ระบบควบคุมแขนกลระยะไกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี

TCP/IP PROTOCOL BASED TELE-ROBOT ARM CONTROL SYSTEM

นายธนพงษ์ มั่นต่าย รหัส 48370860

นายพูลพิพัฒน์ สุขเกษม รหัส 48370952

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 19 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน 15757095
เลขเรียกหนังสือ ว.ร. ป1495 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	ระบบควบคุมแขนกลระยะไกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายธนพงษ์	มั่นต่าย	รหัส 48370860
	นายพูลพิพัฒน์	สุขเกษม	รหัส 48370952
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์เศรษฐา	ตั้งค้าวานิช	
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2552		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะกรรมการการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์เศรษฐา ตั้งค้าวานิช)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

.....กรรมการ

(อาจารย์แสงชัย มังกรทอง)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ระบบควบคุมแขนกลระยะไกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายธนพงษ์ มั่นต่าย	รหัส 48370860
	นายพูลพิพัฒน์ สุขเกษม	รหัส 48370952
ที่ปรึกษาโครงงาน	อ. เศรษฐา ตั้งค้าวานิช	
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2552	

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมแขนกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการสั่งการควบคุมแขนกลให้สามารถสั่งงานระยะไกลได้ โดยที่มีกล้องเว็บแคมอยู่ที่ฝั่งเครื่องแม่ข่ายคอยจับภาพการทำงานเพื่อส่งภาพมาให้ผู้ใช้ที่ฝั่งเครื่องลูกข่ายได้ทราบถึงการทำงานของแขนกลผ่านทางเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี ซึ่งระบบที่ออกแบบขึ้นนี้ถูกพัฒนาขึ้นบนภาษาวิชวลเบสิก 6.0 โดยใช้เทคโนโลยีของ Winsock ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสารผ่านทางเครือข่ายโดยการใช้โปรโตคอล ทีซีพี หรือ ยูทีพี เป็นตัวช่วยในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์

แขนกลจะถูกควบคุมโดยการประมวลผลแบบหลายหน่วยประมวลผลกลาง (Multi Processor) ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ในการประมวลผลคำสั่งที่รับมาจากเครื่องแม่ข่ายซึ่งผู้ใช้จะควบคุมแขนกลอยู่ที่เครื่องลูกข่ายผ่านทางเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี โดยคำสั่งที่ประมวลผลได้จะนำไปใช้ควบคุมตำแหน่งของสเต็ปมอเตอร์และเซอร์โวมอเตอร์ในข้อต่อต่างๆของแขนกล ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่อันตราย มนุษย์ไม่สามารถสัมผัสวัตถุเองได้ อาทิเช่น ในโรงงานผสมสารเคมี หรือโรงงานบรรจุสารกัมมันตภาพรังสีได้

Project title	TCP/IP Protocol Based Tele-Robot Arm Control System		
Name	Mr. Tanapong	Montay	ID. 48370860
	Mr. Poolpipat	Sukgasem	ID. 48370952
Project advisor	Mr. Settha	Thangkawanit	
Major	Computer Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2009		

.....

Abstract

These projects provides the study and develop a TCP/IP Protocol Based Tele-Robot Arm Control System, for increase capacity in order to control the robot arm to activate the remote camera by a webcam at the server side forward action to capture images sent to the user through the TCP/IP Protocol network. The system was designed to develop the Visual Basic 6.0 by using the Winsock ,communicate over a network using the TCP/IP Protocol or UTP Protocol, assist in communications between computers.

The robot arm section controlled by processing multi processor which used microcontroller processing a command received from the server, which users control robot arms were clients through the protocol TCP/IP network. The command processing will be used to control the position of stepping motor and servo motor in various joints of the robot arm, it can be applied in danger work. Man can not touch objects such as in mixed chemicals factory or plant containing radioactive substances.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากการได้รับความช่วยเหลืออนุเคราะห์ของหลายๆท่านด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อ. เศรษฐา ตั้งค้าวานิช ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาและเสนอแนะแนวทางสำหรับการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นขณะการจัดทำโครงงาน พร้อมด้วยคณะกรรมการที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา และ อ. แสงชัย มังกรทอง ที่ให้คำแนะนำในการเขียนรูปเล่มปริญญานิพนธ์ และขอบคุณศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านการผลิตชั้นสูงในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (I/U CRC in HDD Advanced Manufacturing) สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีกับบริษัทอินโนเวกซ์ (ประเทศไทย) จำกัด

ท้ายนี้ผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนในด้านการเงินจนโครงงานบรรลุเป้าหมายในที่สุด

คณะผู้จัดทำโครงงานวิศวกรรม
นายธนพงษ์ มั่นต่าย
นายพูลพิพัฒน์ สุขเกษม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน 1

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงาน 1

1.5 แผนการดำเนินงาน 2

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.7 งบประมาณ 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4

2.1 หุ่นยนต์ (Robot) 4

2.2 แขนกล (Arm Robot) 8

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 10

2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน RS-232 13

2.5 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) 16

2.6 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) 20

2.7 ทีซีพี/ไอพี โปรโตคอล (Transmission Control/Internet Protocol) 22

2.8 พอร์ท (Port) 26

2.9 การเขียนโปรแกรมบนอินเตอร์เน็ตด้วย Winsock (Windows Socket) 26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 31

3.1 ภาพรวมของระบบ (System Overview) 31

3.2 การพัฒนาโครงสร้างของแขนกล 32

3.3 ส่วนประกอบของฝั่งลูกข่าย (Client) 54

3.4 ส่วนประกอบของฝั่งแม่ข่าย (Server) 56

3.5 กล้องเว็บแคม (Web Camera) 59

3.6 การเขียนโปรแกรมสื่อสารผ่านเครือข่ายด้วยโปรโตคอล TCP/IP 59

บทที่ 4 ผลการทดลอง 61

4.1 จุดประสงค์ของการทดลอง 61

4.2 ขั้นตอนการทดลอง 61

4.3 การทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา 62

4.4 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลที่พัฒนาขึ้น 67

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 90

5.1 สรุปผลการทดลอง 90

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 90

5.2 แนวทางการพัฒนาต่อ 91

เอกสารอ้างอิง 92

ภาคผนวก ก 93

ภาคผนวก ข 96

ภาคผนวก ค 98

ภาคผนวก ง 79

ภาคผนวก จ 102

ภาคผนวก ฉ 109

ประวัติผู้เขียนโครงงาน 112

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แผนการดำเนินงาน 2

2.1 หน้าที่ฟังก์ชันพิเศษต่างๆ ของขาพอร์ตที่ 3 13

2.2 แสดงเวลา Bit time ใน Baud rate 15

2.3 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเตป 1 เฟส (Single-Phase Driver) 19

2.4 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส (Two-Phase Driver) 19

2.5 การกระตุ้นเฟส แบบฮาลฟ์สเต็ป (Half Step Motor) 20

4.1 ผลการทดสอบจับเวลาการทำงานของส่วนลำตัว 67

4.2 ผลการทดสอบจับเวลาการทำงานของส่วนหัวไหล่ 68

4.3 ผลการทดสอบจับเวลาการทำงานของส่วนข้อศอก 68

4.4 ผลการทดสอบจับเวลาการทำงานของส่วนข้อมือ 69

4.5 ผลการทดสอบจับเวลาการทำงานของส่วนมือจับ 69

4.6 ผลการทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด A ไปยังจุด B 73

4.7 ผลการทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด B ไปยังจุด C 75

4.8 ผลการทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด C ไปยังจุด A 78

4.9 ผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B 82

4.10 ผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D 85

4.11 ผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ 88

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ไดอะแกรมการทำงานของ Robot 4

2.2 หุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) 5

2.3 หุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinated Robot) 5

2.4 หุ่นยนต์ทรงกระบอก (Cylindrical Coordinated Robot) 6

2.5 หุ่นยนต์ทรงกลม (Spherical Coordinated Robot) 6

2.6 หุ่นยนต์ข้อต่อ (Join-Arm Coordinated Robot) 7

2.7 หุ่นยนต์สการ่า (Scara Robot) 7

2.8 หุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot) 8

2.9 แสดงข้อต่อแบบต่างๆ ที่นิยมใช้ 9

2.10 ส่วนประกอบต่างๆของแขนกลเมื่อเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์ 10

2.11 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ 11

2.12 การจัดขาต่างๆ ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 12

2.13 รูปแบบการถื่อสารอนุกรม 1 เฟรม 14

2.14 การใช้มาตรฐาน RS-232เชื่อมต่ออุปกรณ์ 15

2.15 สเต็ปมอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น 16

2.16 สเต็ปมอเตอร์แบบมีสาย 6 เส้น 16

2.17 สเต็ปมอเตอร์หลายแบบไบโพลาร์ 16

2.18 ภาพโครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์ 16

2.19 สเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet-PM) 17

2.20 โครงสร้างสเต็ปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (Variable Reluctance-VR) 18

2.21 สเต็ปมอเตอร์แบบผสม (Hybrid-H) ขนาด 5 เฟส 18

2.22 ส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์ 20

2.23 สัญญาณที่สามารถป้อนให้กับเซอร์โวมอเตอร์ 21

2.24 ตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์เมื่อป้อนความกว้าง pulse 21

2.25 โครงสร้าง TCP/IP 22

2.26 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตคอลต่างๆใน TCP/IP 24

2.27 ขั้นตอนการ encapsulation เมื่อข้อมูลถูกส่งผ่านโปรโตคอลต่างๆ 25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.28 การสื่อสารผ่าน Socket 27

2.29 ระดับของ Winsock 27

2.30 รูปแบบการให้บริการแบบ Client/Server 28

2.31 การสร้าง Client/Server โดยฟังก์ชันของ Winsock 28

3.1 ไดอะแกรมแสดงระบบการควบคุมแขนกลระยะไกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี 31

3.2 รูปร่างและขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ Futaba S3003 32

3.3 รูปร่างและขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ Tower Pro 9805MG 33

3.4 รูปร่างและขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ Tower Pro MG996R 33

3.5 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์มอเตอร์ขับเคลื่อนของแขนกล 34

3.6 ส่วนลำตัวของแขนกล 34

3.7 กล่องที่ใช้ถ่วงน้ำหนักของแขนกล 35

3.8 ท่อนแขนส่วนที่ต่อจากหัวไหล่ 35

3.9 ท่อนแขนส่วนที่ต่อจากข้อศอก 36

3.10 ท่อนแขนส่วนที่ต่อจากข้อมือ 36

3.11 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 37

3.12 วงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232 37

3.13 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 0 ที่ได้ทำการประกอบขึ้น 38

3.14 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 1 ถึง Slave 4 ที่ได้ทำการประกอบขึ้น 39

3.15 ภาพรวมของการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมแขนกล 40

3.16 แสดงการสื่อสารของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบระบบแบบหลายหน่วยประมวลผลกลาง (Multiprocessor System) 40

3.17 แสดงการเชื่อมต่อของบอร์ดต่างๆเข้าด้วยกัน 41

3.18 การทำงานของโปรแกรมลูกข่ายส่วนที่ใช้รับคำสั่งจากผู้ใช้ 42

3.19 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรมหน่วงเวลาความกว้างพัลส์ 43

3.20 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรม Serial Interrupt ที่ใช้รับข้อมูล 44

3.21 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรม Timer Interrupt หน่วงเวลา 20 มิลลิวินาที 45

3.22 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรมหลัก 46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.23 การทำงานของโปรแกรมลูกข่ายส่วนที่ใช้รับคำสั่งจากผู้ใช้ 48
3.24 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรม Serial Interrupt ที่ใช้รับข้อมูลเพื่อขับสเต็ปมอเตอร์ ... 49
3.25 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรมหลัก 50
3.26 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆและการต่อใช้งานของไอซีเบอร์ SN74LS244 51
3.27 บอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้ทำการประกอบขึ้น 51
3.28 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆของไอซีเบอร์ ULN2003 53
3.29 บอร์ดที่ใช้ในการขับสเต็ปมอเตอร์ที่ได้ทำการประกอบขึ้น 53
3.30 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนที่เป็นเครื่องลูกข่าย 55
3.31 หน้าโปรแกรมส่วนที่เป็นลูกข่าย 56
3.32 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนที่เป็นแม่ข่าย 57
3.33 หน้าโปรแกรมส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแม่ข่าย 58
3.34 กล้องเว็บแคมที่ใช้ 59
3.35 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดต่อไปที่เครื่องแม่ข่าย 60
4.1 โปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายเมื่อเริ่มใช้งาน 62
4.2 โปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายทำการเปิดพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อเครื่องแม่ข่ายกับแขนกล 63
4.3 โปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายเมื่อกล้องเว็บแคมเริ่มจับภาพ 63
4.4 โปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายเมื่อรอการร้องขอการติดต่อจากเครื่องลูกข่าย 64
4.5 โปรแกรมที่เครื่องลูกข่ายเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา 64
4.6 เมื่อใส่หมายเลขไอพีของเครื่องแม่ข่ายในโปรแกรมที่เครื่องลูกข่าย 65
4.7 เมื่อทำการติดต่อกับเครื่องแม่ข่ายได้สำเร็จ 65
4.8 เมื่อทำการติดต่อกับเครื่องลูกข่ายได้สำเร็จ 66
4.9 เมื่อเครื่องลูกข่ายขอยกเลิกการติดต่อกับเครื่องแม่ข่ายโดยการกดปุ่มDisconnect 66
4.10 เมื่อเครื่องลูกข่ายขอยกเลิกการติดต่อกับเครื่องแม่ข่ายโดยการกดปุ่ม Disconnect 67
4.11 แสดงจุดอ้างอิงต่างๆที่ใช้ในการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล 70
4.12 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล
จุด A ไปยังจุด B 71
4.13 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล
จากจุด A ไปยังจุด B 71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.14 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด A ไปยังจุด B 72

4.15 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด A ไปยังจุด B 72

4.16 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด B ไปยังจุด C 73

4.17 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด B ไปยังจุด C 74

4.18 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด B ไปยังจุด C 74

4.19 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด B ไปยังจุด C 75

4.20 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด C ไปยังจุด A 76

4.21 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด C ไปยังจุด A 76

4.22 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด C ไปยังจุด A 77

4.23 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด C ไปยังจุด A 77

4.24 แสดงจุดอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบการหยิบวัตถุรูปทรงต่างๆไปวางยังจุดต่างๆ ของแขนกล 79

4.25 วัตถุทรงกลมที่ใช้ในการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวาง ยังจุด B 79

4.26 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจาก จุด A ไปวางยังจุด B 80

4.27 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจาก จุด A ไปวางยังจุด B 80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.28 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B 81

4.29 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B 81

4.30 วัตถุทรงกระบอกที่ใช้ในการทดสอบ 82

4.31 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D 83

4.32 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D 83

4.33 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D 84

4.34 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D 84

4.35 วัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้ในการทดสอบ 85

4.36 แสดงจุดอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ 86

4.37 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ 86

4.38 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ 87

4.39 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ 87

4.40 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ 88

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีในด้านต่างๆมีการวิวัฒนาการก้าวหน้าเป็นอย่างมากไม่ว่าจะเป็นด้านเกษตรกรรม ด้านอุตสาหกรรม หรือแม้ทางด้านการทหาร แต่สิ่งที่อยู่คู่กับการพัฒนาเทคโนโลยีมาตลอดคือความปลอดภัยไม่ว่าจะเป็นความปลอดภัยในชีวิต หรือความปลอดภัยในทรัพย์สิน โดยที่มนุษย์มิอาจล่วงรู้ได้ว่าอันตรายจะเกิดขึ้นเมื่อใด เช่นในที่ๆมีความเสี่ยงสูง ไม่ว่าจะเป็นความร้อนสูง ที่ๆมีอากาศเบาบาง หรือในที่ๆมีสารเคมีอันตรายต่างๆ

คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างแขนกลหยิบจับสิ่งของควบคุมระยะไกลขึ้น ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำงานแทนมนุษย์ในพื้นที่ ที่เสี่ยงอันตรายได้และสามารถนำไปพัฒนาให้สามารถทำงานที่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการเชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก
2. เพื่อศึกษาการใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ
3. เพื่อศึกษาการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายระบบ TCP/IP

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. สามารถควบคุมแขนกลให้หยิบจับสิ่งของซึ่งควบคุมระยะไกลผ่านโปรโตคอล TCP/IP ไมโครคอมพิวเตอร์ภายในระบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network) และแสดงผลภาพการทำงานของแขนกลได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงาน

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์และการนำไปใช้งาน
2. ศึกษาทฤษฎีการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ และสเต็ปมอเตอร์
3. ศึกษาและพัฒนาโครงสร้างของแขนกล
4. ศึกษาทฤษฎีการเขียนโปรแกรมผ่านระบบเครือข่ายด้วยโปโตคอล ทีซีพี/ไอพี
5. ทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้น วิเคาะห์ และสรุปผลโครงงาน

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2551						ปี 2552	
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาการใช้ไมโครคอน-โทลเลอร์ควบคุมอุปกรณ์	←→							
2. ศึกษาการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก		←→						
3. ศึกษาการส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านโปรโตคอล TCP/IP			←→					
4. จัดทำอุปกรณ์และทดสอบการทำงาน				←→				
5. ปรับปรุงและแก้ไข								
6. วิเคราะห์ผล					←→	←→		
7. สรุปผลการทำงาน							←→	
8. จัดทำเป็นรูปเล่มโครงงาน								←→

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ
3. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายระบบ ทีซีพี/ไอพี
4. เพื่อให้ได้แขนกลที่สามารถควบคุมการทำงานผ่านทางเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี ได้
5. สามารถทำการควบคุมแขนกลหุ่นยนต์ระยะไกลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ
6. เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุสาหกรรม เพื่อลดความเสี่ยงในการทำงาน

1.7 งบประมาณ

1. ค่าวัสดุและอุปกรณ์	1500	บาท	
2. ค่าจัดทำรูปเล่มรายงาน	500	บาท	
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	2,000	บาท	(สองพันบาทถ้วน)

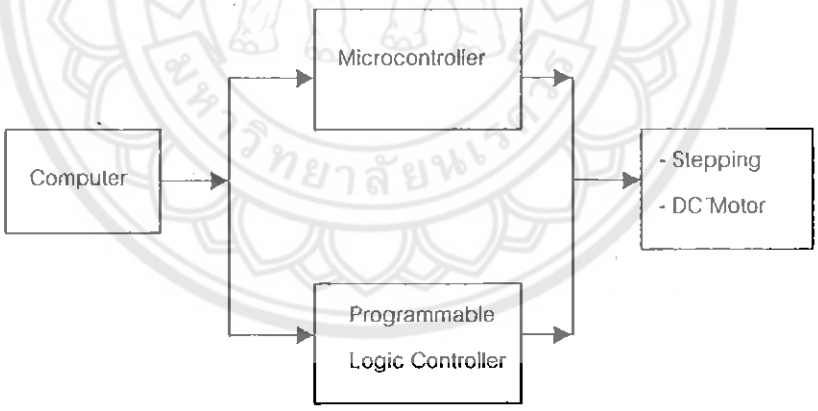
*ขออนุมัติถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่2
หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการจัดทำโครงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีพื้นฐานของหุ่นยนต์ประเภทต่างๆ ทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์และการนำไปใช้งาน ทฤษฎีการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ทฤษฎีการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ และทฤษฎีการเขียนโปรแกรมผ่านระบบเครือข่ายด้วย โปโตคอล ทีซีพี/ไอพี

2.1 หุ่นยนต์ (Robot) [1]

หุ่นยนต์ หรือ โรบอต (Robot) คือเครื่องจักรกลชนิดหนึ่ง มีลักษณะโครงสร้างและรูปร่างแตกต่างกัน หุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานในด้านต่างๆ ตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์ มีลักษณะการทำงานแบบอัตโนมัติ (Automatics Machine) หรือกึ่งอัตโนมัติ (Semi automatics Machine) และสามารถโปรแกรมให้ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างได้ ซึ่งมีไดอะแกรมการทำงานดังรูปที่ 2.1



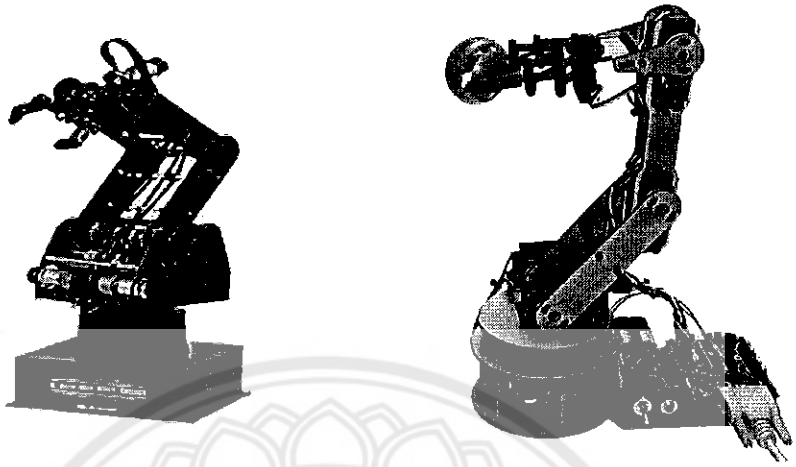
รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมการทำงานของ Robot [1]

หุ่นยนต์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ

2.1.1 หุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) [1]

หุ่นยนต์ชนิดนี้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นแขนกล สามารถเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อ ภายในตัวเองเท่านั้น ส่วนมากมักถูกนำไปใช้ใน

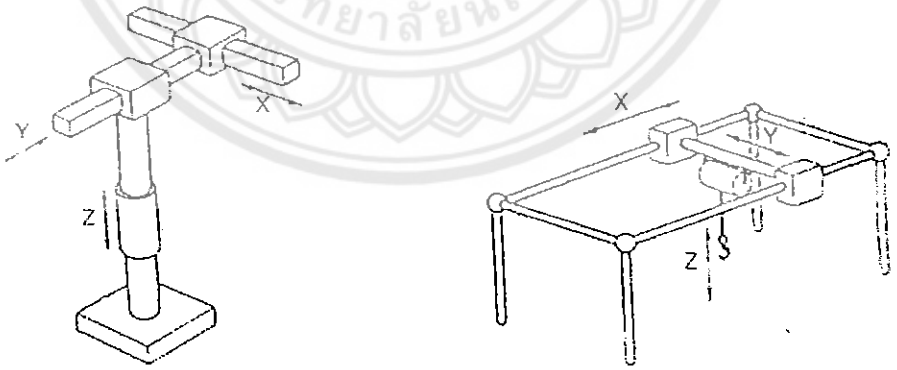
โรงงานอุตสาหกรรม ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2 ซึ่งในปัจจุบันสามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้ 5 ชนิด ดังนี้



รูปที่ 2.2 หุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot)

1. หุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinated Robot) [1]

หุ่นยนต์ชนิดนี้ จะมีการเคลื่อนเป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 แกน (Three linear axes) คือ เคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y, Z ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ตัวอย่างหุ่นยนต์ชนิดนี้คือ เครนในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องจักร CNC หรือ Inspection เป็นต้น

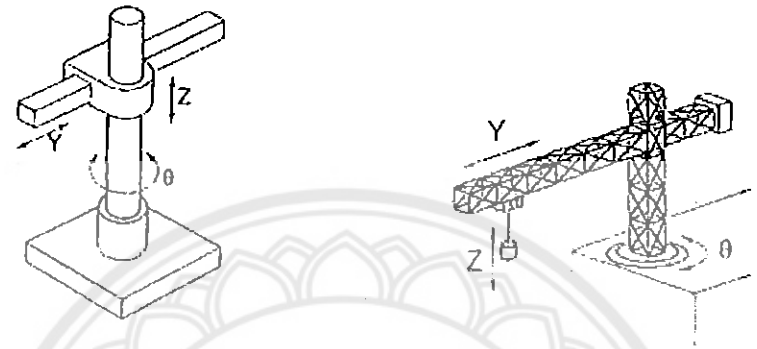


ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ ข) ลักษณะการทำงาน

รูปที่ 2.3 หุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinated Robot) [1]

2. หุ่นยนต์ทรงกระบอก (Cylindrical Coordinated Robot) [1]

หุ่นยนต์ชนิดนี้ จะมีการเคลื่อนเป็นแนวเส้นตรง 2 แกน (Two linear axes) คือ แกน Y, Z ส่วนฐานจะหมุนรอบเป็นวงกลม (Rotation material handling) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ตัวอย่างหุ่นยนต์ชนิดนี้คือ เครนสำหรับสร้างตึกสูง (Tower Cane) หรืออุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุทั่วไป (General material handling) เป็นต้น

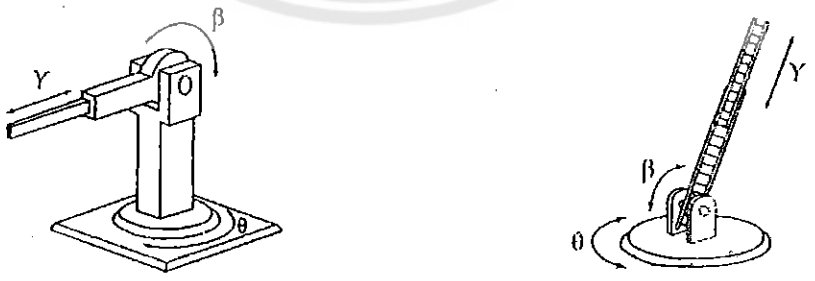


ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ ข) ลักษณะการทำงาน

รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์ทรงกระบอก (Cylindrical Coordinated Robot) [1]

3. หุ่นยนต์ทรงกลม (Spherical Coordinated Robot) [1]

หุ่นยนต์ชนิดนี้จะมีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง 1 แกน (One linear axes) และเคลื่อนที่แบบหมุน 2 แกน (Two rotating axes) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ตัวอย่างหุ่นยนต์ชนิดนี้คือ บันไดของรถดับเพลิง, Material transfer หรือ Parts cleaning เป็นต้น

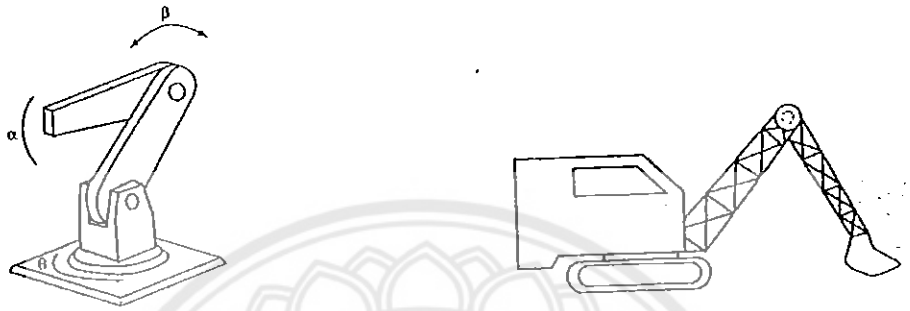


ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ ข) ลักษณะการทำงาน

รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์ทรงกลม (Spherical Coordinated Robot) [1]

4. หุ่นยนต์ข้อต่อ (Join-Arm Coordinated Robot) [1]

หุ่นยนต์ชนิดนี้จะมีการเคลื่อนที่แบบหมุน 3 แกน (Three rotating axes) โดยการเคลื่อนที่จะมีลักษณะคล้ายกับแขนของมนุษย์ หรือเรียกว่า Revolute coordinates ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ตัวอย่างหุ่นยนต์ชนิดนี้คือ งานประกอบ (Assambly), งานเชื่อม (Welding), งานขนถ่ายวัสดุ (Material Handling) เป็นต้น



ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ ข) ลักษณะการทำงาน

รูปที่ 2.6 หุ่นยนต์ข้อต่อ (Join-Arm Coordinated Robot) [1]

5. หุ่นยนต์สการ่า (Scara Robot) [1]

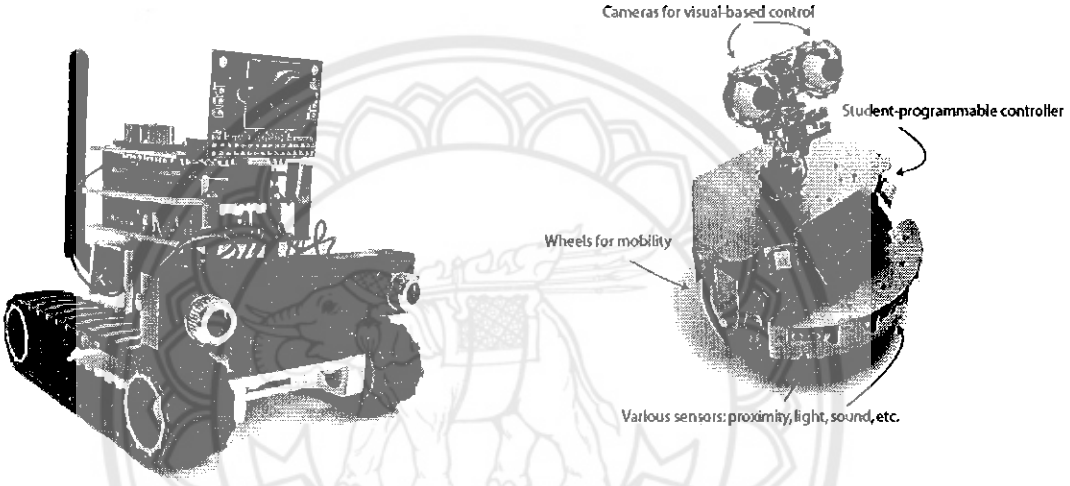
หุ่นยนต์ชนิดนี้จะมีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง 1 แกน (One linear axes) และเคลื่อนที่แบบหมุนได้ 2 แกน (Two rotating axes) ลักษณะการทำงานจะคล้ายกับหุ่นยนต์ทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ตัวอย่างหุ่นยนต์ชนิดนี้คือ Automatic assembly, Die casting หรือ Welding เป็นต้น

ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ ข) ลักษณะการทำงาน

รูปที่ 2.7 หุ่นยนต์สการ่า (Scara Robot) [1]

2.1.2 หุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot) [1]

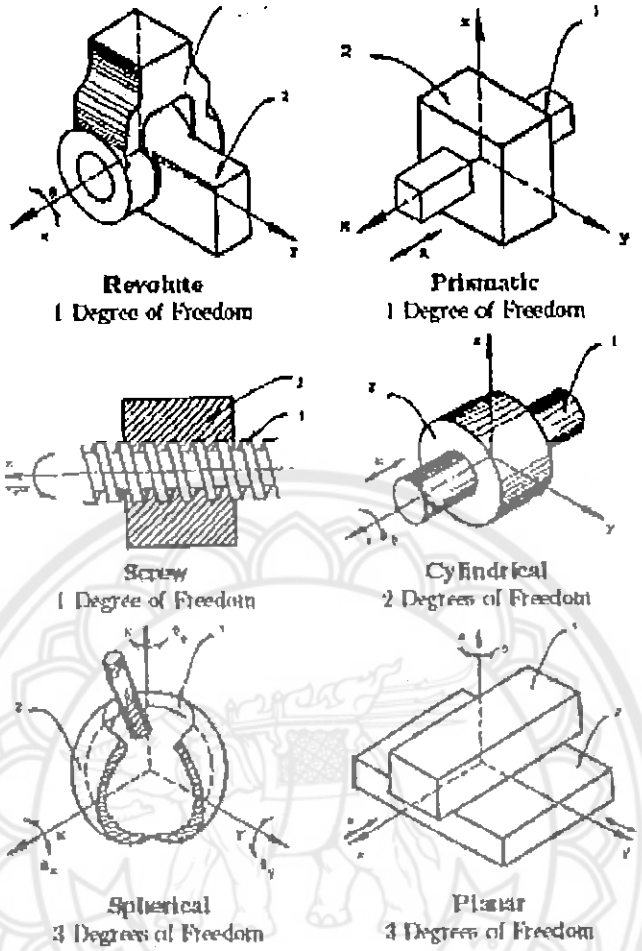
หุ่นยนต์ประเภทนี้จะสามารเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเอง บ้างก็เคลื่อนที่โดยการใช้ล้อ หรือบางแบบก็เคลื่อนที่โดยการใช้ขา ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ยังเป็นงานวิจัยที่อยู่ในห้องทดลอง เพื่อพัฒนาออกมาใช้งานในรูปแบบต่างๆ เช่นหุ่นยนต์สำรวจดาวอังคารขององค์การนาซ่า แต่ปัจจุบันก็ได้มีการพัฒนาให้มีลักษณะเป็นสัตว์เลี้ยงอย่างสุนัข เพื่อให้มาเป็นเพื่อนเล่นกับคน หรือแม้กระทั่งมีการพัฒนาหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่แบบสองขาได้อย่างมนุษย์ เพื่ออนาคตจะสามารถนำไปใช้ในงานที่มีความเสี่ยงต่ออันตรายแทนมนุษย์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 หุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot)

2.2 แขนกล (Robot Arm) [2]

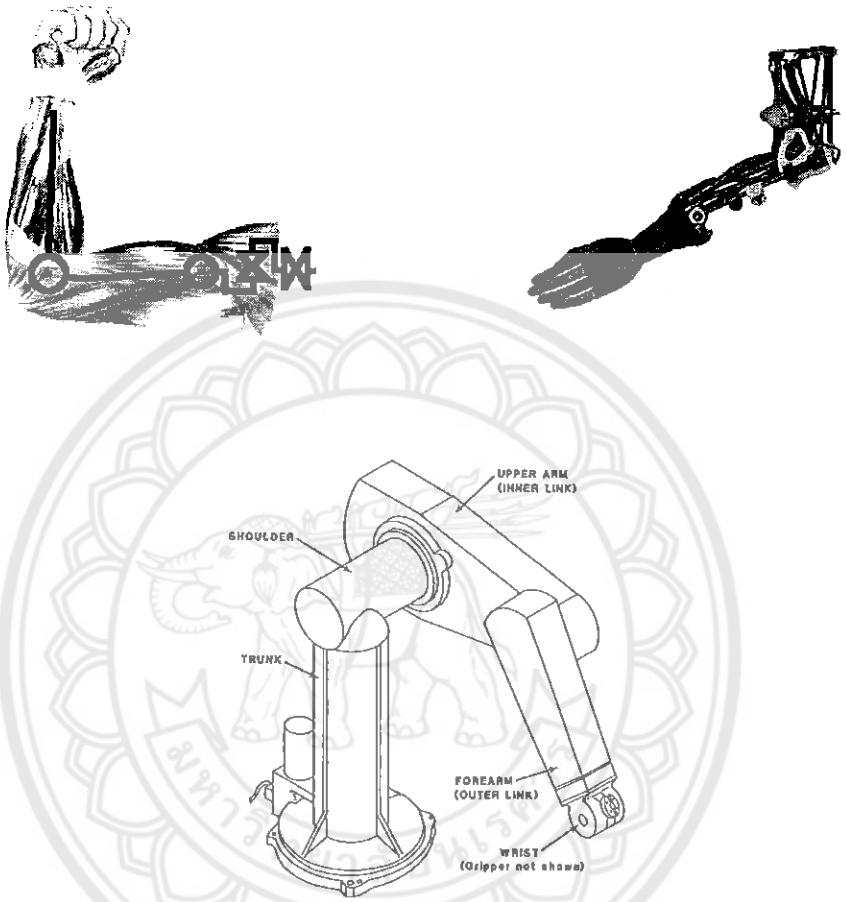
โครงสร้างโดยทั่วไปของหุ่นยนต์แขนกลจะประกอบไปด้วยท่อนแขน (1ink) ที่นำมาประกอบด้วยข้อต่อ (joint) ซึ่งมีหลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยที่แต่ละแบบก็จะอนุญาตให้เกิดการเคลื่อนที่ของท่อนแขนที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 2.9 แสดงข้อต่อแบบต่างๆ ที่นิยมใช้ [2]

ในการสร้างแขนกลโดยทั่วไปข้อต่อที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ข้อต่อแบบหมุน (revolute joint) และข้อต่อแบบเลื่อน (prismatic joint) สำหรับข้อต่อแบบหมุน ท่อนแขนสองท่อนถูกยึดติดกันที่จุดหมุนซึ่งอยู่บนท่อนแขน โดยแต่ละท่อนสามารถหมุนได้รอบจุดหมุนนี้ เราสามารถบอกตำแหน่งของสองท่อนแขนที่สัมพันธ์กันด้วยมุมที่ท่อนแขนหมุนไป ส่วนข้อต่อแบบเลื่อนนั้น ท่อนแขนสองท่อนติดอยู่ด้วยกันในลักษณะเดียวกันกับอากาศวิทยุรถยนต์ที่ยืดหดได้ โดยท่อนแขนแต่ละท่อนสามารถเลื่อนเข้าออกได้ในหนึ่งทิศทาง เราสามารถระบุตำแหน่งที่สัมพันธ์กันของสองท่อนแขนได้จากระยะเลื่อนเข้าออก ข้อต่อทั้งสองแบบนี้ถูกใช้มากที่สุดในการสร้างแขนกล โดยแขนกลที่มีมุมอิสระ (Degee of Freedom) สูง สามารถสร้างขึ้นได้โดยการประกอบท่อนแขนหลายท่อนด้วยข้อต่อสองแบบนี้ แขนกลทำงานด้วยการเคลื่อนที่ของท่อนแขนที่สัมพันธ์กันเพื่อให้ปลายแขน (end effector) ไปอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่เหมาะสม เพื่อเครื่องมือที่ติดอยู่ที่ปลายแขนจะได้ทำงานที่ต้องการได้โดยสะดวกและมีประสิทธิภาพ

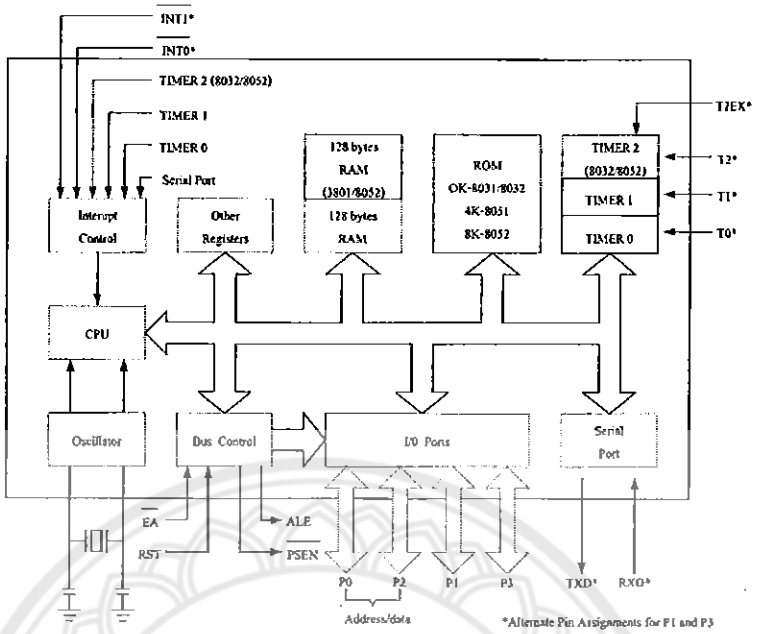
สำหรับท่อนแขนที่เกิดจากการเรียงต่อกันไป เรานิยมเรียกท่อนแขนที่อยู่นิ่งยึดติดกับพื้นว่า ฐาน (base) และเรียกท่อนถัดมาตามชื่อส่วนของแขนว่า ไหล่ (shoulder) ข้อศอก (elbow) แขนท่อนบน(foream) และข้อมือ (wrist) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบต่างๆของแขนกลเมื่อเปรียบเทียบกับแขนมนุษย์

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 [3]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คืออุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รวมเอา ซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ [3]

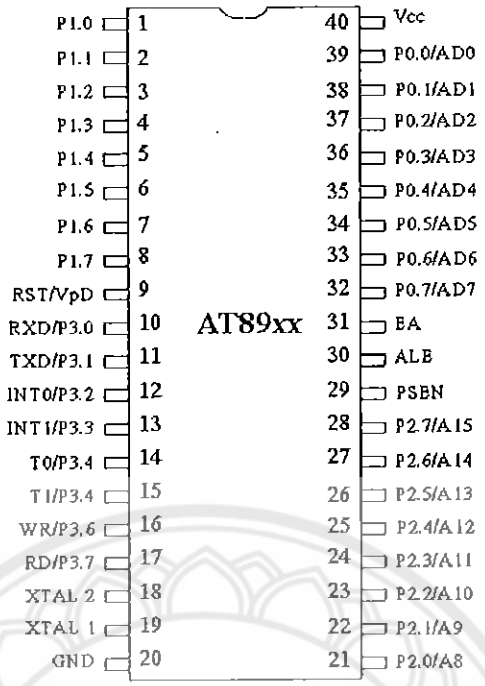
2.3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 [3]

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51มีดังต่อไปนี้

- หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit) มีขนาด 8 บิต
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (ROM) แบบ flash ขนาด 4
- มีหน่วยความจำข้อมูล (RAM) ขนาด 128 byte
- มีพอร์ตในการอินพุต/เอาต์พุตจำนวน 4 พอร์ต (Port 0-3)
- มีตัวฟังก์ชั่น Timer/Counter จำนวน 2 ตัว Timer0, Timer1
- สามารถอินเตอร์รัปต์ได้ 5-6 แหล่ง
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัวไอซี
- มีพอร์ตอนุกรมที่สามารถสื่อสารรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex
- สามารถขยายหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 Kbyte
- สามารถขยายหน่วยความจำข้อมูลโปรแกรมภายนอกได้ 64 Kbyte

2.3.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 [3]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 โครงสร้างของไอซีเป็นแบบ DIP ขนาด 40 ขา โดยขาต่างๆ จะทำหน้าที่เป็นขาควบคุม ขาพอร์ตอินพุต/พอร์ตเอาต์พุต ขารีเซต ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.12 การจัดขาต่างๆ ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 [3]

สามารถอธิบายหน้าที่ของขาต่างๆ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังนี้คือ

- ขา RST (RESET) เป็นขาที่ทำหน้าที่ในการกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่สภาวะเริ่มต้นการทำงานใหม่โดยปกติที่ขารีเซตจะมีสภาวะทางลอจิกเป็น 0 และถ้าป้อนสภาวะทางลอจิก 1 เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 แมชชีนไซเกิล ก็จัดทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดสภาวะรีเซตขึ้น

