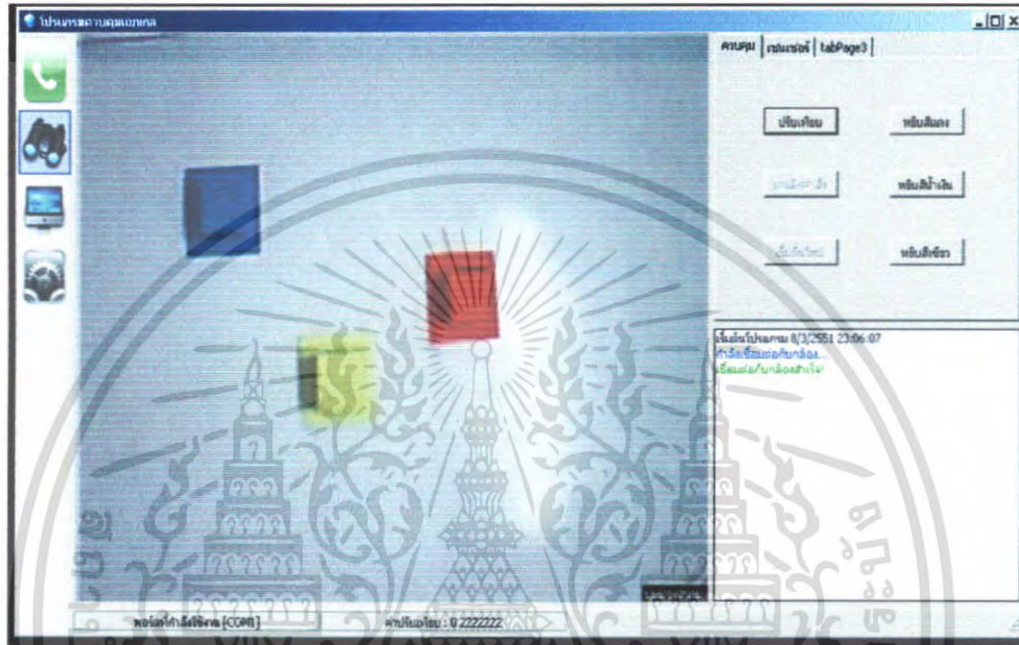
ตำแหน่งที่ต้องการให้แขนเคลื่อนที่ไป (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งที่แขนเคลื่อนที่ไปได้จริง (มิลลิเมตร)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
-200	-197	-198	-196	-197
-150	-150	-149	-148	-149
-100	-95	-97	-98	-96.7
0	2	1	-1	0.6
100	98	97	98	97.7
150	152	153	152	152.3
200	196	198	199	197.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 การทดลองหาตำแหน่งของวัตถุ

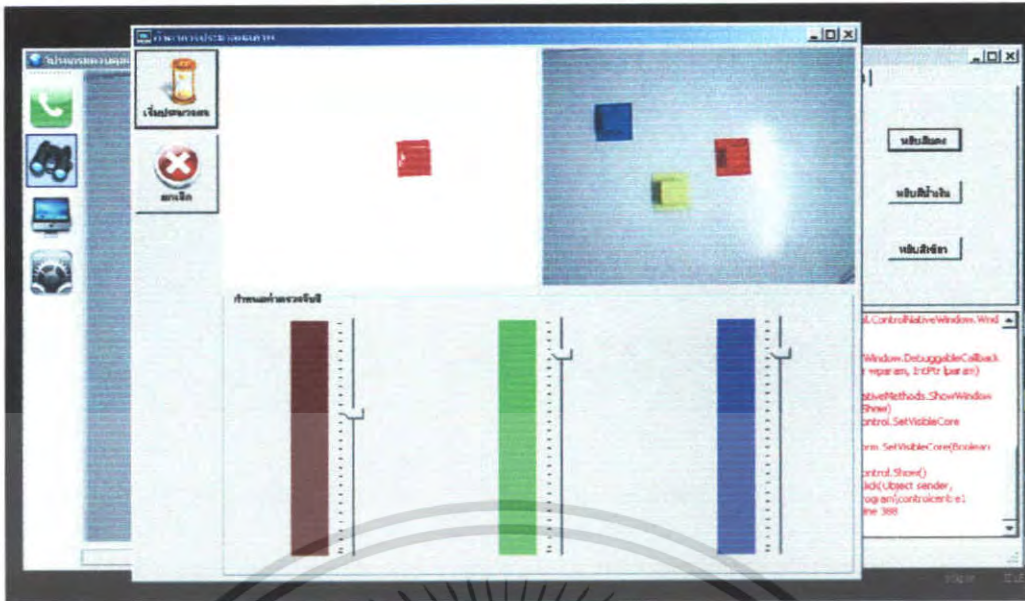
ทดลองหาตำแหน่งของวัตถุโดยเลือกวัตถุสีที่ต้องการ ในที่นี้เลือกสีแดง แล้วนำภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลมาปรับแต่งโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำกล้องทั้ง 3 สี มาวางบนสนามและให้อยู่ในขอบเขตที่เลนส์กลีบแคบไปถึง แล้วถ่ายภาพ ซึ่งได้จะภาพถ่ายดังรูปที่ 4.9



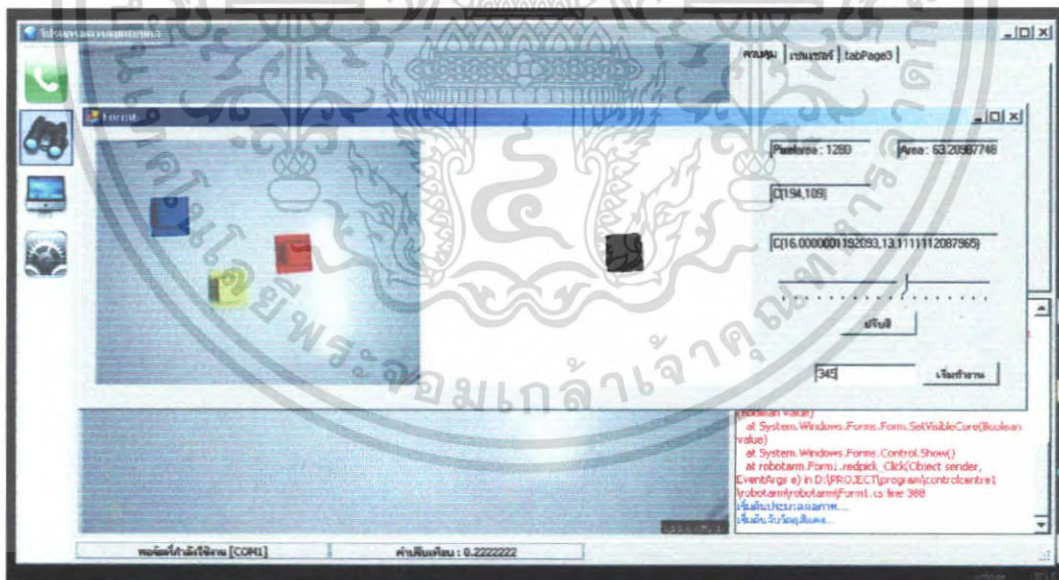
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายของวัตถุทั้งสามสี

2. ทำการปรับแต่งให้ได้ภาพด้านซ้ายมือของรูปที่ 4.10 ในที่นี้เลือกสีแดงดังนั้นจะต้องลองปรับค่าสเกลของสีทั้ง 3 สี (แดง เขียว น้ำเงิน) ไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ภาพสีแดงทางซ้ายมือที่ชัดเจนที่สุด และต้องไม่มีหรือมีภาพของสีอื่นอยู่ด้วยน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.10 โดยที่ภาพด้านซ้ายคือภาพที่ได้จากการปรับสเกลสี ซึ่งคือภาพของวัตถุสีที่เราต้องการ



รูปที่ 4.10 การหาค่าเทรชโฮลของแต่ละสีที่เหมาะสม

3. ทำการปรับค่าเทรชโฮลเพื่อให้ได้ภาพไบนารี ซึ่งเมื่อได้ภาพไบนารีมาแล้วก็จะสามารถนำข้อมูลภาพนี้ไปคำนวณหาขนาดของวัตถุและตำแหน่งของวัตถุได้ จากรูปที่ 4.11 ภาพด้านขวาคือภาพที่ได้จากการปรับค่าเทรชโฮล



