



ระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกล

Robot Arm Motion Control System

นายธนวรรธน์ เกเรียงไกร รหัส 40360315
นายพิทักษ์ กต้ายุน รหัส 40360406
นายอวิศักดิ์ พรวาณเยย รหัส 40360588

๑๖.๙.๒๕๖๒ ๗.๐๘.๒๕๖๒	๑๖.๙.๒๕๖๒ ๗.๐๘.๒๕๖๒
๒๖.๙.๒๕๖๒	๒๖.๙.๒๕๖๒
๙๔๐๐๑๙๗	๙๔๐๐๑๙๗
TJ	TJ
๑๑	๑๑
๘๑๕๔๘	๘๑๕๔๘

๑๕๐๙๐๙๘๒ ๙.๒
๙.๒
๙/๕๔๙ -
๙/๕๓
๙/๕๔๘

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาจักรกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา ๒๕๔๓



ใบรับรองโครงการนิวัชัย

หัวข้อโครงการ	ระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกล		
Performance	Robot Arm Motion Control System		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายธนวรรธน์ เกเรยงไกร	รหัส 40360315	
	นายพิทักษ์	คล้ายชน	รหัส 40360406
	นายอภิศักดิ์	พรหมฝ่าย	รหัส 40360588
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ปัญญา เหล่าอนันต์ธนา		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. แฉทรียา อัคสูญเนิน		
สาขา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะกรรมการสอบโครงการงานวิจัย

.....ประธานกรรมการ (อาจารย์ปัจญ เหลาอนันต์ธนา)

.....
(อาจารย์มุกขิตา วงศ์จันทร์).....
.....
.....

ก. จด

หัวชื่อ โครงการ : ระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกล
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายธนวรรษน์ เกรียงไกร รหัส 40360315
 นายพิทักษ์ คล้ายชุม รหัส 40360406
 นายอภิศักดิ์ พรมฝน รหัส 40360588
 อาจารย์ที่ปรึกษา : อ. ปัญญา เหลาอนันต์ชนา
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อ. แฉทรียา อัคสูงเนิน
 สาขาวิชา : วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 ปีการศึกษา : 2543

บทคัดย่อ

โครงการนี้ เป็นการศึกษาระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกลอุตสาหกรรม 6 แนวแกน KAWASAKI UNIMATE MACHINE ชนิด 260 RIS6 ที่อยู่ในโครงการนี้ได้ทำการคัดแปลงจากเดิม 6 แนวแกนเป็น 5 แนวแกน เพื่อจัดการดูแลการณ์ของแขนกลไม่พร้อม ในโครงการนี้ประกอบไปด้วย คณิตศาสตร์ของแขนกล, ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์แบบ PID, การสื่อสารข้อมูลอนุกรม, วงจรต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุม และการเขียนโปรแกรมคิดต่อ กับผู้ใช้งาน พิชี โดยในรายงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบควบคุมที่สามารถควบคุมแขนกลให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ได้ ซึ่งในอนาคตเราจะพัฒนาและปรับปรุงให้สามารถควบคุมผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

Project Title : Robot Arm Motion Control System
Name : Mr.Thanawat Kreingkar ID. 40360315
 Mr.Pitak Khlaichom ID. 40360406
 Mr.Apisak Phromfaiy ID. 40360588
Project Advisor : Mr.Panya Louwanantana
Co- Project Advisor : Miss Cattareeya Adsoongnoen
Field of Study : Computer Engineering
Department : Electrical and Computer Enginering
Academic Year : 2000

Abstract

This project is studied about robot arm motion control of KAWASAKI UNIMATE MACHINE TYPE 260 RIS6 that is controlled by microcontroller. But the robot is not complete, so we have modify from 6 axis to 5 axis robot. We represent about mathematical of robot manipulation, computer control type PID, serial data communication, circuit in controller and graphic user interface on PC. The purpose of this project is controlled the position of industrial robot. In future, we will develop this industial robot for control on internet network.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่ทำให้โครงการนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะอาจารย์ปัญญา เหลาอนันธ์นา และ อาจารย์กวน สนธิเพ็ญพูน ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้และคำปรึกษาระหว่างทำโครงการนี้ และขอบคุณชาวโรมอุท เพื่อนๆ และน้องๆทุกคนที่มาช่วยงาน