- ขาPSEN (program store Enable) เป็นขาที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการจะอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

- ขา EA (ExternalAcess) เป็นขาที่ทำหน้าที่เลือกใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมว่าจะเลือกใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการกำหนดภาวะทางลอจิกให้ขา EA ถ้ากำหนดให้ขา EA = "0" จะเป็นการเลือกใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก และเมื่อกำหนดให้ขา EA = "1" จะเป็นการเลือกใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายใน

- ขา ALE (Address Latch Enable) เป็นขาที่ทำหน้าที่ควบคุมการ Latch ตำแหน่งของข้อมูล (Address Bus AO-A7) เพื่อทำการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

- ขา VCC/VSS เป็นขาที่ทำหน้าที่ต่อแหล่งจายไฟเลี้ยงไอซี +5V และเป็นขากราวนด์ตามลำดับ

- ขา XTAL1, XTAL2 เป็นขาที่ทำหน้าที่ต่อเชื่อมกับตัวผลิตสัญญาณนาฬิกาให้กับตัวไอซี โดยปกติจะต่อกับคริสตอลขนาด 11.059 MHZ และมีคาปาซิสเตอร์ 33 PF ป้องกันความถี่สูง

- ขา Port0 (P0.0-P0.7) เป็นขาที่ทำหน้าที่อินพุตและเอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอก และยังทำหน้าที่เป็นขา Address Bus (AO-A7) และ Data Bus (DO-D7) เพื่อการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

- ขา Port2 (P2.0-P2.7) เป็นขาที่ทำหน้าที่อินพุตและเอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอก และยังทำหน้าที่เป็นขา Address Bus (A8-A15) เพื่อการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

- ขา Port1 (P1.0-P1.7) เป็นขาที่ทาหน้าที่อินพุตและเอาต์พตกับอุปกรณ์ภายนอก โดยสามารถอ้างอิงทีละบิตได้

- ขา Port3 (P3.0-P3.7) เป็นขาที่ทำหน้าที่อินพุตและเอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอก และยังทำหน้าที่ฟังก์ชันพิเศษในการดิดต่อควบคุมต่างๆ

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ฟังก์ชันพิเศษต่างๆ ของขาพอร์ตที่ 3 [3]

ขาพอร์ต 3	ชื่อ	หน้าที่การทำงาน
P3.0	RXD	รับข้อมูลแบบอนุกรม
P3.1	TXD	ส่งข้อมูลแบบอนุกรม
P3.2	INT0	อินเตอร์รัปต์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	INT1	อินเตอร์รัปต์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T0	Timer/counter ตัวที่ 0
P3.5	T1	Timer/counter ตัวที่ 1
P3.6	WR	สัญญาณในการเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณในการอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

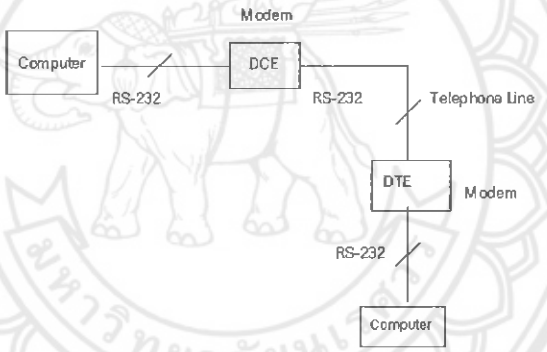
2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน RS-232 [4]

โดยปกติเรื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ตที่เป็นอนุกรรมชื่อว่า RS- 232 อยู่ในตัวมันเองอยู่แล้ว ซึ่งพอร์ต RS-232 นี้ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลในแบบอนุกรมเรียกว่า Universal Asynchronous Adapter เหตุที่มีชื่อเรียกว่า RS-232 ก็เนื่องมาจาก สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อีเล็กทรอนิกส์ ของอเมริกา หรือ EIA (RS - 232 : Recommended Standard Number 232, EIA : Electronic Industry Association) ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์สื่อสารแบบอนุกรมเอาไว้ภายใต้

ชื่อว่า RS-232 ความจริงแล้วมาตรฐานของรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมกันมากที่สุดสำหรับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

2.4.1 มาตรฐาน RS-232C [3]

มาตรฐาน RS-232C ได้จัดพิมพ์ขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1969 RS ย่อมาจาก Recommended Standard ส่วน 232 คือหมายเลขบ่งบอกมาตรฐานตัวนี้ และ C เป็นหมายเลขฉบับสุดท้ายของมาตรฐานตัวนี้ จุดประสงค์ของมาตรฐาน RS-232 ก็เพื่อบรรยายคุณลักษณะของการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูล (DCE : Data Communication Equipment) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (DCE : Data Communication Equipment) สำหรับผู้ใช้คอมพิวเตอร์ทั่วไป DTE ก็หมายถึง ตัวไมโครคอมพิวเตอร์ ส่วน DCE หมายถึง โมเด็ม (modem) และอุปกรณ์อื่นๆ เช่นเครื่องพิมพ์ที่รับสัญญาณแบบอนุกรม อาจจะเป็นไปได้ทั้ง DTE และ DCE ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผู้ผลิตสำหรับข้อแตกต่างของ DTE และ DCE ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การใช้มาตรฐาน RS-232เชื่อมต่ออุปกรณ์ [3]

มาตรฐานการสื่อสารอนุกรม RS-232 นั้น จะมีข้อกำหนดพารามิเตอร์อยู่ 4 ค่าคือ

1. ค่าอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล (Baud Rate) คือ ค่าอัตราความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลข่าวสารต่อ 1 วินาที หน่วยเป็นบิตต่อวินาที (Bit per second) ซึ่งอัตราความเร็วในการสื่อสารข้อมูลจะมีค่าตั้งแต่ 110 ถึง 76,800 เช่น ถ้าอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล 9600 ก็หมายถึง การรับ-ส่งข้อมูล 9600 บิตต่อ 1 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2. ค่าความกว้างข้อมูล (Data width) คือ ข้อมูลที่รับส่งข้อมูลเป็นกลุ่มโดยมีขนาด 7 บิต หรือ 8 บิตขึ้นอยู่กับการสื่อสารรับส่งข้อมูลว่าจะเลือกขนาดใดในการสื่อสารระหว่างกัน

3. ค่าพาริตี้บิต (Parity Bit) พาริตี้บิต เป็นบิตสำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในการรับ-ส่งข้อมูล โดยการนับจานวนบิตที่เป็น “1” ในข้อมูลเป็นจำนวนเลขคู่หรือจำนวนเลขคี่

การกำหนดพาริตี้บิตในการสื่อสารข้อมูลมีรูปแบบการกำหนด เช่น พาริตี้คู่ (Even parity) พาริตี้คี่ (odd parity) หรือไม่มีพาริตี้ (None)

4. ค่าบิตจบ (Stop Bit) เป็นบิตสำหรับปิดท้ายข้อมูล โดยอาจมี 1 บิตหรือ 2 บิต

2.4.2 รูปแบบการสื่อสารรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม [3]

ในการสื่อสารอนุกรม จะมีรูปแบบการสื่อสารข้อมูลเป็นกลุ่มบิตซึ่งเรียกว่า เฟรม ใน 1 เฟรม นั้นจะประกอบด้วย

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) มีขนาด 1 บิต เป็นบิตเริ่มต้นที่ทำหน้าที่บอกอุปกรณ์ภาครับข้อมูลว่าข้อมูลกำลังจะมาถึงมีขนาด 1 บิต

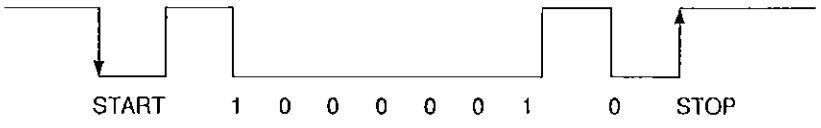
2. บิตข้อมูล (Data Bit) มีขนาด 7-8 บิต เป็นกลุ่มบิตที่เป็นข้อมูลในการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 กับไมโครคอมพิวเตอร์มักจะใช้ข้อมูลเป็นรหัสแอสกี้

3. บิตพาริตี้ (Parity Bit) มีขนาด 1 บิต เป็นบิตในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

4. บิตจบการสื่อสาร (Stop Bit) มีขนาด 1-2 คิดเป็นบิตที่บอกว่าสิ้นสุดข้อมูลในการสื่อสารอนุกรมใน 1 เฟรม จะประกอบด้วย บิตเริ่มต้น 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต และบิตจบหรือบิตสิ้นสุดข้อมูล ส่วนพาริตี้บิตไม่มี ตัวอย่างส่งข้อมูลตัวอักษร A ซึ่งตัวอักษร A มีรหัสแอสกี้คือ 4I H หรือ 01000001 สังเกตจากรูปแบบการส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.14

ตารางที่ 2.2 แสดงเวลา Bit Time ใน Baud Rate [3]

Baud rate	Bit time
300	3.33 mS
600	1.66 mS
1200	833 μS
2400	416 μS
4800	208 μS
9600	104 μS
19200	52 μS

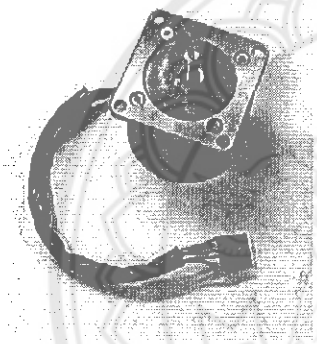


รูปที่ 2.14 รูปแบบการลื่อสารอนุกรม 1 เฟรม [3]

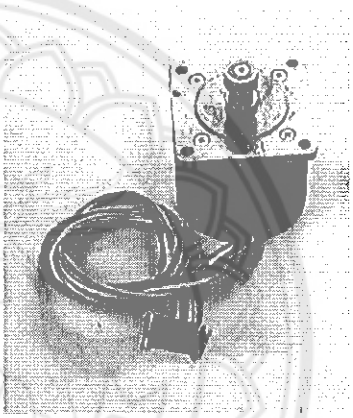
2.5 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) [5]

สเต็ปมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ขับเครื่องด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อนจะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่องแต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1, 1.5, 1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์ ลักษณะที่นำมอเตอร์ไปใช้จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ เช่น ระบบขับเคลื่อนหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ (PRINTER) ระบบขับเคลื่อนหัวอ่านในเครื่องอ่านบันทึกเหล็ก ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งของปากกาใน X-Y PLOTER เป็นต้น

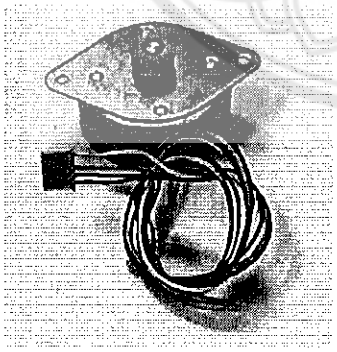
ชนิดและโครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 รูปที่ 2.16 รูปที่ 2.17 และรูปที่ 2.18



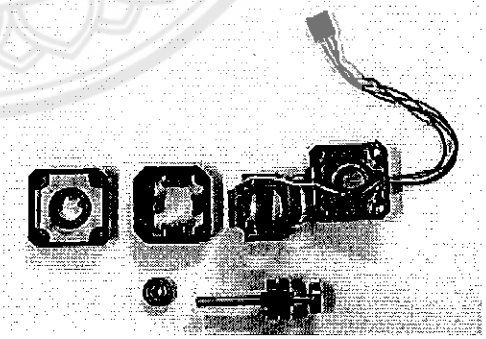
รูปที่ 2.15 สเต็ปมอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้น [5]



รูปที่ 2.16 สเต็ปมอเตอร์แบบมีสาย 6 เส้น [5]



รูปที่ 2.17 สเต็ปมอเตอร์หลายแบบไบโพลาร์ [5]

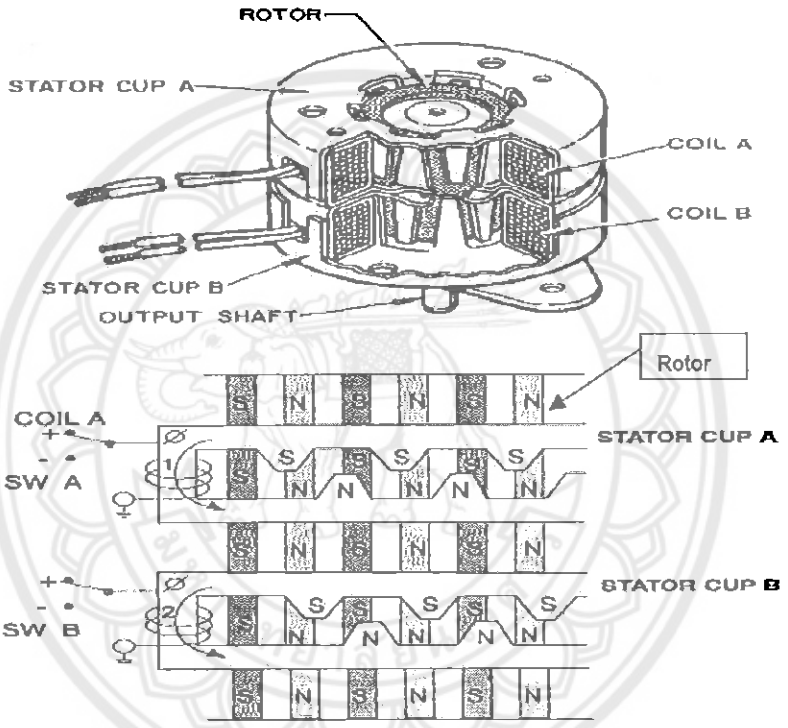


รูปที่ 2.18 ภาพโครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์ [5]

สเต็ปมอเตอร์ที่พบในปัจจุบันมี 3 ลักษณะดังนี้

2.5.1 แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet-PM) [5]

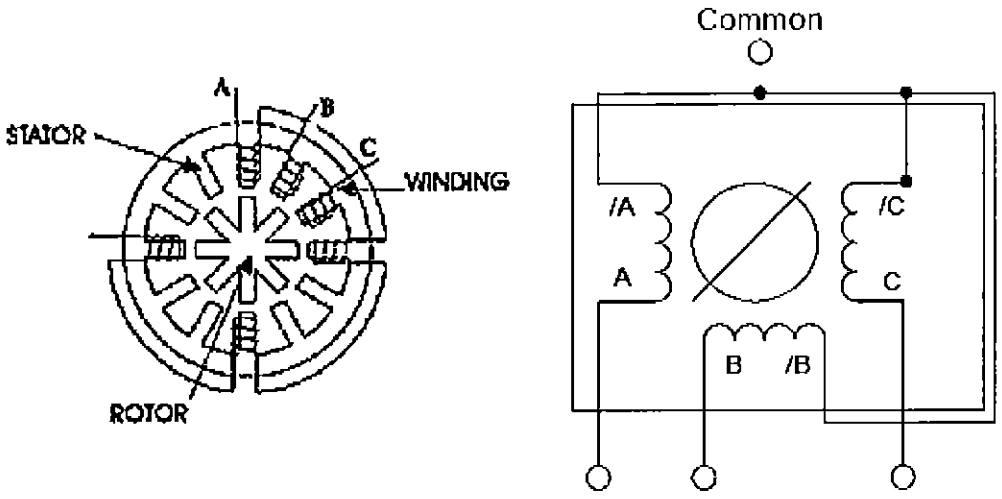
สเต็ปมอเตอร์แบบ PM จะมีสเตเตอร์ (Stator) ที่พันขดลวดไว้หลายๆโพล โดยมีโรเตอร์ (Rotor) เป็นรูปทรงกระบอกฟันเลื่อย และโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวรเพื่อป้อนไฟกระแสตรงให้กับขดสเตเตอร์จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าผลักต่อโรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ซึ่งทำให้มอเตอร์หมุนมอเตอร์แบบ PM จะเกิดแรงฉุดยึดให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่แม้จะไม่ได้ป้อนไฟเข้าขดลวด



รูปที่ 2.19 สเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet-PM)

2.5.2 แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (Variable Reluctance-VR) [5]

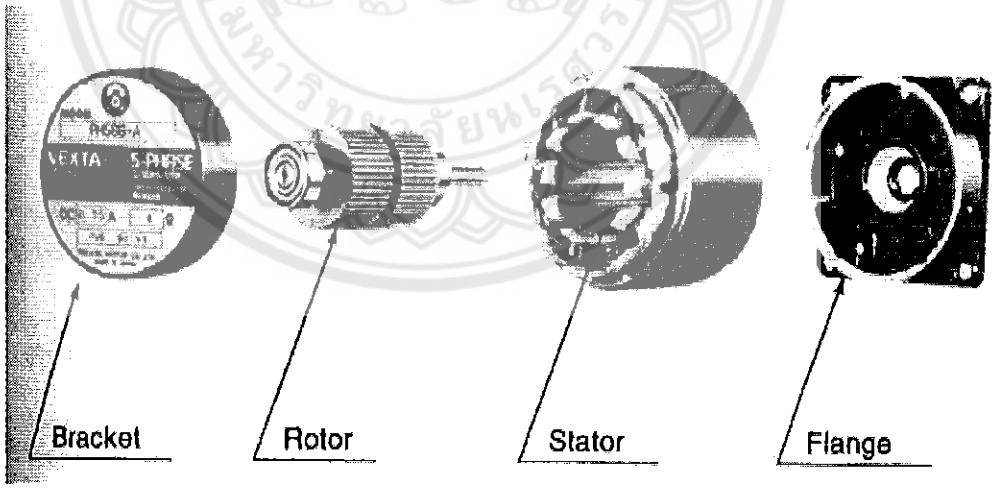
สเต็ปมอเตอร์แบบ VR จะมีการหมุนโรเตอร์ได้อย่างอิสระ แม้จะไม่ได้จ่ายไฟให้โรเตอร์ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติกกำลังอ่อนมีลักษณะเป็นฟันเลื่อยรูปทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 2.20 โดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโพลในสเตเตอร์แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไปหมุนโรเตอร์ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนท์ต่ำที่สุดตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพแต่จะเกิดขึ้นได้หลายๆจุดดังนั้นเมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่างๆในมอเตอร์แตกต่างขดกันไปก็ทำให้มอเตอร์หมุนไปตำแหน่งต่างๆกันโรเตอร์ของ VR จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM



รูปที่ 2.20 โครงสร้างสเต็ปมอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (Variable Reluctance-VR)

2.5.3 แบบผสม (Hybrid-H) [5]

สเต็ปมอเตอร์แบบ H จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับที่ใช้ใน VR โรเตอร์มีหมวกหุ้มปลายซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.21 โดยมีการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดีทำให้ได้มุมการหมุนและครั้งน้อยและแม่นยำ ข้อดีคือให้แรงบิดสูงและมีขนาดกระทัดรัด และให้แรงฉุดยึดโรเตอร์นิ่งกับที่ตอนไม่จ่ายไฟ



รูปที่ 2.21 สเต็ปมอเตอร์แบบผสม (Hybrid-H) ขนาด 5 เฟส

2.5.4 วิธีการขับสเตปมอเตอร์ให้หมุนโดยการกระตุ้นเฟส [1]

ในการควบคุมสเต็ปมอเตอร์เพื่อที่จะให้ทำการหมุน มีวิธีการควบคุมกระแสไฟที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ (Stator) ในแต่ละเฟสของสเต็ปมอเตอร์อย่างเป็นลำดับที่แน่นอน โดยถ้าหากเราต้องการให้กระแสไหลในเฟสใดๆก็จะทำให้สถานะของเฟสนั้นๆเป็นสถานะลอจิก "1" และในการกระตุ้นเฟสของของสเต็ปมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ

1. การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ปมอเตอร์ (Full Step Motor) ยังสามารถแบ่งการกระตุ้นเฟสออกได้เป็นอีก 2 วิธีด้วยกันคือ

1.1 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส (Single-Phase Driver) หรือแบบเวฟ แสดงดังตารางที่ 2.3 จะเป็นการป้อนกระแสไฟให้กับขดลวดของสเต็ปมอเตอร์ทีละขด โดยจะป้อนกระแสเรียงตามลำดับกันไป ดังนั้นกระแส ที่ไหลในขดลวดจะทำการไหลในทิศทางเดียวกันทุกขด ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้แรงขับของสเต็ปมอเตอร์มีน้อย

ตารางที่ 2.3 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเตป 1 เฟส (Single-Phase Driver) [1]

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

1.2 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส (Two-Phase Driver) แสดงดังตารางที่ 2.4 เป็นการป้อนกระแสให้กับขดลวด 2 ขด ของสเต็ปมอเตอร์พร้อมๆกันไป และจะกระตุ้นเรียงถัดกับไปเช่นเดียวกับแบบหนึ่งเฟส ดังนั้นการกระตุ้นแบบนี้จึงต้องใช้กำลังไฟมากขึ้น และจะทำให้มีแรงบิด ของมอเตอร์มากกว่าการกระตุ้นแบบ 1 เฟส

ตารางที่ 2.4 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส (Two-Phase Driver) [1]

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

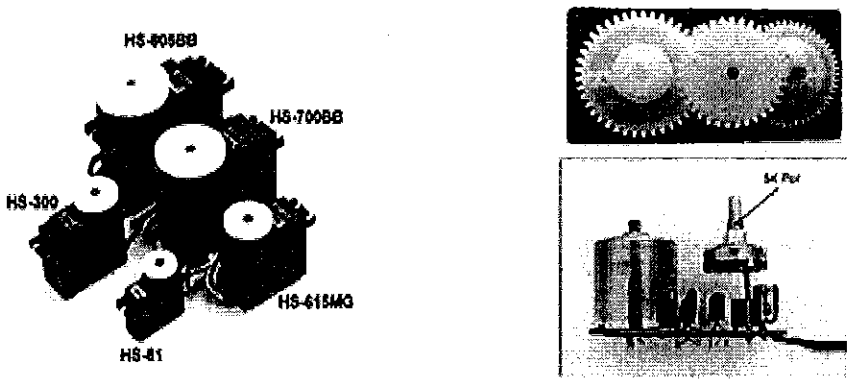
2. การกระตุ้นเฟสแบบฮาลฟ์สเต็ป (Half Step Motor) หรือ one-two phase Driver คือ การกระตุ้นเฟสแบบฟลูสเต็ป 1 เฟส และ 2 เฟส เรียงลำดับกันไป ดังแสดงดังตารางที่ 2.5 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นเฟสแบบนี้จะมีเพิ่มมากขึ้น เพราะช่วงของสเต็ปมีระยะสั้นลงในการกระตุ้นแบบนี้เราจะต้องมีการกระตุ้นที่เฟสถึง 2 ครั้ง จึงจะได้ระยะของสเต็ปเท่ากับการกระตุ้นเพียงครั้งเดียวของแบบฟูลสเต็ป 2 แบบแรก ความละเอียดของการหมุนตำแหน่งองศาต่อสเต็ปก็เป็นสองเท่าของแบบแรกความถูกต้องของตำแหน่งที่กำหนดจึงมีมากขึ้น

ตารางที่ 2.5 การกระตุ้นเฟส แบบฮาลฟ์สเต็ป (Half Step Motor) [1]

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

2.6 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) [6]

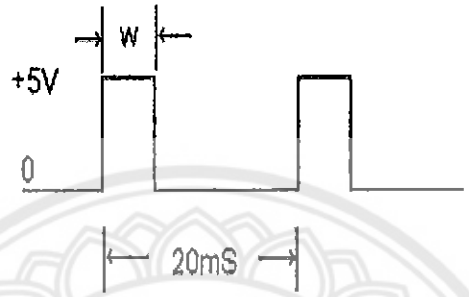
เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง DC MOTOR ที่ถูกประกอบร่วมด้วยชุดเกียร์และส่วนควบคุมต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.22 โดยจะมีสัญญาณใช้งาน 1 เส้น และอีก2 เส้นเป็น VCC และ GND เท่านั้น ซึ่งสามารถควบคุมให้ตัวเซอร์โวมอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวาได้ +90 องศา - 90 องศา (180 องศา)



รูปที่ 2.22 ส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์

2.6.1 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ [6]

เซอร์โวมอเตอร์สามารถควบคุมการทำงานได้โดยป้อนสัญญาณความกว้าง pulse ให้กับเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งความกว้างของสัญญาณ pulse (w) นี้จะไปกำหนดตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ ว่าจะหมุนไปอยู่ตำแหน่งใด ซึ่งเราสามารถป้อนความกว้าง pulse (w) ได้ตั้งแต่ 1.0 ms – 2.0 ms โดยที่คาบเวลา (Period) ในการส่งสัญญาณความกว้าง pulse เท่ากับ 20 ms ดังแสดงในรูปที่ 2.23

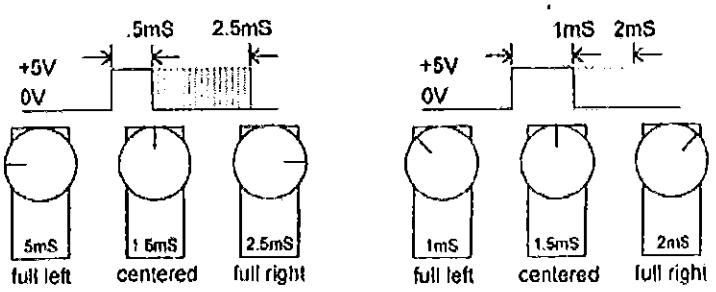


รูปที่ 2.23 สัญญาณที่สามารถป้อนให้กับเซอร์โวมอเตอร์ [6]

โดยจะมีจุดที่อ้างอิงตำแหน่ง 3 จุดด้วยกันคือ

1. ตำแหน่งซ้ายสุด เราสามารถกำหนดให้เซอร์โวมอเตอร์ เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งซ้ายสุด (-90 องศา) ได้โดยการป้อนความกว้าง pulse (w) เท่ากับ 0.5 ms
2. ตำแหน่งตรงกลาง เราสามารถกำหนดให้เซอร์โวมอเตอร์ เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งตรงกลาง (0 องศา) ได้โดยการป้อนความกว้าง pulse (w) เท่ากับ 1.5 ms
3. ตำแหน่งขวาสุด เราสามารถกำหนดให้เซอร์โวมอเตอร์ เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งซ้ายสุด (90 องศา) ได้โดยการป้อนความกว้าง pulse (w) เท่ากับ 2.5 ms

จากสุดอ้างอิงตำแหน่งทั้ง 3 ทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งที่ต้องการให้หมุนไปได้ เช่น ถ้าต้องการเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่ง -45 องศา ก็ทำการป้อน (0.5+1.5)/2 = 1.0 ms ให้กับเซอร์โวมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.24



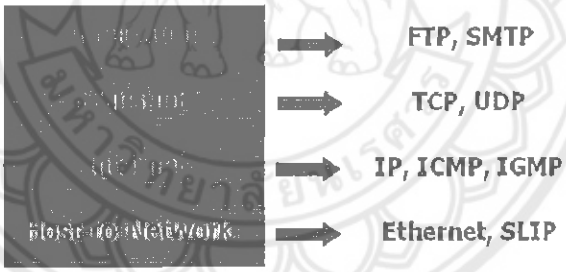
รูปที่ 2.24 ตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์เมื่อป้อนความกว้าง pulse [6]

2.7 ทีซีพี/ไอพี โปรโตคอล (Transmission Control/Internet Protocol) [7]

TCP/IP เป็นชุดของโปรโตคอลที่ถูกใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถใช้สื่อสารจากต้นทางข้ามเครือข่ายไปยังปลายทางได้ และสามารถหาเส้นทางที่จะส่งข้อมูลไปได้เองโดยอัตโนมัติ ถึงแม้ว่าในระหว่างทางอาจจะผ่านเครือข่ายที่มีปัญหาโปรโตคอลก็ยังคงหาเส้นทางอื่นในการส่งผ่านข้อมูลไปให้ถึงปลายทางได้ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ก็คือ TCP (Transmission Control Protocol) และอีกส่วนก็คือ IP (Internet Protocol) การแบ่งลักษณะในการทำงานก็จะแบ่งเป็น TCP มีหน้าที่ในการตรวจสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผู้รับ และเครื่องคอมพิวเตอร์ผู้ส่งให้ได้รับข้อมูลที่ถูกต้องและครบถ้วนหรือว่าหากมีการสูญหายของข้อมูลก็จะมีการแจ้งให้ต้นทางที่ส่งข้อมูลมารับทราบแล้วให้ทำการส่งข้อมูลมาให้ใหม่ ลักษณะการทำงานของ IP นั้นจะทำหน้าที่ในการเลือกเส้นทางที่จะใช้ในการรับส่งข้อมูลในระบบเครือข่าย และทำการตรวจสอบที่อยู่ของผู้รับโดยการใช้ข้อมูลขนาด4 Byte เป็นตัวกำหนดแอดเดรสหรือที่เราเรียกกันว่า IP Address

2.7.1 การแบ่งชั้นของโปรโตคอล TCP/IP [7]

ในแต่ละเลเยอร์ของโครงสร้าง TCP/IP ดังแสดงในรูปที่ 2.25 สามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.25 โครงสร้าง TCP/IP

1. ชั้นโฮสต์-เครือข่าย (Host-to-Network Layer)

โฮสต์-เครือข่าย (Host-to-Network Layer) จะทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมกับเครือข่ายแต่ละแบบ ซึ่งแตกต่างกันออกไปและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังเครือข่าย ซึ่งระดับชั้นนี้แบ่งการทำงานเป็นสองระดับคือ ฟิสิคัส (Physical) และดาตาลิงค์ (Data Link)

- Physical เป็นเลเยอร์ที่เป็นการกำหนดคุณสมบัติฮาร์ดแวร์ เป็นตัวกำหนดวิธีการถ่ายโอนข้อมูลในระดับบิต เช่น การเชื่อมต่อที่ตรงกับระดับฟิสิคัลเลเยอร์ RS232 และ X.21

- Data Link เป็นเลเยอร์ของซอฟแวร์ (Device Driver) และฮาร์ดแวร์ซึ่งทำงานด้านการเชื่อมโยงเข้ากับสายสื่อสาร ตัวอย่างมาตรฐานในระดับชั้นนี้ ได้แก่ Ethernet Token-Ring เป็นต้น

2. ชั้นสื่อสารอินเทอร์เน็ต (Internet Layer)

อินเตอร์เน็ตเลเยอร์ (Inter Layer) เลเยอร์นี้มีหน้าที่สำหรับส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครือข่ายโดยโปรโตคอล โดยทำงานเป็นกลไกสำคัญในการส่งผ่านข้อมูลไปยังเครือข่ายต่างๆ ในอินเตอร์เน็ตคือ IP นอกจากนี้ในเลเยอร์นี้ยังมีโปรโตคอลที่ทำงานอยู่ด้วยอีก 2 ชนิด คือ ICMP และ ARP

3. ชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูล (Transport Layer)

ทรานสปอร์ตเลเยอร์ (Transport Layer) รับผิดชอบการรับส่งข้อมูลระหว่างปลายด้านส่งและด้านรับข้อมูล และส่งข้อมูลขึ้นไปให้ Application Layer นำไปใช้งานต่อ เทียบได้กับ Session Layer และ Transport Layer ของ OSI Model

4. ชั้นสื่อสารการประยุกต์ (Application Layer)

มีโปรโตคอลสำหรับสร้างจอเทอร์มินัลเสมือน เรียกว่า TELNET โปรโตคอลสำหรับการจัดการแฟ้มข้อมูล เรียกว่า FTP และโปรโตคอลสำหรับการให้บริการจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า SMTP โดยโปรโตคอลสำหรับสร้างจอเทอร์มินัลเสมือนช่วยให้ผู้ใช้สามารถติดต่อกับเครื่องโฮสต์ที่อยู่ไกลออกไปโดยผ่านอินเทอร์เน็ต และสามารถทำงานได้เสมือนกับว่ากำลังนั่งทำงานอยู่ที่เครื่องโฮสต์นั้น โปรโตคอลสำหรับการจัดการแฟ้มข้อมูลช่วยในการคัดลอกแฟ้มข้อมูลมาจากเครื่อง อื่นที่อยู่ในระบบเครือข่ายหรือส่งสำเนาแฟ้มข้อมูลไปยังเครื่องใดๆ ก็ได้ โปรโตคอลสำหรับให้บริการจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการจัดส่งข้อความไปยัง ผู้ใช้ในระบบ หรือรับข้อความที่มีผู้ส่งเข้ามา

2.7.2 โครงสร้างของโปรโตคอล TCP/IP [7]

เนื่องจาก TCP/IP เป็นชุดของโปรโตคอลประกอบด้วยโปรโตคอลหลายตัวทำงานร่วมกันในเลเยอร์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.26 โดยแต่ละโปรโตคอลจะมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่

- TCP (Tranmission Control Protocol) อยู่ใน Transport Layer ทำหน้าที่จัดการและควบคุมการรับส่งข้อมูล และมีกลไกความคุมการรับส่งข้อมูลให้มีความถูกต้อง (reliable) และมีการสื่อสารอย่างเป็นกระบวนการ (connection-orient)

- UDP (User Datagram Protocol) อยู่ใน Transport Layer ทำหน้าที่จัดการและควบคุมการรับส่งข้อมูล แต่ไม่มีกลไกความคุมการรับ ส่งข้อมูลให้มีเสถียรภาพและเชื่อถือได้ (unreliable and connectionless) โดยปล่อยให้เป็นหน้าที่ของแอพพลิเคชั่นเลเยอร์ แต่ UDP มีข้อได้เปรียบในการส่งข้อมูลได้ทั้งแบบ unicast, multicast และ broadcast อีกทั้งยังทำการติดต่อสื่อสาร

ได้เร็วกว่า TCP เนื่องจาก TCP ต้องเสีย overhead ให้กับขั้นตอนการสื่อสารที่ทำให้ TCP มีความน่าเชื่อถือในการรับส่งข้อมูลนั่นเอง

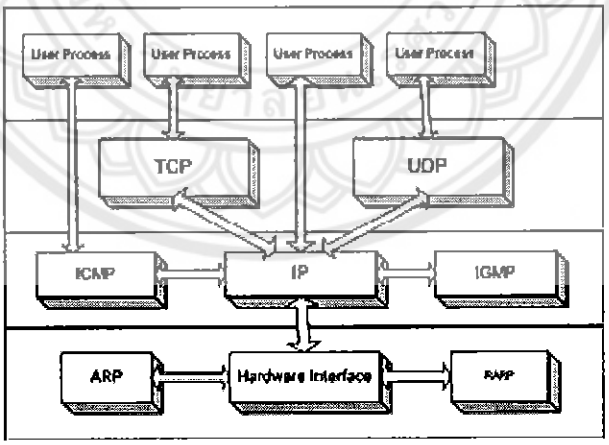
- IP (Internet Protocol) อยู่ใน Internetwork Layer เป็นโปรโตคอลหลักในการสื่อสารข้อมูลมีหน้าที่ค้นหาเส้นทางระว่างผู้รับและผู้ส่งโดยใช้ IP Address ซึ่งมีลักษณะเป็นเลขสี่ชุด แต่ละชุดมีค่าตั้งแต่ 0-255 เช่น 172.17.3.12 ในการอ้างอิงโฮสต์ต่างๆ และกลไกการ Route เพื่อส่งต่อข้อมูลไปจนถึงจุดหมายปลายทาง

- ICMP (Internet Control Message Protocol) อยู่ใน Internetwork Layer มีหน้าที่ส่งข่าวสารและแจ้งข้อผิดพลาดให้แก่ IP

- IGMP (Internet Group Management Protocol) อยู่ในเน็ตเวิร์กเลเยอร์ ทำหน้าที่ในการส่ง UDP ดาต้าแกรมไปยัง กลุ่มของโฮสต์ หรือโฮสต์หลายๆตัวพร้อมกัน

- ARP (Address Resolution Protocol) อยู่ใน Data Link Layer ทำหน้าที่เปลี่ยนระหว่าง IP แอดเดรสให้เป็นแอดเดรสของ Network Interface เรียกว่า MAC Address ในการติดต่อระหว่างกัน MAC Address คือหมายเลขประจำของ Hardware Interface ซึ่งในโลกนี้จะไม่มี MAC Address ที่ซ้ำกัน มีลักษณะเป็นเลขฐาน 16 ยาว 6 ไบต์ เช่น 23:43:45:AF:3D:78 โดย 3 ไบต์แรกจะเป็นรหัสของผู้ผลิต และ 3 ไบต์หลังจะเป็นรหัสของผลิตภัณฑ์

- RARP (Reverse ARP) อยู่ในดาต้าลิงค์เลเยอร์เช่นกัน แต่ทำหน้าที่กลับกันกับ ARP คือเปลี่ยนระหว่างแอดเดรสของ Network Interface ให้เป็นแอดเดรสที่ใช้โดย IP Address

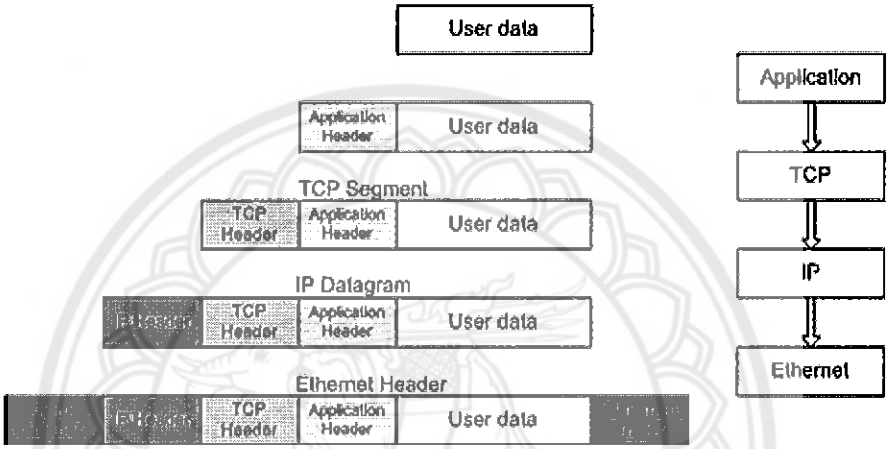


รูปที่ 2.26 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตคอลต่างๆใน TCP/IP

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.7.3 Encapsulation/Demultiplexing [7]

เวลาส่งข้อมูลเมื่อข้อมูลถูกส่งผ่านในแต่ละเลเยอร์ ซึ่งแต่ละเลเยอร์จะทำการประกอบข้อมูลที่ได้รับมากับส่วนควบคุมซึ่งอยู่ส่วนหัวของข้อมูลเรียกว่า Header ภายใน Header จะบรรจุข้อมูลที่สำคัญของโปรโตคอลที่ทำการ Encapsulate ดังแสดงในรูปที่ 2.27 เมื่อผู้รับได้รับข้อมูลก็จะเกิดกระบวนการทำงานย้อนกลับ คือโปรโตคอลเดียวกัน ทางฝั่งผู้รับก็จะได้รับข้อมูลส่วนที่เป็น Header ก่อนและนำไปประมวลและทราบว่าข้อมูลที่ตามมามีลักษณะอย่างไร ซึ่งกระบวนการย้อนกลับนี้เรียกว่า Demultiplexing



รูปที่ 2.27 ขั้นตอนการ encapsulation เมื่อข้อมูลถูกส่งผ่านโปรโตคอลต่างๆ

- ข้อมูลที่ผ่านการ Encapsulate ในแต่ละระดับมีชื่อเรียกแตกต่างกัน

- ข้อมูลที่มาจาก User หรือก็คือข้อมูลที่ User เป็นผู้ป้อนให้กับ Application เรียกว่า User Data

- เมื่อ Application ได้รับข้อมูลจาก user ก็จะนำมาประกอบกับส่วนหัวของ Appliction เรียกว่า Application Data และส่งต่อไปยังโปรโตคอล TCP

- เมื่อโปรโตคอล TCP ได้รับ Application Data ก็จะนำมารวมกับ Header ของโปรโตคอล TCP เรียกว่า TCP Segmentและส่งต่อไปยังโปรโตคอล IP

- เมื่อโปรโตคอล IP ได้รับ TCP Segment ก็จะนำมารวมกับ Header ของ โปรโตคอล IP เรียกว่า IP Datagramและส่งต่อไปยังเลเยอร์ Data Link Layer

- ในระดับ Data Link จะนำ IP Datagram มาเพิ่มส่วน Error Correction และ flag เรียกว่า Ethernet Frame ก่อนจะแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่งผ่านสายสัญญาณที่เชื่อมโยงอยู่ต่อไป

1575 7095

2/5.
ว1495
2552

2.8 พอร์ท (Port) [8]

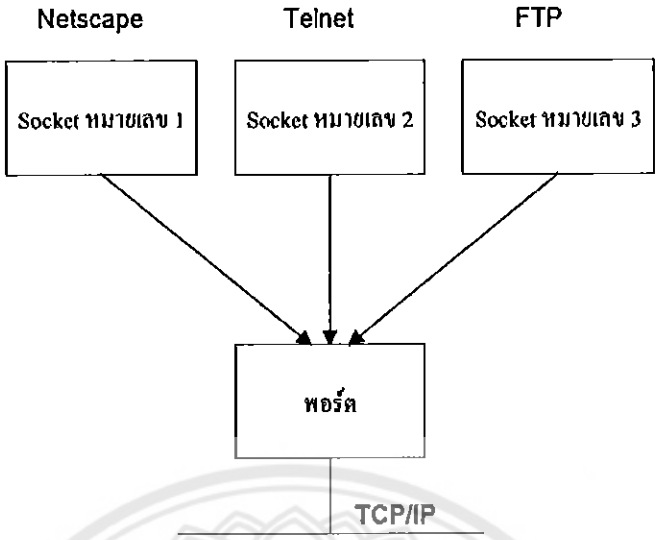
สำหรับ Application ในชั้น layer สูงๆ ที่ใช้ TCP (Transmission Control Protocol) หรือ UDP (User Datagram Protocol) จะมีหมายเลข Port ซึ่งหมายเลขของ Port จะเป็นเลข 16 bit เริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 65535 หมายเลข Port ใช้สำหรับตัดสินว่า service ใดที่ต้องการเรียกใช้ในทางทฤษฎี หมายเลข Port แต่ละหมายเลขถูกเลือกสำหรับ service ใดๆขึ้นอยู่กับ OS (operating system) ที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน แต่ได้มีกำหนดขึ้นให้ใช้ค่อนข้างเป็นมาตรฐานเพื่อให้มีการติดต่อการส่งข้อมูลที่ดีขึ้น ทาง Internet Assigned Numbers Authority (IANA) เป็นหน่วยงานกลางในการประสานการเลือกใช้ Port ว่า Port หมายเลขใดควรเหมาะสำหรับ Service ใด และได้กำหนดใน Request For Comments (RFC) 1700 ตัวอย่างเช่น เลือกใช้ TCP Port หมายเลข 23 กับ Service Telnet และเลือกใช้ UDP Port หมายเลข 69 สำหรับ Service Trivial File transfer Protocol (TFTP) หมายเลข Port ถูกจัดแบ่งเป็น 2 ประเภท