รูปที่ 4.11 การคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุโดยโปรแกรม

4. ใช้ระดับเมตรวัดตำแหน่งของวัตถุทั้งในแนวแกน X และแกน Y แล้วนำค่าตำแหน่งของวัตถุที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับค่าตำแหน่งของวัตถุที่ได้จากการคำนวณของคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

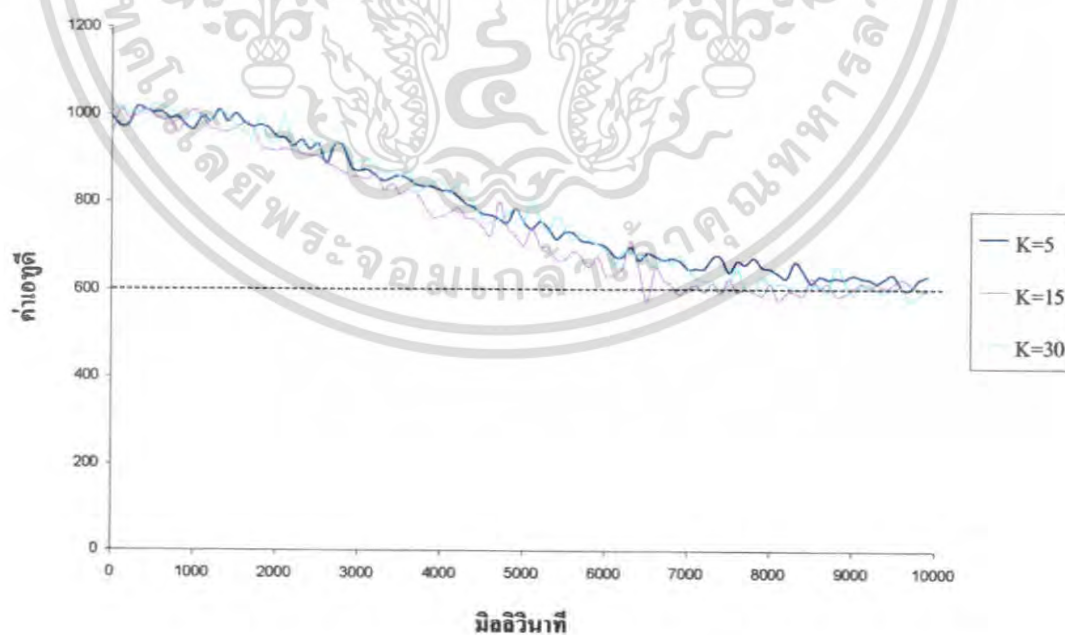
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาค่าตำแหน่งของวัตถุ

ค่าตำแหน่งของวัตถุที่ได้จากการวัด (มิลลิเมตร)		ค่าตำแหน่งของวัตถุที่ได้จากการประมวลผลภาพ (มิลลิเมตร)							
แกน X	แกน Y	แกน X				แกน Y			
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
40	132	38	40	42	40	127	128	126	127
280	8	275	277	278	276.6	7	8	7	7.3
365	44	355	354	358	355.6	37	35	38	36.6

#### 4.4.3 การทดลองเลือกค่าคงที่ของระบบควบคุมแบบพี

ทดลองเลือกค่าคงที่  $K_p$  ของระบบควบคุมแบบพี ทำได้โดยการเลือกใช้ค่าคงที่ของระบบควบคุมแบบพี ที่แตกต่างกันในแต่ละข้อต่อของแกนกล แล้วดูผลตอบสนองของระบบ

1. ทดลองหาผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อพื้นฐาน ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่าเอชดี (A/D) จาก 1000 เป็น 600 (หมุนจากมุม -90 องศาเป็น 10 องศา) ซึ่งสามารถดูลักษณะมุมของการหมุนได้จากรูปที่ 3.4

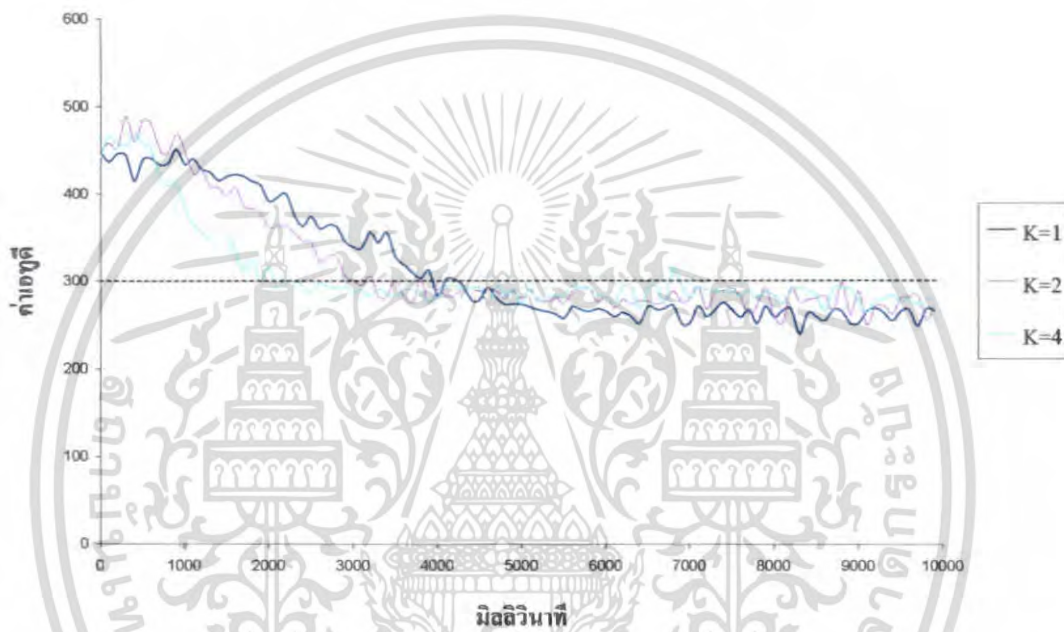


รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K = 5$  แล้ว ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวช้ากว่าการใช้ค่า  $K = 15$  และ  $30$  จากการทดลองหาค่าปรับค่า  $K = 15$  จะพบว่ามีการใช้เวลาเท่ากับ  $K = 30$  แต่ที่สภาวะอยู่นั้นค่า  $K = 30$  จะมีการแกว่งมากกว่าค่า  $K = 15$  ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $K = 15$  สำหรับข้อต่อที่ฐาน

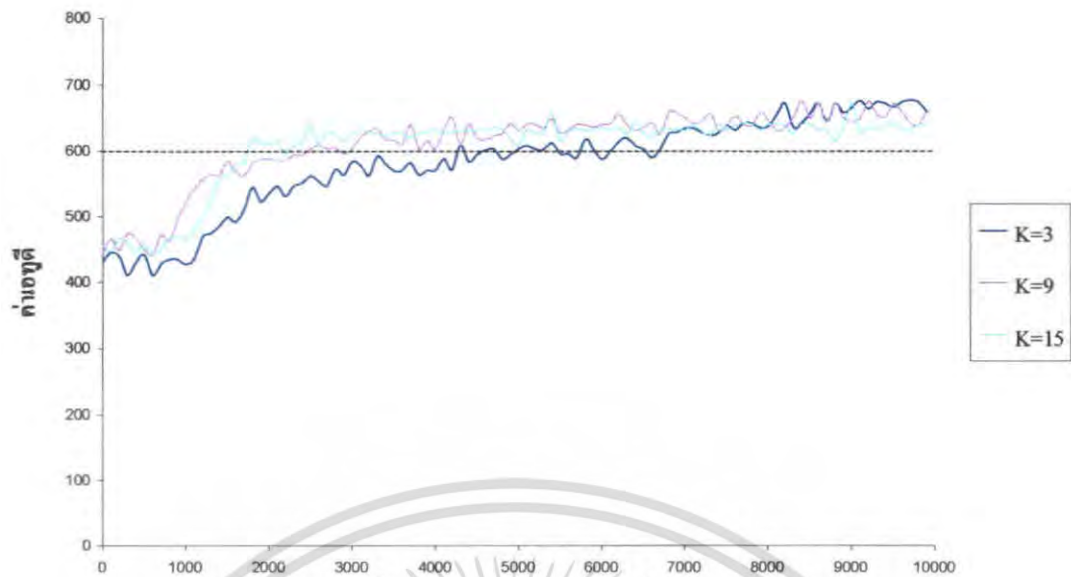
2.ทดลองหาผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 2 ขาลง ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่าเอาทูดิ (A/D) จาก 450 เป็น 300 (หมุนจากมุม  $-95$  องศาเป็น  $-50$  องศา) ซึ่งสามารถดูลักษณะมุมของการหมุนได้จากรูปที่ 3.4