นายธนาวรรณ เกรียงไกร
นายพิทักษ์ ค้ำยชน
นายอภิศักดิ์ พรมพ่าย



สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิจัย	ก
บทคัดย่อ	ข
ABSTRACT	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	ษ
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	๑
1.2 วัสดุประสงค์ของโครงการ	๑
1.3 ข้อมูลของโครงการ	๑
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	๒
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	๓
1.6 งบประมาณที่ใช้	๓
บทที่ 2 หลักการและคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม	๔
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 8051	๔
2.2 หลักการออกแบบวงจรซิงโครนัส ซีเควนเชียร์	๒๓
2.3 ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์แบบ PID	๒๓
2.4 ออนเดิคัลอิ้น ก็อกเดอร์	๓๐
2.5 การแปลงในแขนกลหลายแกน	๓๕
2.6 การคำนวณการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์	๔๑
2.7 การสร้างพิกัดย่อโดยการคิดแบบคิวบิก สไปน์	๔๓
บทที่ 3 วิธีการออกแบบ, สร้างวงจร และเขียนโปรแกรมระบบควบคุม	๔๙
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้	๔๙
3.2 การออกแบบวงจร	๕๒

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การปรับค่า K_p , K_i และ K_d ของตัวควบคุมแบบ PID	62
3.4 การคำนวณทางคณิตศาสตร์หุ่นยนต์	64
3.5 แนวคิดการเขียนโปรแกรม	68
บทที่ 4 ผลการทดลองและการทำงานของโปรแกรม	86
4.1 โครงสร้างทางภาษาพาราฟอฟของแขนกุด	86
4.2 ผลการหาค่าเค้าท์เตอร์เทียบกับมุม 1 องศา	87
4.3 ค่า K_p , K_i และ K_d	89
4.4 การทำงานของโปรแกรมในส่วนติดต่อกับผู้ใช้	92
4.5 ตักษณะของแขนกุดที่ดำเนินการต่าง ๆ	94
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	97
5.1 สรุปผลการทดลอง	97
5.2 ประเมินผลโครงการ	97
5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข	98
5.4 เมื่อหมายในอนาคต	98
บรรณานุกรม	99
ภาคผนวก	100
ประวัติผู้ทำโครงการ	108

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการระบบความคุ้มการเคลื่อนไหวของแขนกล	2
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงไฟOCRคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัทอินเทล	5
ตารางที่ 2.2 โหมดการทำงานของพอร์ตอุปกรณ์	10
ตารางที่ 2.3 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการสื่อสารข้อมูลอุปกรณ์ SCON	10
ตารางที่ 2.4 แฟลชสถานะของรีจิสเตอร์ในการรับข้อมูล	14
ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงอัตราทดความเร็วที่นิยมใช้กันในการสื่อสารอุปกรณ์ โดยการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับการกำหนดอัตราทดโดยใช้ Timer 1	15
ตารางที่ 2.6 การนิยมอกว่าข้อมูลเป็นหมายเลข decimal เครดิตหรือเป็นข้อมูลปกติ	18
ตารางที่ 2.7 แสดงค่าพิกัด X, Y, Z ในแต่ละช่วงเวลาซึ่งໄດ້ເລືອກຕ້ອງຢ່າງນາ 11 ຕ້ອງຢ່າງຈາກ 1000	47
ตารางที่ 3.1 การปรับค่าตามกฎของไซเกอร์และนิโคล วิธีที่ 1	63
ตารางที่ 3.2 การปรับค่าตามกฎของไซเกอร์และนิโคล วิธีที่ 2	64
ตารางที่ 4.1 ค่าคาดคะเนของเลขฐาน 16 ของแต่ละแกนที่มุนต่าง ๆ	87
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าคาดคะเนของรีเซอร์กับค่าองศา	88
ตารางที่ 4.3 ค่าคาดคะเนของรีเซอร์เทียบกับมุน 1 องศา	88
ตารางที่ 4.4 ค่า K ของแต่ละแกน	91