1. Well Known Ports คือจะเป็น Port ที่ระบบส่วนใหญ่ กำหนดให้ใช้โดย Privileged User (ผู้ใช้สิทธิพิเศษ) โดย port เหล่านี้ ใช้สำหรับการติดต่อระหว่างเครื่องที่มีระบบเวลาที่ยาวนาน วัตถุประสงค์เพื่อให้ service แก่ผู้ใช้ที่ไม่รู้จักหรือคุ้นเคย จึงจำเป็นต้องกำหนด Port ติดต่อสำหรับ Service นั้นๆ
2. Registered Port จะเป็น Port หมายเลข 1024 ขึ้นไป ซึ่ง IANA ไม่ได้กำหนดไว้

2.9 การเขียนโปรแกรมบนอินเตอร์เน็ตด้วย Winsock (Windows Socket) [9]

การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์บนระบบอินเตอร์เน็ต เช่นการ Telnet เข้าไปสำหรับในระบบปฏิบัติการ Unix ซึ่งระบบต้องสามารถรองรับการทำงานแบบ Multi User ได้ก็คือระบบจะต้องมีการติดต่อสื่อสารกับ User ได้หลาย User พร้อมๆกัน หรือเมื่อมีการใช้งานโปรแกรมที่เกี่ยวกับอินเตอร์เน็ต เช่น Netscape FTP ซึ่งโปรแกรมต่างๆเหล่านี้ต้องทำงานแยกกันโดยอิสระ ดังนั้นจึงได้เกิด Winsock ขึ้นมา นั่นก็คือ Winsock สามารถที่จะสร้างช่องทางสื่อสารขึ้นมาได้หลายๆช่องทางด้วยกัน (ขึ้นอยู่กับเวอร์ชั่นของ Winsock) และแต่ละช่องทางสื่อสารสามารถที่จะส่งข้อมูลได้โดยไม่ขึ้นกับช่องทางสื่อสารอื่นๆ

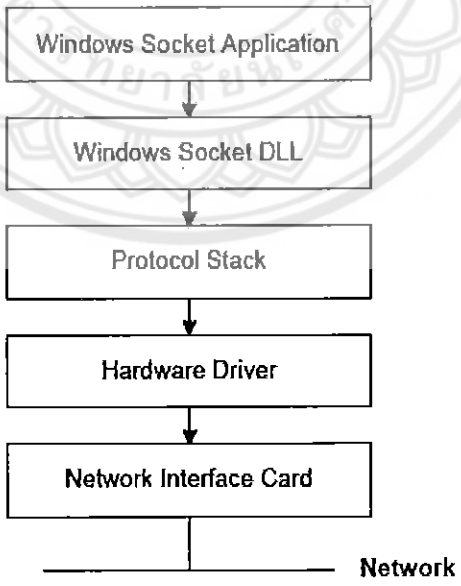
เทคโนโลยีซ็อกเก็ต (Socket) เป็นเทคโนโลยี ที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันบนอินเตอร์เน็ตมีความเสถียรภาพ Socket ที่มีการใช้งานอยู่บน MS Windows จะถูกเรียกว่า Windows Socket หรือจะเรียกสั้นๆว่า วินซ็อก (Winsock) ความหมายของ ซ็อกเก็ต คือเครื่องมือของโปรแกรมที่จะถูกใช้ในการส่ง และรับข้อมูลผ่านทางหมายเลขพอร์ตของ TCP/IP ที่ได้กำหนดขึ้นมาโดยโปรแกรมจะสร้างซ็อกเก็ตได้ตามที่ต้องการเพื่อใช้ในการทำงานแต่ 1 ซ็อกเก็ต จะต้องทำงานกับ 1 พอร์ตของ TCP/IP เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การสื่อสารผ่าน Socket [9]

2.9.1 ระดับของ Winsock ในส่วนของ TCP/IP [9]

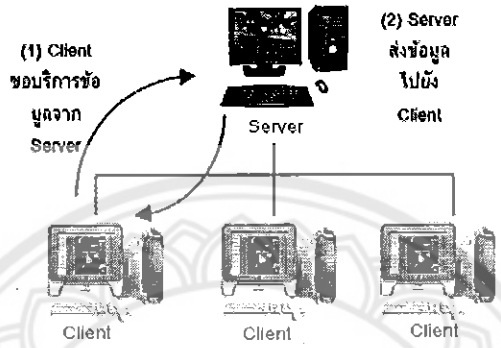
Winsock ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลจาก Application กับ TCP/IP จากนั้น TCP/IP จึงส่ง ข้อมูลลงไปบนระบบอินเตอร์เน็ต ดังแสดงในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ระดับของ Winsock [9]

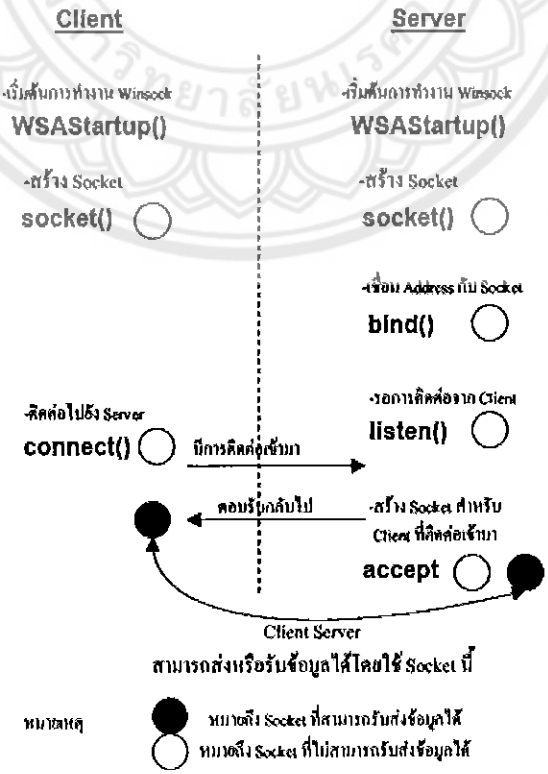
2.9.2 การสร้าง Client/Server โดยใช้ Winsock [9]

บนระบบอินเตอร์เน็ตมีการให้บริการต่างๆมากมาย เครื่องที่ให้บริการจะเรียกว่า Server เครื่องที่ทำหน้าที่ขอบริการจะเรียกว่า Client บริการอาจจะหมายถึง การรับส่ง ข้อความ ไฟล์รูปภาพ ไฟล์เสียง ไฟล์โปรแกรม หรือ เป็นการสั่งให้ Server ทำงาน หรือประมวลผลในสิ่งที่ต้องการก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 รูปแบบการให้บริการแบบ Client/Server [9]

การสร้าง Client/Server โดยคุณสมบัติของ Winsock จะมีขั้นตอนการทำงานซึ่งแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 การสร้าง Client/Server โดยฟังก์ชันของ Winsock [9]

2.9.3 การเขียนโปรแกรมติดต่อเครือข่ายโดยใช้ Winsock Control [7]

การใช้งาน Winsock ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งมีโหมดการทำงานของ Winsock Control ซึ่งทำงานโปรโตคอล TPC/IP แบ่งโหมดการทำงานออกเป็น 2 โหมดด้วยกันคือ

- TCP (Tranmission Control Protocol) เป็นการทำงานในลักษณะ Connection-Based เปรียบเสมือนการทำงานของโทรศัพท์ที่จะมีการตรวจสอบการทำงานทั้ง 2 ฝั่งมีการโต้ตอบระหว่างกัน ทำให้เกิดการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับการส่งข้อมูลที่ต้องการความถูกต้องของข้อมูล เช่น การส่งภาพหรือเสียงผ่านเครือข่าย ซึ่งจะมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่มีการส่งถึงกัน ทำให้มีการใช้ทรัพยากรของระบบสูง

- UDP (User Datagram Protocol) มีลักษณะการทำงานตรงกันข้ามกับ TCP นั่นคือ มีการทำงานในลักษณะ Connectionless เปรียบเสมือนการกระจายเสียงวิทยุ เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลที่ไม่สำคัญมากนัก เช่น การส่งข้อมูลสถานการณ์ทำงาน ซึ่งมักจะเป็นข้อมูลขนาดเล็ก ทำให้ใช้ทรัพยากรของระบบน้อยกว่า TCP

1. **Property ที่สำคัญของ Winsock Control**

- Protocol : เป็นการเลือก Protocol สำหรับใช้งาน

- LocalPort Winsock : เป็นการเลือกหมายเลขพอร์ตที่ของคอมพิวเตอร์ที่จะใช้งานกับ Winsock

- RemoteHost : เป็นการกำหนดชื่อของคอมพิวเตอร์ที่เราจะทำการติดต่อด้วยอาจจะเป็น IP Address หรือ เป็นชื่อคอมพิวเตอร์ที่ง่ายต่อการจดจำ

- RemotePort : เป็นการกำหนดหมายเลขพอร์ตของคอมพิวเตอร์ที่เราจะทำการติดต่อด้วย

- ByteRecive : เป็นจำนวนข้อมูลที่รับเข้ามาในบัพเฟอร์

2. **Method Winsock Control**

- Listen : Method ที่ใช้สร้าง Socket ทำให้คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นสามารถติดต่อเข้ามาได้

- Connect : Method ที่ใช้สร้างการติดต่อแบบ Socket ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ โดยจะต้องทำการระบุ Socket Address

- Accept : Method ที่ใช้รับ Request จากคอมพิวเตอร์ที่ทำการติดต่อเข้ามา

- SendData : Method ที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอื่น

- GetData : Method ที่ใช้รับข้อมูลจากบัพเฟอร์เข้ามาเก็บไว้บนตัวแปรที่กำหนดไว้ โดยสามารถที่จะกำหนดชนิดของตัวแปรและความยาวของข้อมูลได้

- Close : Method ที่ใช้ยกเลิกการติดต่อแบบ Socket

3. Event Winsock Control

- ConnectionRequest : เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นมีการ Request เข้ามาที่จะมีการกำหนด ID ให้กับแต่ละ Request ที่เข้ามา

- DataArrival : เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีชุดข้อมูลใหม่เข้ามาเก็บในบัพเฟอร์ ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบขนาดของข้อมูลได้จาก Property ByteRecive

- SendProgress : เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลระหว่างกันซึ่งจะมีพารา-มิเตอร์แสดงข้อมูลที่ทำการส่งแล้วข้อมูลที่ยังคงเหลืออยู่

- SendCommplete : เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว

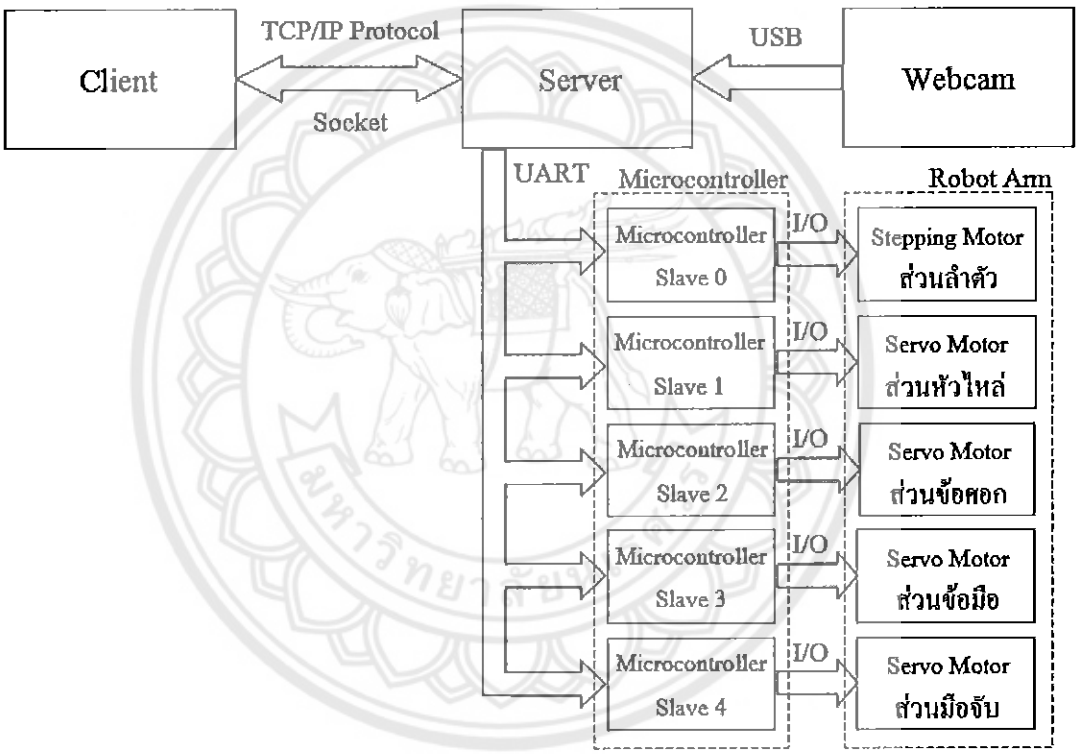
- Error : เป็นเหตุการณ์ที่เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นจะแสดงหมายเลขของความผิดพลาดนั้นออกมาคำอธิบาย และรายละเอียดอื่นๆ สำหรับจัดการกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

จากการศึกษาทฤษฎีในบทนี้ จะเป็นพื้นฐานซึ่งนำไปสู่การพัฒนาระบบควบคุมแขนกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี การสร้างหุ่นยนต์แขนกล การสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ การสร้างบอร์ดที่ใช้ขับมอเตอร์ที่อยู่ในส่วนข้อต่อต่างๆของแขนกล และการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

จากการศึกษาหลักการและทฤษฎีต่างๆในบทที่ 2 จึงได้ทำการพัฒนาระบบควบคุมแขนกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี ดังนี้

3.1 ภาพรวมของระบบ (System Overview)



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบควบคุมแขนกลระยะไกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี

การทำงานของแขนกลจะถูกควบคุมโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นแม่ข่ายโดยส่งคำสั่งผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลเพื่อส่งคำสั่งไปควบคุมมอเตอร์ที่อยู่ในส่วนต่างๆของแขนกลดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นแม่ข่ายรับคำสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นลูกข่ายที่ส่งมาผ่านระบบ network ขณะเดียวกันก็จะรับภาพแสดงผลการทำงานของแขนกลจากกล้อง webcam และส่งภาพแสดงการทำงานของแขนกลกลับไปแสดงผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นลูกข่าย

3.1.1 Server

ในส่วนของ Server จะประกอบไปด้วย

- แขนกล
- คอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องแม่ข่าย
- ไมโครคอนโทรลเลอร์
- กล้องเว็บแคม

3.1.2. Client

ในส่วนของ Client จะประกอบไปด้วย

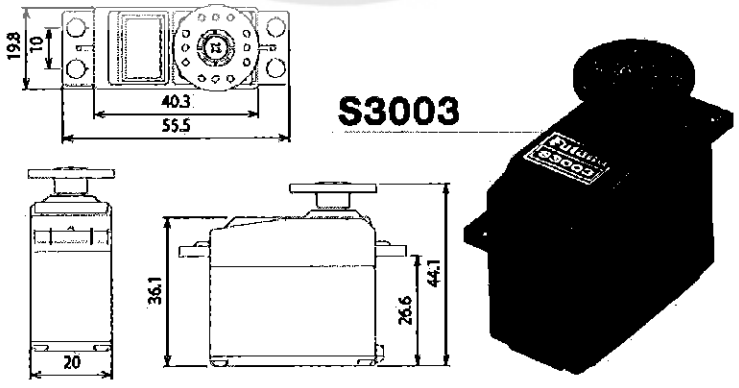
- คอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องลูกข่าย

3.2 การพัฒนาโครงสร้างของแขนกล

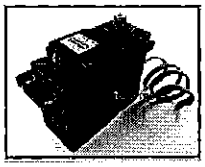
3.2.1 การพัฒนาโครงสร้างของแขนกล

การพัฒนาโครงสร้างของแขนกล ได้มีการใช้วัสดุดังนี้

- เซอร์โวมอเตอร์ Futaba S3003 1 ตัว
- เซอร์โวมอเตอร์ Tower Pro MG996R 2 ตัว
- เซอร์โวมอเตอร์ Tower Pro 9805MG 1 ตัว
- สเต็ปมอเตอร์ 1 ตัว
- กริปเปอร์ 1 ชุด
- แผ่นอะครีลิคขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร
- น็อตตัวผู้
- น็อตตัวเมีย



รูปที่ 3.2 รูปร่างและขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ Futaba S3003 [10]

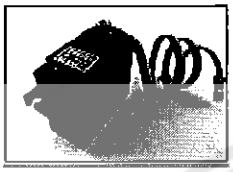


9805MG

9805MG servo, Digital , Double ball bearing,metal gear set

Weight: 180g
Dimension: 67.9*30.2*56mm
Stall torque: 22kg/cm(4.8V)帥25kg/cm(6V)
Operating speed: 0.20sec/60degree(4.8v), 0.16sec/60degree(6v)
Operating voltage: 4.8-6V
Dead band width: 5us

รูปที่ 3.3 รูปร่างและขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ Tower Pro 9805MG [11]



MG996R

MG996R weight- 55.0g

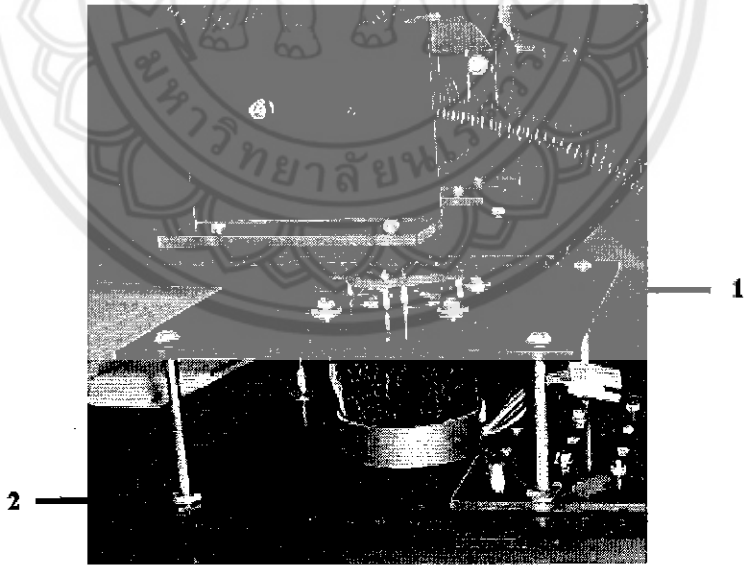
MG996R weight- 55.0g
Dimension 40.7*19.7*42.9mm
Stall torque 9.4kg/cm(4.8V),11kg/cm(6V)
Operating speed 0.17sec/60degree(4.8v), 0.14sec/60degree(6v)
Operating voltage 4.8-7.2V
Temperature range 0°C_ 55°C
Dead band width 5us

รูปที่ 3.4 รูปร่างและขนาดของเซอร์โวมอเตอร์ Tower Pro MG996R [11]

สำหรับการจัดทำโครงสร้างของแขนกลจะใช้แผ่นอะครีลิคในการทำเป็นลำตัว และส่วนแขนของแขนกล โดยใช้แผ่นอะครีลิคที่ได้ทำการตัดให้เป็นไปตามรูปที่ได้ทำการออกแบบเอาไว้แล้วจึงทำการประกอบโครงสร้างส่วนต่างๆเข้าด้วยกันโดยใช้น้ำยาประสานอะครีลิคและน็อตเป็นตัวยึด ทำการติดมอเตอร์เข้ากับส่วนต่าง ๆ ของแขนกล โดยจุดที่ 1 คือลำตัวของหุ่นยนต์แขนกลใช้สเต็ปมอเตอร์ในการขับเคลื่อน จุดที่ 2 คือข้อต่อส่วนหัวไหล่ใช้เซอร์โวมอเตอร์ Tower Pro 9805MG ในการขับเคลื่อน จุดที่ 3 คือข้อต่อส่วนข้อศอก จุดที่ 4 คือข้อต่อส่วนข้อมือจะใช้เซอร์โวมอเตอร์ Tower Pro MG996R ในการขับเคลื่อน และจุดที่ 5 คือส่วนมือจับจะใช้กริปเปอร์ทำงานร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์ Futaba S3003 ในการขับเคลื่อน ซึ่งแสดงจุดต่างๆดังในรูปที่ 3.5

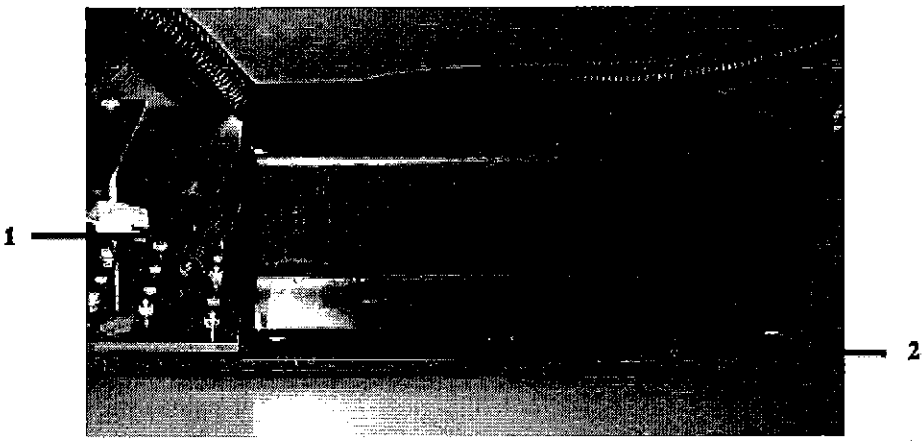
รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์มอเตอร์ขับเคลื่อนของแขนกล

สำหรับส่วนประกอบต่างๆของแขนกลมีขนาดดังต่อไปนี้



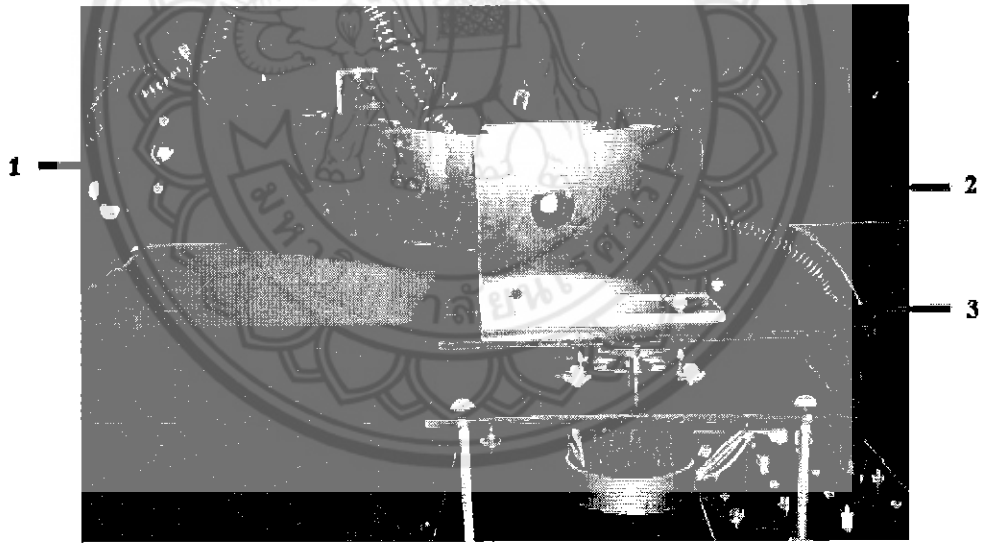
รูปที่ 3.6 ส่วนลำตัวของแขนกล

จากรูปที่ 3.6 ส่วนลำตัวของแขนกลใช้สเต็ปมอเตอร์ในการขับเคลื่อน ซึ่งจุดที่ 1 และจุดที่ 2 มีขนาดกว้าง 15.2 เซนติเมตร ยาว 15.2 เซนติเมตร



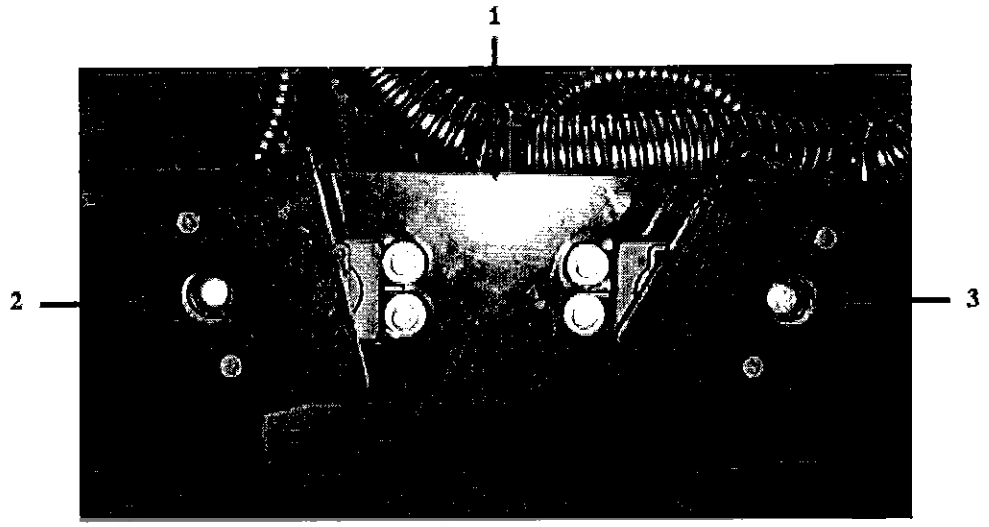
รูปที่ 3.7 กล่องที่ใช้ถ่วงน้ำหนักของแขนกล

จากรูปที่ 3.7 จุดที่ 1 คือกล่องที่ใช้ถ่วงน้ำหนักของแขนกลซึ่งภายในจะมีแท่งเหล็กบรรจุอยู่น้ำหนักรวม 2.5 กิโลกรัม มีขนาดกว้าง 12.5 เซนติเมตร ยาว 18.8 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร และจุดที่ 2 ฐานที่ใช้รองกล่องที่ใช้ถ่วงน้ำหนักและยึดกับหุ่นยนต์แขนกล มีขนาดกว้าง 15.2 เซนติเมตร ยาว 22.8 เซนติเมตร



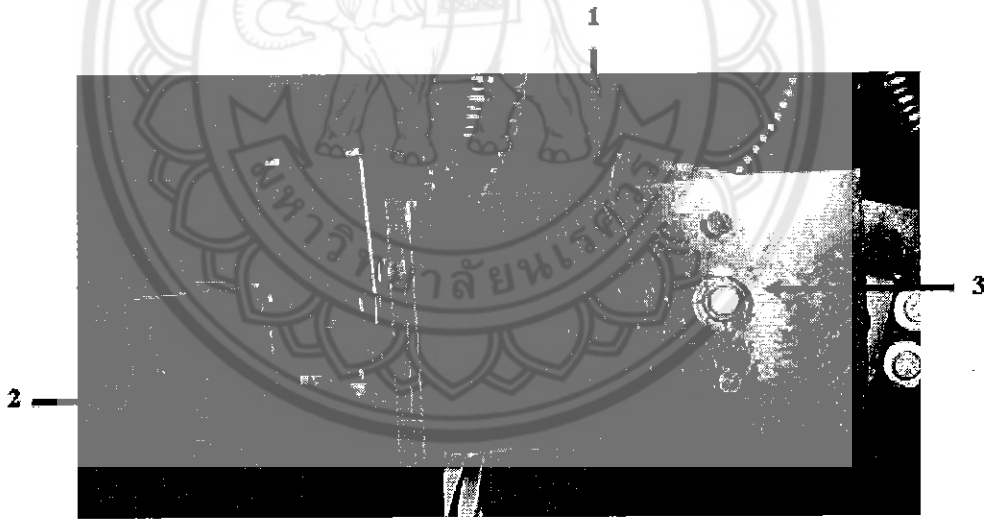
รูปที่ 3.8 ท่อนแขนส่วนที่ต่อจากหัวไหล่

จากรูปที่ 3.8 จุดที่ 1 คือท่อนแขนส่วนที่ต่อจากหัวไหล่มีขนาด กว้าง 16.9 เซนติเมตร ยาว 20.1 เซนติเมตร สูง 14.4 เซนติเมตร จุดที่ 2 คือ ฐานที่ใช้ยึดเซอร์โวมอเตอร์และใช้ยึดให้ท่อนแขนติดกับข้อต่อส่วนหัวไหล่มีขนาด ยาว 18.8 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร จุดที่ 3 คือฐานที่ใช้ยึดข้อต่อส่วนหัวไหล่ให้ติดกับลำตัวมีขนาด กว้าง 17.6 เซนติเมตร ยาว 15.2 เซนติเมตร



รูปที่ 3.9 ท่อนแขนส่วนที่ต่อจากข้อศอก

จากรูปที่ 3.9 จุดที่ 1 คือท่อนแขนส่วนที่ต่อจากข้อศอกมีขนาด กว้าง 4.7 เซนติเมตร ยาว 15.3 เซนติเมตร สูง 4.5 เซนติเมตร จุดที่ 2 คือส่วนที่ใช้ยึดท่อนแขนให้ติดกับเซอร์โวมอเตอร์ส่วนข้อต่อข้อมือ จุดที่ 3 คือส่วนที่ใช้ยึดท่อนแขนให้ติดกับเซอร์โวมอเตอร์ส่วนข้อต่อข้อศอก

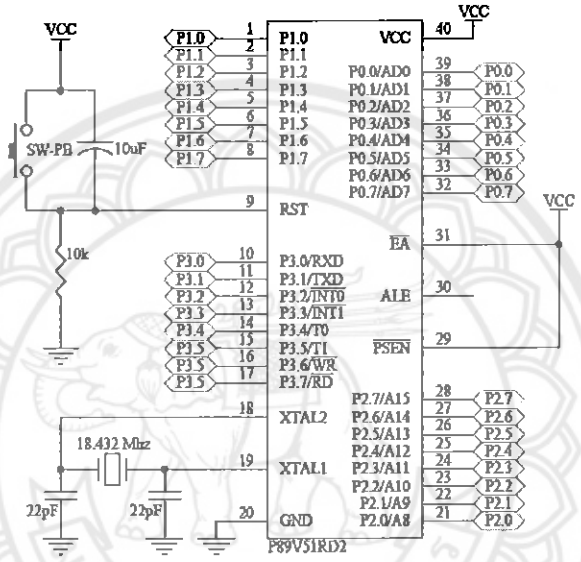


รูปที่ 3.10 ท่อนแขนส่วนที่ต่อจากข้อมือ

จากรูปที่ 3.10 จุดที่ 1 คือท่อนแขนส่วนที่ต่อจากข้อมือมีขนาด กว้าง 7.2 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร สูง 4.5 เซนติเมตร จุดที่ 2 คือส่วนที่ใช้ยึดท่อนแขนให้ติดกับมือจับ จุดที่ 3 คือส่วนที่ใช้ยึดท่อนแขนให้ติดกับเซอร์โวมอเตอร์ส่วนข้อต่อข้อมือ

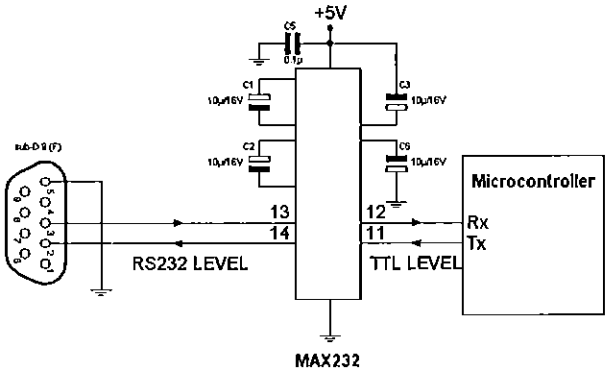
3.2.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

การควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกลได้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมตำแหน่งต่าง ๆ ของมอเตอร์ โดยได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 ของบริษัท Philips ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชขนาด 64 กิโลไบต์ นอกจากนั้นยังมีหน่วยความจำข้อมูลภายนอกเพิ่มเติมขนาด 1 กิโลไบต์อยู่ในตัวชิพ และสามารถรองรับการดาวน์โหลดโปรแกรมแบบ ISP (In System Programming) ผ่านพอร์ตอนุกรมได้โดยตรง ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ หรือวงจรเพิ่มเติมในการดาวน์โหลดโปรแกรม จึงทำให้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวก



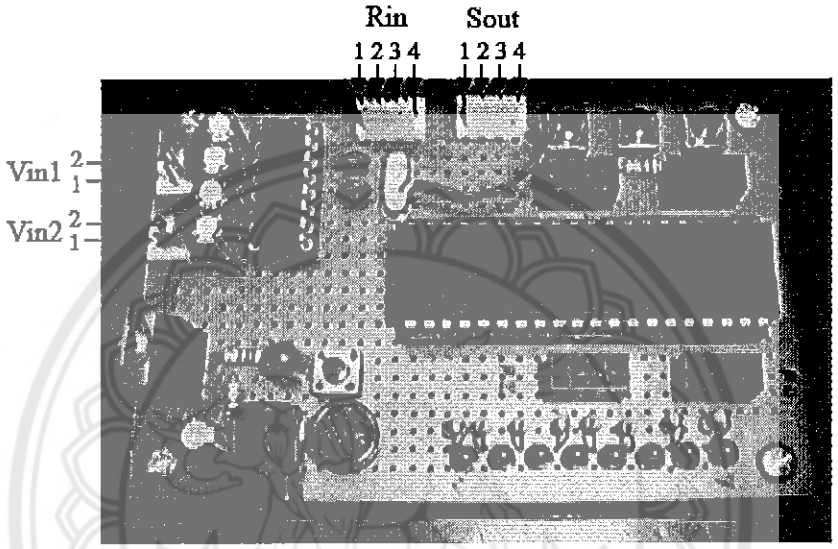
รูปที่ 3.11 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 [3]

ซึ่งในส่วนของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะต้องมีการติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นแม่ข่ายเพื่อรับคำสั่งต่างๆทางพอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ซึ่งมี IC MAX232 เป็นตัวปรับระดับสัญญาณจากระดับ TTL ให้เป็นไปตามมาตรฐานของ RS-232



รูปที่ 3.12 วงจรติดต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232 [12]

ในส่วนของการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมตำแหน่งต่างๆของแขนกลนั้นจะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 5 บอร์ด ซึ่งจะใช้การสื่อสารแบบหลายหน่วยประมวลผลกลาง (Multiprocessor System) โดยที่เครื่อง server จะทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) ซึ่งจะคอยส่งคำสั่งต่างๆที่ได้รับมาจากฝั่ง client ไปยังบอร์ดสลาฟ (Slave) ที่ได้ทำการประกอบขึ้นทั้ง 5 บอร์ด ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14 เพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งของสเต็ปมอเตอร์และเซอร์โวมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.15

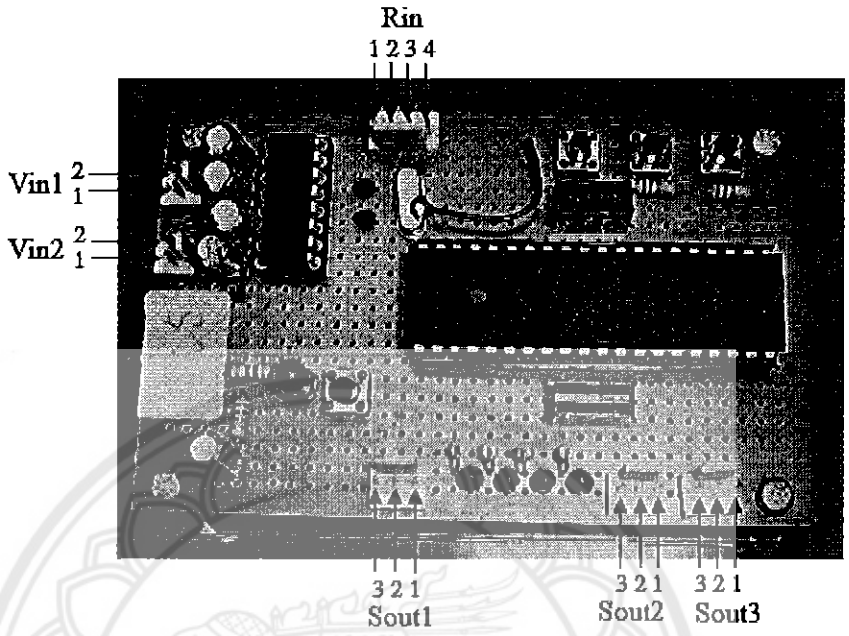


รูปที่ 3.13 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 0 ที่ได้ทำการประกอบขึ้น

จากรูปที่ 3.13 สามารถอธิบายหน้าที่ของพอร์ตต่างๆ ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 0 ได้ดังนี้คือ

- พอร์ต Vin1 และ Vin2 ทำหน้าที่ต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร โดยที่
  - ขาที่ 1 ต่อกับกราวด์
  - ขาที่ 2 ต่อกับไฟบวก 5 โวลต์
- พอร์ต Rin ทำหน้าที่เป็นอินพุตของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่
  - ขาที่ 1 ใช้เชื่อมกราวด์ของพอร์ตอนุกรมเข้ากับกราวด์ของวงจร
  - ขาที่ 2 ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม
  - ขาที่ 3 ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม
  - ขาที่ 4 ปล่อยว่างไว้
- พอร์ต Sout ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่
  - ขาที่ 1 ใช้ควบคุมสเต็ปมอเตอร์เฟสที่ 1
  - ขาที่ 2 ใช้ควบคุมสเต็ปมอเตอร์เฟสที่ 2

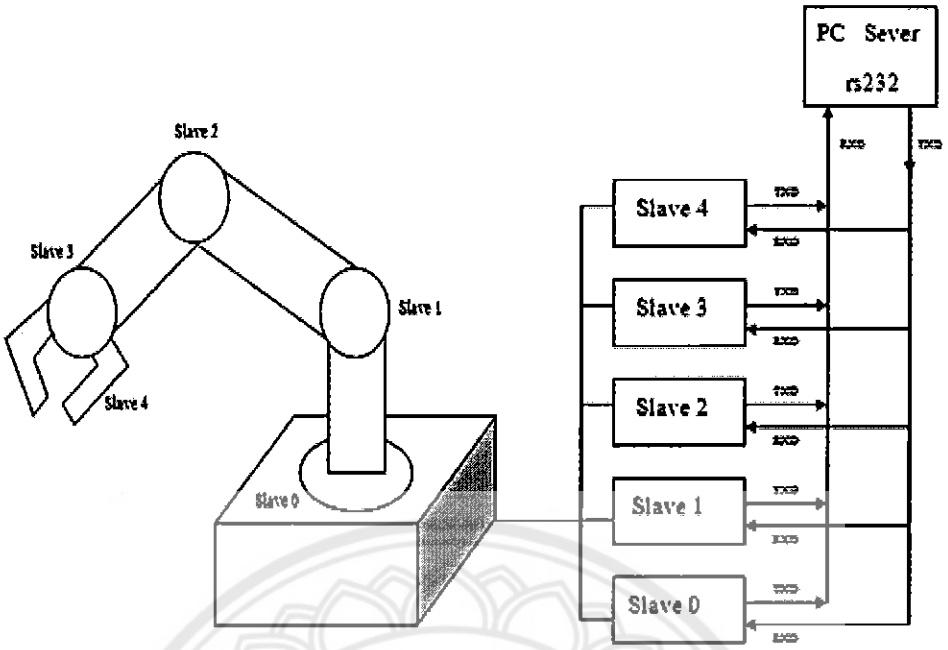
- ขาที่ 3 ใช้ควบคุมสเต็ปมอเตอร์เฟสที่ 3
- ขาที่ 4 ใช้ควบคุมสเต็ปมอเตอร์เฟสที่ 4



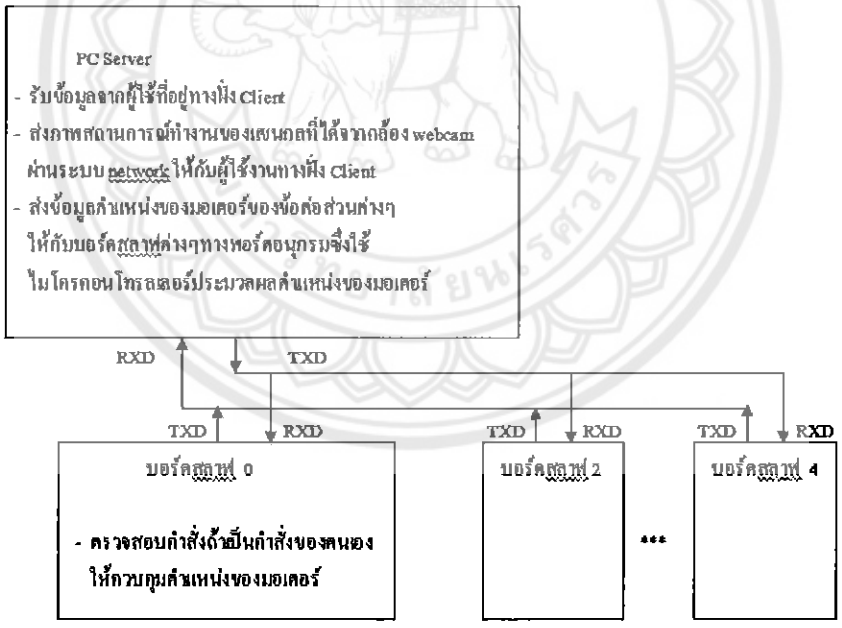
รูปที่ 3.14 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 1 ถึง Slave 4 ที่ได้ทำการประกอบขึ้น