รูปที่ 4.13 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 2 ขาลง

จากรูปที่ 4.13 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K = 1$  แล้ว ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวช้ากว่าการใช้ค่า  $K = 2$  และ  $K = 4$  เนื่องจากค่า  $K = 4$  นั้นใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวของระบบเร็วเกินไป ทำให้แกนกลเกิดการพลิกคว่ำ ดังนั้นเลือกใช้ค่า  $K = 2$

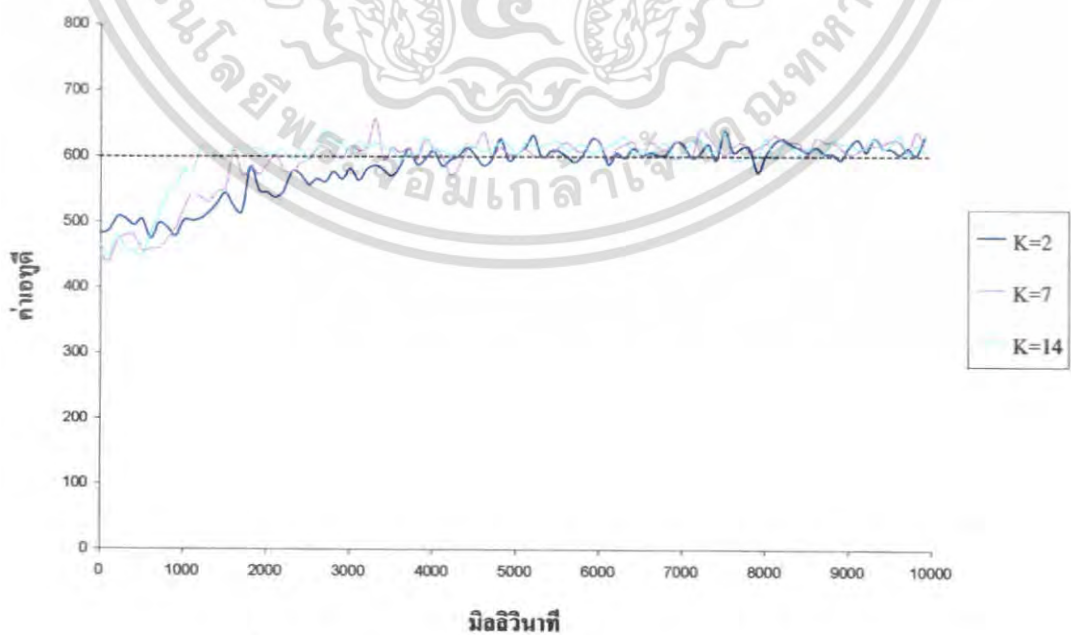
3.ทดลองหาผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 2 ขาขึ้น ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่าเอาทูดิ (A/D) จาก 450 เป็น 600 (หมุนจากมุม  $-95$  องศาเป็น  $-140$  องศา) ซึ่งสามารถดูลักษณะมุมของการหมุนได้จากรูปที่ 3.4



มิลลิวินาที  
รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 2 ขาขึ้น

จากรูปที่ 4.14 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K = 3$  แล้ว ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวช้ากว่าการใช้ค่า  $K = 9$  และ  $15$  จากการทดลองหากปรับค่า  $K = 9$  จะพบว่าการใช้เวลาเท่ากับ  $K = 15$  แต่ที่สภาวะอยู่นั้นค่า  $K = 15$  จะมีการแกว่งมากกว่าค่า  $K = 9$  ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $K = 9$

4.ทดลองหาผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 3 ขาขึ้น ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่าเทวดี (A/D) จาก 450 เป็น 300 (หมุนจากมุม  $-70$  องศาเป็น  $-110$  องศา) ซึ่งสามารถดูลักษณะมุมของการหมุนได้จากรูปที่ 3.4

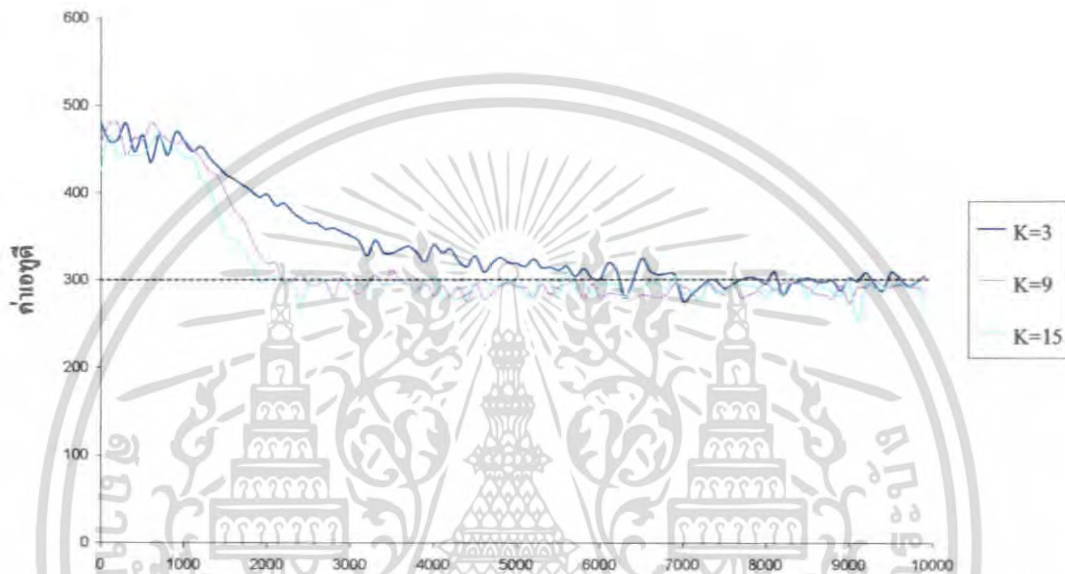


รูปที่ 4.15 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 3 ขาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K = 2$  แล้ว เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวของระบบช้ากว่าการใช้ค่า  $K = 7$  และ 14 จากการทดลองหากปรับค่า  $K = 7$  จะพบว่ามีการใช้เวลาเท่ากับ  $K = 14$  แต่ที่สภาวะอยู่นั้นค่า  $K = 7$  จะมีการแกว่งมากกว่าค่า  $K = 14$  ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $K = 14$

5. ทดลองหาผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 3 ขาลง ซึ่งให้เคลื่อนที่โดยการป้อนค่าเอชทุติ (A/D) จาก 450 เป็น 600 (หมุนจากมุม  $-70$  องศาเป็น  $-30$  องศา) ซึ่งสามารถดูลักษณะมุมของการหมุนได้จากรูปที่ 3.4



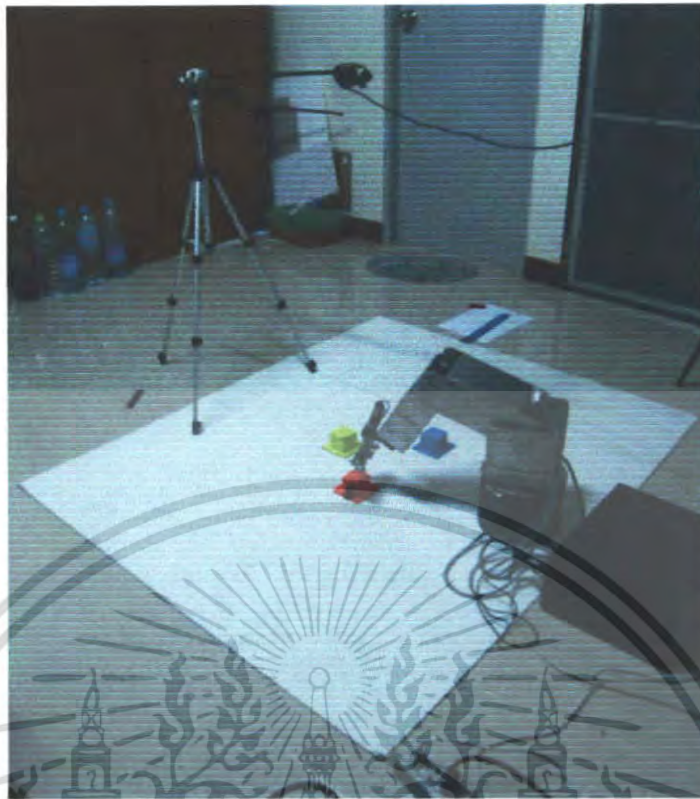
รูปที่ 4.16 ผลตอบสนองของระบบ ของข้อต่อที่ 3 ขาลง