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพบล็อกแสดงหน่วยทำงานพื้นฐานของ MCS-51	6
รูปที่ 2.2 การกำหนดหน้าที่ขาสัญญาณของไอซี 8051	7
รูปที่ 2.3(a) ข้อมูลสื่อสารแบบอนุกรม ข้อมูลนี้นำไปต่อสู่การส่งออก คร่าวๆ ก็คือเป็นลำดับ จนครบทั้งหมด	8
รูปที่ 2.3(b) ข้อมูลสื่อสารแบบขนาน ข้อมูลแต่ละบิตภาคในหนึ่งไบต์ จะถูกส่งออกมาพร้อมกัน	8
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรส่วนการรับและส่งข้อมูล อนุกรมของ 8051	9
รูปที่ 2.5 แผนภาพเวลาของสัญญาณอนุกรมโหมดศูนย์	12
รูปที่ 2.6 รูปแบบของสัญญาณข้อมูลอนุกรมในโหมด 1 ซึ่งมีลักษณะ เดียวกับรูปแบบของการต่อสายแบบซิ่ง โกรนัตที่ใช้ข้อมูล 8 มิติ บิตเริ่มต้นและบิตสุดท้ายอย่างละ 1 มิติ	13
รูปที่ 2.7 รูปแบบของสัญญาณข้อมูลอนุกรมในโหมด 2 ซึ่งมีลักษณะ รูปแบบการต่อสายที่ใช้บิตข้อมูลจำนวน 9 มิติ บิตเริ่มต้น และบิตสุดท้ายอย่างละ 1 มิติ	16
รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อ 8051 หลายตัว ในลักษณะการทำงานแบบยานพา ภูมิ เล็กซ์ และฟูดคูฟลีก	17
รูปที่ 2.9(a) การส่งข้อมูลแยกเครื่องสำหรับการติดต่อกับสภาพไฟ helyle 02H	19
รูปที่ 2.9 (b) การรับและส่งข้อมูลระหว่างสเปเฟไฟ helyle 02H กับมาตรฐาน เตอร์โคลบินไม่มีผลให้เกิด อินเตอร์รัปต์กับสภาพไฟ helyle อื่น ๆ ภายในระบบ	19
รูปที่ 2.10 แผนภาพการทำงานของ 8051 ที่ทำหน้าที่เป็นมาตรฐานเตอร์	21
รูปที่ 2.11 แผนภาพการทำงานของ 8051 ที่ทำหน้าที่เป็นสเปเฟ	22
รูปที่ 2.12 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	24

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.13 การทำงานของตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด	25
รูปที่ 2.14 การควบคุมแบบ P	26
รูปที่ 2.15 คีลาร์ต อินทิเกรต	27
รูปที่ 2.16 คีลาร์ต ดิฟเฟอเรนเชียลชั่น (Discrete differentiation)	27
รูปที่ 2.17 บล็อกไซโอดแกรมของการควบคุมแบบ PID	28
รูปที่ 2.18 เอ็น โคดเคอร์เพิ่มค่าสัมบูรณ์ 3 มิติ	29
รูปที่ 2.19 เอ็น โคดเคอร์แบบค่าสัมบูรณ์แบบ รหัสเกรย์ (Gray code)	31
รูปที่ 2.20 เอ็น โคดเคอร์เพิ่มค่า	32
รูปที่ 2.21 เอ้าศพุตของเอ็น โคดเคอร์แบบเพิ่มค่า	33
รูปที่ 2.22 แผนภาพเวลา (Timing diagram) ของเอ็น โคดเคอร์แบบเพิ่มค่า (a) นั้นขึ้น (b) นั้นลง	33
รูปที่ 2.23 การหมุนของ Θ_n รอบแกน z_n	34
รูปที่ 2.24 เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน z_n ด้วยระยะทาง d_n	37
รูปที่ 2.25 เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน x_{n+1} ด้วยระยะทาง a_n	37
รูปที่ 2.26 การหมุน α_n รอบแกน x_{n+1}	38
รูปที่ 2.27 ผลของการแปลงระหว่าง จุดต่อ m และ จุดต่อ m+1	39
รูปที่ 2.28 แสดงการอินเวอร์ส คิเนมเติกส์ ของแขนกล 2 แขน	40
รูปที่ 2.29 แสดงระบบการควบคุมเครื่องจักรแบบ 3 แกน	42
รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดกับเวลา	46
รูปที่ 2.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา	47
รูปที่ 3.1 ภาพโดยรวมของระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกล	48
รูปที่ 3.2 วงจรบอร์ด 8952	51
รูปที่ 3.3 วงจรบอร์ดอินเตอร์เฟส	53
รูปที่ 3.4 วงจรไครเวอร์นอเตอร์	54
	57