จากรูปที่ 3.14 สามารถอธิบายหน้าที่ของพอร์ตต่างๆ ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 1 ถึง Slave 4 ได้ดังนี้คือ

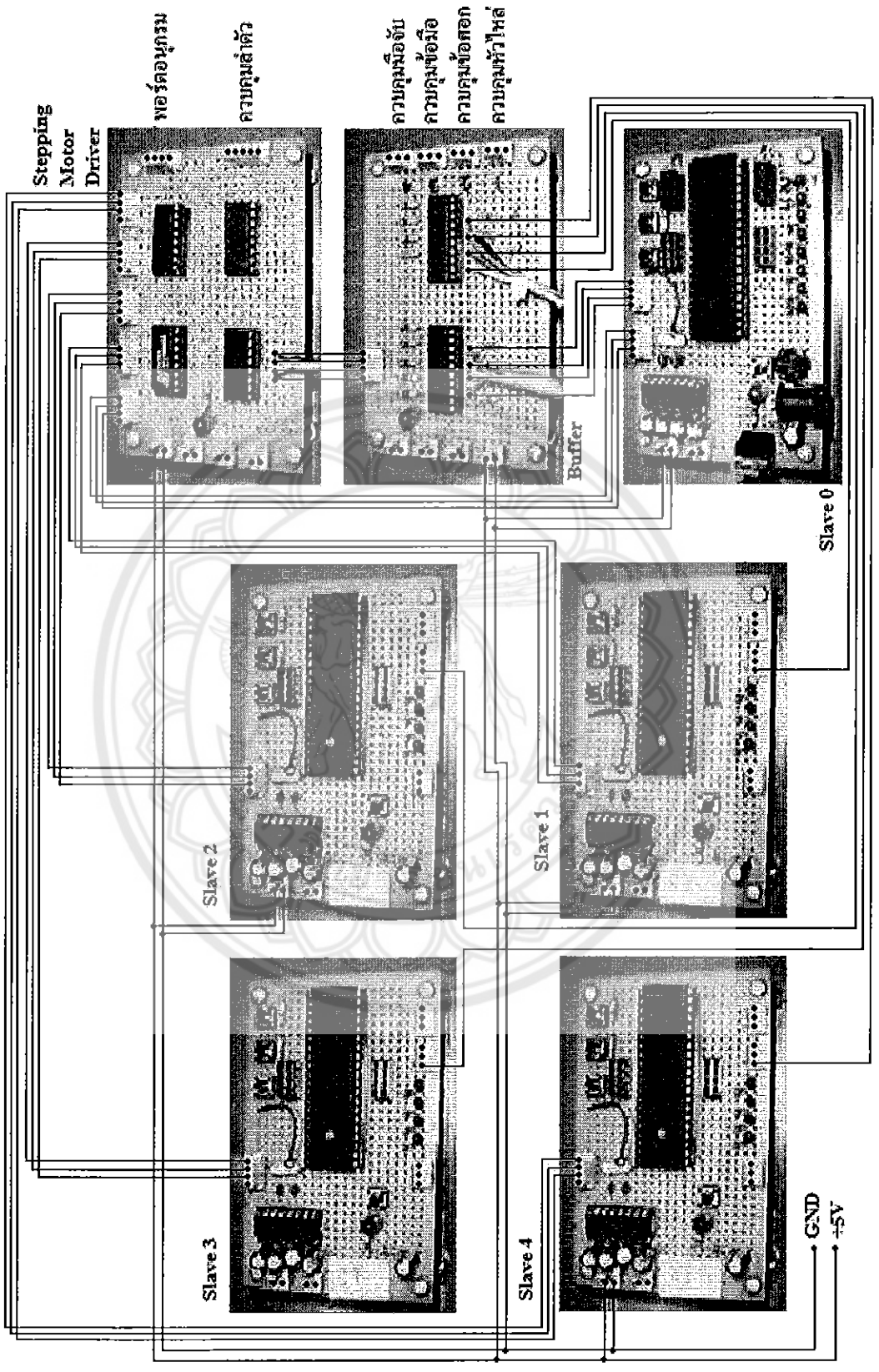
- พอร์ต Vin1 และ Vin2 ทำหน้าที่ต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร โดยที่
  - ขาที่ 1 ต่อกับกราวด์
  - ขาที่ 2 ต่อกับไฟบวก 5 โวลต์
- พอร์ต Rin ทำหน้าที่เป็นอินพุตของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่
  - ขาที่ 1 ใช้เชื่อมกราวด์ของพอร์ตอนุกรมเข้ากับกราวด์ของวงจร
  - ขาที่ 2 ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม
  - ขาที่ 3 ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม
  - ขาที่ 4 ปล่อยว่างไว้
- พอร์ต Sout1 Sout2 และ Sout3 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่
  - ขาที่ 1 และขาที่ 2 ปล่อยว่างไว้
  - ขาที่ 3 ใช้ส่งสัญญาณไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 3.15 ภาพรวมของการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมแขนกล

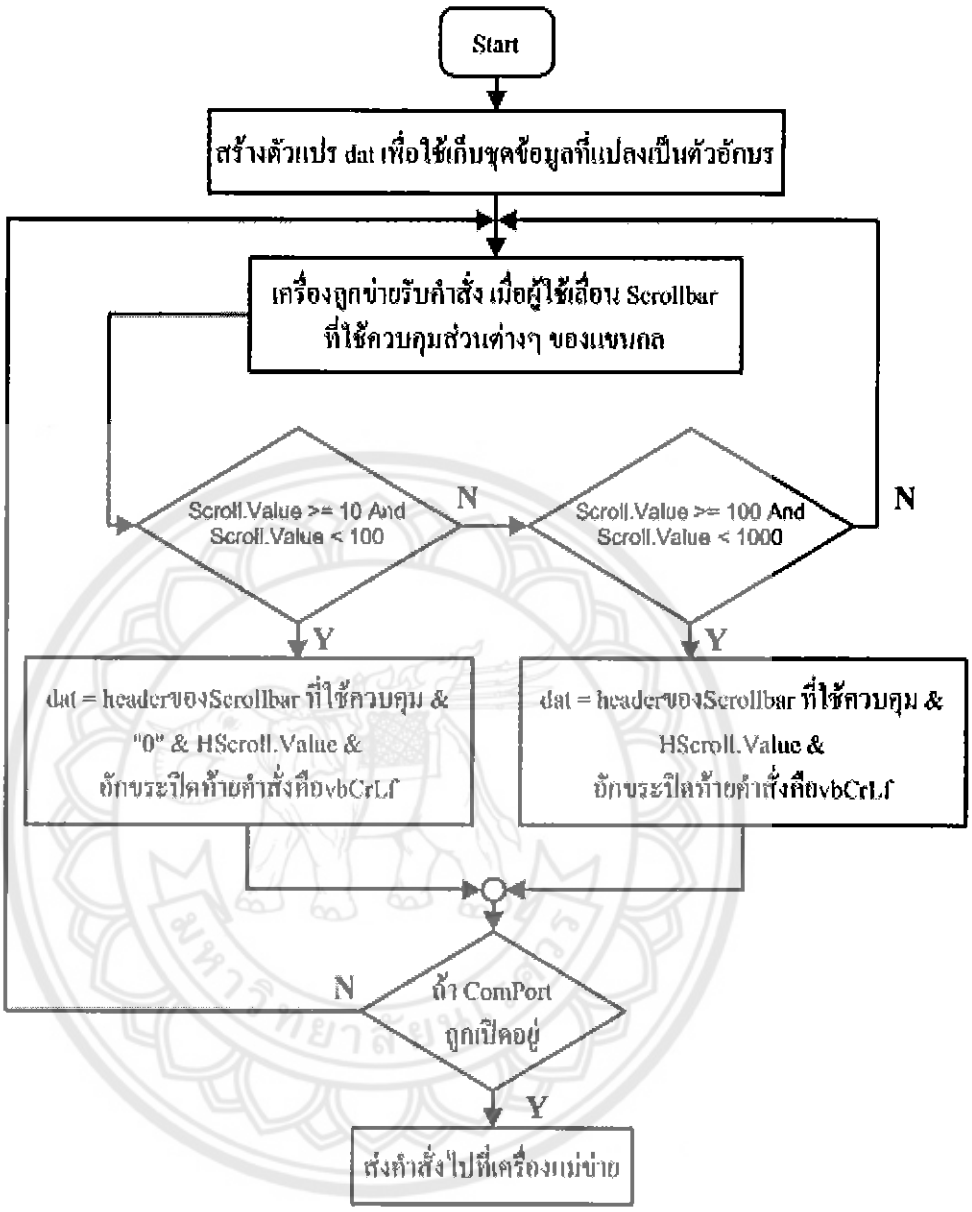


รูปที่ 3.16 แสดงการสื่อสารของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบหลายหน่วยประมวลผลกลาง (Multiprocessor System)



รูปที่ 3.17 แสดงการเชื่อมต่อของบอร์ดต่างๆเข้าด้วยกัน

3.2.2.1 รูปแบบคำสั่งที่ใช้ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.18 การทำงานของโปรแกรมลูกข่ายส่วนที่ใช้รับคำสั่งจากผู้ใช้

จากรูปที่ 3.18 เป็นการทำงานของโปรแกรมลูกข่ายส่วนที่ใช้รับคำสั่งจากผู้ใช้ เพื่อไปควบคุมการทำงานของแขนกล ซึ่ง Scrollbar ที่ใช้ในการควบคุมส่วนต่างๆจะมี header ของชุดคำสั่ง และมีอักขระปิดท้ายคำสั่งคือ vbCrLf ซึ่งก็คือรหัสแอสกี้ 13 กับรหัสแอสกี้ 10 เพื่อให้รู้ถึงจุดสิ้นสุดของชุดคำสั่ง โดยรูปแบบ header ของ Scrollbar ที่ใช้ควบคุมส่วนข้อต่อต่างๆ ของแขนกลมีดังต่อไปนี้

- Scrollbar ที่ใช้ควบคุมส่วนหัวไหล่ มี header ของชุดคำสั่งคือ !1 ซึ่งเป็น header ชุดคำสั่งของบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 1

- Scrollbar ที่ใช้ควบคุมส่วนข้อศอก มี header ของชุดคำสั่งคือ !2 ซึ่งเป็น header ชุดคำสั่งของบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 1

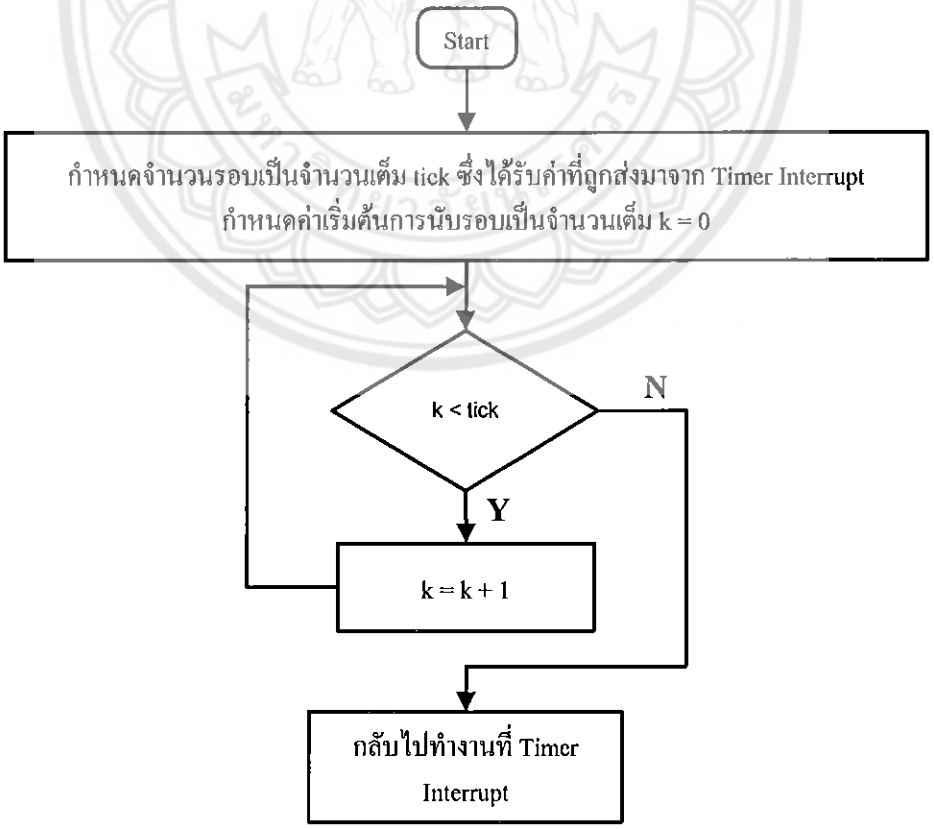
- Scrollbar ที่ใช้ควบคุมส่วนข้อมือ มี header ของชุดคำสั่งคือ !3 ซึ่งเป็น header ชุดคำสั่งของบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 1

- Scrollbar ที่ใช้ควบคุมส่วนมือจับ มี header ของชุดคำสั่งคือ !4 ซึ่งเป็น header ชุดคำสั่งของบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 1

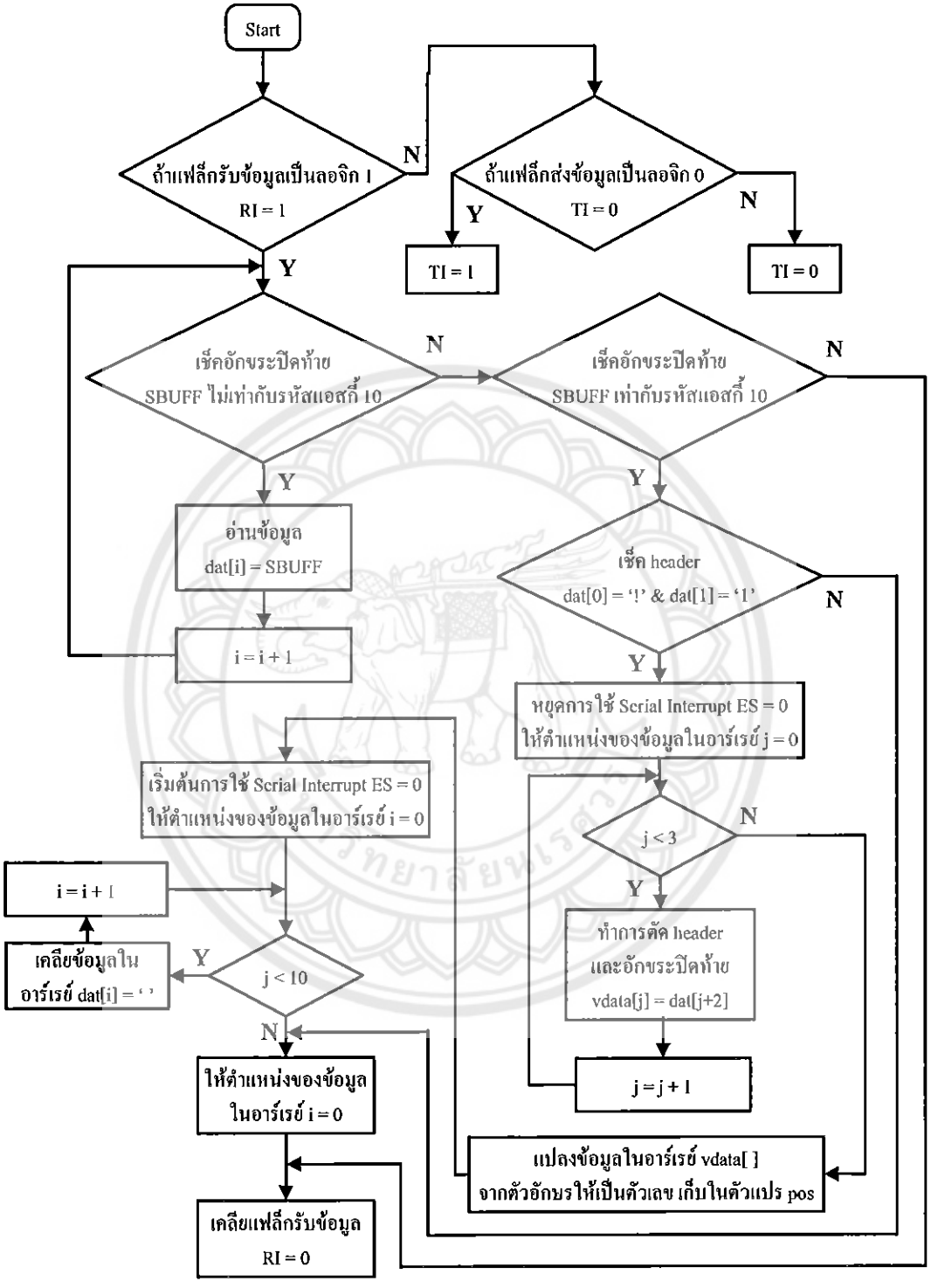
เพื่อให้ชุดคำสั่งที่ส่งไปประมวลผลนั้นมีรูปแบบที่ตายตัว จึงต้องนำค่าตัวเลขที่ได้จากการเลื่อน Scrollbar มาทำให้อยู่ในรูปของตัวเลขจำนวนเต็ม 3 ตำแหน่ง โดยมีรูปแบบดังนี้

- ถ้าค่าที่ได้จากการเลื่อน Scrollbar มีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 99 ให้เติมเลข 0 ข้างหน้าอีก 1 ตัว เพื่อให้เป็นตัวเลข 3 ตำแหน่ง

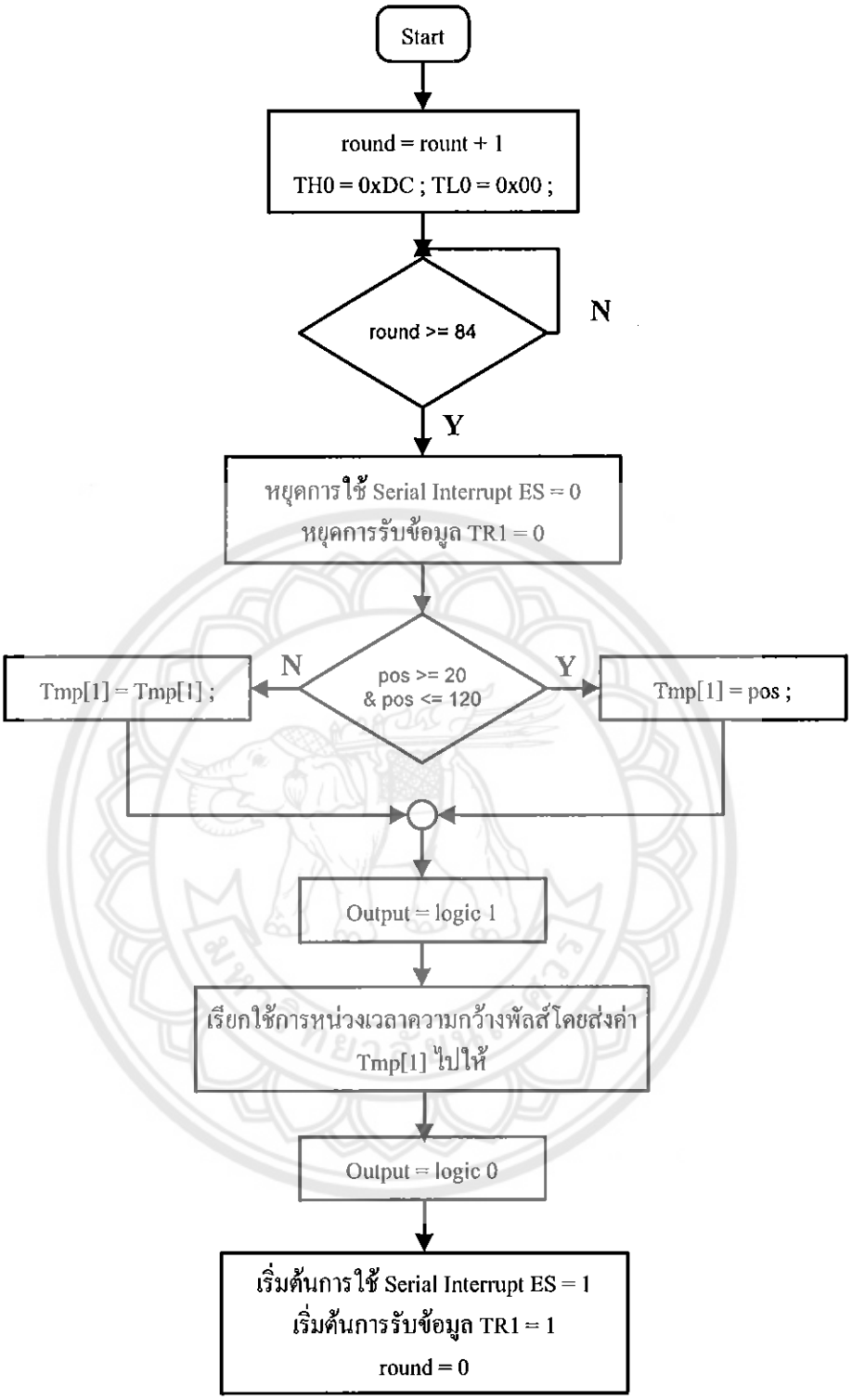
- ถ้าค่าที่ได้จากการเลื่อน Scrollbar มีค่าอยู่ในช่วง 100 ถึง 999 ไม่ต้องเติมเลข 0 ข้างหน้า เนื่องจากเป็นตัวเลข 3 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.19 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรมหน่วงเวลาความกว้างพัลส์



รูปที่ 3.20 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรม Serial Interrupt ที่ใช้รับข้อมูล



รูปที่ 3.21 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรม Timer Interrupt หน่วงเวลา 20 มิลลิวินาที

รูปที่ 3.22 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรมหลัก

โปรแกรมการทำงานของบอร์ด Slave 1 ได้ถูกแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ

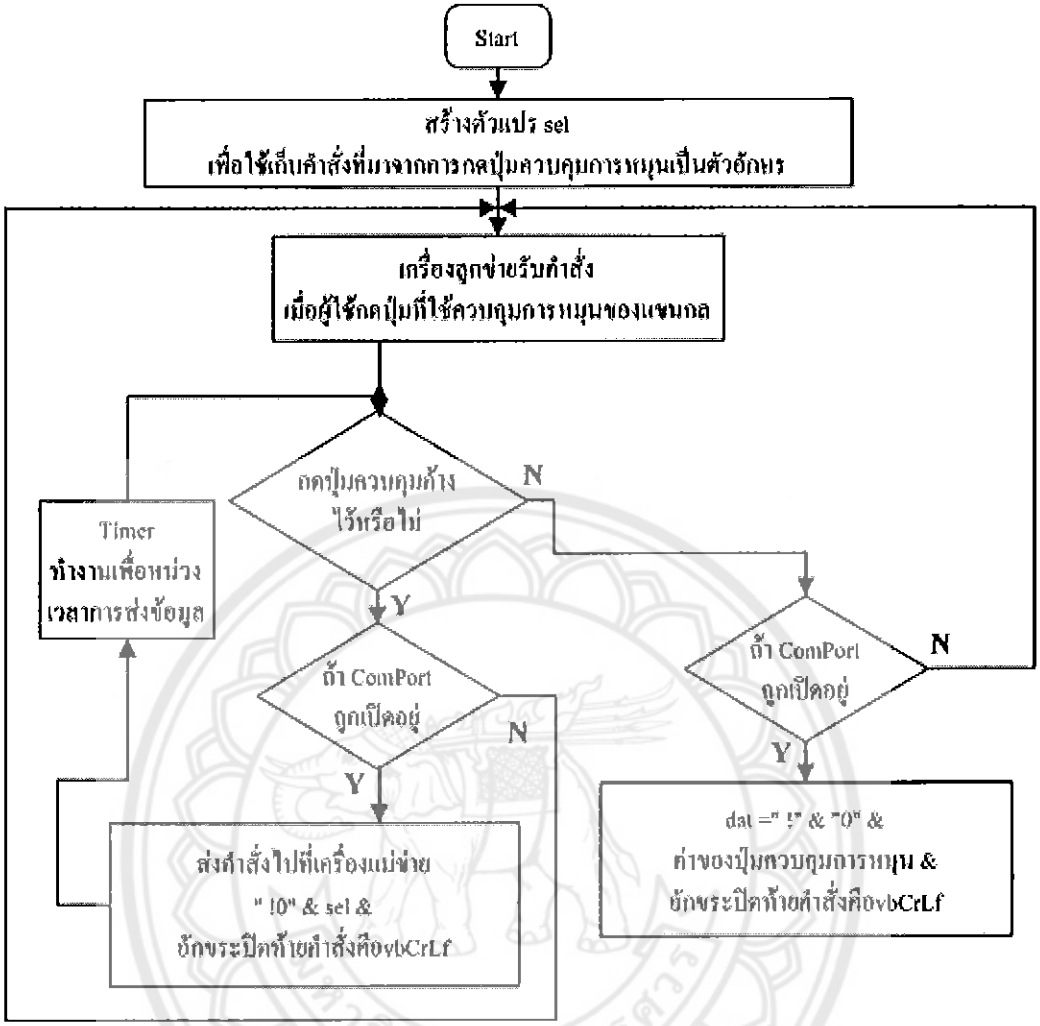
- ส่วนโปรแกรมหน่วงเวลาความกว้างพัลส์ จากรูปที่ 3.19 ใช้ในการหน่วงเวลาช่วงที่เกิดเอาต์พุตเป็นโลจิก 1

- ส่วนโปรแกรม Serial Interrupt จากรูปที่ 3.20 ใช้รับคำสั่งที่ถูกส่งมาจากเครื่องแม่ข่ายเพื่อนำคำสั่งไปทำการประมวลผล

- ส่วนโปรแกรม Timer Interrupt จากรูปที่ 3.21 ใช้ในการหน่วงเวลา 20 มิลลิวินาที

- ส่วนโปรแกรมหลัก จากรูปที่ 3.22 ใช้ในการประกาศตัวแปรต่างๆและกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงาน ใช้อัตราอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล 9600

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกบอร์ดจะได้รับชุดคำสั่งจากเครื่อง Server แล้วจึงนำชุดคำสั่งที่ได้รับมาทำการเช็ค header ว่าเป็นชุดคำสั่งของบอร์ดไหน บอร์ดที่เป็นเจ้าของชุดคำสั่ง จะทำการตัด header และอักขระปิดท้ายออก เพื่อนำตัวอักษรที่ได้ไปแปลงเป็นตัวเลขเพื่อนำไปใช้เป็นค่าในการหน่วงเวลาช่วงที่เกิดเอาต์พุตเป็นโลจิก 1 ซึ่งตัวเลขที่ได้ต้องอยู่ในช่วง 20 ถึง 120 คือค่าที่ทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ตำแหน่ง 0 องศา และ 180 องศาตามลำดับ ซึ่งค่านี้ได้มาจากการทดลองโดยการใส่ค่าให้กับการหน่วงเวลาช่วงที่เกิดเอาต์พุตเป็นโลจิก 1 ไล่ไปเรื่อยๆจนเซอร์โวหยุดอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา และ 180 องศา เมื่อออกจากการหน่วงเวลาช่วงที่เกิดเอาต์พุตเป็นโลจิก 1 แล้วจะทำให้เกิดเอาต์พุตเป็นโลจิก 0 ส่วนการหน่วงเวลา 20 มิลลิวินาทีนั้นได้มาจากการทดลองโดยการสุ่มค่าเพื่อโหลดใส่รีจิสเตอร์ของไทม์เมอร์ 1 แล้วใช้การวนรอบเพื่อนับการเกิดโอเวอร์โฟลว์ จากการใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณทำให้ทราบว่าต้องมีการโอเวอร์โฟลว์ 84 ครั้ง จึงจะได้เวลา 20 มิลลิวินาที ซึ่งเวลาที่ได้นี้จะเป็นตัวกำหนดให้เกิดโลจิก 1 ขึ้นทุกๆ 20 มิลลิวินาที

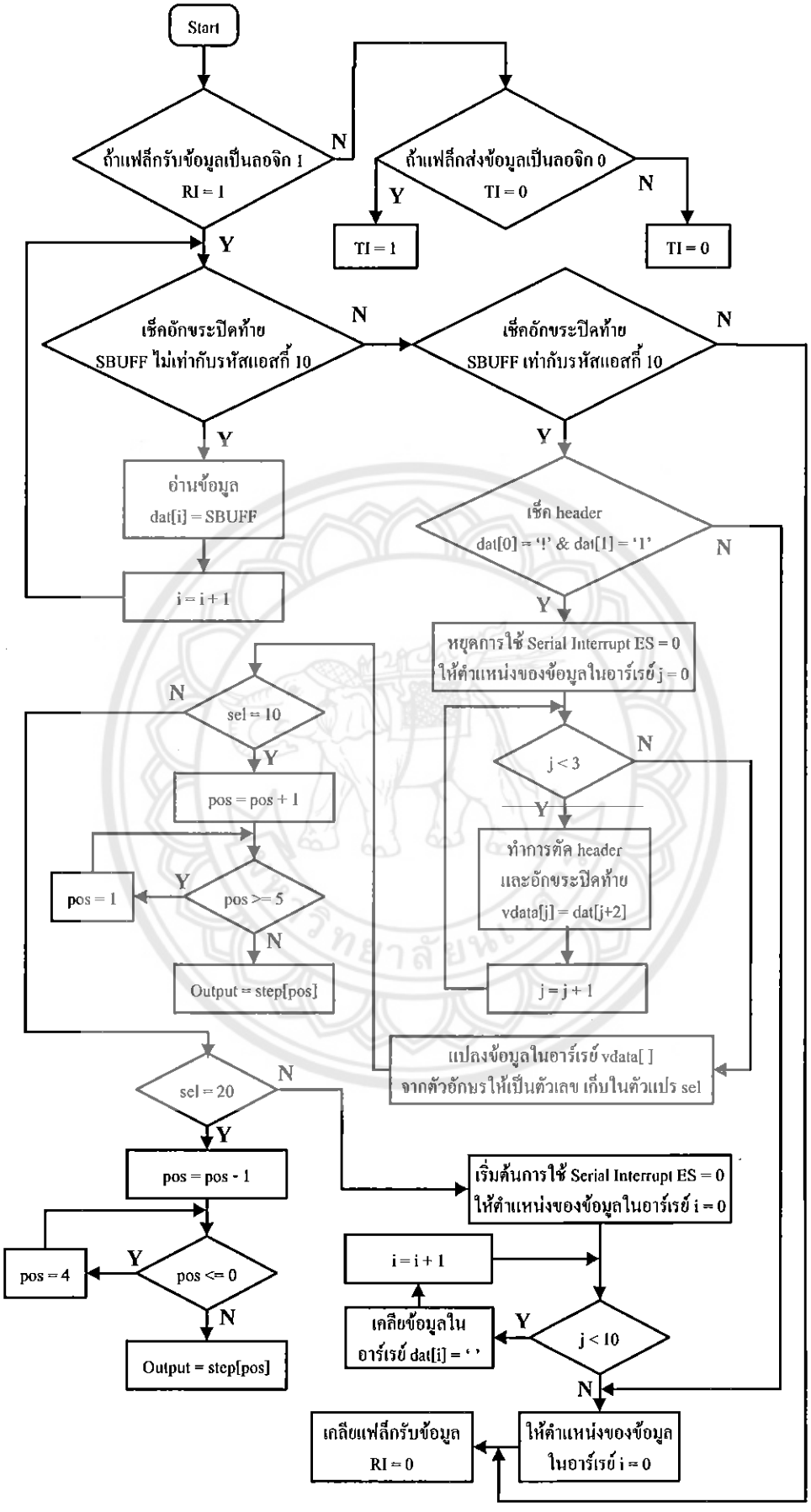


รูปที่ 3.23 การทำงานของโปรแกรมลูกข่ายส่วนที่ใช้รับคำสั่งจากผู้ใช้

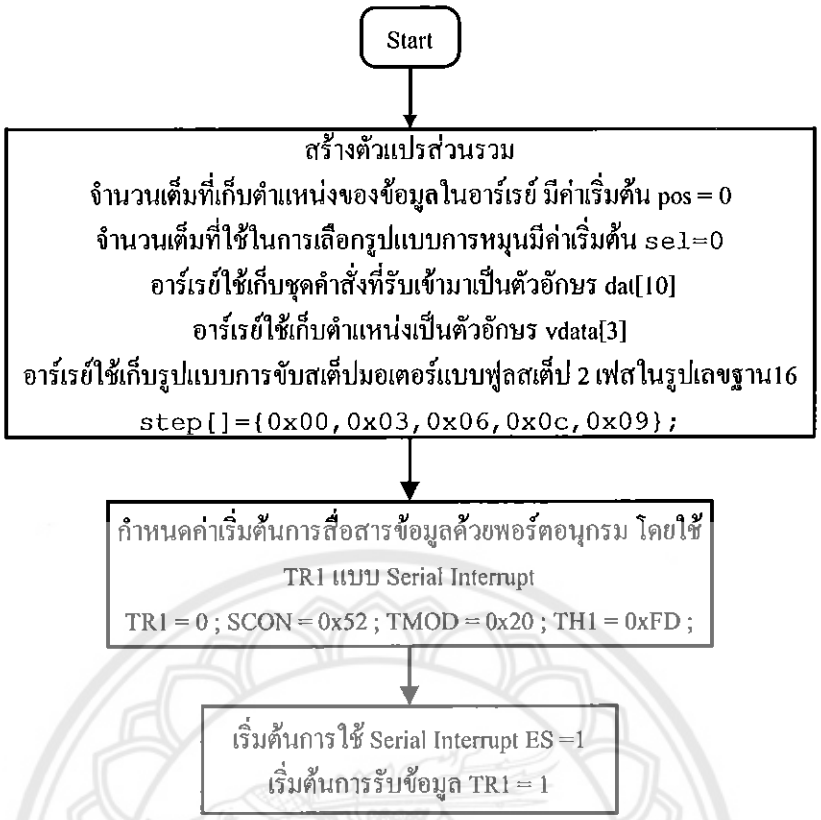
จากรูปที่ 3.23 เป็นการทำงานของโปรแกรมลูกข่ายส่วนที่ใช้รับคำสั่งจากผู้ใช้ควบคุมการทำงานของแขนกลในส่วนลำตัวมี header ของชุดคำสั่งคือ !0 ซึ่งเป็นชุดคำสั่งของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 0 โดยที่ชุดคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของส่วนลำตัวจะมี 2 แบบ คือ

- !0010vbCrLf คือชุดคำสั่งให้หมุนลำตัวไปทางซ้าย
- !0020vbCrLf คือชุดคำสั่งให้หมุนลำตัวไปทางขวา

ชุดคำสั่งนี้จะถูกส่งออกไปเรื่อยๆเมื่อกดปุ่มควบคุมการหมุนของลำตัวค้างไว้ ซึ่งการส่งชุดคำสั่งแต่ละครั้งนั้นต้องมีการหน่วงเวลาเพื่อไม่ให้ส่งชุดคำสั่งเร็วเกินไป และให้สต็ปมอเตอร์สามารถทำงานได้



รูปที่ 3.24 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรม Serial Interrupt ที่ใช้รับข้อมูลเพื่อขับสเต็ปมอเตอร์



รูปที่ 3.25 แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรมหลัก

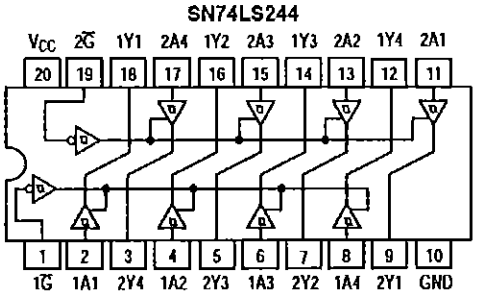
โปรแกรมการทำงานของบอร์ด Slave 0 ได้ถูกแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ

- ส่วนโปรแกรม Serial Interrupt จากรูปที่ 3.24 ใช้รับคำสั่งที่ถูกส่งมาจากเครื่องแม่ข่าย เพื่อนำคำสั่งไปทำการประมวลผลเพื่อขับสเต็ปมอเตอร์

- ส่วนโปรแกรมหลัก จากรูปที่ 3.25 ใช้ในการประกาศตัวแปรต่างๆและกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงาน ใช้อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล 9600

3.2.3 บอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถนำไปขับมอเตอร์ในส่วนต่างๆได้โดยตรง เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์จ่ายกระแสได้น้อยซึ่งอาจทำให้ไมโครคอนโทรล-เลอร์เกิดความเสียหาย จึงต้องมีการออกแบบวงจรที่ช่วยเพิ่มกระแสให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเลือกใช้ไอซีเบอร์ SN74LS244 ในการช่วยขยายกระแส โดยมีข้อดีคือง่ายต่อการใช้งานมากกว่าวงจรขยายกระแสแบบดาร์ริงตันและวงจรมีขนาดเล็กไม่ซับซ้อน เนื่องจากไอซีหนึ่งตัวมีขาอินพุตและเอาต์พุตอย่างละ 8 ขา ดังแสดงในรูปที่ 3.26 และรูปที่ 3.27

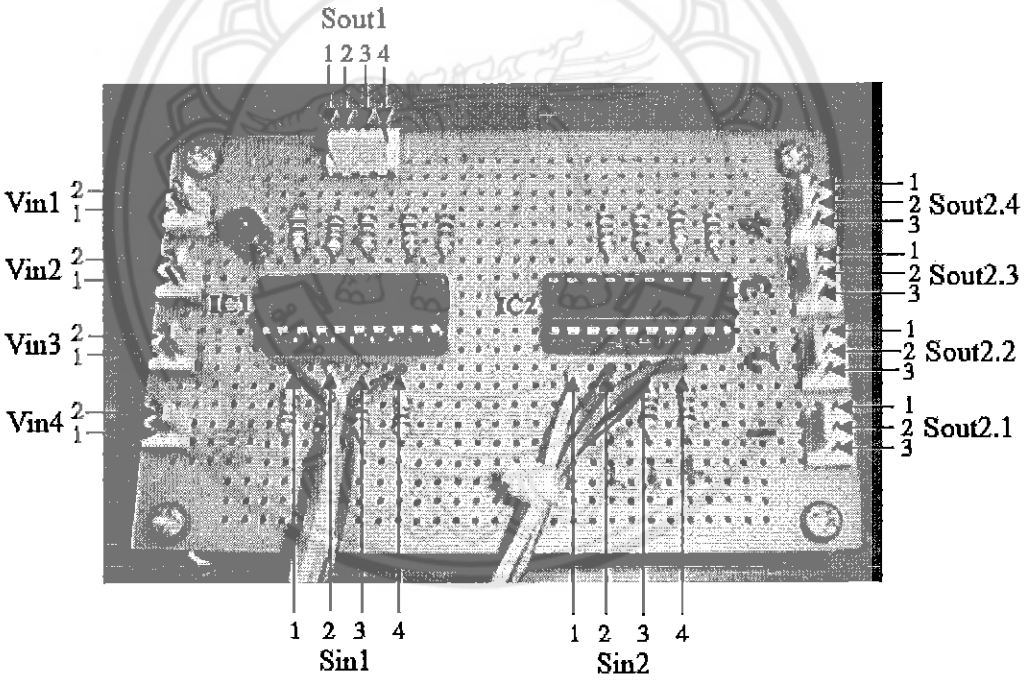


TRUTH TABLES

INPUTS		OUTPUT
1G, 2G	D	
L	L	L
L	H	H
H	X	(Z)

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Immaterial
Z = HIGH Impedance

รูปที่ 3.26 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆและการต่อใช้งานของไอซีเบอร์ SN74LS244 [13]



รูปที่ 3.27 บอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้ทำการประกอบขึ้น

จากรูปที่ 3.27 สามารถอธิบายหน้าที่ของพอร์ตต่างๆ ของบอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ดังนี้คือ

- พอร์ต Vin1 Vin2 Vin3 และ Vin4 ทำหน้าที่ต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร โดยที่
  - ขาที่ 1 ต่อกับกราวด์
  - ขาที่ 2 ต่อกับไฟบวก 5 โวลต์

- พอร์ต Sin1 ทำหน้าที่เป็นอินพุตของบอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอน-โทรลเลอร์ โดยจะรับสัญญาณอินพุตที่ถูกส่งมาจากบอร์ด Slave 0

- พอร์ต Sin2 ทำหน้าที่เป็นอินพุตของบอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอน-โทรลเลอร์ เพื่อไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ โดยที่

- ขา 1 จะรับสัญญาณอินพุตที่ถูกส่งมาจากบอร์ด Slave 1

- ขา 2 จะรับสัญญาณอินพุตที่ถูกส่งมาจากบอร์ด Slave 2

- ขา 3 จะรับสัญญาณอินพุตที่ถูกส่งมาจากบอร์ด Slave 3

- ขา 4 จะรับสัญญาณอินพุตที่ถูกส่งมาจากบอร์ด Slave 4

- พอร์ต Sout1 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอน-โทรลเลอร์ เพื่อนำสัญญาณที่ถูกขยายกระแสส่งไปควบคุมบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์

- พอร์ต Sout2.1 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอน-โทรลเลอร์ เพื่อนำสัญญาณที่ถูกขยายกระแสส่งไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในส่วนข้อต่อหัวไหล่ของแขนกล

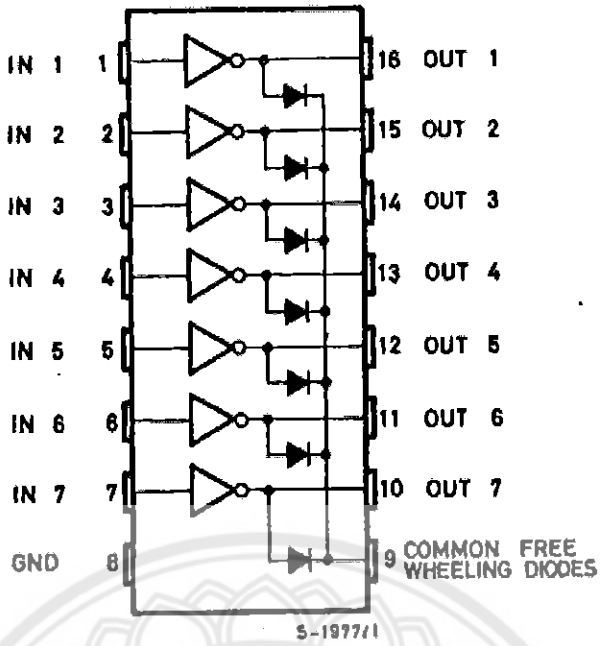
- พอร์ต Sout2.2 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอน-โทรลเลอร์ เพื่อนำสัญญาณที่ถูกขยายกระแสส่งไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในส่วนข้อต่อข้อศอกของแขนกล