จากรูปที่ 4.16 จะพบว่าเมื่อใช้ค่า  $K = 3$  แล้ว เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวของระบบช้ากว่าการใช้ค่า  $K = 9$  และ  $K = 15$  เนื่องจากค่า  $K = 15$  นั้นใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวของระบบเร็วเกินไปทำให้แกนกลเกิดการพลิกคว่ำ ดังนั้นเลือกใช้ค่า  $K = 9$

#### 4.4.4 การทดลองการคัดแยกวัตถุของแขนกล

หลังจากการทำการจัดอุปกรณ์ และตั้งค่าเริ่มต้นพร้อมทั้งประมวลผลภาพ จะส่งข้อมูลให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของวัตถุดังรูปที่ 4.17 โดยแบ่งการทำงานของแขนกลได้ 2 ช่วงการทำงาน ช่วงการทำงานแรกคือการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้น ไปยังตำแหน่ง (505,131,200) ซึ่งเป็นตำแหน่งแขนกลอยู่เหนือวัตถุ จากนั้นในช่วงการทำงานต่อมา แขนกลจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งดังกล่าวลง ไปยังตำแหน่ง (505,131,40) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แขนกลสามารถจับวัตถุได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



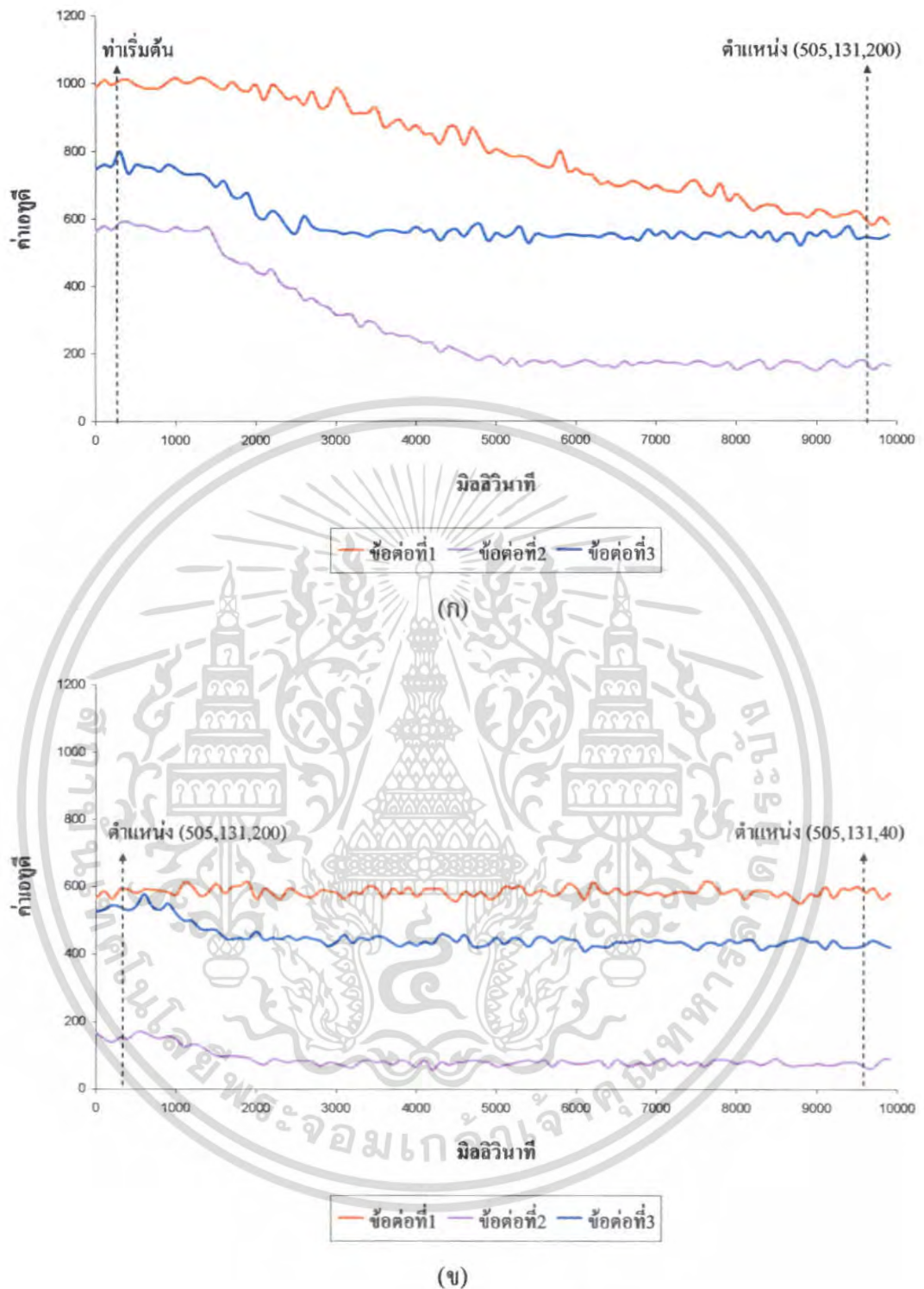
รูปที่ 4.17 การทดลองแขนกล ไปยังตำแหน่งวัตถุ

ผลตอบสนองของข้อต่อแต่ละข้อต่อของแขนกลแสดงได้ดังรูปที่ 4.18 เมื่อ เส้นกราฟสีส้มเป็นผลตอบสนองของข้อต่อที่ 1 หรือส่วนฐาน เส้นกราฟสีชมพูเป็นผลตอบสนองของข้อต่อที่ 2 และเส้นกราฟสีน้ำเงินเป็นผลตอบสนองของข้อต่อที่ 3

จากการทดลองพบว่าใช้เวลาในการเคลื่อนที่ทั้งหมดจากตำแหน่งเริ่มต้น ไปยังตำแหน่งของวัตถุ ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 12.7 วินาที โดยในช่วงการทำงานที่ 1 ใช้เวลาประมาณ 9.7 วินาทีในการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่ง (505,131,200) และหากพิจารณาแต่ละข้อต่อ โดยที่ข้อต่อที่ 1 ใช้เวลาประมาณ 9.7 วินาที ข้อต่อที่ 2 ใช้เวลาประมาณ 5.5 วินาที และข้อต่อที่ 3 ใช้เวลาประมาณ 2.8 วินาที ส่วนในช่วงการทำงานที่ 2 ใช้เวลาประมาณ 3 วินาทีในการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่ง (505,131,40) โดยข้อต่อที่ 1 ไม่มีการเคลื่อนที่ ข้อต่อที่ 2 ใช้เวลาประมาณ 3 วินาที และข้อต่อที่ 3 ใช้เวลาประมาณ 2.2 วินาที

การทดลองทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า ระบบแขนกลที่พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ตั้งแต่ขั้นตอนการจัดเตรียมและตั้งค่าเริ่มต้นต่างๆ การปรับเทียบขนาดของพิกเซล การหาจุดอ้างอิง การหาตำแหน่งของวัตถุผ่านการประมวลด้วยภาพ การแปลงค่าต่างๆ และส่งสัญญาณควบคุมไปยังแขนกลให้สามารถเคลื่อน ไปยังตำแหน่งวัตถุได้ตามต้องการ และสามารถคัดแยกวัตถุได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลตอบสนองของข้อต่อแต่ละข้อต่อของแขนกล

(ก) กราฟการตอบสนองจากตำแหน่งเริ่มต้น ไปยังตำแหน่ง (505,131,200)

(ข) กราฟการตอบสนองจากตำแหน่ง(505,131,200)ไปยังตำแหน่ง (505,131,40)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1.สามารถสื่อสารนำข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลคอมพิวเตอร์ และประมวลผลเปลี่ยนข้อมูลทางภาพให้อยู่ในรูปแบบวี และประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพตัดแยกวัตถุที่มีสีแตกต่างกันได้และหาตำแหน่งของวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพเปลี่ยนเป็นองศา โดยอาศัยอินเวอร์สโคไซน์เมติกส์ และเปลี่ยนไปเป็นค่าความต่างศักย์ที่เหมาะสมกับค่ามุมของแต่ละข้อต่อของแขนกล