- พอร์ต Sout2.3 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอน-โทรลเลอร์ เพื่อนำสัญญาณที่ถูกขยายกระแสส่งไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในส่วนข้อต่อข้อมือของแขนกล

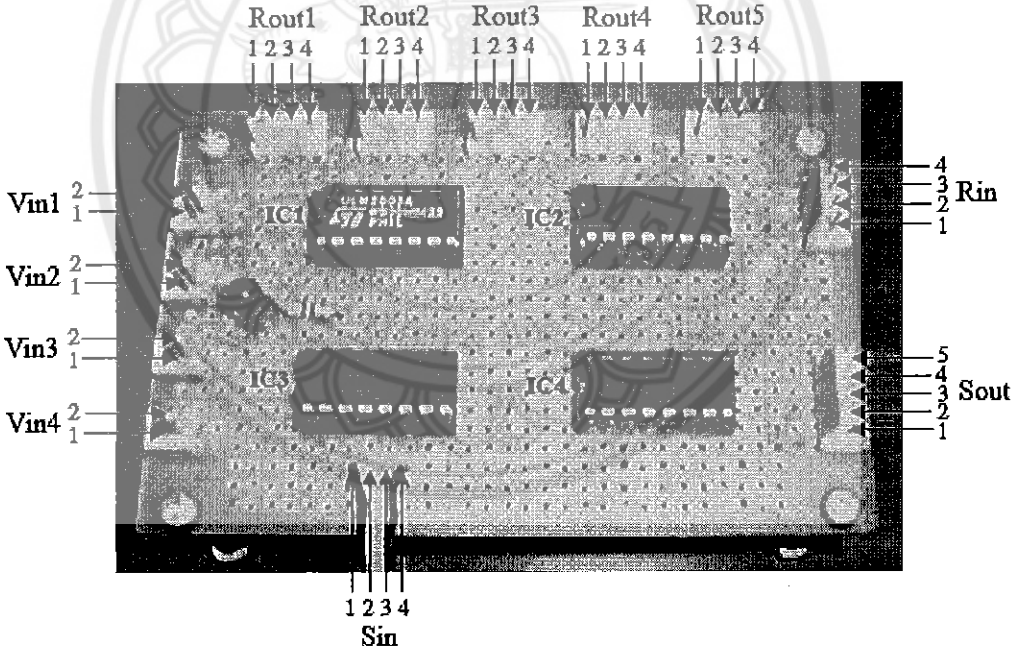
- พอร์ต Sout2.4 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ดที่ใช้ขยายกระแสให้กับไมโครคอน-โทรลเลอร์ เพื่อนำสัญญาณที่ถูกขยายกระแสไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในส่วนมือจับของแขนกล

3.2.5 บอร์ดที่ใช้ในการขับสเต็ปมอเตอร์

เนื่องจากในโครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์แต่ละเฟสจะถูกสร้างด้วยขดลวดเหนี่ยวนำจึงต้องสร้างวงจรเพื่อใช้ขับขดลวดเหนี่ยวนำนี้ โดยเลือกใช้ไอซีเบอร์ ULN2003 ในการขับลดขวดเหนี่ยวนำ โดยมีข้อดีคือง่ายต่อการใช้งานมากกว่าวงจรขับที่ใช้ทรานซิสเตอร์และวงจรมีขนาดเล็กไม่ซับซ้อน โดยที่ไอซีเบอร์ ULN2003 มีกระแสเอาต์พุต 500 มิลลิแอมป์ แต่สเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ต้องการกระแสประมาณ 700 มิลลิแอมป์ต่อเฟส จึงได้ใช้ไอซีเบอร์ ULN2003 ขับโดยใช้ไอซีหนึ่งตัวต่อหนึ่งเฟสและได้ทำการขนานขาอินพุตและเอาต์พุตทั้ง 7 ขาของไอซีเบอร์ ULN2003 เพื่อเป็นวงจรแบ่งกระแส เพื่อให้สามารถขับสเต็ปมอเตอร์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.28 และรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.28 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆของไอซีเบอร์ ULN2003 [13]



รูปที่ 3.29 บอร์ดที่ใช้ในการขับสเต็ปมอเตอร์ที่ได้ทำการประกอบขึ้น

จากรูปที่ 3.29 สามารถอธิบายหน้าที่ของพอร์ตต่างๆ ของบอร์ดที่ใช้ในการขับสเต็ปมอเตอร์ ได้ดังนี้คือ

- พอร์ต Vin1 Vin2 Vin3 และ Vin4 ทำหน้าที่ต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร โดยที่
  - ขาที่ 1 ต่อกับกราวด์
  - ขาที่ 2 ต่อกับไฟบวก 5 โวลต์

- พอร์ต Rin1 ทำหน้าที่เป็นอินพุตของบอร์ด โดยจะรับสัญญาณที่มาจากพอร์ตอนุกรมของเครื่องแม่ข่าย

- พอร์ต Rout1 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ด โดยจะรับสัญญาณที่มาได้จากพอร์ต Rin 1 เพื่อส่งต่อไปยังบอร์ด Slave 0

- พอร์ต Rout2 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ด โดยจะรับสัญญาณที่มาได้จากพอร์ต Rin 1 เพื่อส่งต่อไปยังบอร์ด Slave 1

- พอร์ต Rout3 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ด โดยจะรับสัญญาณที่มาได้จากพอร์ต Rin 1 เพื่อส่งต่อไปยังบอร์ด Slave 2

- พอร์ต Rout4 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ด โดยจะรับสัญญาณที่มาได้จากพอร์ต Rin 1 เพื่อส่งต่อไปยังบอร์ด Slave 3

- พอร์ต Rout5 ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ด โดยจะรับสัญญาณที่มาได้จากพอร์ต Rin 1 เพื่อส่งต่อไปยังบอร์ด Slave 4

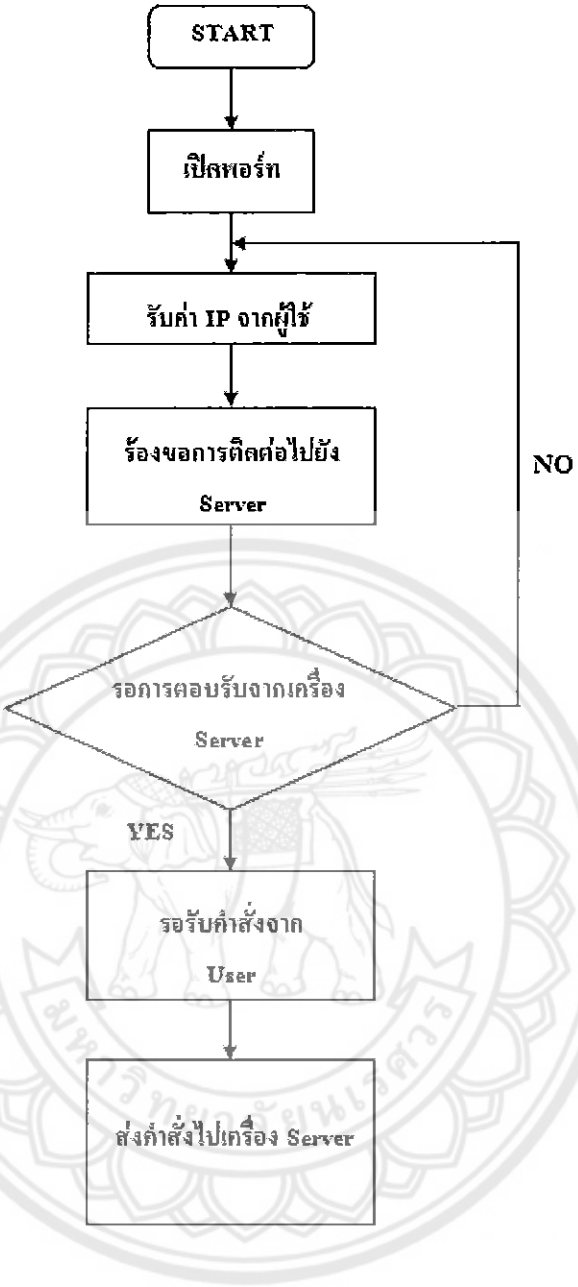
- พอร์ต Sin ทำหน้าที่เป็นอินพุตของบอร์ดที่ใช้ในการขับสเต็ปมอเตอร์ โดยจะรับสัญญาณอินพุตมาเพื่อไปขับสเต็ปมอเตอร์ต่อไป

- พอร์ต Sout ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของบอร์ดที่ใช้ในการขับสเต็ปมอเตอร์ เพื่อควบคุมสเต็ปมอเตอร์ในส่วนของลำตัว โดยที่

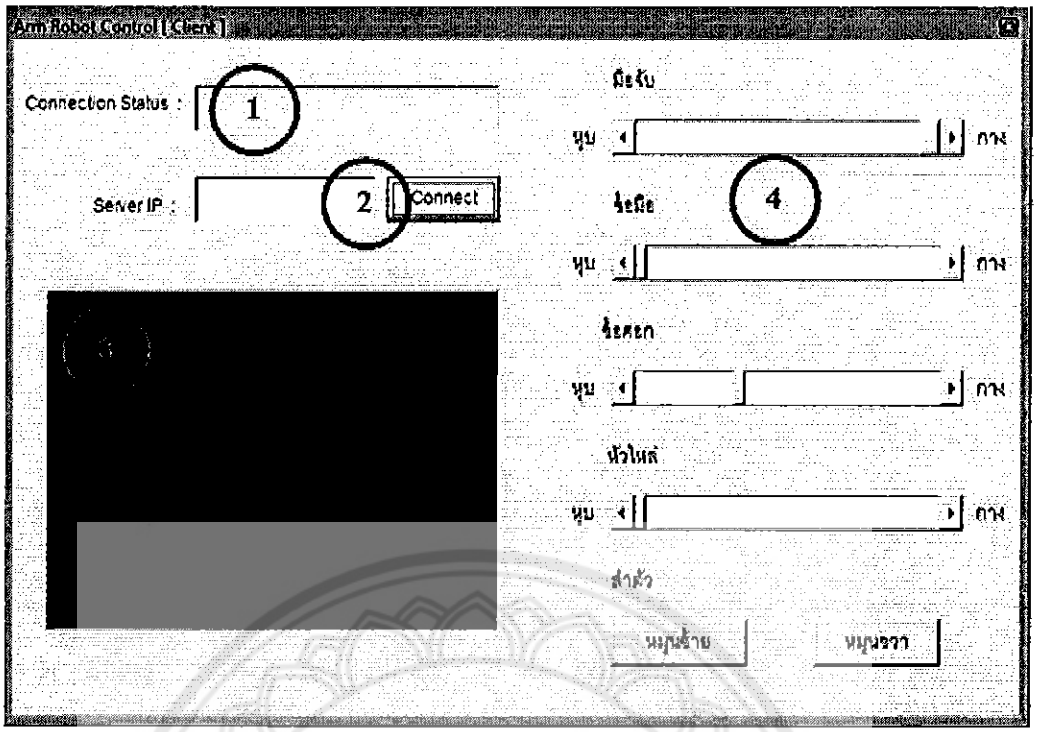
- ขาที่ 1 ต่อกับขา common ของเสต็ปมอเตอร์
- ขาที่ 2 ต่อกับขดลวดเฟสที่ 1 ของเสต็ปมอเตอร์
- ขาที่ 3 ต่อกับขดลวดเฟสที่ 2 ของเสต็ปมอเตอร์
- ขาที่ 4 ต่อกับขดลวดเฟสที่ 3 ของเสต็ปมอเตอร์
- ขาที่ 5 ต่อกับขดลวดเฟสที่ 4 ของเสต็ปมอเตอร์

3.3 ส่วนประกอบของฝั่งลูกข่าย (Client)

ในส่วนของฝั่งลูกข่ายนั้นจะประกอบไปด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นลูกข่ายซึ่งจะคอยติดต่อกับผู้ใช้งานด้วยโปรแกรมที่ใช้ภาษาวิชวลเบสิคในการพัฒนาและส่งคำสั่งต่างๆจากผู้ใช้งานผ่านระบบเครือข่ายมายังเครื่องแม่ข่าย โดยที่เครื่องแม่ข่ายนั้นก็จะส่งภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมกลับไปยังเครื่องลูกข่ายเพื่อให้ผู้ใช้งานได้เห็นสถานะการทำงานของแขนกล ดังแสดงในรูปที่ 3.30 และรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.30 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนที่เป็นเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 3.31 หน้าโปรแกรมส่วนที่เป็นลูกข่าย

อธิบายการทำงานของโปรแกรมส่วนลูกข่ายได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 Connection Status เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แสดงสถานะของการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องลูกขายกับเครื่องแม่ข่าย

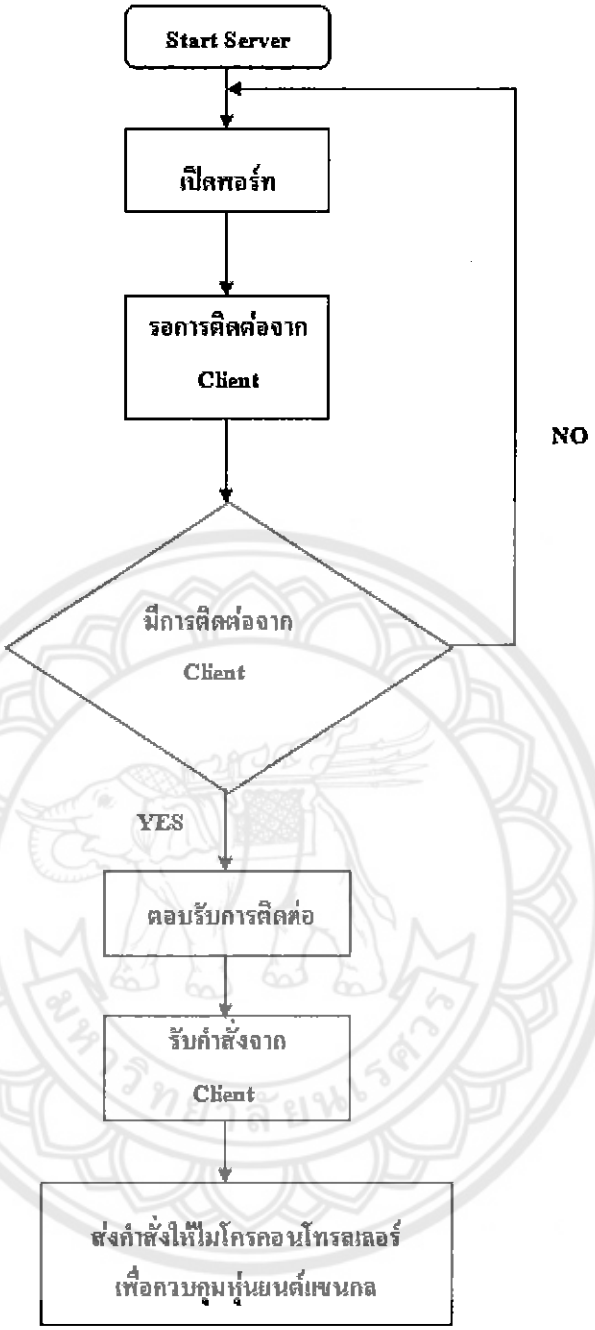
ส่วนที่ 2 Server IP จะมีช่องว่างสำหรับใส่ที่อยู่หมายเลขปลายทางของเครื่องแม่ข่ายที่จะติดต่อไป

ส่วนที่ 3 Video Display เป็นส่วนแสดงภาพการทำงานของแขนกลที่ได้รับมาจากเครื่องแม่ข่าย

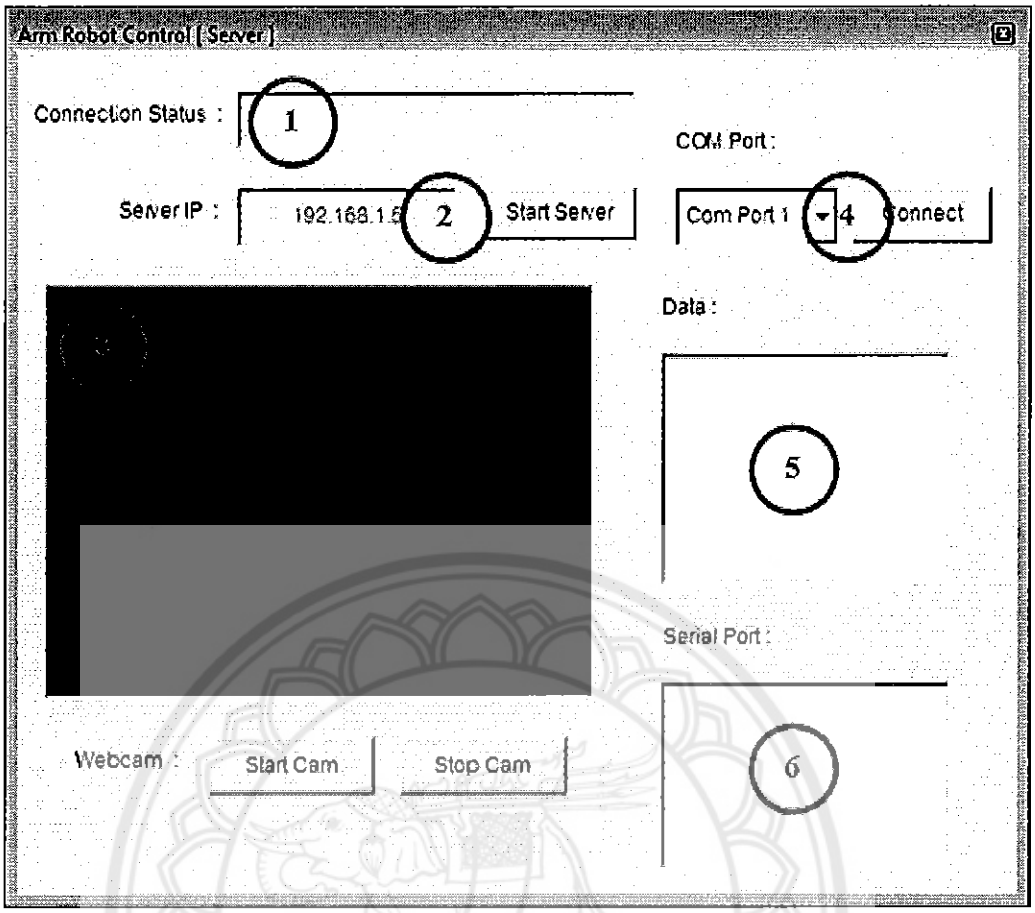
ส่วนที่ 4 Control เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมแขนกล โดยจะมีการแบ่งส่วนการควบคุมเป็น 5 ส่วน

3.4 ส่วนประกอบของฝั่งแม่ข่าย (Server)

ในส่วนของฝั่งแม่ข่ายนั้นจะประกอบไปด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นแม่ข่าย ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งผ่านคำสั่งจากผู้ใช้ที่อยู่ทางฝั่งลูกข่ายผ่านระบบเครือข่ายมาที่ฝั่งแม่ข่าย เมื่อฝั่งแม่ข่ายได้รับคำสั่งแล้วจะทำการส่งคำสั่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปควบคุมแขนกล และส่งภาพที่รับมาจากกล้องเว็บแคมผ่านระบบเครือข่ายลับไปให้ผู้ใช้ที่ฝั่งลูกข่าย เพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงสถานะ การทำงานของแขนกล ดังแสดงในรูปที่ 3.32 และรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.32 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมส่วนที่เป็นแม่ข่าย



รูปที่ 3.33 หน้าโปรแกรมส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแม่ข่าย

อธิบายการทำงานของโปรแกรมส่วนแม่ข่ายได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 Connection Status เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แสดงสถานะของการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องแม่ข่ายกับเครื่องลูกข่าย

ส่วนที่ 2 Start Server มีหน้าที่ในการเปิดพอร์ทของเครื่องแม่ข่ายบนระบบ network เพื่อรอการติดต่อเข้ามาของเครื่องลูกข่าย

ส่วนที่ 3 Video Display เป็นส่วนแสดงภาพการทำงานของแขนกลที่ได้รับมาจากกล้องเว็บแคม โดยจะเริ่มแสดงภาพเมื่อกดปุ่ม Start Cam และ จะหยุดการแสดงภาพเมื่อกดปุ่ม Stop Cam

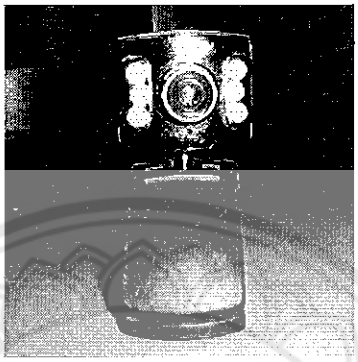
ส่วนที่ 4 Com Port เป็นส่วนที่ใช้ในการเลือกหมายเลขของพอร์ทอนุกรมที่ใช้ในการติดต่อกับแขนกล

ส่วนที่ 5 Data Show เป็นส่วนที่ใช้แสดงข้อมูลต่างๆที่เครื่องแม่ข่ายรับมาจากเครื่องลูกข่าย

ส่วนที่ 6 Serial Port เป็นส่วนที่ใช้แสดงสถานะต่างๆของพอร์ทอนุกรม

3.5 กล้องเว็บแคม (Web Camera)

ในการเขียนโปรแกรมแสดงภาพการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลจากกล้องเว็บแคม ซึ่งจะใช้ Control ในวิชวลเบสิคในการติดต่อระหว่างเครื่องแม่ข่ายกับกล้องเว็บแคม โดยภาพที่ได้จะถูกส่งไปแสดงผลยังเครื่องลูกข่ายผ่านระบบเครือข่ายทันทีทำให้ได้ภาพที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด กล้องเว็บแคมที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.34

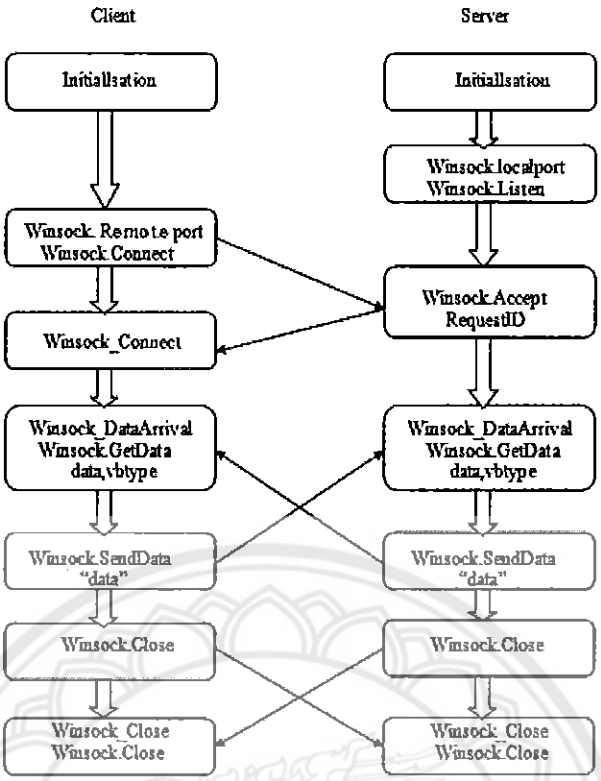


รูปที่ 3.34 กล้องเว็บแคมที่ใช้

3.6 การเขียนโปรแกรมสื่อสารผ่านเครือข่ายด้วยโปรโตคอล TCP/IP [14]

การเขียนโปรแกรมสื่อสารบนเน็ตเวิร์กจะทำการเขียนโปรแกรมสื่อสารโดยใช้โปรโตคอล TPC/IP ในการเขียนโปรแกรมจะทำการเขียนโดยใช้เทคโนโลยีซ็อกเก็ต (socket) ที่มีการใช้งานอยู่บน MS Windows จะถูกเรียกว่า Windows Socket หรือเรียกสั้นๆว่า Winsock ความหมายของซ็อกเก็ต คือ เครื่องมือของโปรแกรมที่จะถูกใช้ในการส่ง และ รับ ข้อมูลผ่านทางหมายเลขพอร์ทของ TCP/IP ที่กำหนด โปรแกรมจะสร้างซ็อกเก็ตได้ตามที่ต้องการเพื่อใช้ในการทำงาน แต่ 1 ซ็อกเก็ตจะต้องทำงานกับ 1 พอร์ทของ TCP/IP เท่านั้น

โปรแกรมการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นแม่ข่าย และส่วนที่เป็นลูกข่าย ดังที่กล่าวมา โปรแกรมฝั่งลูกข่ายจะสร้างซ็อกเก็ตและทำการกำหนดหมายเลขพอร์ตโดยวิธีการสุ่มหมายเลขขึ้นมา แต่ทางฝั่งแม่ข่ายจะไม่เป็นอย่างนั้น โปรแกรมฝั่งแม่ข่ายจะต้องทำตามข้อกำหนดที่ได้มีการกำหนดไว้ใน TCP/IP ลูกข่ายจะเริ่มต้นสร้างการติดต่อโดยผ่านเครือข่าย (network sessions) กับเซิร์ฟเวอร์โดยจะผ่านทาง network protocols ตัวใดตัวหนึ่งแล้วจะสร้างซ็อกเก็ต และ กำหนดให้มันติดต่อไปยังเซอร์ฟเวอร์ที่ต้องการเมื่อซ็อกเก็ตได้รับที่อยู่ (Address) และหมายเลขพอร์ต (Port) ของแม่ข่ายแล้วมันจะติดต่อไปยังแม่ข่ายนั้นทันที ในส่วนของคอนโทรลที่ชื่อวินซ็อกแล้วจะเรียกใช้เมธอด Connect เพื่อทำการติดต่อเหตุการณ์ต่างๆจะเกิดขึ้นเมื่อทำการติดต่อดังแสดงในรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดต่อไปที่เครื่องแม่ข่าย

จากรูปที่ 3.35 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหลังจากร้องขอการติดต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายซึ่งจะทำการตอบรับการติดต่อและทำการเชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องแม่ข่ายจากนั้นก็เริ่มทำการสื่อสารกันระหว่างเครื่องแม่ข่ายและเครื่องลูกข่ายจนกว่าจะทำการยกเลิกการติดต่อหรือการติดต่อถูกตัดขาด

จากการพัฒนาระบบควบคุมแขนกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี การสร้างหุ่นยนต์แขนกล การสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และการสร้างบอร์ดที่ใช้ขับมอเตอร์ที่อยู่ในส่วนข้อต่อต่างๆของแขนกล ในบทต่อไปจะกล่าวถึงการทำงาน และผลที่ได้จากการควบคุมการทำงานของแขนกลผ่านเครือข่ายโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานของโปรแกรมและแขนกลที่พัฒนาขึ้นมาว่าสามารถทำการเชื่อมต่อจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องแม่ข่าย และเครื่องลูกข่ายสามารถสั่งการทำงานไปควบคุมแขนกลที่ต่อกับเครื่องแม่ข่ายผ่านเครือข่ายด้วยโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี จากนั้นจึงทำการทดสอบการทำงานของส่วนข้อต่อต่างๆของแขนกล การทดสอบการจับสิ่งของ เพื่อหาข้อผิดพลาดของโปรแกรมและแขนกลที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำข้อผิดพลาดมาทำการวิเคราะห์ถึงปัญหา การปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และแนวทางในการพัฒนาต่อไป

4.1 จุดประสงค์ของการทดลอง

4.1.1 เพื่อทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาว่าสามารถเชื่อมต่อระหว่างเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องแม่ข่ายผ่านเครือข่ายด้วยโปรโตคอลทีซีพี/ไอพี ได้หรือไม่

4.1.2 เพื่อทดสอบการสั่งงานจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องแม่ข่ายว่าสามารถควบคุมการทำงานของแขนกลพร้อมกับการแสดงผลภาพการทำงานว่าผลการทำงานเป็นไปตามที่ส่งคำสั่งไปหรือไม่

4.1.3 เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลในส่วนข้อต่อต่างๆว่าสามารถทำงานได้ตามคำสั่งของผู้ใช้ได้หรือไม่

4.1.4 เพื่อทดสอบการจับวัตถุรูปทรงต่างๆของแขนกลแล้วไปวางในที่ต่างๆตามที่ต้องการได้ตามคำสั่งของผู้ใช้ได้หรือไม่

4.1.5 เพื่อทดสอบหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและแขนกล พร้อมทั้งนำข้อผิดพลาดมาทำการวิเคราะห์ถึงปัญหา การปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และแนวทางในการพัฒนาต่อไป

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.1 จัดเตรียมการทดลองโดยนำโปรแกรมที่พัฒนาไปติดตั้งที่เครื่องแม่ข่ายและเครื่องลูกข่าย

4.2.2 นำอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมาต่อเข้ากับเครื่องแม่ข่ายดังนี้

4.2.2.1 นำกล้องเว็บแคม (Webcam) มาต่อเข้ากับเครื่องแม่ข่าย

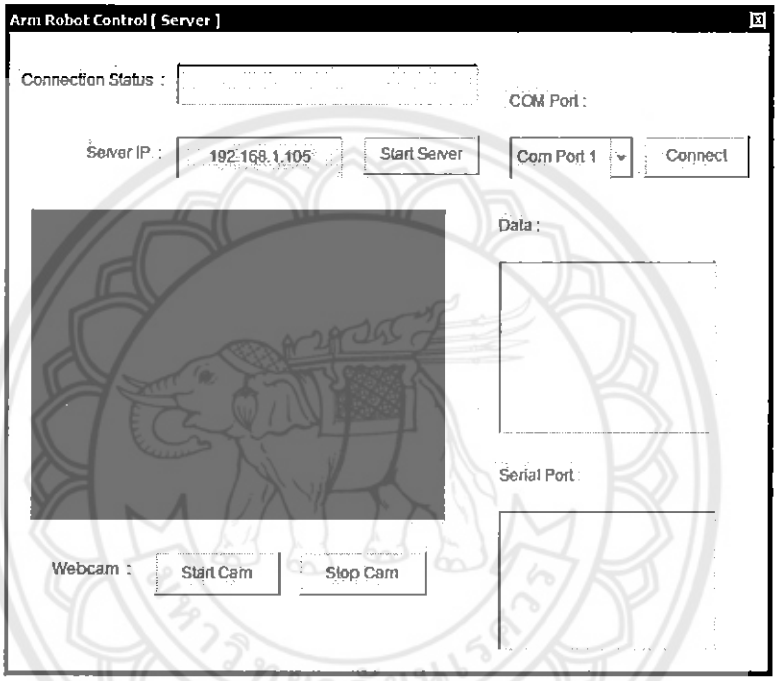
4.2.2.2 นำแขนกลมาต่อเข้ากับเครื่องแม่ข่ายโดยเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรม

4.2.3 ทำการเชื่อมต่อจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องแม่ข่าย ทดลองส่งคำสั่งไปควบคุมการทำงานและสังเกตผลการทำงานที่ได้จากภาพที่ส่งมา

4.2.4 ตรวจสอบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและแขนกลขณะทำการทดสอบ จากนั้นนำข้อผิดพลาดมาทำการวิเคราะห์ถึงปัญหา การปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

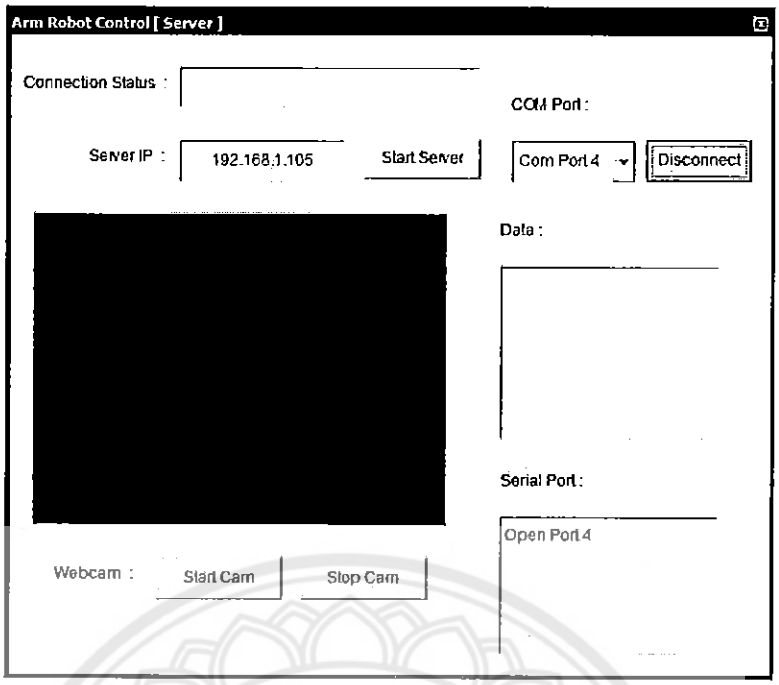
4.3 การทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา

เมื่อทำการเปิดโปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายขึ้นมาโปรแกรมจะแสดงหมายเลขไอพีของเครื่องแม่ข่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.1



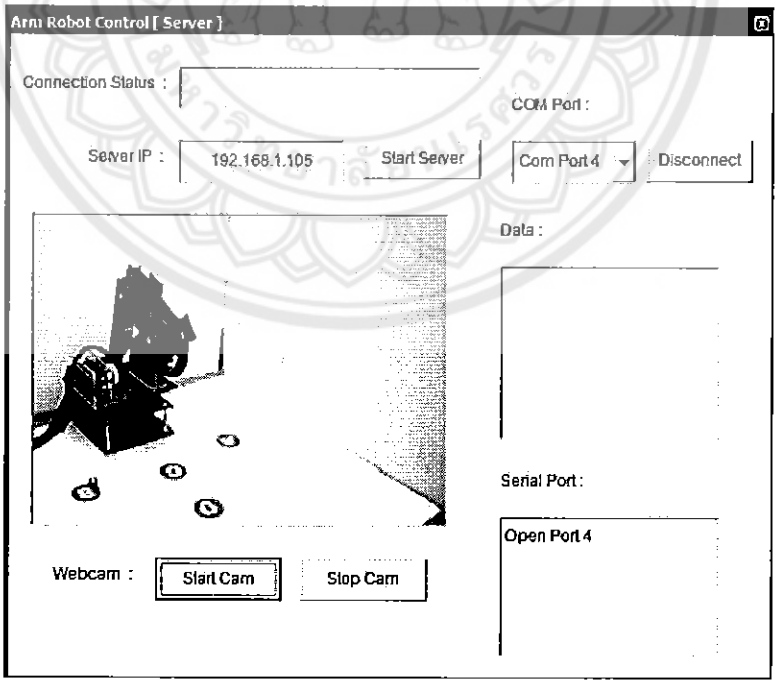
รูปที่ 4.1 โปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายเมื่อเริ่มใช้งาน

เมื่อทำการเปิดพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อเครื่องแม่ข่ายกับแขนกล ดังแสดงในรูปที่ 4.2



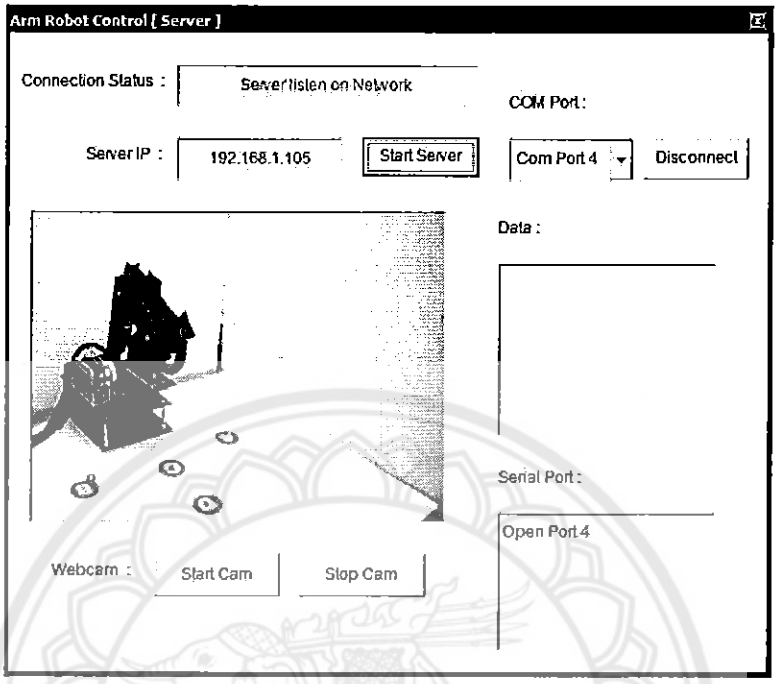
รูปที่ 4.2 โปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายทำการเปิดพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อเครื่องแม่ข่ายกับแขนกล

เมื่อทำการเปิดกล้องเว็บแคมเครื่องแม่ข่ายจะแสดงภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคม ดังแสดงในรูปที่ 4.3



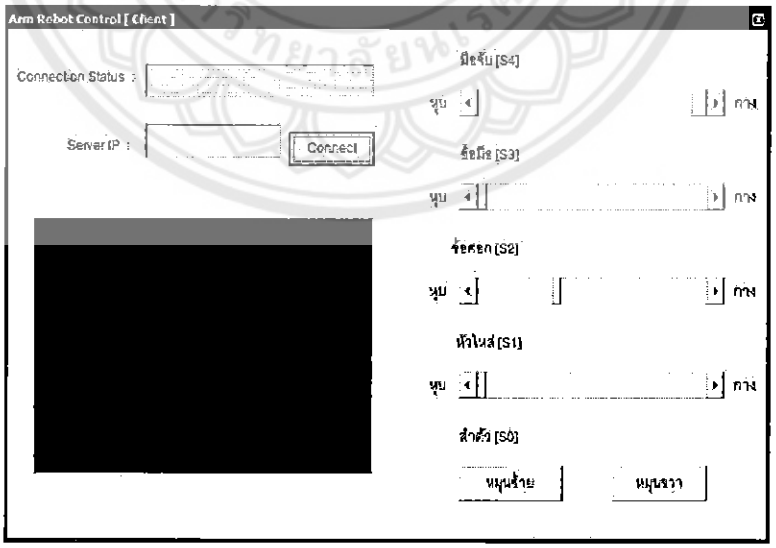
รูปที่ 4.3 โปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายเมื่อกล้องเว็บแคมเริ่มจับภาพ

เมื่อทำการเปิดพอร์ตรอรับการร้องขอการติดต่อจากเครื่องลูกข่ายผ่านทางเครือข่ายจะมีการแสดงสถานะว่ารอการติดต่อจากเครื่องลูกข่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.4



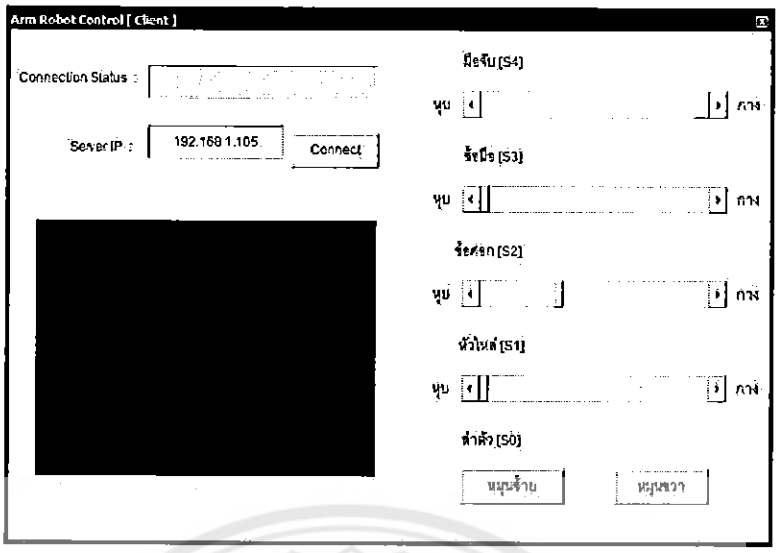
รูปที่ 4.4 โปรแกรมที่เครื่องแม่ข่ายเมื่อรอการร้องขอการติดต่อจากเครื่องลูกข่าย

เมื่อทำการเปิดโปรแกรมที่เครื่องลูกข่ายขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.5



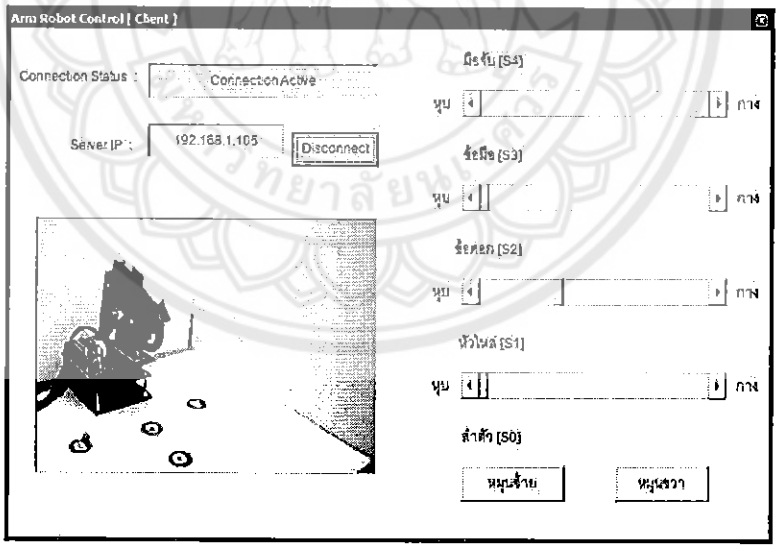
รูปที่ 4.5 โปรแกรมที่เครื่องลูกข่ายเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา

เมื่อเครื่องลูกข่ายต้องการติดต่อกับเครื่องแม่ข่ายจะใส่หมายเลขไอพีของเครื่องแม่ข่ายและทำการเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.6



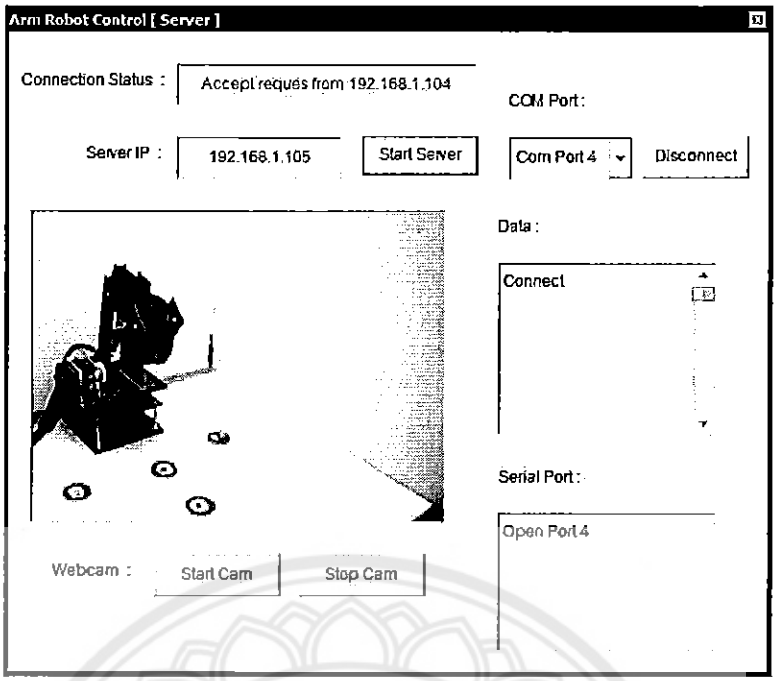
รูปที่ 4.6 เมื่อใส่หมายเลขไอพีของเครื่องแม่ข่ายในโปรแกรมที่เครื่องลูกข่าย

เมื่อการเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ขายได้สำเร็จจะมีการแสดงสถานะว่าสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายได้และจะมีภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมมาแสดงที่โปรแกรมของเครื่องลูกข่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.7



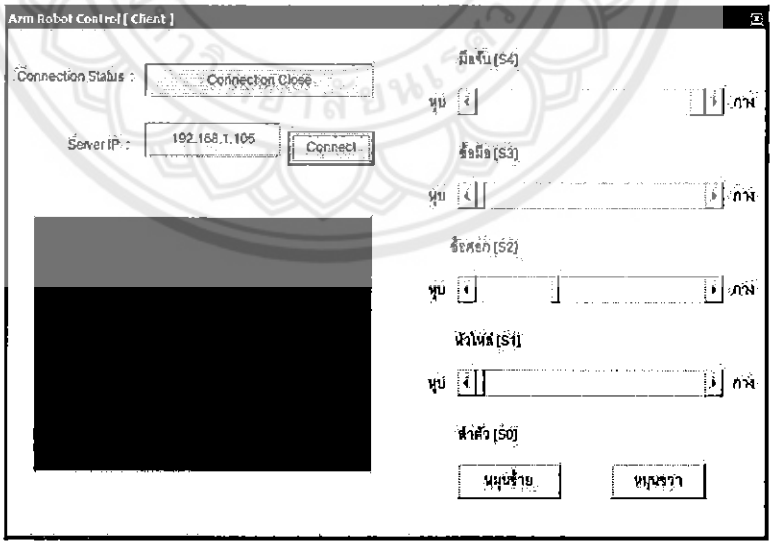
รูปที่ 4.7 เมื่อทำการติดต่อกับเครื่องแม่ข่ายได้สำเร็จ

เมื่อเครื่องลูกข่ายติดต่อมายังเครื่องแม่ข่ายจะมีการแสดงสถานการนะติดต่อและหมายเลขไอพีของเครื่องลูกข่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.8

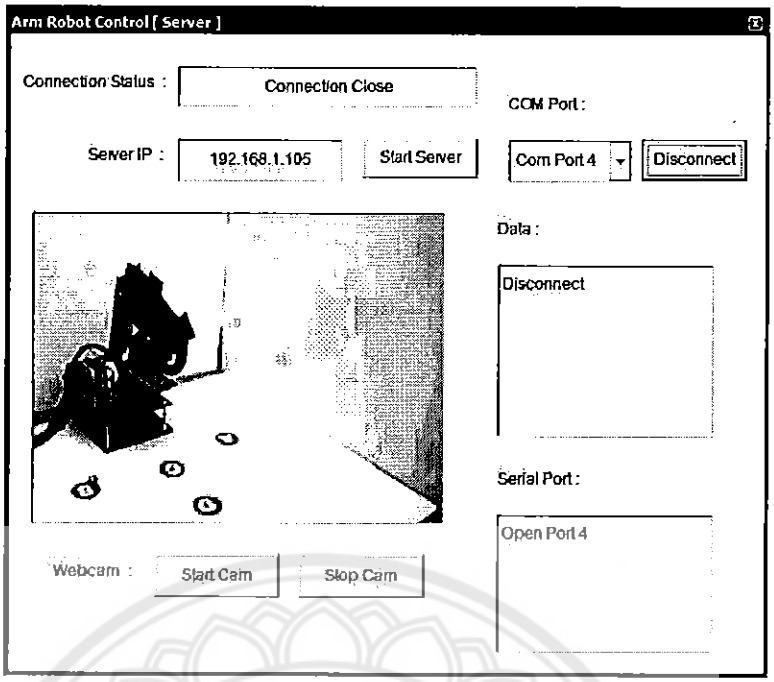


รูปที่ 4.8 เมื่อทำการติดต่อกับเครื่องลูกข่ายได้สำเร็จ

เมื่อเครื่องลูกข่ายขอยกเลิกการติดต่อกับเครื่องแม่ข่ายโดยการกดปุ่ม Disconnect จะมีการแสดงสถานะ การเชื่อมต่อที่โปรแกรมส่วนลูกข่ายและโปรแกรมส่วนแม่ข่ายว่าการเชื่อมต่อได้ถูกยกเลิกแล้ว แสดงในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 เมื่อเครื่องลูกข่ายขอยกเลิกการติดต่อกับเครื่องแม่ข่ายโดยการกดปุ่ม Disconnect



รูปที่ 4.10 เมื่อเครื่องลูกข่ายขอยกเลิกการติดต่อกับเครื่องแม่ข่ายโดยการกดปุ่ม Disconnect

4.4 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลที่พัฒนาขึ้น

4.4.1 การทดสอบจับเวลาการทำงานของส่วนต่างๆของแขนกล

การทดสอบการทำงานของส่วนข้อต่อต่างๆของแขนกลเพื่อนำเวลาที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยเวลาการทำงานของส่วนข้อต่อต่างๆที่สามารถทำได้ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบจับเวลาการทำงานของส่วนลำตัว

ครั้ง	หมุนจากซ้ายไปขวา (นาที)	หมุนจากขวาไปซ้าย (นาที)	หมายเหตุ
1	0:42.754	0:41.545	-
2	0:41.523	0:42.556	-
3	0:42.026	0:42.168	-
4	0:40.736	0:40.659	-
5	0:40.555	0:40.326	-
เฉลี่ย	0:41.519	0:41.451	-

จากตารางที่ 4.1 เป็นผลการทดสอบการหมุนของลำตัวแขนกล โดยการกดปุ่ม หมุนซ้าย หรือ หมุนขวา ที่โปรแกรมในส่วนของเครื่องลูกข่าย ซึ่งได้ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ได้เวลาเฉลี่ยของ

การหมุน 180 องศา คือหมุนจากซ้ายไปขวาได้เวลาเฉลี่ย 0:41.519 นาที และหมุนจากขวาไปซ้ายได้เวลาเฉลี่ย 0:41.451 นาที โดยที่ไม่มีข้อผิดพลาดของการทำงาน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบจับเวลาการทำงานของส่วนหัวไหล่

ครั้ง	จากหุบสุดไปกางสุด (นาที)	จากกางสุดไปหุบสุด (นาที)	หมายเหตุ
1	0:02.259	0:02.127	-
2	0:02.126	0:02.028	-
3	0:01.933	0:02.220	-
4	0:02.003	0:01.987	-
5	0:01.979	0:02.075	-
เฉลี่ย	0:02.06	0:02.087	-

จากตารางที่ 4.2 เป็นผลการทดสอบการทำงานของส่วนหัวไหล่ โดยการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ ที่โปรแกรมในส่วนของเครื่องลูกข่าย ซึ่งได้ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ได้เวลาเฉลี่ยของทำงานจากหุบสุดไปกางสุด 0:02.06 นาที และจากกางสุดไปหุบสุด 0:02.087 นาที โดยที่ไม่มีข้อผิดพลาดของการทำงาน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของส่วนข้อศอก

ครั้ง	จากหุบสุดไปกางสุด (นาที)	จากกางสุดไปหุบสุด (นาที)	หมายเหตุ
1	0:02.902	0:02.369	-
2	0:02.671	0:02.757	-
3	0:02.893	0:03.109	-
4	0:02.728	0:02.727	-
5	0:02.682	0:02.690	-
เฉลี่ย	0:02.775	0:02.730	-

จากตารางที่ 4.3 เป็นผลการทดสอบการทำงานของส่วนข้อศอก โดยการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมข้อศอก ที่โปรแกรมในส่วนของเครื่องลูกข่าย ซึ่งได้ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ได้เวลาเฉลี่ยของทำงานจากหุบสุดไปกางสุด 0:02.775 นาที และจากกางสุดไปหุบสุด 0:02.730 นาที โดยที่ไม่มีข้อผิดพลาดของการทำงาน

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของส่วนข้อมือ

ครั้ง	จากหุบสุดไปกางสุด (นาที)	จากกางสุดไปหุบสุด (นาที)	หมายเหตุ
1	0:03.160	0:02.713	-
2	0:03.260	0:03.060	-
3	0:03.126	0:02.719	-
4	0:02.611	0:02.591	-
5	0:03.104	0:02.609	-
เฉลี่ย	0:03.052	0:02.738	-

จากตารางที่ 4.4 เป็นผลการทดสอบการทำงานของส่วนข้อมือ โดยการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมข้อมือ ที่โปรแกรมในส่วนของเครื่องลูกข่าย ซึ่งได้ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ได้เวลาเฉลี่ยของทำงานจากหุบสุดไปกางสุด 0:03.052 นาที และจากกางสุดไปหุบสุด 0:02.738 นาที โดยที่ไม่มีข้อผิดพลาดของการทำงาน

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของส่วนมือจับ

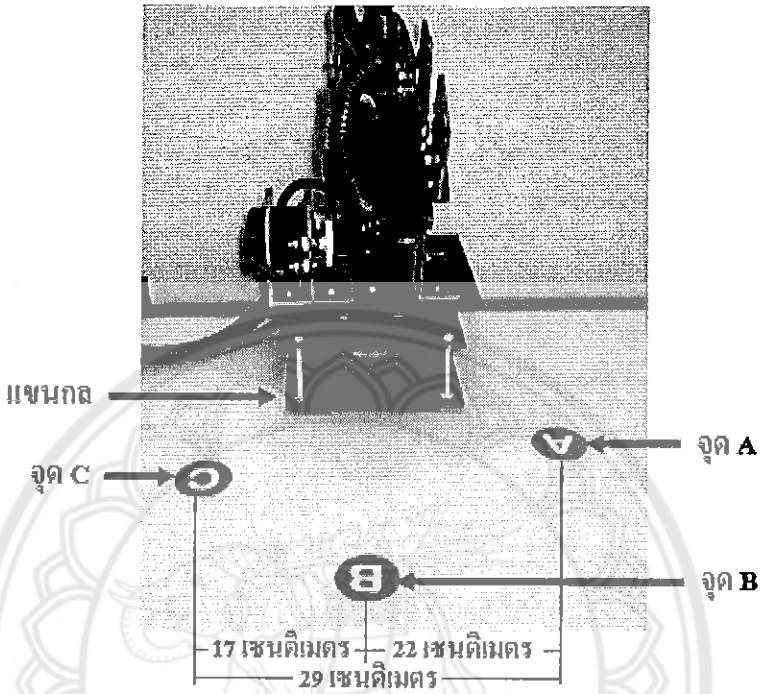
ครั้ง	จากหุบสุดไปกางสุด (นาที)	จากกางสุดไปหุบสุด (นาที)	หมายเหตุ
1	0:03.291	0:03.440	-
2	0:03.070	0:02.974	-
3	0:02.846	0:03.053	-
4	0:03.003	0:02.874	-
5	0:02.805	0:02.970	-
เฉลี่ย	0:03.003	0:03.062	-

จากตารางที่ 4.5 เป็นผลการทดสอบการทำงานของส่วนมือจับ โดยการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมมือจับ ที่โปรแกรมในส่วนของเครื่องลูกข่าย ซึ่งได้ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ได้เวลาเฉลี่ยของทำงานจากหุบสุดไปกางสุด 0:03.003 นาที และจากกางสุดไปหุบสุด 0:03.062 นาที โดยที่ไม่มีข้อผิดพลาดของการทำงาน

4.4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลไปยังจุดต่างๆ

การทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของแขนกลเพื่อหาข้อผิดพลาดและนำเวลาที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยของการทำงานของแขนกลที่สามารถทำได้ โดยได้ทำการกำหนดจุดอ้างอิง จุด A จุด B

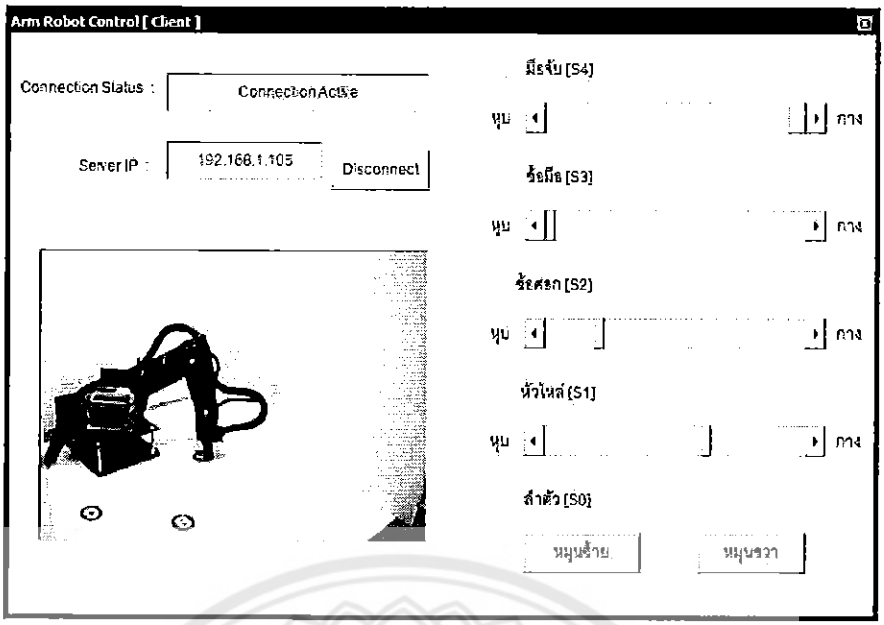
และจุด C เพื่อใช้ในการทดสอบเคลื่อนย้ายแขนกลไปยังตำแหน่งต่างๆ โดยที่จุด A ห่างจากจุด B 22 เซนติเมตร จุด B ห่างจากจุด C 17 เซนติเมตรและจุด A ห่างจากจุด C 29 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงจุดอ้างอิงต่างๆที่ใช้ในการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล

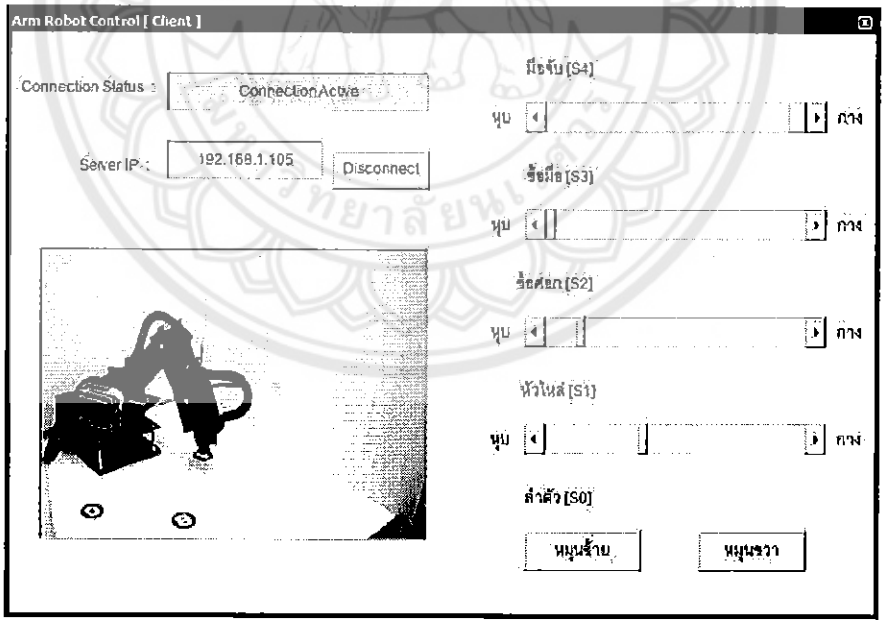
4.4.2.1 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด A ไปยังจุด B

การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด A ไปยังจุด B ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.12 รูปที่ 4.13 รูปที่ 4.14 รูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.6



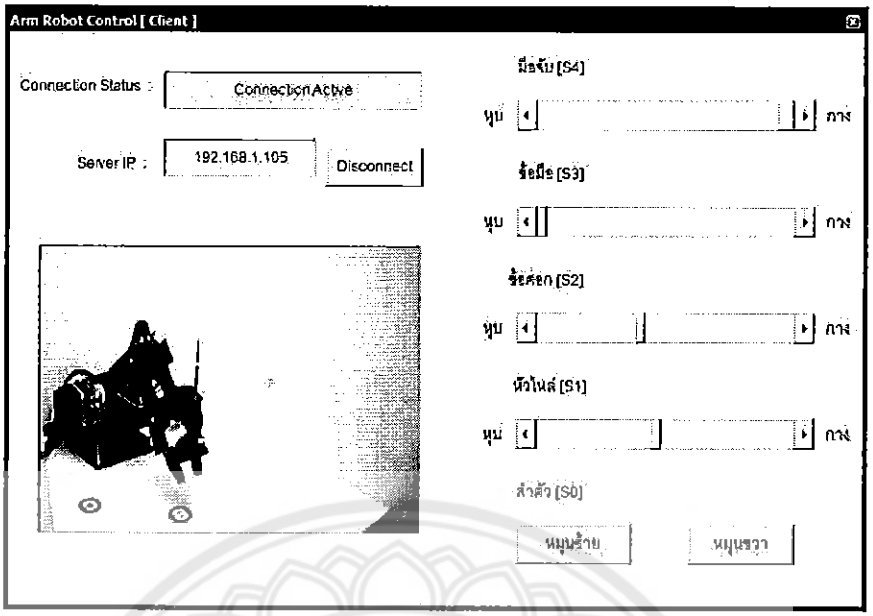
รูปที่ 4.12 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด A ไปยังจุด B

จากรูปที่ 4.12 เป็นตำแหน่งที่แขนกลอยู่เมื่อเริ่มการทดสอบ ซึ่งจะอยู่ที่จุด A



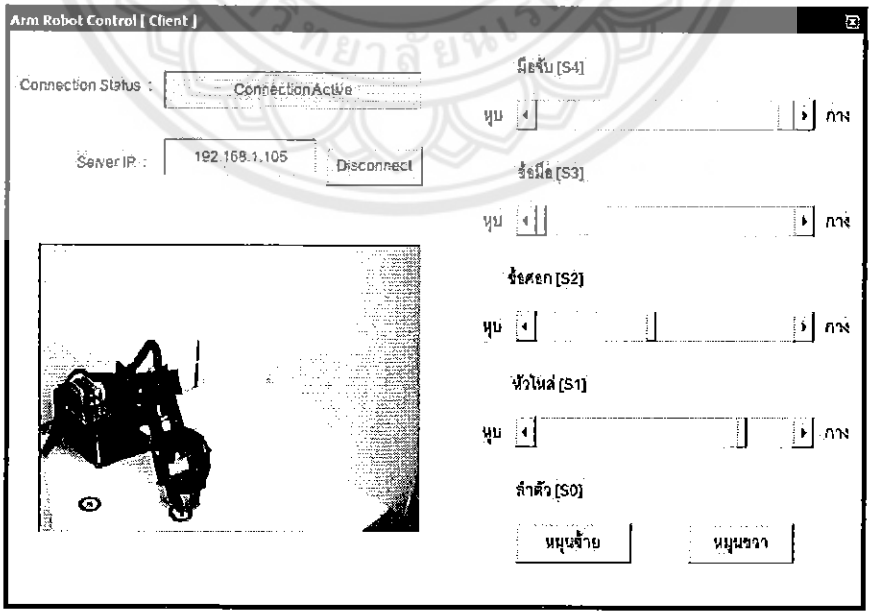
รูปที่ 4.13 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด A ไปยังจุด B

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งหุบ หัวไหล่ของแขนกลจะหุบ ทำให้ส่วนของมือจับลอยขึ้นจากจุด A



รูปที่ 4.14 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด A ไปยังจุด B

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่า เมื่อทำการกดปุ่ม หมุนขวา ที่ส่วนควบคุมลำตัว แขนกลจะหมุนไปทางขวา และเมื่อเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมข้อศอกไปทางตำแหน่งกาง จะทำให้ข้อศอกของแขนกลกางออก



รูปที่ 4.15 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด A ไปยังจุด B

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งกาง จะทำให้หัวไหล่ของแขนกลกางออก ทำให้ส่วนของมือจับไปวางอยู่ที่จุด B

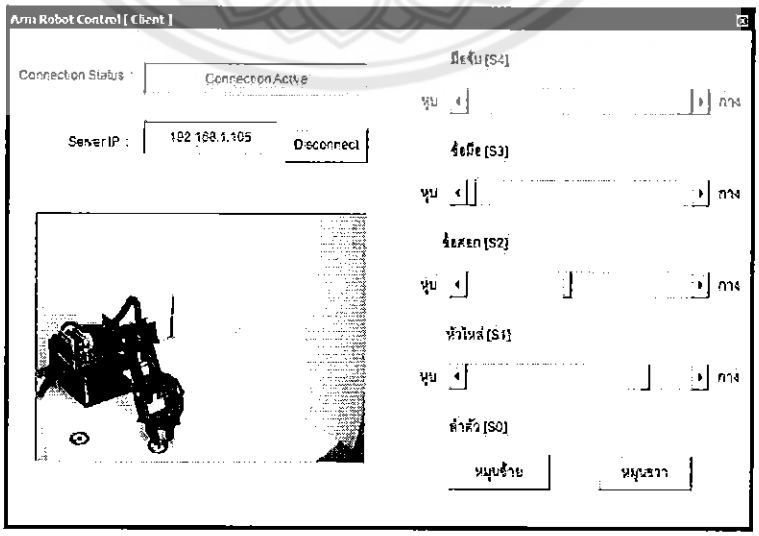
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด A ไปยังจุด B

ครั้ง	จากจุด A ไปยังจุด B (นาที)	หมายเหตุ
1	0:31.559	-
2	0:35.957	-
3	0:41.614	-
4	0:37.460	-
5	0:37.644	-
เฉลี่ย	0:36.847	-

จากตารางที่ 4.6 เป็นผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด A ไปยังจุด B ซึ่งได้ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ได้เวลาเฉลี่ยของการทำงานคือ 0:36.847 นาที โดยที่ไม่มีข้อผิดพลาดของการทำงาน

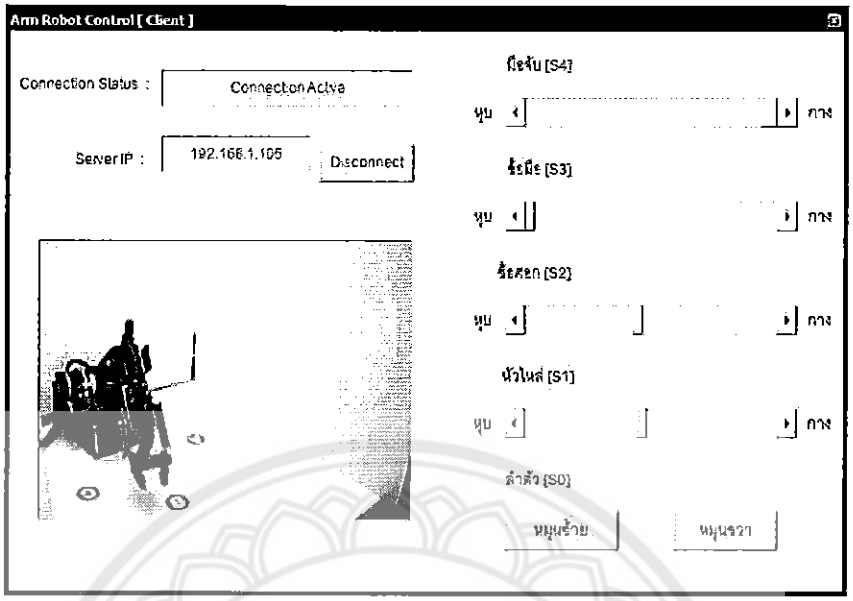
4.4.2.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด B ไปยังจุด C

การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด B ไปยังจุด C ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.16 รูปที่ 4.17 รูปที่ 4.18 รูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.7



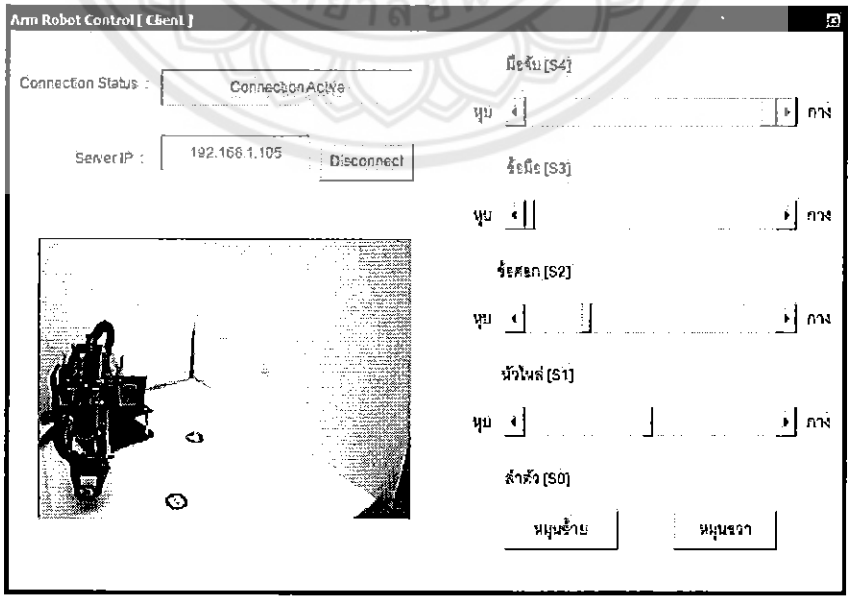
รูปที่ 4.16 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด B ไปยังจุด C

จากรูปที่ 4.16 เป็นตำแหน่งที่แขนกลอยู่เมื่อเริ่มการทดสอบ ซึ่งจะอยู่ที่จุด B



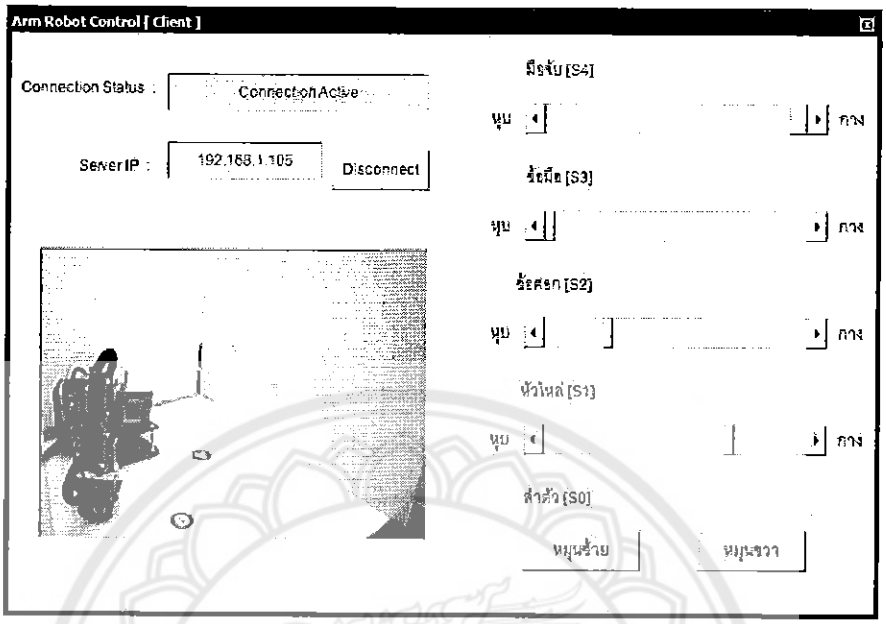
รูปที่ 4.17 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด B ไปยังจุด C

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งหุบ หัวไหล่ของแขนกลจะหุบ ทำให้ส่วนของมือจับลอยขึ้นจากจุด B แล้วทำการกดปุ่ม หมุนขวา ที่ส่วนควบคุมลำตัว ทำให้แขนกลหมุนไปทางขวา



รูปที่ 4.18 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด B ไปยังจุด C

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมข้อศอกไปทางตำแหน่งหุบ จะทำให้ข้อศอกของแขนกลจะหุบ



รูปที่ 4.19 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล จากจุด B ไปยังจุด C

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งกาง จะทำให้หัวไหล่ของแขนกลกางออก ทำให้ส่วนของมือจับไปวางอยู่ที่จุด C

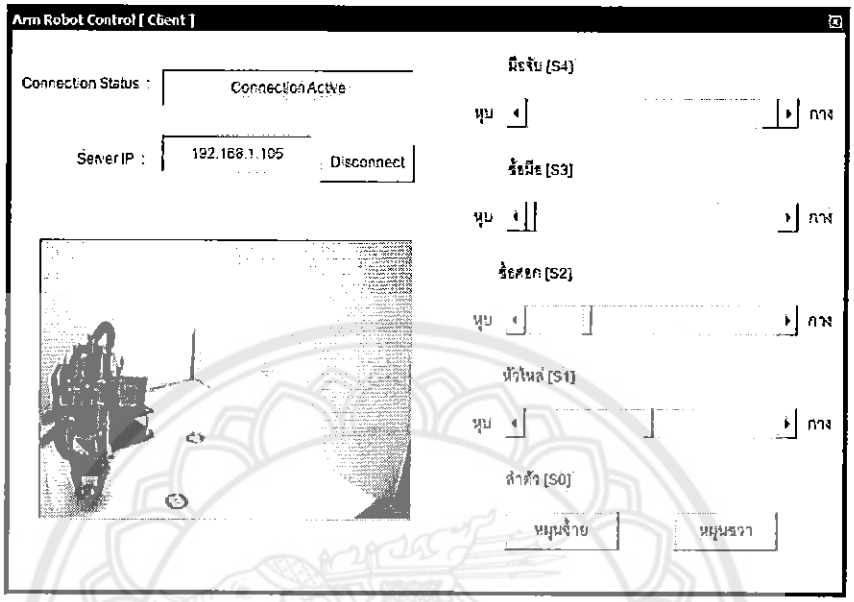
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด B ไปยังจุด C

ครั้ง	จากจุด B ไปยังจุด C (นาที)	หมายเหตุ
1	0:31.785	-
2	0:33.564	-
3	0:34.002	-
4	0:30.814	-
5	0:40.095	-
เฉลี่ย	0:34.052	-

จากตารางที่ 4.7 เป็นผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด B ไปยังจุด C ซึ่งได้ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ได้เวลาเฉลี่ยของการทำงานคือ 0:34.052 นาที โดยที่ไม่มีข้อผิดพลาดของการทำงาน

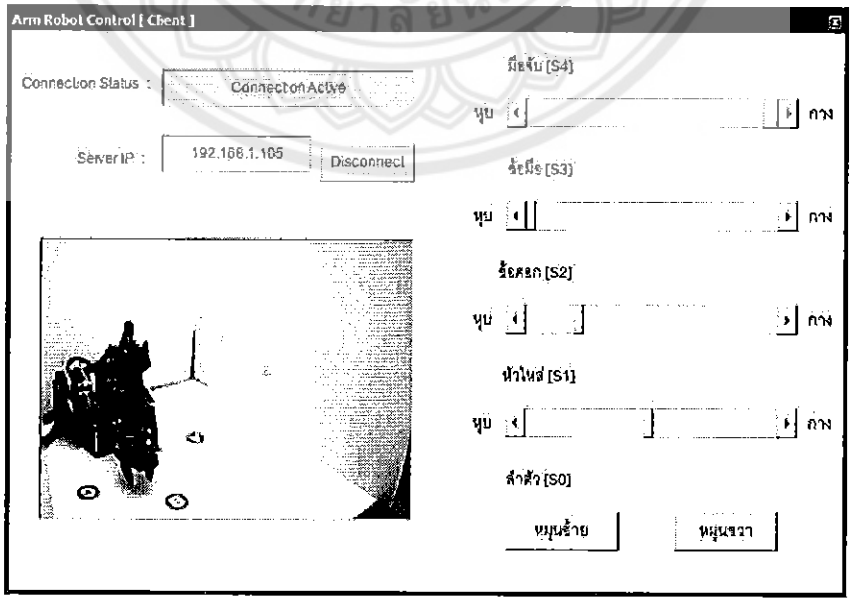
4.4.2.3 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด C ไปยังจุด A

การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด C ไปยังจุด A ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.20 รูปที่ 4.21 รูปที่ 4.22 รูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.8



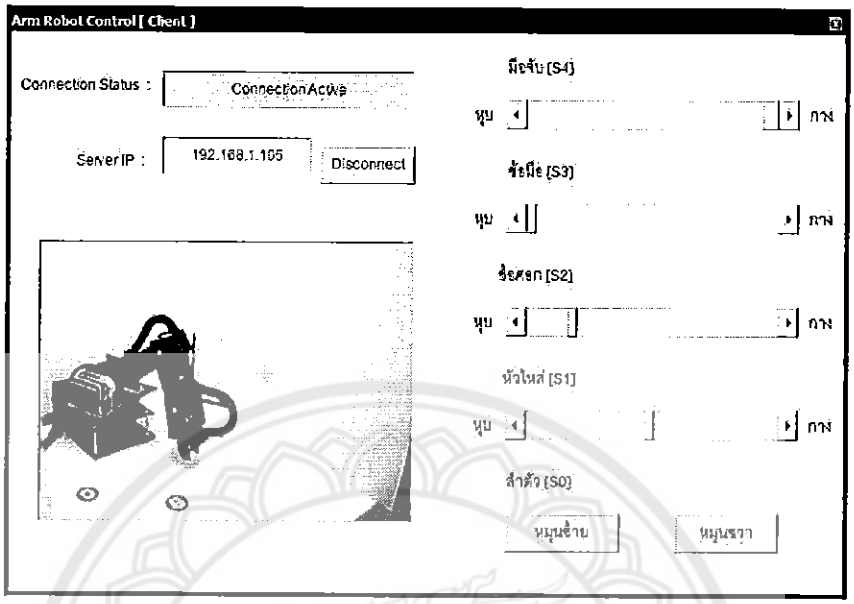
รูปที่ 4.20 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด C ไปยังจุด A

จากรูปที่ 4.20 เป็นตำแหน่งที่แขนกลอยู่เมื่อเริ่มการทดสอบ ซึ่งจะอยู่ที่จุด C



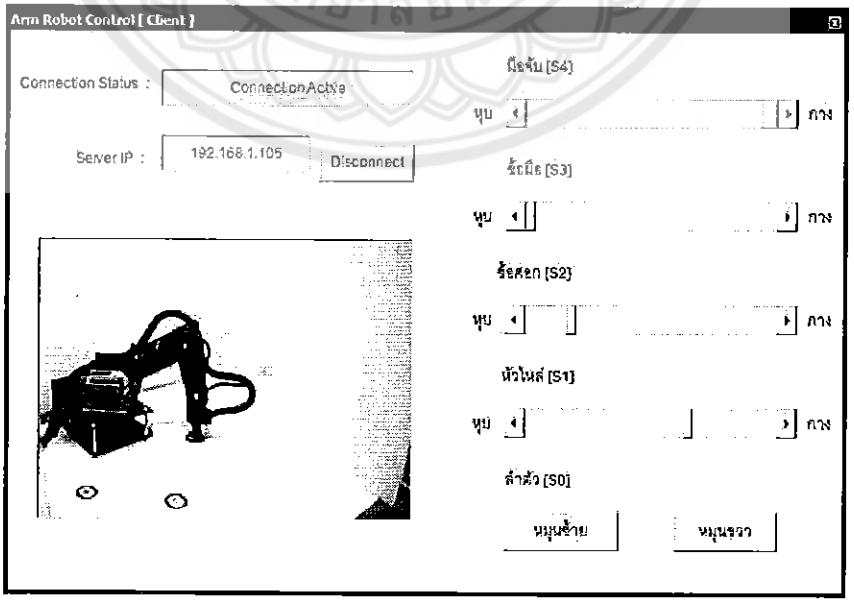
รูปที่ 4.21 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด C ไปยังจุด A

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นว่า เมื่อทำการกดปุ่ม หมุนซ้าย ที่ส่วนควบคุมลำตัว แขนกลจะหมุนไปทางซ้าย



รูปที่ 4.22 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด C ไปยังจุด A

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นว่า เมื่อทำการกดปุ่ม หมุนซ้าย ที่ส่วนควบคุมลำตัว แขนกลจะหมุนไปทางซ้าย



รูปที่ 4.23 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด C ไปยังจุด A

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งกาง จะทำให้หัวไหล่ของแขนกลกางออก ทำให้ส่วนของมือจับไปวางอยู่ที่จุด A

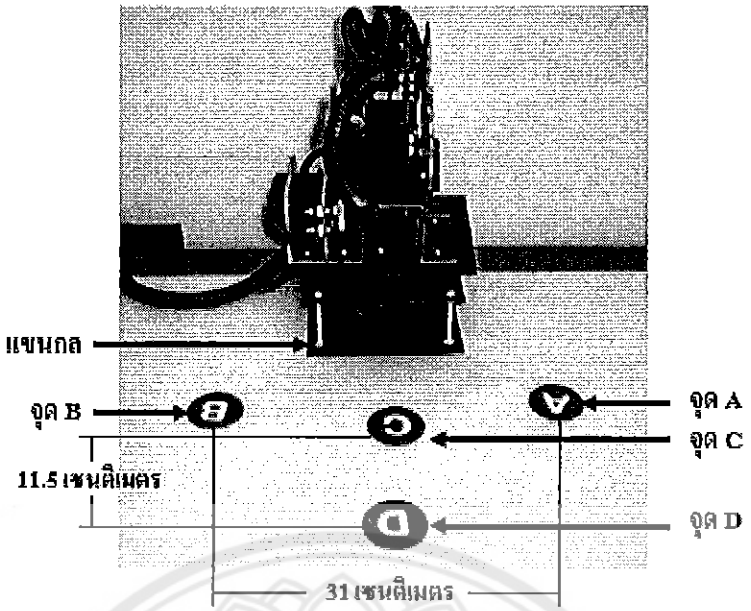
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบจับเวลาการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด C ไปยังจุด A

ครั้ง	จากจุด B ไปยังจุด C (นาที)	หมายเหตุ
1	0:33.476	-
2	0:37.151	-
3	0:29.746	-
4	0:27.488	-
5	0:28.169	-
เฉลี่ย	0:31.206	-

จากตารางที่ 4.8 เป็นผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนกลจากจุด C ไปยังจุด A ซึ่งได้ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ได้เวลาเฉลี่ยของการทำงานคือ 0:31.206 นาที โดยที่ไม่มีข้อผิดพลาดของการทำงาน

4.4.3 การทดสอบการหยิบวัตถุรูปทรงต่างๆไปวางยังจุดต่างๆของแขนกล

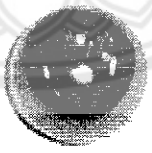
การทดสอบการหยิบวัตถุรูปทรงต่างๆไปวางยังจุดต่างๆของแขนกลเพื่อหาข้อผิดพลาดของการทำงาน โดยได้ทำการกำหนดจุดอ้างอิง จุด A จุด B จุด C และจุด D เพื่อใช้ในการทดสอบเคลื่อนย้ายแขนกลไปยังตำแหน่งต่างๆ โดยที่จุด A ห่างจากจุด B 31 เซนติเมตร จุด C ห่างจากจุด D 11.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.24



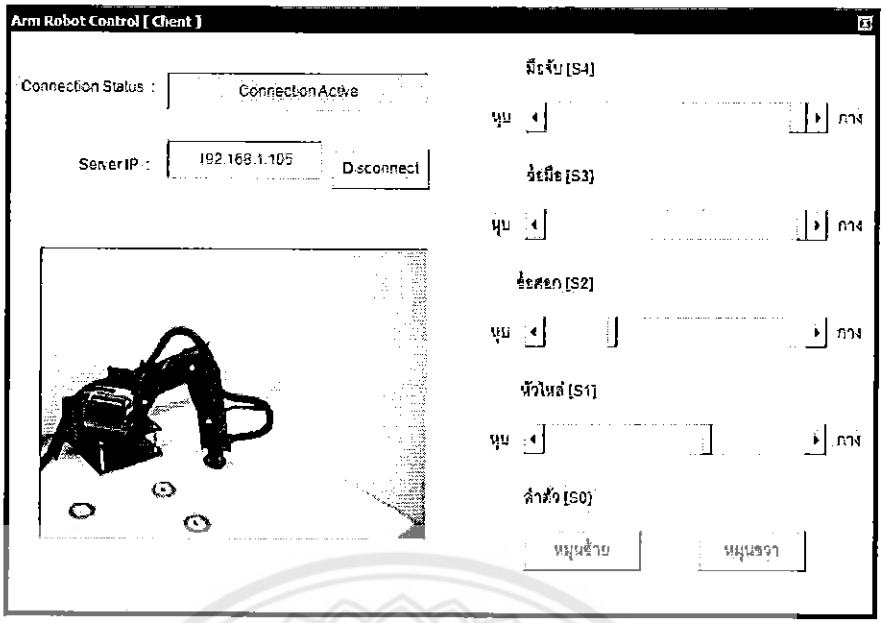
รูปที่ 4.24 แสดงจุดอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบการหยิบวัตถุรูปทรงต่างๆไปวาง**ยังจุดต่างๆ** ของแขนกล