3.สามารถติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ กับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.สามารถประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมตำแหน่งของแขนกลให้มีความแม่นยำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยทฤษฎีควบคุมแบบพี และสามารถส่งคำสั่งในการควบคุมแขนกล โดยใช้คำสั่งพัลส์วิดโมดูเลชั่น และสามารถรับค่าของโพเทนทิอوميเตอร์ จากทุกข้อต่อของแขนกล

5.แขนกลสามารถทำงานและรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ และแขนกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นสามารถเคลื่อนที่ไปยังพิกัดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

### 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1.ค่าของโพเทนทิอوميเตอร์ มีค่าไม่แน่นอนเพราะว่าแหล่งจ่ายที่จ่ายให้โพเทนทิอوميเตอร์นั้นมีค่าที่ไม่คงที่

2.การประมวลผลภาพ มีปัญหาเรื่องของการจับสี เนื่องจากกล้องที่ใช้มีคุณภาพไม่เพียงพอ ทำให้สีของวัตถุที่ใช้ต้องเป็นสีที่ค่อนข้างชัดเจน และความสูงของวัตถุต้องเหมาะสมเพื่อให้แขนกลสามารถจับได้แต่ไม่สูงเกินไปจนเกิดแสงเงารบกวน ตลอดจนต้องติดตั้งกล้องในระดับความสูงที่เหมาะสม มิฉะนั้นจะทำให้ภาพที่ออกมามีความชัดเจนลดลง ทำให้การหาตำแหน่งของวัตถุมีค่าคลาดเคลื่อน และอาจส่งผลให้ไม่สามารถตัดแยกวัตถุได้

3.เนื่องจากแสงสว่างที่ส่องลงบนพื้นสนามต้องมีความสว่างสม่ำเสมอถึงจะสามารถประมวลผลได้อย่างแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แขนกลมีน้ำหนักค่อนข้างมาก หากอยู่ในท่าที่ต้องใช้แรงบิดมานานๆ อาจทำให้มอเตอร์มีปัญหาส่งผลให้มุมมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ตำแหน่งของแขนกลคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

5. เนื่องจากใช้ระบบควบคุมแบบพี จึงทำให้ยังมีค่าความผิดพลาดอยู่ และมีการใช้ค่าคงที่ค่อนข้างมากทำให้ระบบยังมีการสั่นอยู่

### 5.3 แนวทางการแก้ไข

1. ใช้วัสดุที่มีสีชัดเจนและความสูงที่เหมาะสมเพื่อให้มีการจับภาพวัตถุได้อย่างแม่นยำ
2. ทำการจัดวางกล้องให้เหมาะสมทั้งความสูงและตำแหน่งเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลภาพ
3. จัดบริเวณที่ทำการทดลองให้มีแสงสว่างที่เหมาะสม
4. ให้แขนกลทำงานให้อย่างถูกต้องและรวดเร็วเพื่อลดภาระให้กับมอเตอร์
5. หาค่าคงที่ของระบบควบคุมแบบพี ที่เหมาะสมในการควบคุม

### 5.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. สามารถนำความรู้และประสบการณ์มาประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง
2. ศึกษาและเรียนรู้หาความรู้ใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้ในการทำงาน
3. สามารถทำงานเป็นทีมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
4. ฝึกกระบวนการความคิดในการทำงาน
5. รู้จักอุปกรณ์ต่างๆ ในทางอุตสาหกรรมมากขึ้น
6. รู้จักแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 5.5 แนวทางพัฒนา

พัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเช่น สามารถคัดแยกวัตถุที่มีรูปร่าง ขนาด ที่แตกต่างกันและสีที่หลากหลายน สามารถจับวัตถุและเคลื่อนย้ายวัตถุได้อย่างแม่นยำมากขึ้น สามารถใช้งานได้ในระยะ 3 มิติ นำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีด้านอื่นๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงาน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย Matlab. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: แผนก  
คณาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.
- [2] นคร ภักดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วย  
โปรแกรมภาษา C. กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด. 2549.
- [3] เกียรติศักดิ์ สกุลพันธ์. Solid Work: Engineering Drawing Workshop. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์  
ทีโอป. 2548.
- [4] Katsuhiko Ogata. Modern Control Engineering. New Jersey : Prentice-Hall ,Inc. 1997.
- [5] วัฒนาพงษ์ วิภูษณวรรณ, อาทร แก้วเจริญรุ่งเรือง. “แขนกล.” ปรินิพนธ์วิศวกรรมศาสตร-  
บัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [6] ธนพงศ์ แสนแสง , นายนพพร เชื่อมสุวรรณ. “แขนกล.” ปรินิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง. 2548.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ก.1 คู่มือการใช้งาน แอนเดท (And Gates)



Data sheet acquired from Harris Semiconductor  
SCH5057C - Revised September 2003

CD4073B, CD4081B, CD4082B Types

CMOS AND Gates

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

CD4073B Triple 3-Input AND Gate  
CD4081B Quad 2-Input AND Gate  
CD4082B Dual 4-Input AND Gate

■ CD4073B, CD4081B and CD4082B AND gates provide the system designer with direct implementation of the AND function and supplement the existing family of CMOS gates.

The CD4073B, CD4081B, and CD4082B types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F3A suffix), 14-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 14-lead small-outline packages (M, NT, NS4, and NSR suffixes), and 14-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V <sub>DD</sub> ) Voltages referenced to V <sub>SS</sub> Terminal	-0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS	-0.5V to V <sub>DD</sub> + 0.5V
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT	±10mA
POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P <sub>D</sub> ): For T <sub>A</sub> = -55°C to +100°C	500mW
For T <sub>A</sub> = +100°C to +125°C	Device Linearly at 12mW/°C to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR FOR T <sub>A</sub> = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)	100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T <sub>A</sub> )	-55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T <sub>stg</sub> )	-65°C to +160°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING) At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.58 ± 0.76mm) from case for 10s max.	+265°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

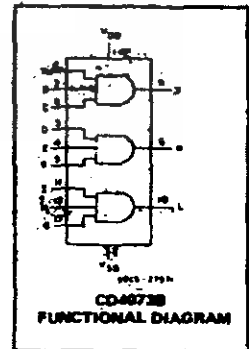
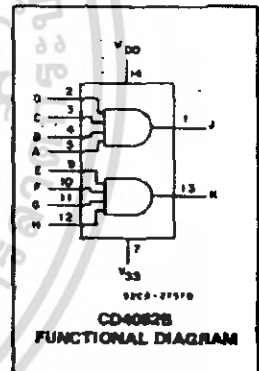
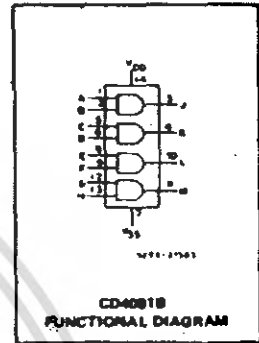
CHARACTERISTIC	LIMITS		UNITS
	MIN.	MAX.	
Supply-Voltage Range (For T <sub>A</sub> = Full Package Temperature Range)	3	18	V

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS at T<sub>A</sub> = 25°C, Input t<sub>p</sub> = 20 ns, and C<sub>L</sub> = 50 pF, R<sub>L</sub> = 200 kΩ

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	ALL TYPES LIMITS		UNITS	
		V <sub>DD</sub> Volts	TYP.		MAX.
Propagation Delay Time, t <sub>PHL</sub> · t <sub>PLH</sub>		5	125	250	ns
		10	60	120	
		15	45	90	
Transition Time, t <sub>THL</sub> · t <sub>TLH</sub>		8	100	200	ns
		10	50	100	
		15	40	80	
Input Capacitance, C <sub>IN</sub>	Any Input	-	5	7.5	pF

Features:

- Medium-Speed Operation - t<sub>PLH</sub>, t<sub>PHL</sub> = 60 ns (typ.) at V<sub>DD</sub> = 10 V
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of 1 μA at 18 V over full package-temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Noise margin (full package-temperature range) =  
1 V at V<sub>DD</sub> = 5 V  
2 V at V<sub>DD</sub> = 10 V  
2.5 V at V<sub>DD</sub> = 15 V
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"



Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.2 คู่มือการใช้งาน มอดเฟส (Mosfet IRF9540n)