4.4.3.1 การทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B

ทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 4.23 ซึ่งมีขนาดเส้น**ผ่าศูนย์กลาง** 1.7 **เซนติเมตร** โดยหยิบจากจุด A ไปวางยังจุด B ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.25 **รูปที่**4.26 **รูปที่** 4.27 รูปที่ 4.28 และตารางที่ 4.9

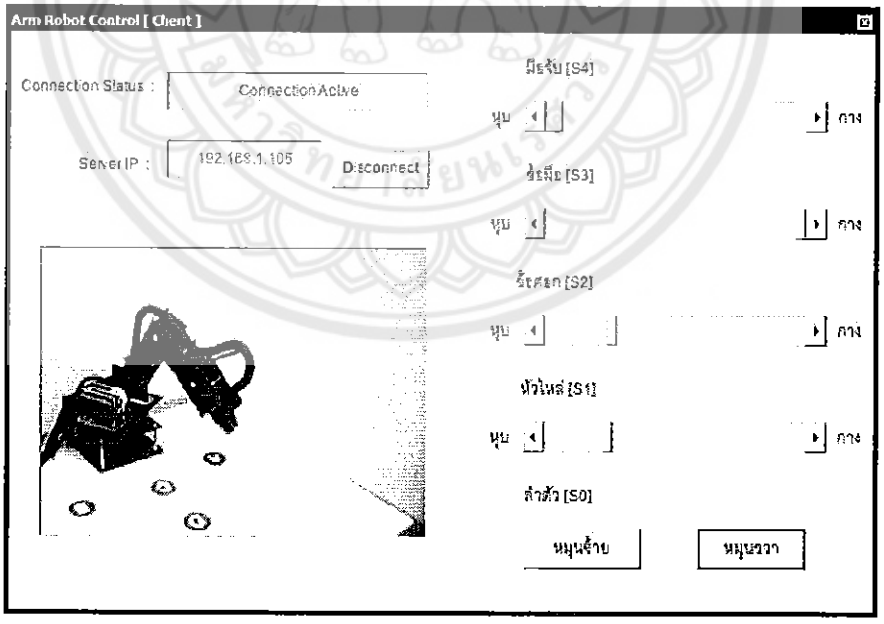


รูปที่ 4.25 วัตถุทรงกลมที่ใช้ในการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวาง ยังจุด B



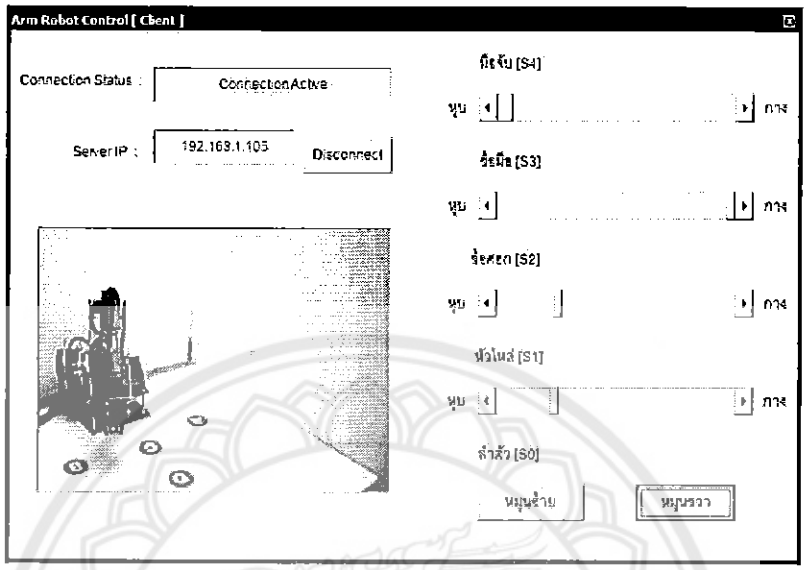
รูปที่ 4.26 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B

จากรูปที่ 4.26 เป็นตำแหน่งที่แขนกลอยู่เมื่อเริ่มการทดสอบ ซึ่งจะอยู่ที่จุด A พร้อมกับวัตถุทรงกลมที่จะทำการทดสอบ



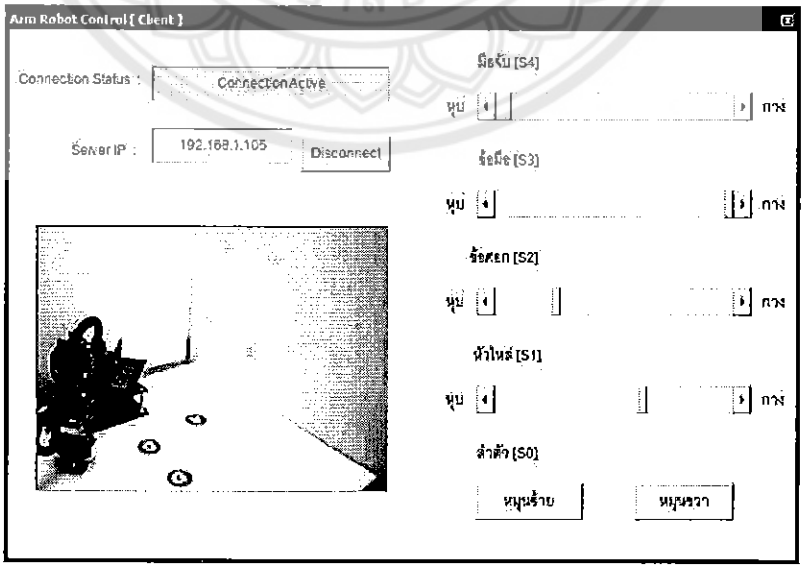
รูปที่ 4.27 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมมือจับไปทางตำแหน่งหุบ แขนกลจะทำการหยิบวัตถุทรงกลม และเมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งหุบ จะทำให้แขนกลหยิบวัตถุทรงกลมลอยขึ้นจากพื้น



รูปที่ 4.28 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B

จากรูปที่ 4.28 จะเห็น เมื่อทำการกดปุ่ม หมุนขวา ที่ส่วนควบคุมลำตัว แขนกลจะหมุนไปทางขวา



รูปที่ 4.29 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B

จากรูปที่ 4.29 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งกาง แขนกลจะทำกางหัวไหล่ออก เพื่อวางวัตถุทรงกลมไว้ที่จุด B และเมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมมือจับไปทางตำแหน่งกาง จะทำให้แขนกลปล่อยวัตถุทรงกลมออกจากมือจับ

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B

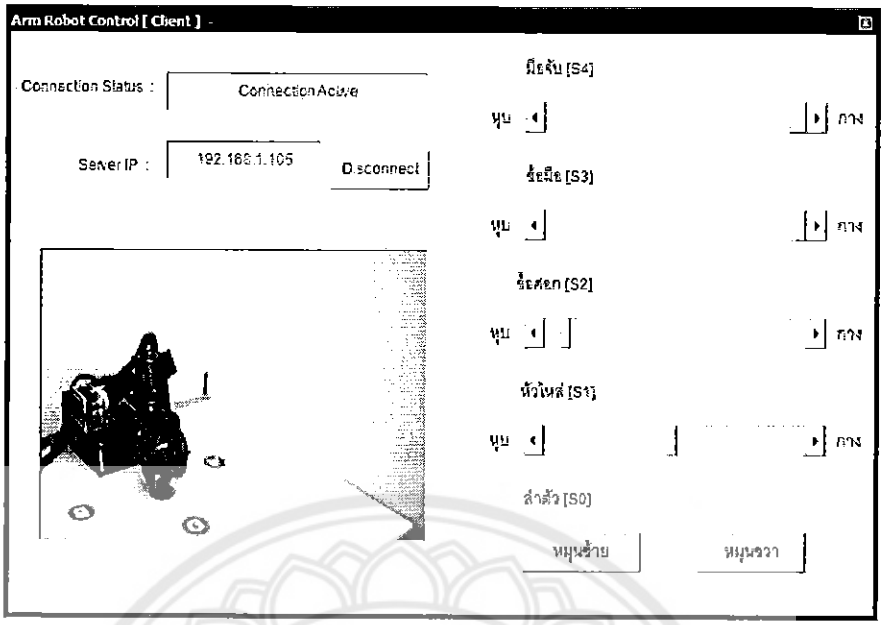
ครั้ง	เวลา (นาที)	สถานะ การทำงาน	หมายเหตุ
1	1:16.534	ทำได้	หยิบพลาด 1 ครั้ง
2	0:45.623	ทำได้	หยิบวัตถุไม่ติด 1 ครั้ง
3	0:45.976	ทำได้	-
4	0:45.813	ทำได้	-
5	0:46.057	ทำได้	-
6	1:43.043	ทำได้	หยิบพลาด 2 ครั้ง
7	0:58.626	ทำได้	-
8	0:58.167	ทำได้	-
9	1:06.497	ทำได้	-
10	2:03.699	ทำได้	หยิบไม่ติด 2 ครั้ง ,หยิบพลาด 1 ครั้ง

จากตารางที่ 4.9 เป็นผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกลมจากจุด A ไปวางยังจุด B ซึ่งได้ทำการทดสอบ 10 ครั้ง โดยมีข้อผิดพลาดคือ หยิบวัตถุพลาด 4 ครั้ง และหยิบวัตถุไม่ติด 3 ครั้ง

4.4.3.2 การทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D

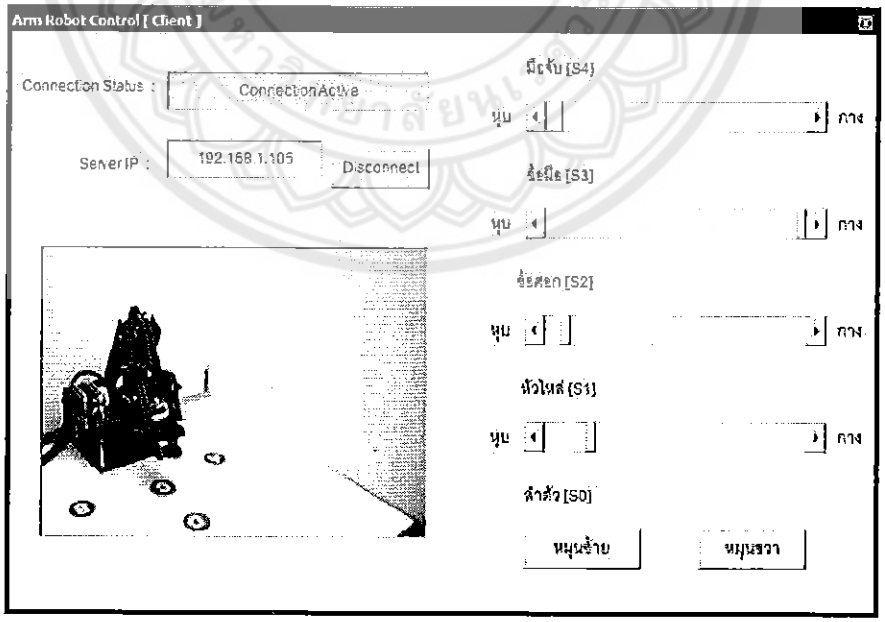
ทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกดังแสดงในรูปที่ 4.28 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.1 เซนติเมตร และยาว 3.5 เซนติเมตร โดยหยิบจากจุด C ไปวางยังจุด D ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.30 รูปที่ 4.31 รูปที่ 4.32 รูปที่ 4.33 และตารางที่ 4.10

รูปที่ 4.30 วัตถุทรงกระบอกที่ใช้ในการทดสอบ



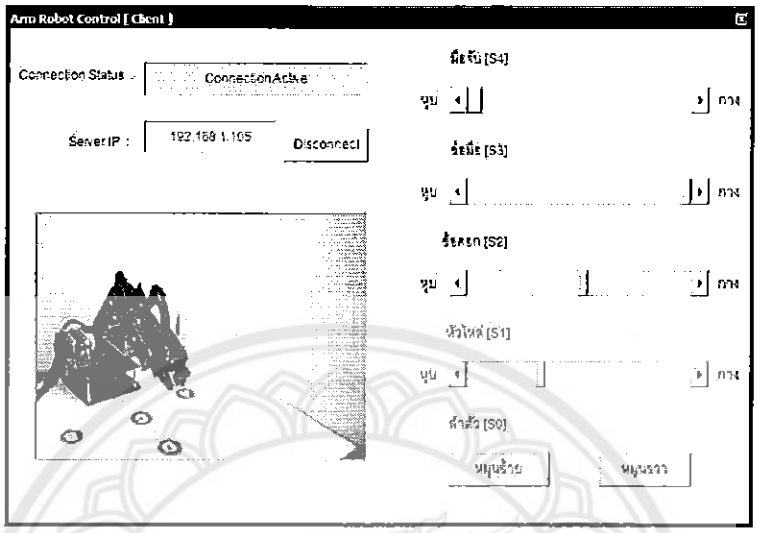
รูปที่ 4.31 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D

จากรูปที่ 4.31 เป็นตำแหน่งที่แขนกลอยู่เมื่อเริ่มการทดสอบ ซึ่งจะอยู่ที่จุด C พร้อมกับวัตถุทรงกระบอกที่จะทำการทดสอบ



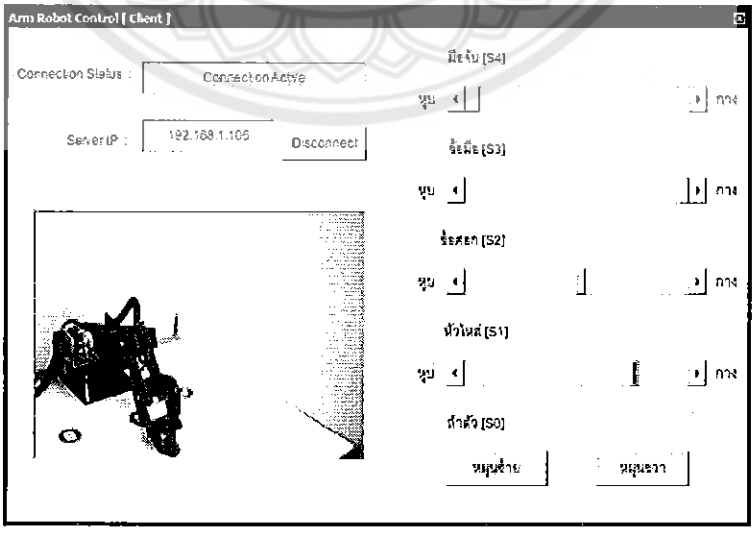
รูปที่ 4.32 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D

จากรูปที่ 4.32 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมมือจับไปทางตำแหน่งหุบ แขนกลจะทำการหยิบวัตถุทรงกระบอก และเมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งหุบ จะทำให้แขนกลหยิบวัตถุทรงกระบอกลอยขึ้นจากพื้น



รูปที่ 4.33 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D

จากรูปที่ 4.33 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมข้อศอกไปทางตำแหน่งกาง แขนกลจะทำการกางข้อศอกออก และเมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งกาง แขนกลจะทำการกางข้อศอกออก



รูปที่ 4.34 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D

จากรูปที่ 4.34 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งกาง แขนกลจะทำการกางหัวไหล่ออก เพื่อวางวัตถุทรงกระบอกไว้ที่จุด D และเมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมมือจับไปทางตำแหน่งกาง จะทำให้แขนกลปล่อยวัตถุทรงกระบอกออกจากมือจับ

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D

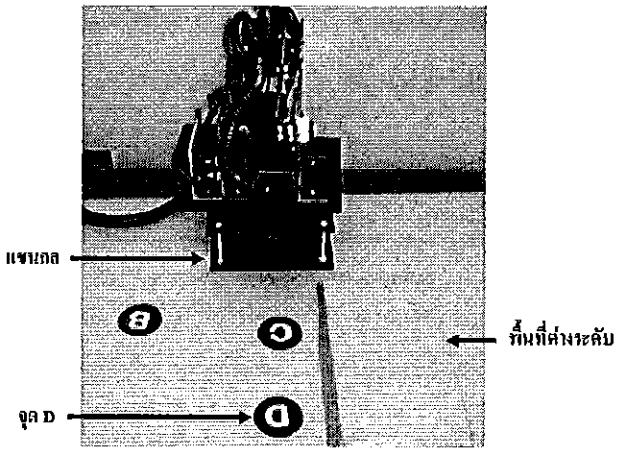
ครั้ง	เวลา	สถานะ การทำงาน	หมายเหตุ
1	0:43.992	ทำได้	-
2	1:01.507	ทำได้	หยิบวัตถุไม่ติด 1 ครั้ง
3	0:41.517	ทำได้	-
4	0:41.024	ทำได้	-
5	0:39.306	ทำได้	-
6	0:39.447	ทำได้	-
7	0:40.253	ทำได้	-
8	0:36.458	ทำได้	-
9	-	ทำไม่ได้	โปรแกรมค้าง
10	0:56.531	ทำได้	-

จากตารางที่ 4.10 เป็นผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D ซึ่งได้ทำการทดสอบ 10 ครั้ง โดยมีข้อผิดพลาดคือ หยิบวัตถุไม่ติด 3 ครั้ง และโปรแกรมค้าง 1 ครั้ง

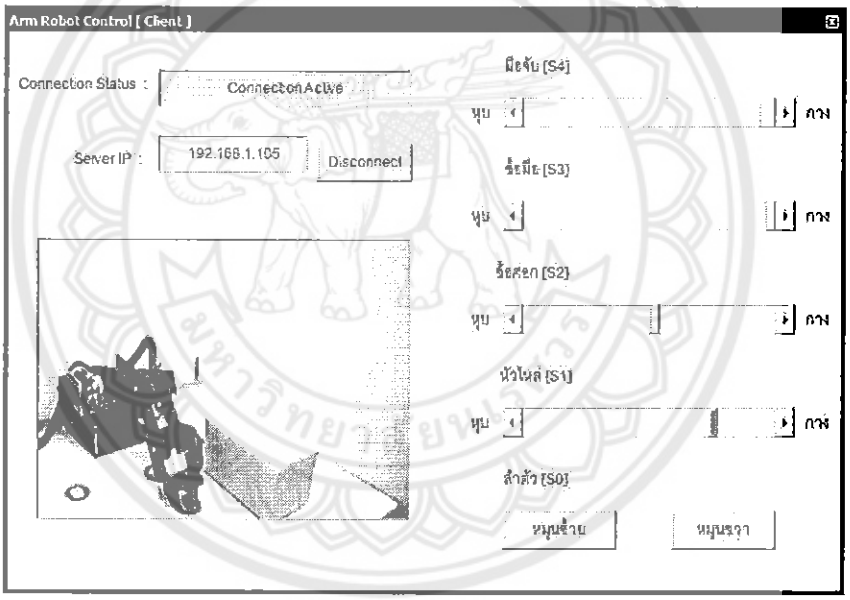
4.4.3.3 การทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ

ทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแสดงในรูปที่ 4.35 ซึ่งมีขนาดกว้าง 1.4 เซนติเมตร ยาว 1.7 เซนติเมตร และสูง 1.5 เซนติเมตร โดยหยิบจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับดังแสดงในรูปที่ 3.34 โดยที่วัตถุที่ใช้ทดสอบจะพลิกอีกด้านขึ้นมา ซึ่งพื้นที่ต่างระดับที่ใช้ในการทดสอบ มีความสูงจากพื้น 11.5 เซนติเมตร ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.35 รูปที่ 4.36 รูปที่ 4.37 และตารางที่ 4.11

รูปที่ 4.35 วัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้ในการทดสอบ

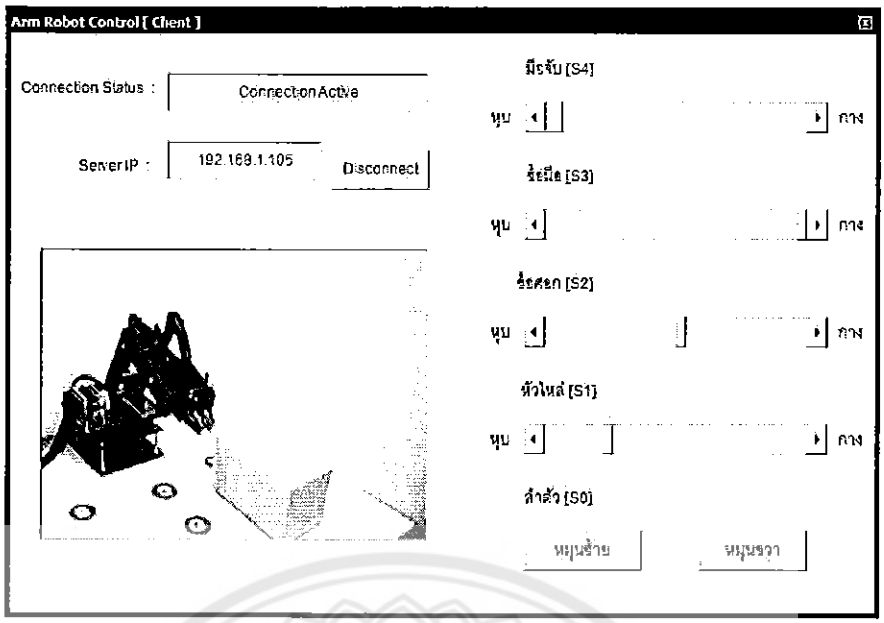


รูปที่ 4.36 แสดงจุดอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ



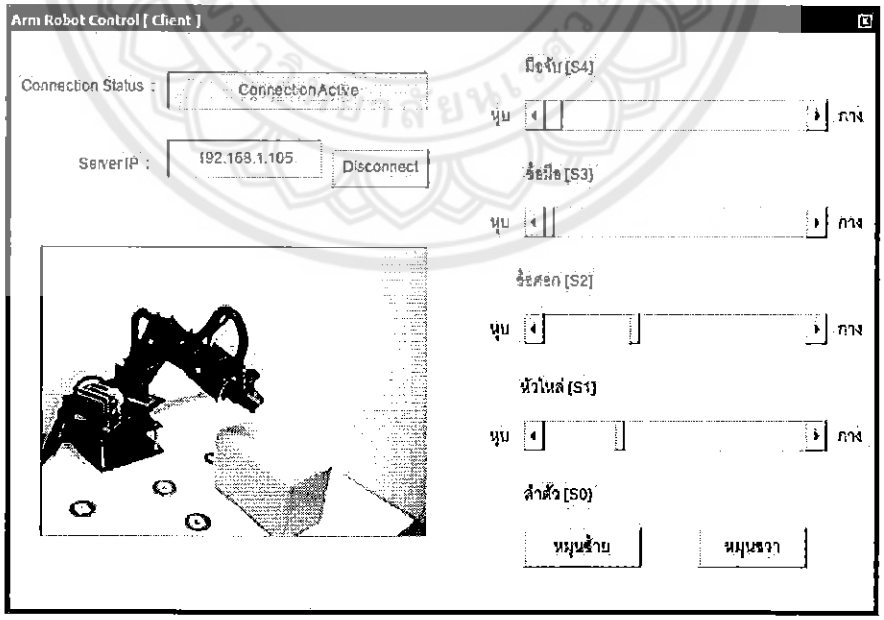
รูปที่ 4.37 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ

จากรูปที่ 4.37 เป็นตำแหน่งที่แขนกลอยู่เมื่อเริ่มการทดสอบ ซึ่งจะอยู่ที่จุด D พร้อมกับทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่จะทำการทดสอบ



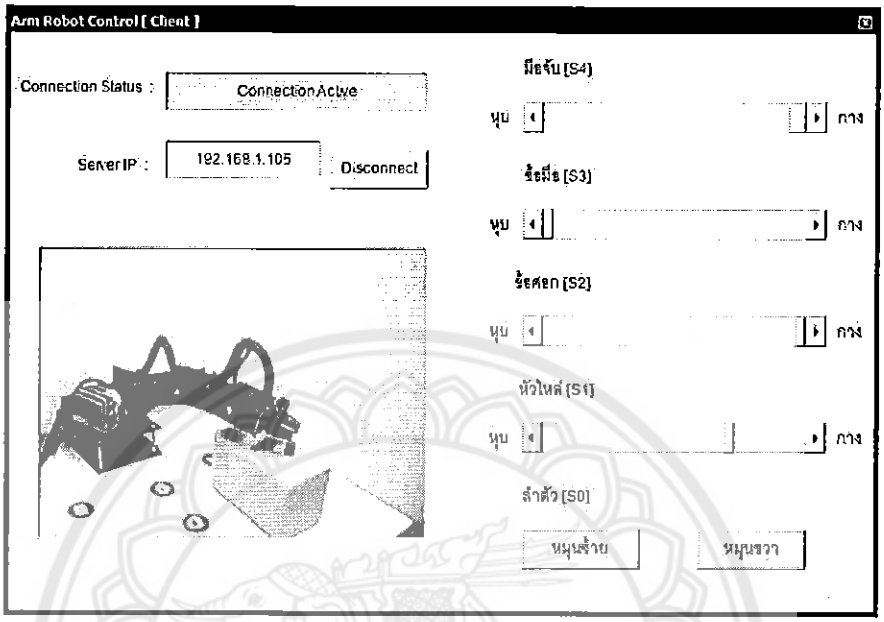
รูปที่ 4.38 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ

จากรูปที่ 4.38 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมมือจับไปทางตำแหน่งหุบแขนกลจะทำการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และเมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งหุบ จะทำให้แขนกลหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าลอยขึ้นจากพื้น



รูปที่ 4.39 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ

จากรูปที่ 4.39 จะเห็นว่า เมื่อทำการกดปุ่ม หมุนซ้าย ที่ส่วนควบคุมลำตัว แขนกลจะหมุนไปทางซ้าย และเมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมข้อศอกไปทางตำแหน่งหุบ แขนกลจะหุบส่วนข้อศอก ซึ่งวัตถุจะอยู่เหนือพื้นที่ต่างระดับ เพื่อเตรียมทำการวางวัตถุ



รูปที่ 4.40 โปรแกรมเครื่องลูกข่ายขณะทำการทดสอบการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ

จากรูปที่ 4.40 จะเห็นว่า เมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งหุบ แขนกลจะหุบส่วนหัวไหล่ และเมื่อทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมหัวไหล่ไปทางตำแหน่งหุบ แขนกลจะหุบส่วนข้อศอก ซึ่งจะทำให้วัตถุวางบนพื้นที่ต่างระดับ และทำการเลื่อน scrollbar ที่ใช้ควบคุมมือจับไปทางตำแหน่งกาง จะทำให้แขนกลปล่อยวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าออกจากมือจับ

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ

ครั้ง	เวลา	สถานะ การทำงาน	หมายเหตุ
1	0:58.661	ทำได้	-
2	1:02.809	ทำได้	-
3	0:54.965	ทำได้	-
4	0:54.111	ทำได้	-
5	0:54.249	ทำได้	-
6	1:12.862	ทำได้	-
7	1:12.441	ทำได้	-

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากจุด D ไปวางยังพื้นที่ต่างระดับ

8	1:08.428	ทำได้	-
9	1:01.560	ทำได้	-
10	1:06.399	ทำได้	-

จากตารางที่ 4.11 เป็นผลการทดสอบการหยิบวัตถุทรงกระบอกจากจุด C ไปวางยังจุด D ซึ่งได้ทำการทดสอบ 10 ครั้ง โดยที่ไม่มีข้อผิดพลาดของการทำงาน

จากที่ได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลต่างๆ บทต่อไปจะกล่าวถึงปัญหาที่พบ การแก้ปัญหา และแนวทางในการพัฒนาต่อไป

บทที่ 5
บทสรุปและวิเคราะห์โครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลที่ได้จากการทดลองและเก็บข้อมูลต่างๆ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงงานนี้ไปพัฒนาต่อให้มีประสิทธิภาพให้มากยิ่งขึ้นในอนาคต

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการจัดทำโครงงานการควบคุมแขนกลผ่านเครือข่ายด้วยโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี ผลที่ได้รับจากโครงงานนี้ก็คือ สามารถเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมแขนกลระยะไกลผ่านเครือข่ายด้วยโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี ได้ โดยที่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จะแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนคือ โปรแกรมที่เป็นเครื่องแม่ข่ายและโปรแกรมที่เป็นเครื่องลูกข่าย ซึ่งโปรแกรมทั้งสองส่วนสามารถเชื่อมต่อกันเพื่อควบคุมแขนกลได้ จากผลการทดลองพบว่าระบบจะมีเวลาหน่วง (delay time) เกิดขึ้นขณะทำการส่งภาพจากกล้องเว็บแคมมาแสดงผลที่เครื่องลูกข่าย และการส่งคำสั่งเพื่อไปควบคุมแขนกลขณะที่กำลังควบคุมทำให้แขนกลมีอาการกระตุก และมีข้อผิดพลาดของโปรแกรมอยู่บ้างในบางครั้ง ซึ่งทำให้โปรแกรมค้างและการเชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องแม่ข่ายถูกตัดขาดจากกัน ทำให้การทำงานของแขนกลหยุดลง และมุมภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมมีมุมภาพเดียวทำให้การหยิบวัตถุทำได้ลำบาก

จากการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ควบคุมการทำงานของแขนกลผ่านเครือข่ายด้วยโปรโตคอล ทีซีพี/ไอพี ได้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.2.1 การแสดงผลภาพที่เครื่องลูกข่าย ภาพที่นำมาแสดงผลการทำงานช้ากว่าการทำงานจริงของแขนกลอาจเป็นเพราะใช้วิธีการส่งที่ไม่ดีพอหรือการใช้งานเครือข่ายมีสภาพที่แออัด จึงทำให้ข้อมูลภาพที่ส่งมาใช้งานแสดงผลช้ากว่าการทำงานจริง การแก้ไขทำได้โดยการบีบอัดรูปภาพให้เล็กลง ในกรณีที่เกิดจากเครือข่ายแก้ได้โดยการเชื่อมต่อเครื่องแม่ข่ายและเครื่องลูกข่ายโดยใช้การเชื่อมต่อโดยผ่านเครือข่ายความเร็วสูงมาใช้งาน

5.2.2 ระหว่างที่ทำการควบคุมการทำงาน แขนกลมีอาการสั่นเนื่องจากโครงสร้างของแขนกลทำด้วยอะคริลิคทำให้ไม่แข็งแรง จึงควรออกแบบด้วยวัสดุที่แข็งแรงมากกว่านี้

5.2.3 ปัญหาของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไม่ค่อยเสถียร เนื่องจากผู้ออกแบบยังไม่มีความชำนาญที่เพียงพอ

5.2.4 เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้มีความละเอียดไม่มากพอ จึงทำให้การควบคุมแขนกลไปยังตำแหน่งต่างๆทำได้ไม่ละเอียดมากนัก

5.2.5 สเต็ปมอเตอร์มีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากต้องรับน้ำหนักของแขนกล

5.2.6 ไม่สามารถควบคุมการหมุนของสต็ปมอเตอร์ได้อย่างละเอียด เนื่องจากข้อจำกัดของตัวมอเตอร์และการออกแบบแขนกล

5.2.7 มุมภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมมีมุมภาพเดียวทำให้การหยิบวัตถุทำได้ลำบาก แก้ไขได้โดยการเพิ่มกล้องเว็บแคมอีกหนึ่งตัว

5.2.8 มีข้อผิดพลาดของโปรแกรมอยู่บ้างในบางครั้ง ซึ่งทำให้โปรแกรมค้างและการเชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องแม่ข่ายถูกตัดขาดจากกัน

5.3 แนวทางพัฒนาต่อ

5.3.1 ในการควบคุมแขนกลระยะไกลสิ่งที่คำนึงถึง คือผลตอบสนองของเวลา (response time) หลังจากได้ทำการสั่งงานแขนกล ซึ่งต้องการระบบ Real time เพื่อให้ได้การทำงานที่ถูกต้องตามที่ต้องการทันที

5.3.2 เพิ่มความแข็งแรงของแขนกลโดยใช้วัสดุอื่นในการทำโครงสร้างของแขนกล

5.3.3 เพิ่มความละเอียดในการควบคุมแขนกลโดยใช้เซอร์โวมอเตอร์หรือสเต็ปมอเตอร์ที่มีความละเอียดมากขึ้นหรือใช้วิธีการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมแขนกลแบบอื่นๆ

5.3.4 เพิ่มมุมภาพที่ได้ โดยการเพิ่มกล้องเว็บแคมอีกหนึ่งตัว

5.3.4 สามารถนำหลักการไปประยุกต์ในการพัฒนาระบบควบคุมแขนกลในการใช้งานจริงได้

เอกสารอ้างอิง

[1] เดชฤทธิ์ มณีธรรม และสำเริงเต็มราม. **คัมภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.** กรุงเทพฯ : เคทีพีคอมพ์ อินด์ คอนซัลท์. 2548.

[2] อรรถวิทย์ สุดแสง. **"แขนกล."** [Online]. Available : http://www.cp.eng.chula.ac.th/~attawith/class/mani.pdf. 2551.

[3] อ.ขจร อนุดิตย์. **การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยภาษา C.** นนทบุรี : Core Function. 2550.

[4] ทวี ว่องชาญกิต. "**การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม.**" [Online]. Available : http://www.jobpub.com/articles/showarticle.asp?id=151.2000. 2551.

[5] สมชาย ทองคำ. "**สเต็ปปิ้งมอเตอร์.**" [Online]. Available : http://www.chontech.ac.th/~electric/html/stepermoter.htm. 2551.

[6] วัชรินทร์ เดารพ. "**คู่มือการใช้งาน Servo Motor.**" [Online]. Available : http://pirun.ku.ac.th/~archsrc/From_Word_PDF/Servo%20motor.pdf. 2546.

[7] นายศรายุทธ หอยสังข์ และนางสาวหัสยา โตมณีพิทักษ์. "**ไฟร์วอลล์และระบบความปลอดภัยบนเครือข่ายกรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยนเรศวร.**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2544.

[8] นพปฎล กุลจรรยาวิวัฒน์. "**คำอธิบายเกี่ยวกับเรื่อง Port.**" [Online]. Available : http://www.sans.org/infosecFAQ/securitybasics/port.htm. 2551.

[9] สนั่น ศรีสุข. "**Internet Programming With Winsock.**" [Online]. Available : http://thanwa.cpe.mut.ac.th/sanun/courses/winsock/winsockprog.pdf. 2551.

[10] "**Servo Futaba S3003.**" [Online]. Available : http://www.hobbyproject.com/air/popup_image.php?pID=1243. 2551

[11] "**Servo MG series.**" [Online]. Available : http://www.towerpro.com.tw/pdtlist.asp?area=50&cat=163. 2551.

[12] นายชาติชาตรี แสวง. "**การพัฒนาการส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตRS-232.**" [Online]. Available : http://campus.en.kku.ac.th/~coe2008-13/?q=node/24. 2551.

[13] "**Online Electronic Component.**" [Online]. Available : www.alldatasheet.com. 2551.

[14] ศุภกิจ ทองดี. "**การใช้งาน Winsock Control.**" [Online]. Available : http://www.sourcecode.in.th/articles.php?id=2. 2551.

ภาคผนวก ก

การเขียนโปรแกรมติดต่อกล้องเว็บแคม

การเขียนโปรแกรมติดต่อกล้องเว็บแคมจะมี 3 ขั้นตอนคือ

1. การสร้าง Capture window

ก่อนอื่นจะต้องสร้าง Capture window เพื่อเตรียมรอรับภาพจากกล้องเว็บแคมและกำหนดรายละเอียดอื่นๆในฟังก์ชัน capCreateCaptureWindow เช่น กำหนด nWidth=640 และ Height=480 ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ ให้กำหนดเท่ากับ 0

```
mCapHwnd = capCreateCaptureWindow("Webcamcapture", 0, 0, 0, 640, 480, _picDisplay.hwnd,
0)
```

2. การส่งเมสเสจจาก Windows ไปยัง Capture window

เมื่อสร้าง Capture window เสร็จแล้ว จะทำการส่งเมสเสจ CONNECT ไปยัง Capture window สำหรับติดต่อกับกล้องเว็บแคม

```
SendMessage mCapHwnd, CONNECT, 0, 0
```

เมื่อสามารถติดต่อกับกล้องเว็บแคมได้แล้ว จะทำการส่งเมสเสจเพื่อรับภาพจากกล้องเว็บแคม และนำไปเก็บในหน่วยความจำ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

```
SendMessage mCapHwnd, GET_FRAME, 0, 0
SendMessage mCapHwnd, COPY, 0, 0
```

3. แสดงภาพบน Picture Box

จะทำการดึงภาพจากคลิปบอร์ดไปแสดงบน Picture Box ในอีเวนต์ของ Timer เพื่อแสดงภาพเคลื่อนไหวโดยนำภาพจากคลิปบอร์ดไปแสดงใน Picture Box

```
picDisplay.Picture = Clipboard.GetData
```

ตัวอย่างโค้ดของโปรแกรมติดต่อกล้องเว็บแคม

ในฟอร์ม

```
Option Explicit
Private Sub cmdStart_Click()
   mCapHwnd = capCreateCaptureWindow("WebcamCapture", 0, 0, 0, 640, 480, Me.hwnd, 0)
   DoEvents
      SendMessage mCapHwnd, CONNECT, 0, 0
      Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub cmdStop_Click()
   DoEvents: SendMessage mCapHwnd, DISCONNECT, 0, 0
      Timer1.Enabled = False
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
   SendMessage mCapHwnd, GET_FRAME, 0, 0
   SendMessage mCapHwnd, COPY, 0, 0
   picDisplay.Picture = Clipboard.GetData
   Clipboard.Clear
End Sub
```

ในโมดูล

```
Option Explicit
Public Declare Function SendMessage Lib "USER32" Alias "SendMessageA" (ByVal hwnd As
Long, ByVal wMsg As Long, ByVal wParam As Long, lParam As Any) As Long
Public Declare Function capCreateCaptureWindow Lib "avicap32.dll" Alias
"capCreateCaptureWindowA" (ByVal lpszWindowName As String, ByVal dwStyle As Long,
ByVal X As Long, ByVal Y As Long, ByVal nWidth As Long, ByVal nHeight As Long, ByVal
hwndParent As Long, ByVal nID As Long) As Long
Public mCapHwnd As Long
Public Const CONNECT As Long = 1034
```

```
Public Const DISCONNECT As Long = 1035
Public Const GET_FRAME As Long = 1084
Public Const COPY As Long = 1054
```

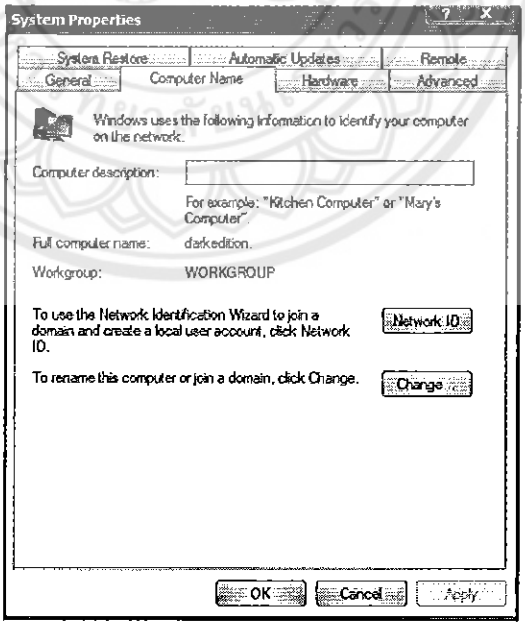
ภาคผนวก ข

การเขียนโปรแกรมผ่านระบบ LAN

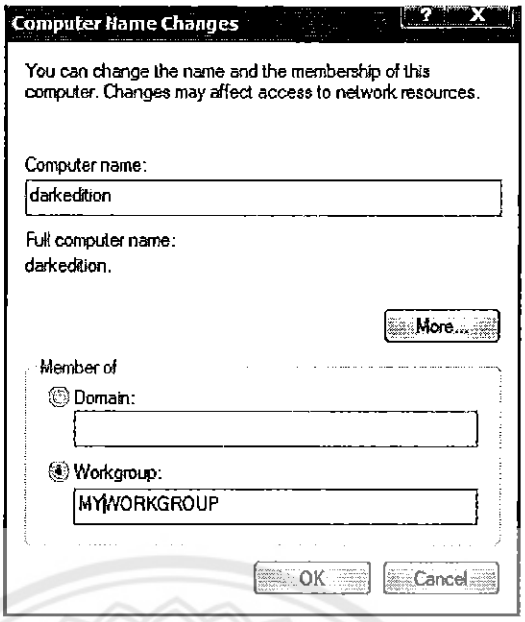
จะต้องทำการกำหนด WorkGroup ให้กลุ่มของคอมพิวเตอร์ที่เราต้องการจะเชื่อมต่อให้อยู่กลุ่มเดียวกันโดยทำตามขั้นตอนดังนี้

1. คลิกขวาที่ My Computer เลือกเมนูที่ Properties

2. เลือกแท็บ Computer Name แล้วกดปุ่ม “Change”



3. เปลี่ยนชื่อ WorkGroup ตามที่ต้องการ โดยที่ชื่อของตั้งชื่อของ WorkGroup จะถูกจำกัดไม่ให้เกิน 15 ตัวอักษร ซึ่งต้องตั้งชื่อ WorkGroup ของคอมพิวเตอร์ให้ตรงกันทั้ง 2 เครื่อง



4. เมื่อเปลี่ยนเสร็จแล้วให้กดปุ่ม “OK” จะมีข้อความแสดงการเข้าสู่กลุ่มคอมพิวเตอร์ใหม่