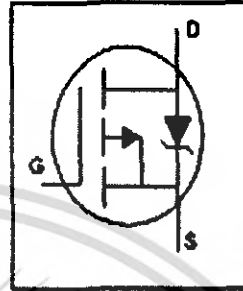
# International IOR Rectifier

PD-91437B

# IRF9540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated



$$V_{DS} = -100V$$

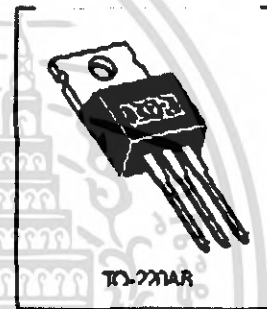
$$R_{DS(on)} = 0.117\Omega$$

$$I_D = -23A$$

### Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial/industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-23	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-16	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current $\Phi$	-76	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	140	W
	Linear Derating Factor	0.91	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy $\Phi$	430	mJ
$I_{AS}$	Avalanche Current $\Phi$	-11	A
$E_{RS}$	Repetitive Avalanche Energy $\Phi$	14	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\Phi$	-6.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to +175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.0mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N-m)	

### Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.1	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flx, Gassed Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IRF9540N

Electrical Characteristics @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{DS(BR)}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0\text{V}$ , $I_D = -250\mu\text{A}$
$\Delta V_{DS(BR)}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	-0.11	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}$ , $I_D = -1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.117	$\Omega$	$V_{GS} = -10\text{V}$ , $I_D = -11\text{A}$ ⓐ
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}$ , $I_D = -250\mu\text{A}$
$g_m$	Forward Transconductance	5.3	—	—	S	$V_{DS} = -50\text{V}$ , $I_D = -11\text{A}$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu\text{A}$	$V_{GS} = -100\text{V}$ , $V_{DS} = 0\text{V}$
		—	—	250	$\mu\text{A}$	$V_{GS} = -80\text{V}$ , $V_{DS} = 0\text{V}$ , $T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{DS} = 20\text{V}$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{DS} = -20\text{V}$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	97	nC	$I_D = -11\text{A}$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	15	nC	$V_{DS} = -80\text{V}$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	51	nC	$V_{DS} = -10\text{V}$ , See Fig. 6 and 13 ⓑ
$t_{on}$	Turn-On Delay Time	—	15	—	ns	$V_{DD} = -80\text{V}$
$t_r$	Rise Time	—	67	—	ns	$I_D = -11\text{A}$
$t_{off}$	Turn-Off Delay Time	—	51	—	ns	$R_G = 5.1\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	51	—	ns	$R_D = 4.2\Omega$ , See Fig. 10 ⓑ
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 0mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1300	—	pf	$V_{DS} = 0\text{V}$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	400	—	pf	$V_{GS} = -25\text{V}$
$C_{riss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	240	—	pf	$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	23	A	MOSFET symbol showing the integral reverse pin junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ⓐ	—	—	76	A	
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	-1.6	V	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_S = -11\text{A}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ ⓑ
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	150	220	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_S = -11\text{A}$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	830	1200	nC	$dI/dt = -100\text{A}/\mu\text{s}$ ⓑ
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S \cdot I_D$ )				

## Notes:

ⓐ Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See Fig. 11)

ⓑ Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 7.1\text{mH}$   
 $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{DS} = -11\text{A}$ . (See Figure 12)

ⓐ  $I_{SD} \leq -11\text{A}$ ,  $dI/dt \leq -470\text{A}/\mu\text{s}$ ,  $V_{DD} \leq V_{DS(BR)}$ ,  
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$

ⓑ Pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

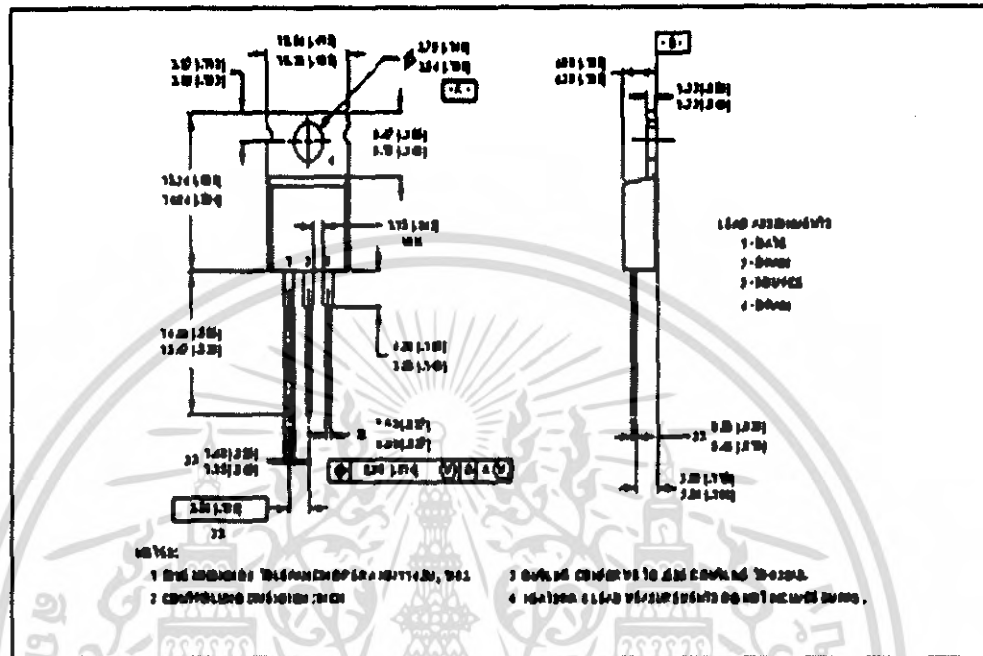
# IRF9540N



## Package Outline

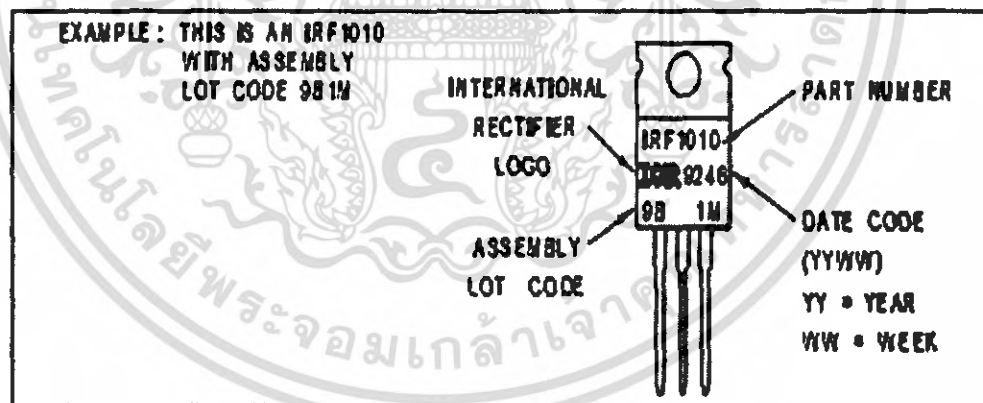
TO-220AB Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



## Part Marking Information

TO-220AB



## International **IRG** Rectifier

WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331  
 EUROPEAN HEADQUARTERS: Hurst Green, Oxford, Surrey RH8 9BB, UK Tel: ++ 44 1863 732020  
 IR CANADA: 7321 Victoria Park Ave., Suite 201, Markham, Ontario L3R 2Z8, Tel: (905) 475 1897  
 IR GERMANY: Saaburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 61 72 90090  
 IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111  
 IR FAR EAST: K&H Bldg., 2F, 304 Nishi-Shinjuku 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086  
 IR SOUTHEAST ASIA: 315 Outram Road, #10-02 Tan Boon Liat Building, Singapore 0316 Tel: 65 221 8371  
<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 598

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.3 คู่มือการใช้งาน มอตเฟส (Mosfet IRFZ44)

#### N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

#### GENERAL DESCRIPTION

N-channel enhancement mode standard level field-effect power transistor in a plastic envelope using 'trench' technology. The device features very low on-state resistance and has integral zener diodes giving ESD protection up to 2kV. It is intended for use in switched mode power supplies and general purpose switching applications.