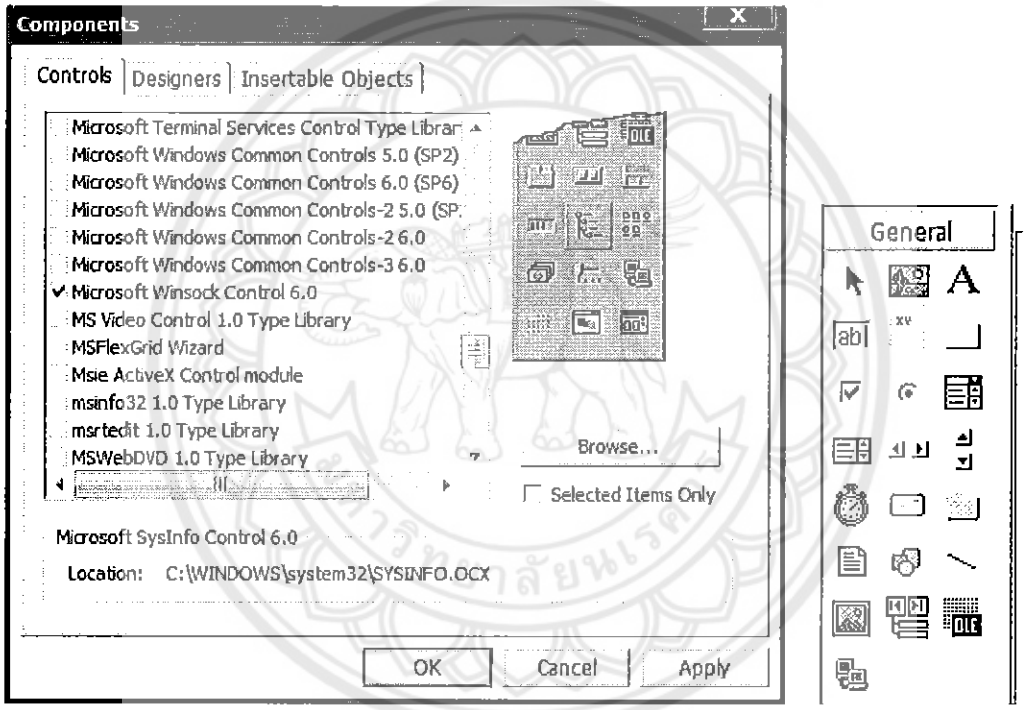
5. กดปุ่ม “OK” จากนั้นทำการ Restart คอมพิวเตอร์

เมื่อทำการเปลี่ยน WorkGroup และ Restart คอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่องก็จะได้WorkGroup ใหม่ที่มีคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องอยู่ในกลุ่ม

ภาคผนวก ค

การเขียนโปรแกรมส่งข้อความผ่านเครือข่าย

การเขียนโปรแกรมส่งข้อความผ่านเครือข่ายหรือที่เรียกว่าโปรแกรมแชท จะแบ่งโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเครื่องแม่ขาย และส่วนของเครื่องลูกข่าย โดยจะต้องทำการเพิ่มคอมโพเน้นท์ Microsoft Winsock Control โดยเลือกที่เมนู Project เลือก Components หรือกด Ctrl+T แล้วเลือกคอมโพเน้นท์ Microsoft Winsock Control 6.0 จะมีคอมโพเน้นท์ Microsoft Winsock Control ปรากฏบนทูลบาร์



การเขียนโปรแกรมส่วนของเครื่องแม่ข่าย

โค้ดตัวอย่างโปรแกรมส่วนของเครื่องแม่ข่าย

```
Option Explicit
Private Sub cmdsend_Click()
   If txtMessage = "" Then Exit Sub
      Winsock.SendData txtMessage
      DoEvents
         ListDisplay.AddItem "Server : " & txtMessage
         txtMessage.Text = ""
```

```
End Sub

Private Sub cmsDisconnect_Click()
   On Error Resume Next
   Winsock.Close
   Winsock.LocalPort = 188
   Winsock.Listen
End Sub

Private Sub Form_Load()
   Winsock.LocalPort = 188
   Winsock.Listen
End Sub

Private Sub Winsock_Close()
   ListDisplay.AddItem "Disconnected"
End Sub

Private Sub Winsock_ConnectionRequest(ByVal requestID As Long)
   If Winsock.State <> sckClosed Then Winsock.Close
      Winsock.Accept requestID
      ListDisplay.AddItem "Connected"
End Sub

Private Sub Winsock_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
   Dim data As String
   Winsock.GetData data
ListDisplay.AddItem "Client : " & data
End Sub
```

การเขียนโปรแกรมส่วนของเครื่องลูกข่าย

โค้ดตัวอย่างโปรแกรมส่วนของเครื่องลูกข่าย

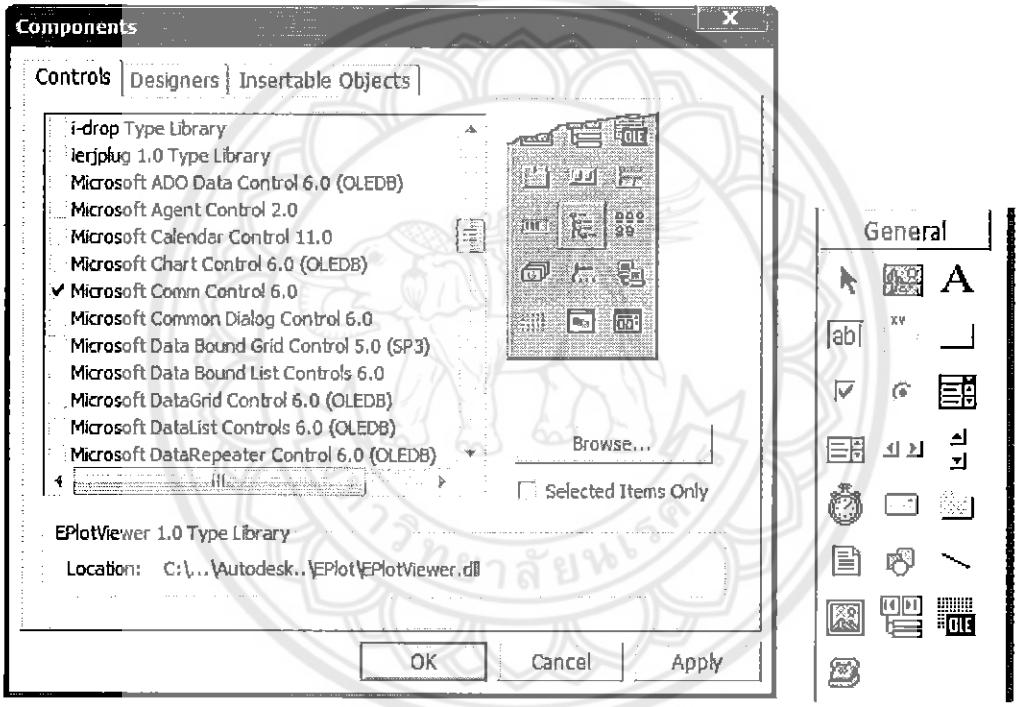
```
Private Sub cmdSend_Click()
   On Error Resume Next
      If txtMessage = "" Then Exit Sub
         Winsock.SendData txtMessage
         DoEvents
            ListDisplay.AddItem "Client : " & txtMessage
            txtMessage.Text = ""
End Sub

Private Sub cmdConnect_Click()
   On Error GoTo t
      Winsock.Connect txtIP, txtPort
      DoEvents
      Exit Sub
t:
   MsgBox Error
End Sub

Private Sub Form_Load()
End Sub

Private Sub Winsock_Close()
   ListDisplay.AddItem "Disconnected"
End Sub

Private Sub Winsock_Connect()
   ListDisplay.Clear
   ListDisplay.AddItem "Connected to " & Winsock.RemoteHostIP
End Sub
```

```
Private Sub Winsock_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
   Dim dat As String
      Winsock.GetData dat
      ListDisplay.AddItem "Server : " & dat
End Sub

Private Sub Winsock_Error(ByVal Number As Integer, Description As String, ByVal Scode As
Long, ByVal Source As String, ByVal HelpFile As String, ByVal HelpContext As Long,
CancelDisplay As Boolean)
      MsgBox "Error : " & Description
End Sub
```

ภาคผนวก ง

การเขียนโปรแกรมควบคุมการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

การเขียนโปรแกรมควบคุมการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมจะต้องทำการเพิ่มคอนโทรล MSComm (Communication) ซึ่งเป็นคอนโทรลที่ช่วยในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม โดยจะต้องทำการเพิ่มคอมโพเน้นท์ Microsoft Comm Control 6.0 โดยเลือกที่เมนู Project เลือก Components หรือกด Ctrl+T แล้วเลือกคอมโพเน้นท์ Microsoft Comm Control 6.0 จะมีคอมโพเน้นท์ Microsoft Comm Control ปรากฏบนทูลบาร์



โค้ดตัวอย่างโปรแกรมรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

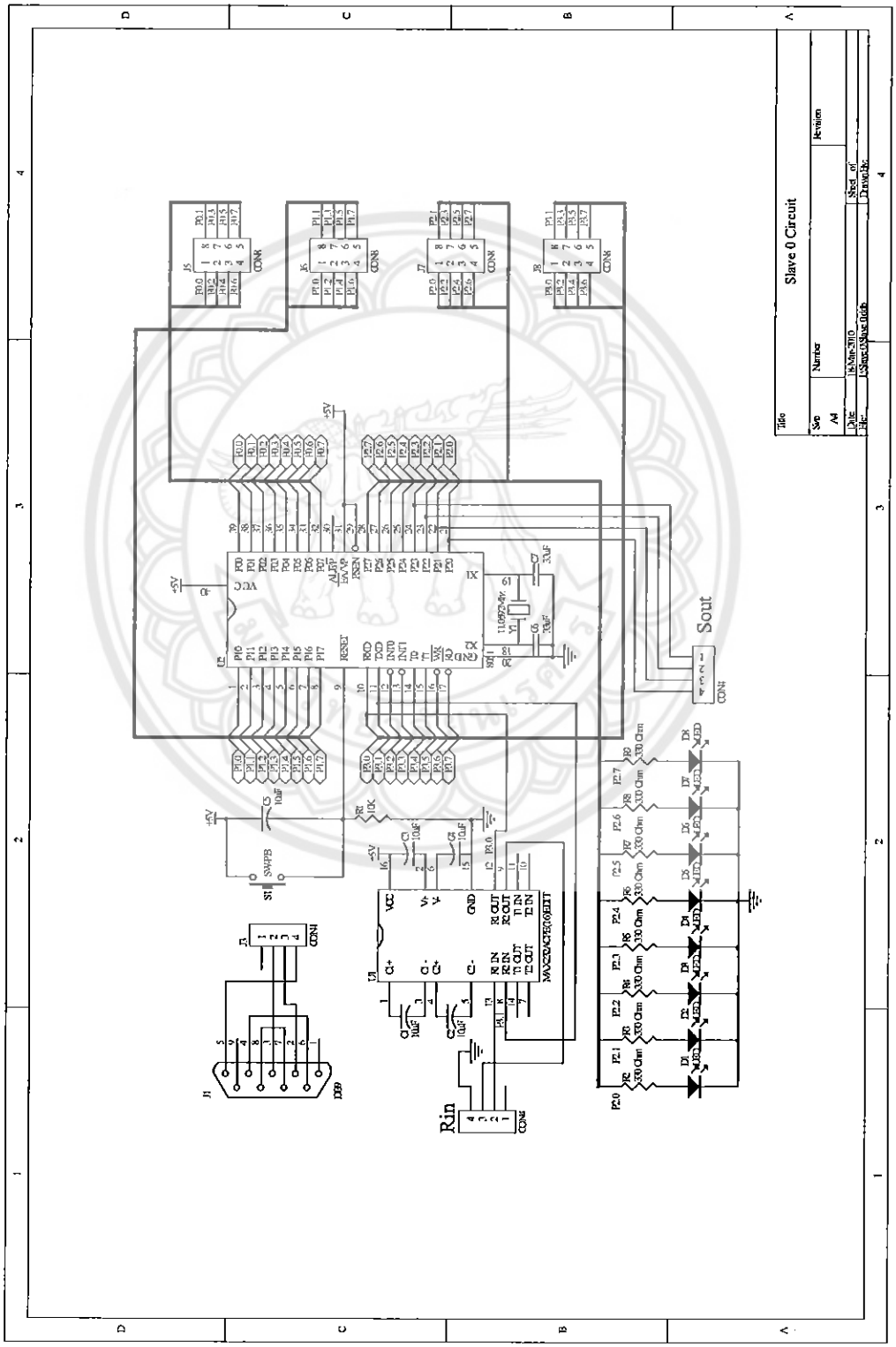
```
Option Explicit
Private Sub cmdSend_Click()
   If MSCom.PortOpen Then
      MSCom.Output = txtSend.Text & vbCrLf
      txtSend.Text = ""
      txtReceive.Refresh
      txtSend.SetFocus
   End If
```

```
End Sub

Private Sub cmdOpenPort_Click()
   MSCom.PortOpen = True
End Sub
Private Sub Form_Load()
   MSCom.Settings = "2400,N,7,1"
   MSCom.CommPort = 1
End Sub

Private Sub MSCom_OnComm()
   Dim buffer As Variant
   Dim msg As Integer
      If MSCom.CommEvent = comEvReceive Then
        buffer = MSCom.Input
        txtReceive.Text = txtReceive.Text & buffer
        txtReceive.Refresh
      End If
End Sub
```

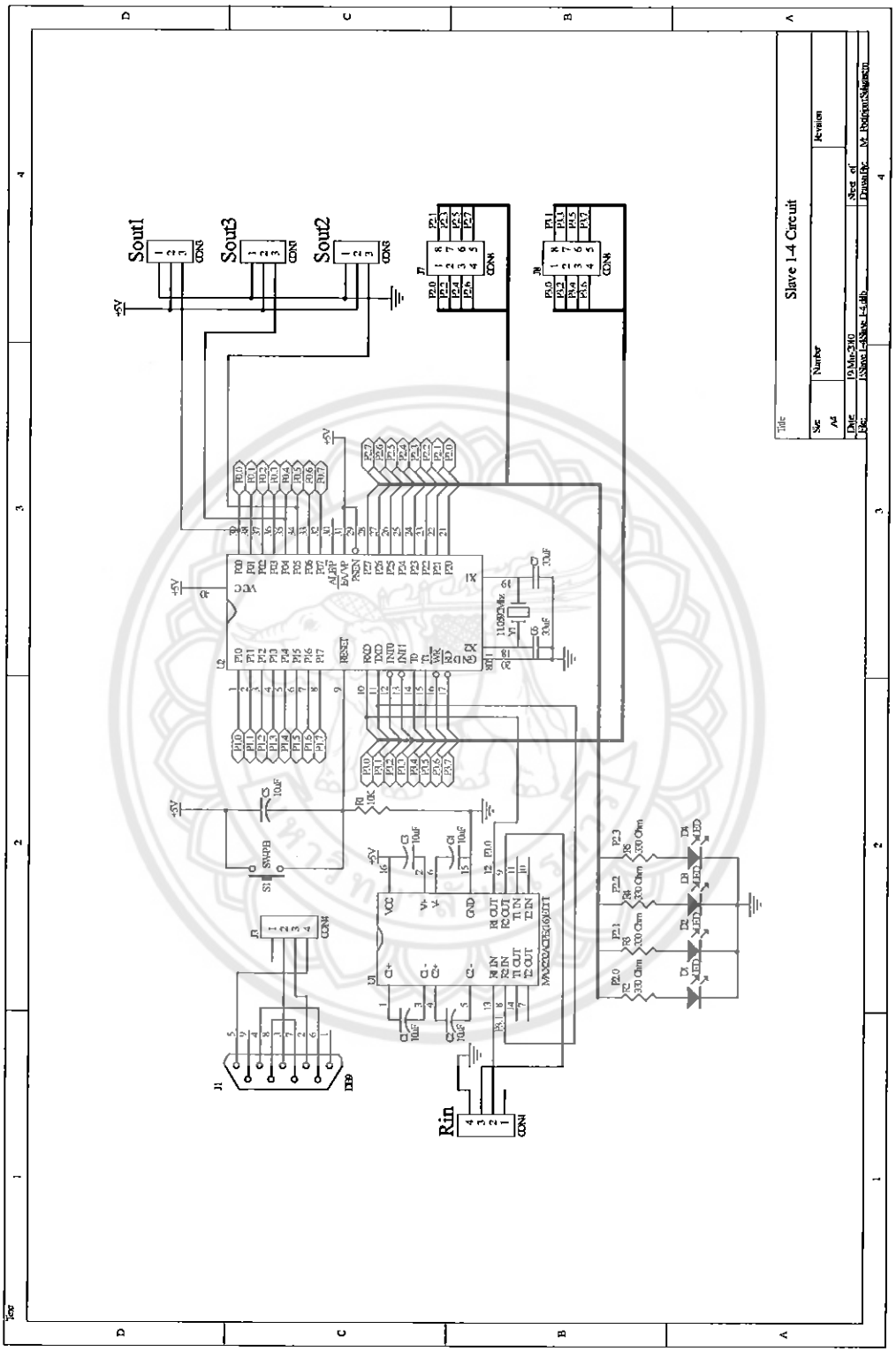
ภาคผนวก จ

วงจรบอร์ดต่างๆที่ใช้ในโครงงาน

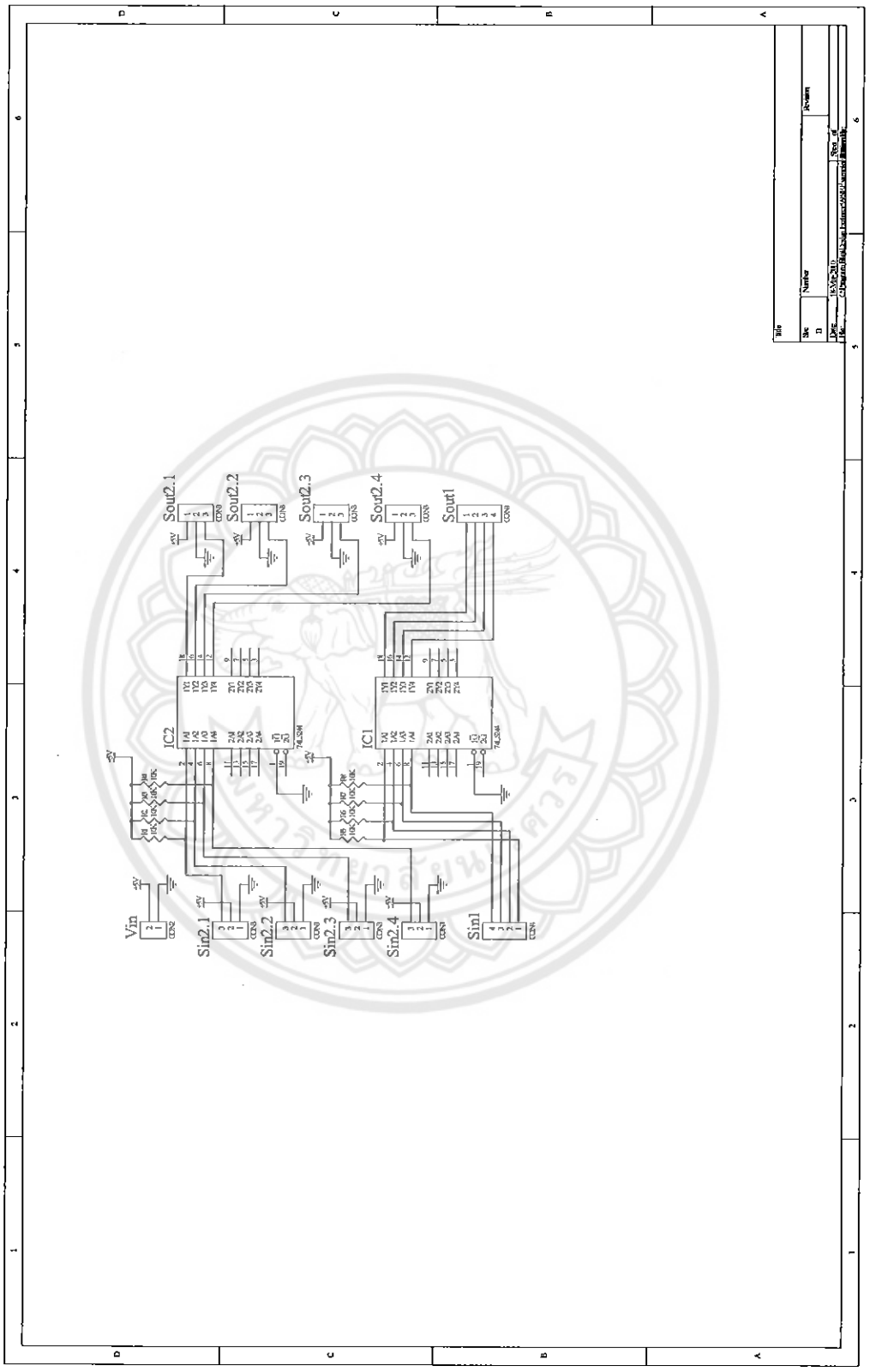
วงจรที่ใช้ประกอบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 0



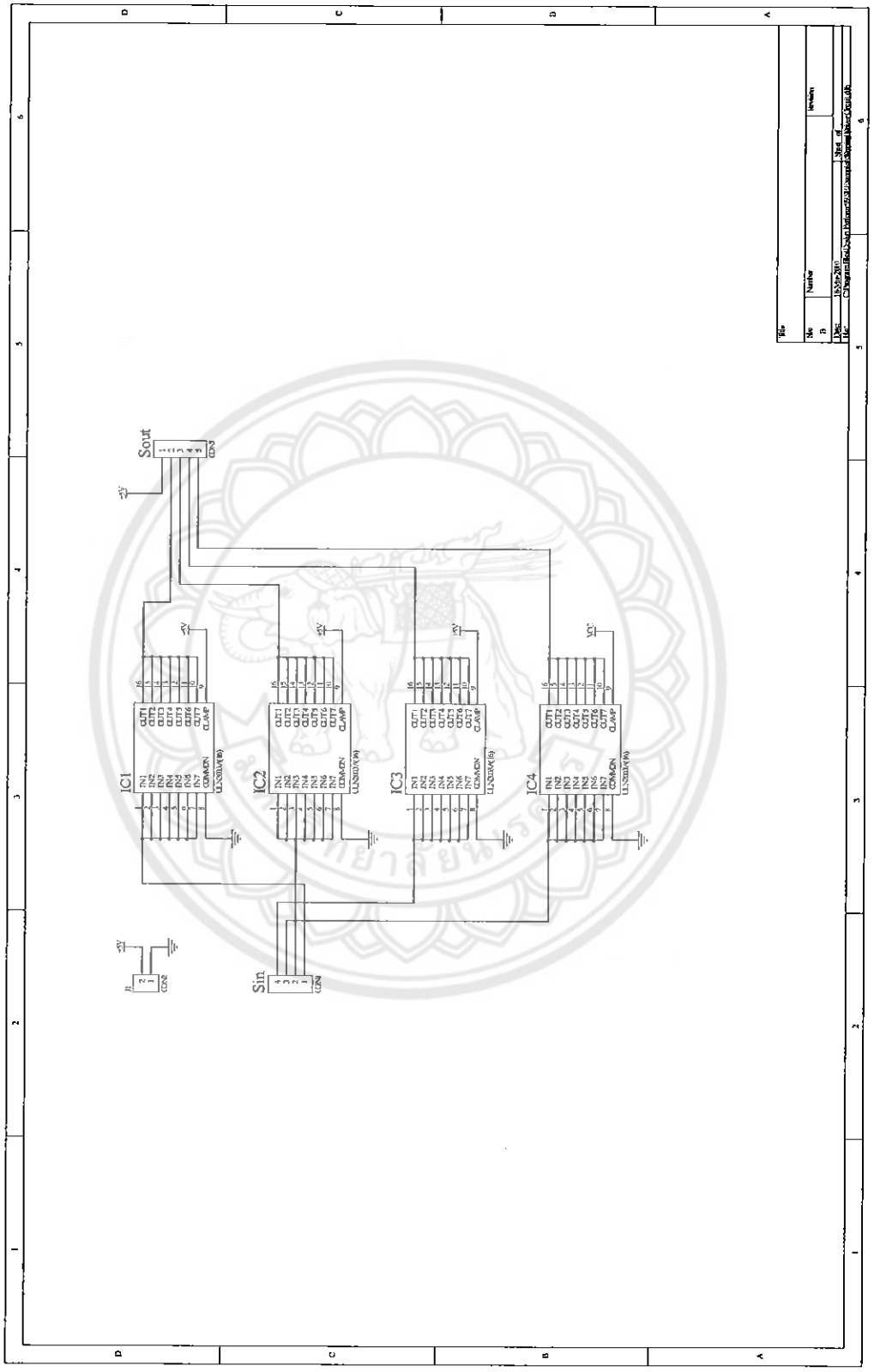
วงจรที่ใช้ประกอบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave 1 ถึง Slave 4



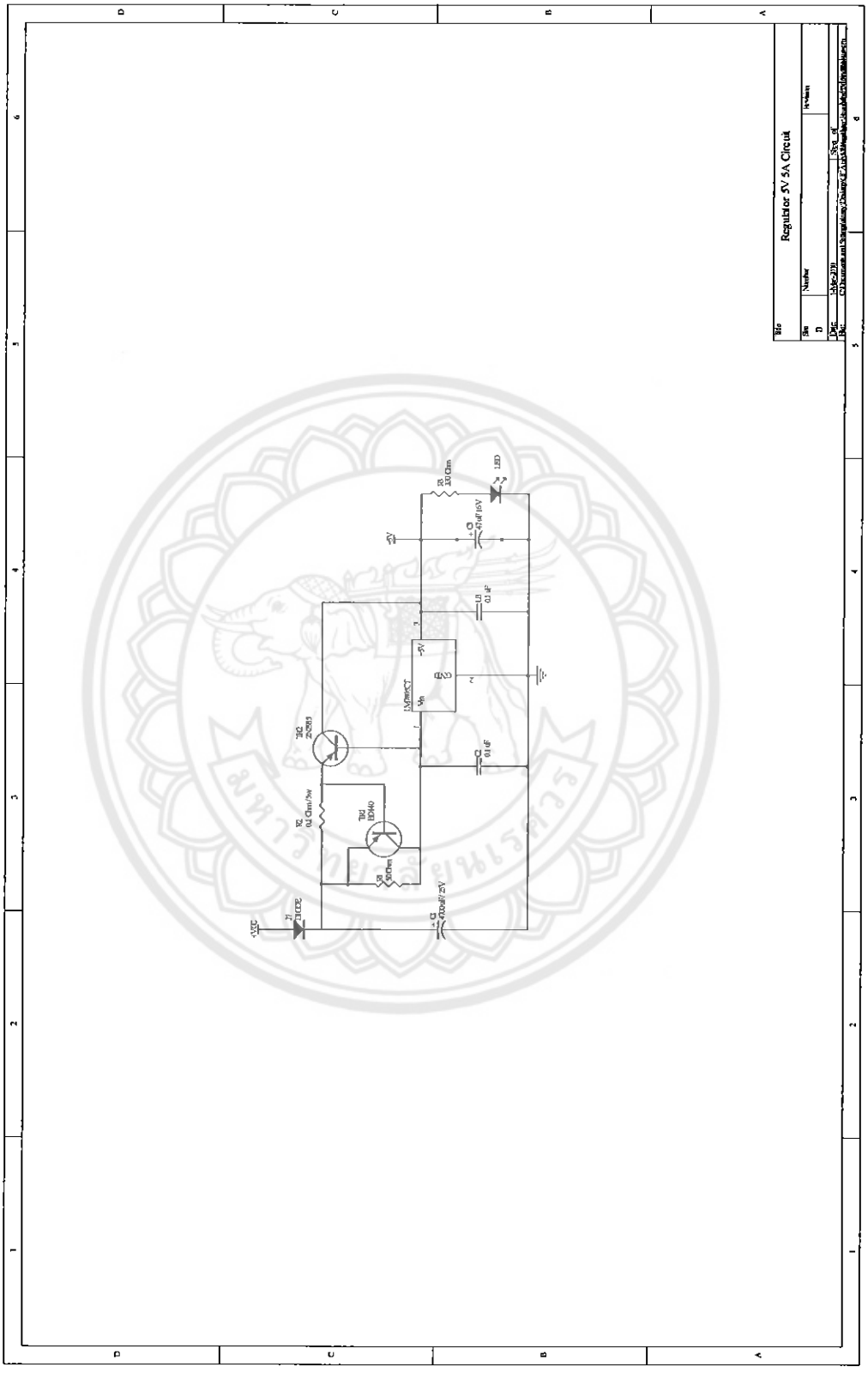
วงจรที่ใช้ประกอบบอร์ดขยายกระแสให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์



วงจรที่ใช้ประกอบบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์

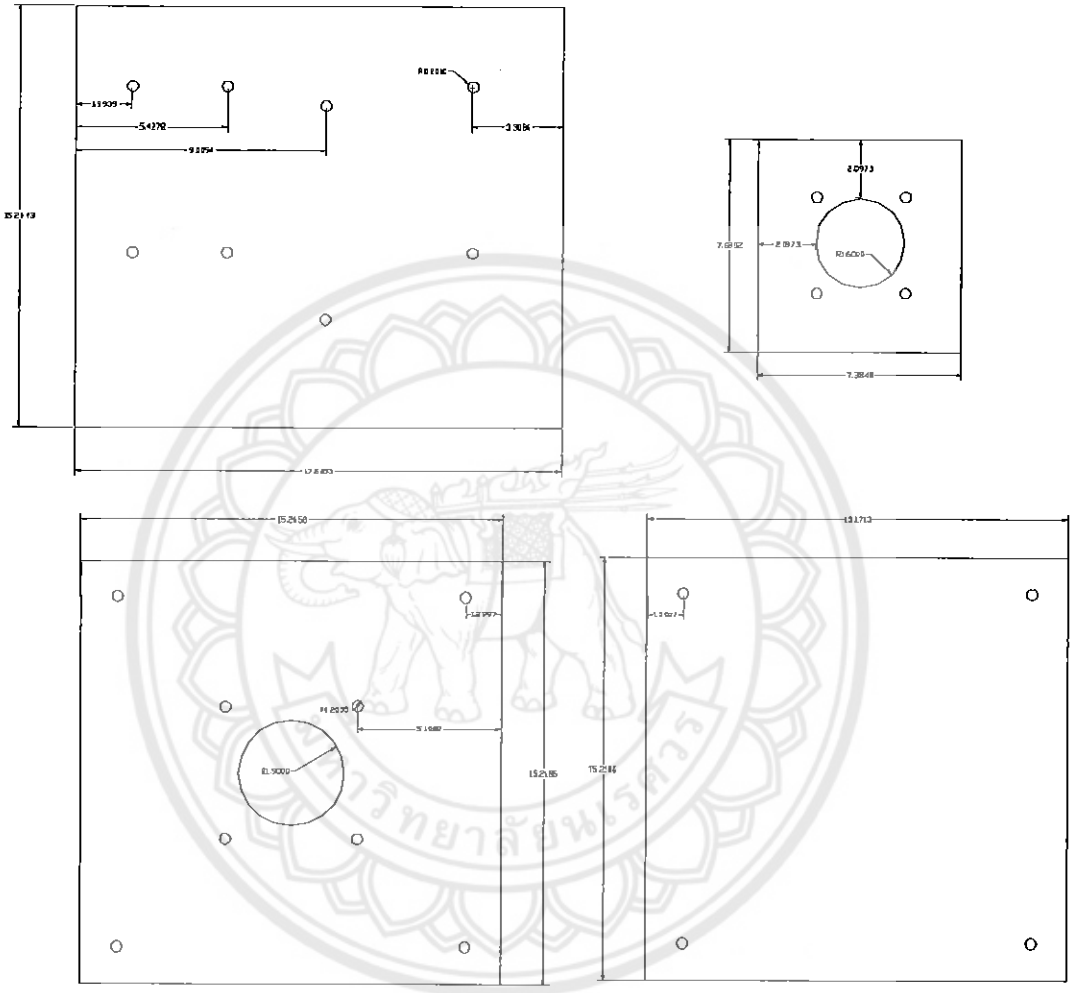


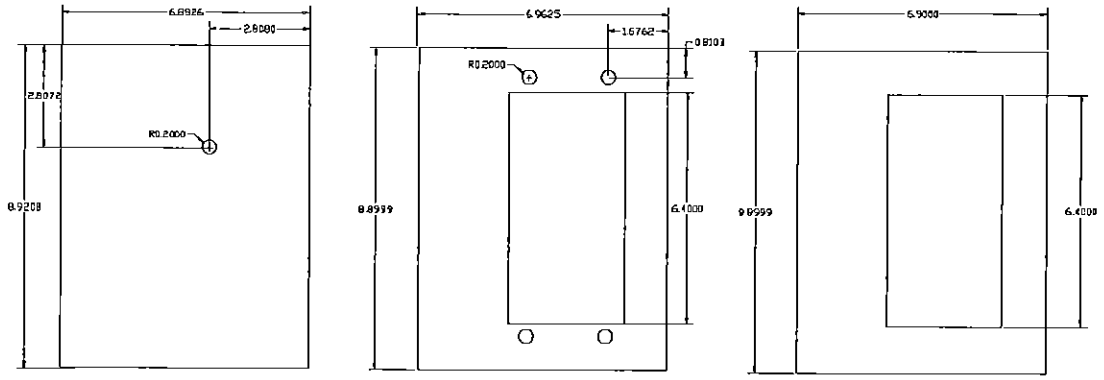
วงจรจ่ายไฟ 5V 5A

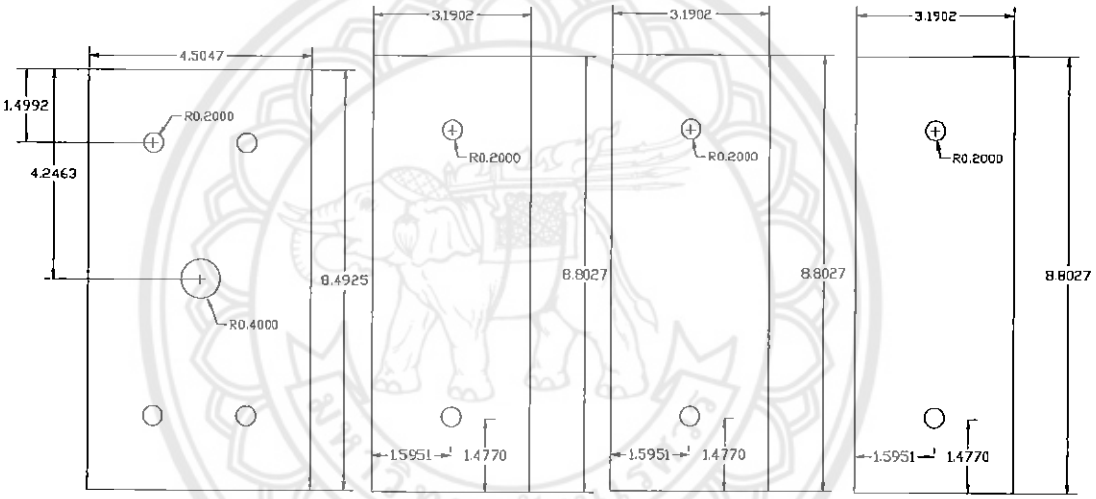


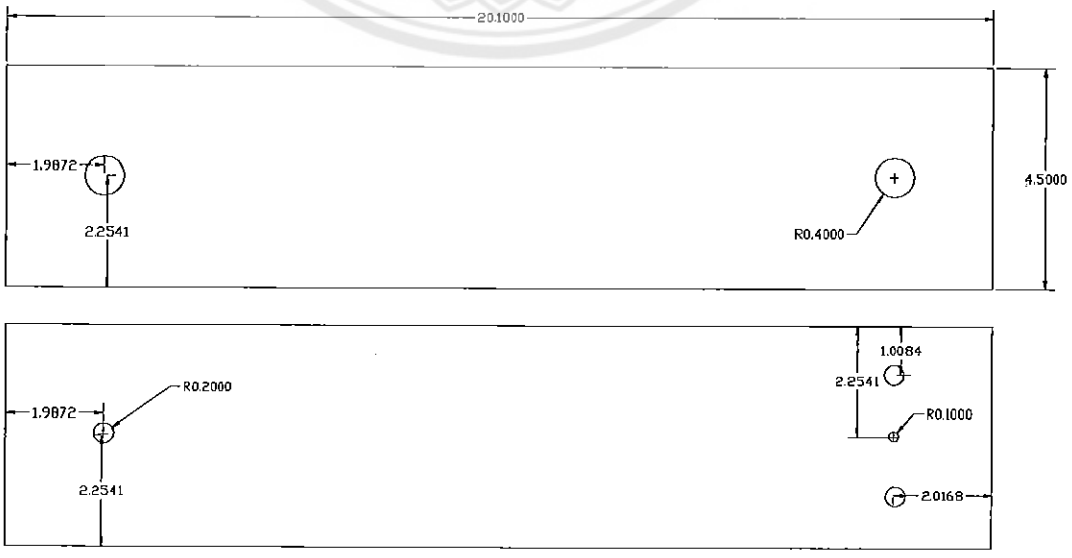
ภาคผนวก ฉ

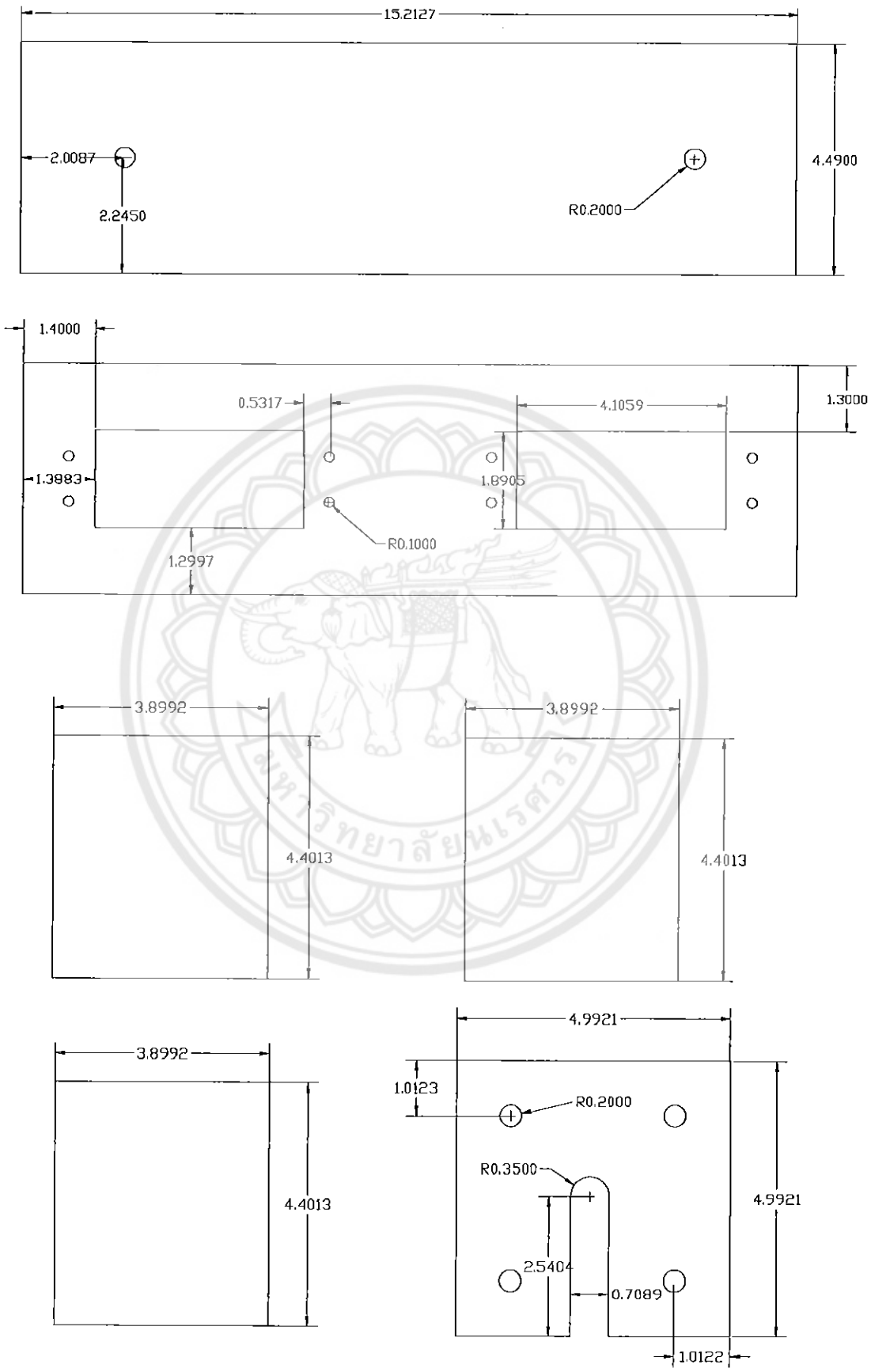
แบบร่างของแขนกลที่ใช้ในโครงงาน



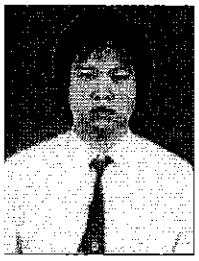

6.8926
2.8000
2.8072
R0.2000
8.9208
6.9625
1.6762
0.8103
R0.2000
8.8999
6.4000
5.9000
8.8999
6.4000


3.1902
4.5047
1.4992
R0.2000
4.2463
R0.4000
8.4925
R0.2000
8.8027
1.5951
1.4770
3.1902
R0.2000
8.8027
1.5951
1.4770
3.1902
R0.2000
8.8027
1.5951
1.4770


20.1000
1.9872
2.2541
R0.4000
4.5000
1.9872
R0.2000
2.2541
1.0084
2.2541
R0.1000
2.0168


15.2127
2.0087
2.2450
R0.2000
4.4900
1.4000
0.5317
4.1059
1.3000
1.3983
1.8905
R0.1000
1.2997
3.8992
4.4013
3.8992
4.4013
3.8992
4.4013
4.9921
1.0123
R0.2000
R0.3500
4.9921
2.5404
0.7089
1.0122

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน



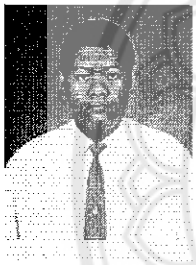
ชื่อ นายธนพงษ์ มั่นต่าย

ภูมิลำเนา 34/6 ถ. ศรีมาลา ต. ในเมือง อ. เมือง จ. พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพิจิตรพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **talent_xii@hotmail.com**



ชื่อ นายพูลพิพัฒน์ สุขเกษม

ภูมิลำเนา 15/5 ถ. อาทิตย์วงค์ ต. ในเมือง อ. เมือง จ. พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- จบระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) จากวิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **yokee_playboy99@hotmail.com**