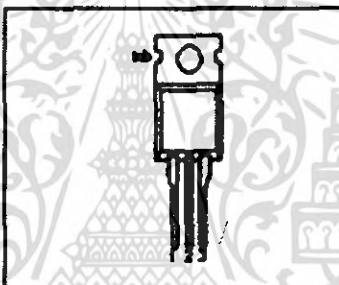
#### QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
$V_{DS}$	Drain-source voltage	55	V
$I_D$	Drain current (DC)	49	A
$P_{tot}$	Total power dissipation	110	W
$T_j$	Junction temperature	175	°C
$R_{DS(on)}$	Drain-source on-state resistance $V_{GS} = 10\text{ V}$	22	m $\Omega$

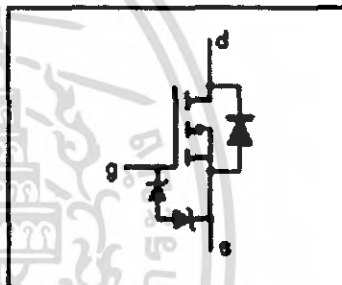
#### PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

#### PIN CONFIGURATION



#### SYMBOL



#### LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{DS}$	Drain-source voltage	-	-	55	V
$V_{GS}$	Drain-gate voltage	$R_{DS} = 20\text{ k}\Omega$	-	55	V
$V_{GS}$	Gate-source voltage	-	-	20	V
$I_D$	Drain current (DC)	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	49	A
$I_D$	Drain current (DC)	$T_{amb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$	-	35	A
$I_{DM}$	Drain current (pulse peak value)	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	100	A
$P_{tot}$	Total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	110	W
$T_{stg}$ , $T_j$	Storage & operating temperature	-	-55	175	°C

#### ESD LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_c$	Electrostatic discharge capacitor voltage, all pins	Human body model (100 pF, 1.5 k $\Omega$ )	-	2	kV

#### THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th(jc)}$	Thermal resistance junction to mounting base	-	-	1.4	K/W
$R_{th(ja)}$	Thermal resistance junction to ambient	in free air	60	-	K/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

STATIC CHARACTERISTICS

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{DS(BO)}$	Drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}; I_D = 0.25\text{ mA}; T_j = -55^\circ\text{C}$	55	-	-	V
$V_{GS(th)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}; I_D = 1\text{ mA}; T_j = 175^\circ\text{C}$	2.0	3.0	4.0	V
		$T_j = -55^\circ\text{C}$	1.0	-	-	V
$I_{DSS}$	Zero gate voltage drain current	$V_{DS} = 55\text{ V}; V_{GS} = 0\text{ V}; T_j = 175^\circ\text{C}$	-	0.05	10	$\mu\text{A}$
$I_{GSS}$	Gate source leakage current	$V_{GS} = \pm 10\text{ V}; V_{DS} = 0\text{ V}; T_j = 175^\circ\text{C}$	-	0.04	1	$\mu\text{A}$
$\pm V_{GS(BD)}$	Gate source breakdown voltage	$I_D = \pm 1\text{ mA}; T_j = 175^\circ\text{C}$	18	-	20	V
$R_{DS(on)}$	Drain-source on-state resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; T_j = 175^\circ\text{C}$	-	15	22	$\text{m}\Omega$
			-	-	42	$\text{m}\Omega$

DYNAMIC CHARACTERISTICS

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$g_o$	Forward transconductance	$V_{GS} = 25\text{ V}; I_D = 25\text{ A}$	6	-	-	S
$C_{iss}$	Input capacitance	$V_{GS} = 0\text{ V}; V_{DS} = 25\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	-	1350	1800	pF
$C_{oss}$	Output capacitance		-	330	400	pF
$C_{rss}$	Feedback capacitance		-	155	215	pF
$Q_g$	Total gate charge	$V_{DS} = 44\text{ V}; I_D = 50\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}$	-	-	62	nC
$Q_{gs}$	Gate-source charge		-	-	15	nC
$Q_{gd}$	Gate-drain (Miller) charge		-	-	28	nC
$t_{on}$	Turn-on delay time	$V_{GS} = 30\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; V_{DS} = 10\text{ V}; R_{\theta} = 10\ \Omega$	-	18	28	ns
$t_r$	Turn-on rise time	Resistive load	-	50	75	ns
$t_{off}$	Turn-off delay time		-	40	50	ns
$t_f$	Turn-off fall time		-	30	40	ns
$L_d$	Internal drain inductance	Measured from contact screw on tab to centre of die	-	3.5	-	nH
$L_s$	Internal drain inductance	Measured from drain lead 6 mm from package to centre of die	-	4.5	-	nH
$L_s$	Internal source inductance	Measured from source lead 6 mm from package to source bond pad	-	7.5	-	nH

REVERSE DIODE LIMITING VALUES AND CHARACTERISTICS

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_{RS}$	Continuous reverse drain current		-	-	48	A
$I_{RSM}$	Pulsed reverse drain current		-	-	160	A
$V_{SD}$	Diode forward voltage	$I_D = 25\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	0.95	1.2	V
		$I_D = 40\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	1.0	-	
$t_{rr}$	Reverse recovery time	$I_D = 40\text{ A}; -dI_D/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}; V_{GS} = -10\text{ V}; V_D = 30\text{ V}$	-	47	-	ns
$Q_{rr}$	Reverse recovery charge		-	0.15	-	$\mu\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

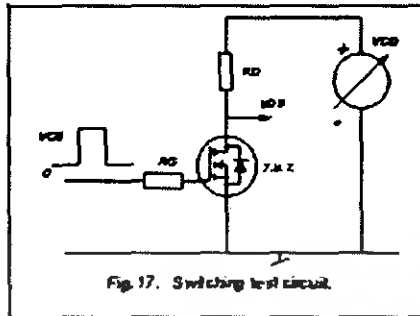


Fig. 17. Switching test circuit.

N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

**MECHANICAL DATA**

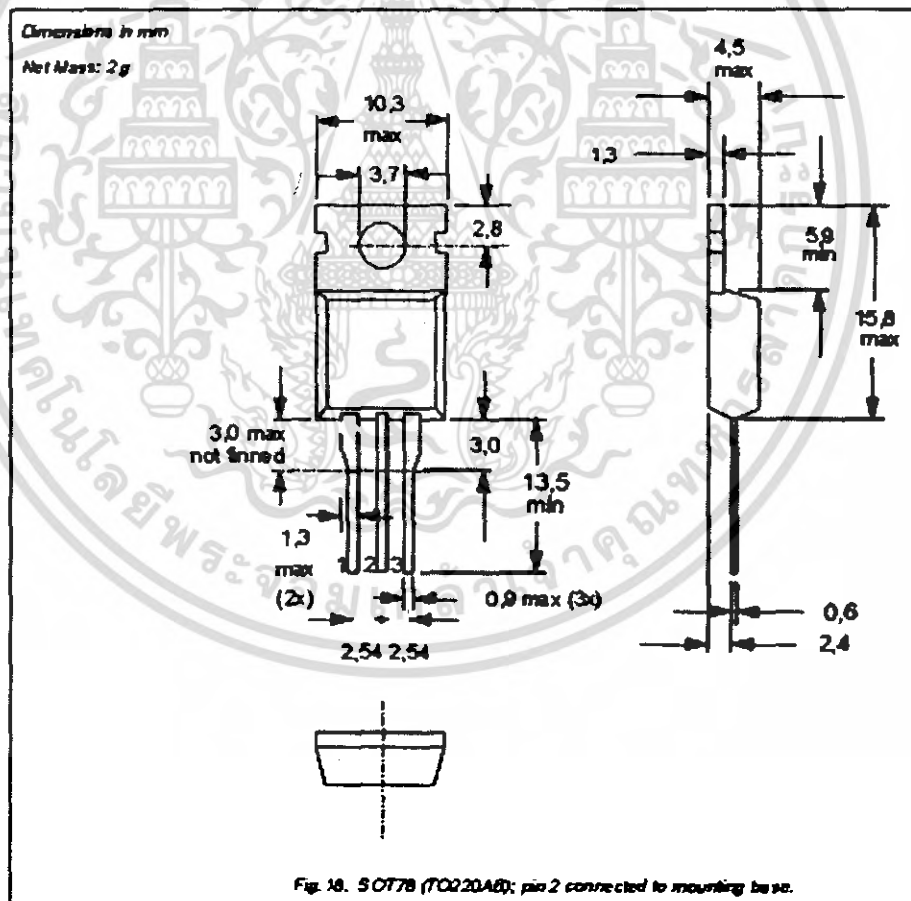


Fig. 18. SOT78 (TO220AB); pin 2 connected to mounting base.

**Notes**

1. Observe the general handling precautions for electrostatic-discharge sensitive devices (ESDs) to prevent damage to MOS gate oxide.
2. Refer to mounting instructions for SOT78 (TO220) envelope.
3. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

```

#include<p30f2010.h>
#include<uart.h>
#include<adc10.h>
#include<timer.h>
#include<pwm.h>
#define PERIOD 0x0E65
#define direc_11 LATBbits.LATB4
#define direc_12 LATBbits.LATB5
#define direc_21 LATCbits.LATC13
#define direc_22 LATCbits.LATC14
#define direc_31 LATEbits.LATE8
#define direc_32 LATDbits.LATD1
#define direc_41 LATEbits.LATE3
#define direc_42 LATEbits.LATE5
unsigned int int_joint[]={0,0,0};
unsigned int set_joint[]={1000,550,750};
unsigned char kp_up[3]={15,9,7};
unsigned char kp_down[3] = {15,2,9};
signed long int error = 0;
char flag=1;
void generate(char chanel,unsigned int pow)
{
    unsigned int dutycycle;
    float temp;
    temp = (pow/1024.0f)*0x1FFF;
    dutycycle = temp;
    SetDCMCPWM(chanel,dutycycle,0);
}
void _ISR_U1TXInterrupt(void)
{
    IFS0bits.U1TXIF = 0;
}
void _ISR_U1RXInterrupt(void)
{
    IFS0bits.U1RXIF = 0;
}
void _ISR_T1Interrupt(void)
{
    if(flag==1)
    {
        char i;
        unsigned int j;
        signed int initial_error=0;
        for(i=0;i<3;i++)
        {
            ADCON1bits.SAMP = 1;
            while(!ADCON1bits.SAMP);
            ConvertADC10();
            while(ADCON1bits.DONE);
            int_joint[i] = ReadADC10(i);
            initial_error = set_joint[i] - int_joint[i];
            if(initial_error < 0)
            {
                error = initial_error*kp_down[i];
                switch(i)
                {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 0:
    direc_11 = 1;
    direc_12 = 0;
    break;

case 1:
    direc_21 = 1;
    direc_22 = 0;
    break;

case 2:
    direc_31 = 1;
    direc_32 = 0;
    break;
}
}
else
{
    error = initial_error*kp_up[i];
    switch(i)
    {
        case 0:
            direc_11 = 0;
            direc_12 = 1;
            break;

        case 1:
            direc_21 = 0;
            direc_22 = 1;
            break;

        case 2:
            direc_31 = 0;
            direc_32 = 1;
            break;
    }
    if(error<0)
        error *= -1;
    if(error>1024)
        error = 1024;
    generate(i+1,error);
}
}
IFS0bits.T11F = 0;
}
void adc_init()
{
    ADCON1bits.ADON = 0;
    // Initial ADC Channel
    SetChanADC10(ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN1 &
        ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN2 &
        ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN3 &
        ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF);

    // Initial ADC Interrupt
    ConfigIntADC10(ADC_INT_DISABLE);
    // Open ADC Function & Turn ON ADC
    OpenADC10(ADC_MODULE_ON &
        ADC_IDLE_STOP &
        ADC_FORMAT_INTG &
        ADC_CLK_MANUAL &
        ADC_AUTO_SAMPLING_OFF &
        ADC_SAMPLE_INDIVIDUAL,
    // ADC Config2
        ADC_VREF_AVDD_AVSS &
        ADC_SCAN_ON &
        ADC_CONVERT_CH0 &

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADC_SAMPLES_PER_INT_16 &
ADC_ALT_BUF_OFF &
    ADC_ALT_INPUT_OFF ,
    // ADC Config3
    ADC_SAMPLE_TIME_1 &
    ADC_CONV_CLK_INTERNAL_RC &
    //ADC_CONV_CLK_SYSTEM &
    ADC_CONV_CLK_Tcy,
    // ADC Config Port = ADC[1..3]
    ENABLE_AN1_ANA &
    ENABLE_AN2_ANA &
    ENABLE_AN3_ANA,
    // ADC Config Scan = OFF ADC[0,4,5]
    SKIP_SCAN_AN0 &
    SKIP_SCAN_AN4 &
    SKIP_SCAN_AN5);
}
void uart1_init()
{
    unsigned int UIMODEvalue;
    unsigned int UISTAvalue;
    CloseUART1();
    ConfigIntUART1(UART_RX_INT_EN &
        UART_RX_INT_PR6 &
        UART_TX_INT_EN &
        UART_TX_INT_PR2);
    UIMODEvalue = UART_EN &
        UART_IDLE_CON &
        UART_RX_TX &
        UART_DIS_WAKE &
        UART_DIS_LOOPBACK &
        UART_DIS_ABAUD &
        UART_NO_PAR_8BIT &
        UART_1STOPBIT;
    UISTAvalue = UAK1_INT_TX_BUF_EMPTY &
        UART_TX_PIN_NORMAL &
        UART_TX_ENABLE &
        UART_INT_RX_3_4_FUL &
        UART_ADR_DETECT_DIS &
        UART_RX_OVERRUN_CLEAR;
    OpenUART1(UIMODEvalue, UISTAvalue, 3);
}
void timer1_init()
{
    ConfigIntTimer1 (T1_INT_ON &
        T1_INT_PRIOR_1);
    WriteTimer1(0);
    IFS0bits.T1IF = 0;
    OpenTimer1 (T1_ON &
        T1_GATE_OFF &
        T1_IDLE_STOP &
        T1_PS_1_1 &
        T1_SYNC_EXT_OFF &
        T1_SOURCE_INT, 36864);
}
void pwm_init()
{
    unsigned int config1;
    unsigned int config2;
    unsigned int config3;
    ConfigIntMCPWM(PWM_INT_DIS &
        PWM_FLTA_DIS_INT);
    SetMCPWMFaultA(PWM_OVA1H_INACTIVE &

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        PWM_OVA2H_INACTIVE &
        PWM_OVA3H_INACTIVE &
        PWM_FLTA_MODE_LATCH&
        PWM_FLTA1_DIS&
        PWM_FLTA2_DIS &
        PWM_FLTA3_DIS);

config1 = (PWM_EN &
           PWM_OP_SCALE1 &
           PWM_IPCLK_SCALE1 &
           PWM_MOD_FREE);
config2 = (PWM_MOD1_IND &
           PWM_MOD2_IND &
           PWM_MOD3_IND &
           PWM_PDIS3H &
           PWM_PEN3L &
           PWM_PDIS2H &
           PWM_PEN2L &
           PWM_PDIS1H &
           PWM_PEN1L);
config3 = (PWM_SEVOPS1 &
           PWM_OSYNC_PWM&
           PWM_UEN);
OpenMCPWM(PERIOD,0x0,config1,config2,config3);
}
int main(void)
{
    char temp,data[10];
    char i,j;
    unsigned int k;
    uart1_init();
    adc_init();
    pwm_init();
    timer1_init();
    TRISB = 0x0F;
    LATB = 0x00;
    TRISE = 0x00;
    LATE = 0x00;
    TRISD = 0x00;
    LATD = 0x00;
    TRISCbits.TRISC13 = 0;
    TRISCbits.TRISC14 = 0;
    TRISBbits.TRISB5 = 0;
    LATCbits.LATC13 = 0;
    LATCbits.LATC14 = 0;
    direc_41 = 0;
    direc_42 = 0;
    while(1)
    {
        if(DataRdyUART1())
        {
            temp=ReadUART1();
            if(temp=='q')
            {
                for(i=0;i<3;i++)
                {
                    sprintf(data," %u\n",int_joint[i]);
                    putsUART1((unsigned int *)data);
                    while(BusyUART1());
                }
            }
            else if(temp=='s')
            {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

flag = 0;
for(i=0;i<3;i++)
{
    set_joint[i] = 0;
    for(j=3;j>=0;j--)
    {
        while(!DataRdyUART1());
        temp=ReadUART1();
        k = temp-0x30;
        switch(j)
        {
            case 3:
                k *= 1000;
                break;
            case 2:
                k *= 100;
                break;
            case 1:
                k *= 10;
                break;
        }
        set_joint[i] += k;
    }
    flag=1;
}
else if(temp=='c')
{
    set_joint[0] = 1000;
    set_joint[1] = 550;
    set_joint[2] = 750;
}
else if(temp=='h')
{
    direc_41 = 1;
    direc_42 = 0;
}
else if(temp=='j')
{
    direc_41 = 0;
    direc_42 = 1;
}
else if(temp=='k')
{
    direc_41 = 0;
    direc_42 = 0;
}
}
return 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้