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของวงจรตีโคดเดอร์และเกาท์เตอร์	58
รูปที่ 3.6 วงจรดิจิตอลฟลีดเตอร์	58
รูปที่ 3.7 สถานะต่าง ๆ ของไฟสี A และไฟสี B	59
รูปที่ 3.8 แพทท์ไออยด์แగรนของวงจรลำดับ	59
รูปที่ 3.9 แผนภาพวงจรนับ 16 บิต	60
รูปที่ 3.10 วงจรสร้างสัญญาณทิศทาง (DIR)	60
รูปที่ 3.11 วงจรตีโคดเดอร์และเกาท์เตอร์	61
รูปที่ 3.12 ตัวควบคุมแบบ PID	62
รูปที่ 3.13 การตอบสนองแบบ S-shaped	62
รูปที่ 3.14 การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมแบบ P	63
รูปที่ 3.15 การเกิดองสัมภានตัดตัวขึ้นเวลา Pcr	64
รูปที่ 3.16 การหาทุนและการตั้งค่าเริ่มต้น	64
รูปที่ 3.17 การหา θ_4 ในแนวคิ่งและแนวระดับ	67
รูปที่ 4.1 โครงสร้างทางกายภาพของแขนกัน	86
รูปที่ 4.2 การเกิดองสัมภានตัดของระบบ	89
รูปที่ 4.3 การเคลื่อนไหวของแขนกันเมื่อใช้ค่า K จากการคำนวณ	90
รูปที่ 4.4 การเคลื่อนไหวของแขนกันเมื่อใช้ค่า K จากการลองผิดลองถูก	91
รูปที่ 4.5 หน้าต่างหลักของโปรแกรมในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้	92
รูปที่ 4.6 เมนูไฟล์	92
รูปที่ 4.7 หน้าต่างพอร์ตอนุกรม	93
รูปที่ 4.8 การป้อนค่าพิกัดที่ต้องการ	93
รูปที่ 4.9 หน้าต่างขอปั๊น	94
รูปที่ 4.10 ลักษณะของแขนกันหลังจากรีเซ็ตเกาท์เตอร์	95
รูปที่ 4.11 ลักษณะของแขนกันที่ตำแหน่ง 0 องศาทั้ง 5 แกน	95
รูปที่ 4.12 ลักษณะของแขนกันที่ตำแหน่ง (22,-13,0)	96

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.13 ลักษณะของแขนกลที่คำแหง (10,-20,0)

96



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันของการอุดหนากรรนในประเทศไทยได้เจริญก้าวหน้าไปมาก มีการใช้หุ่นยนต์เข้ามาทำงานในกระบวนการผลิต เมื่อจากสามารถลดต้นทุนลงได้มาก เพิ่มอัตราการผลิตทำงานในสภาพแวดล้อมที่ยั่งยืนได้ ทำให้สินค้ามีคุณภาพ กระบวนการผลิตมีความอ่อนตัวมากขึ้น ลดการสูญเสียวัสดุคิม สามารถควบคุมได้่ายและรวดเร็ว

แต่เทคโนโลยีนี้ มาจากการนำเข้าจากต่างประเทศ ราคาค่อนข้างแพง ทำให้บางโรงงานไม่สามารถนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ได้ เมื่อจากข้อจำกัดในด้านเงินทุน ดังนั้นเราจึงพยายามพัฒนาเทคโนโลยีทางค้านภัยน์ให้เท่าเทียมต่างประเทศ โดยพยายามลดผิวน้ำลงควบคู่กันไป เพื่อให้สามารถใช้เทคโนโลยีนี้ได้อย่างเพร่ำทากมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของดิจิทัลเซอร์โวมอเตอร์
- เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกล
- สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมได้
- เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีทางค้านภัยน์ในการควบคุมการผลิตของประเทศไทย

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกลโดยในส่วนของโครงสร้างของแขนกลนั้นนำมาจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ซึ่งการออกแบบระบบควบคุมจะใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (PC) เป็นทอร์นิโนล (Terminal) ซึ่งมีหน้าที่รับคำสั่ง

และแต่งตั้งโดยจะส่งข้อมูลให้กับระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการทำงานในระบบหลายโปรเซสเซอร์ (Multiprocessor) เพื่อความคุณการเคลื่อนไหวของแขนกลในแต่ละแกน ให้เคลื่อนที่และทำงาน ณ จุดต่างๆตามลำดับของคำสั่งที่โปรแกรมไว้แล้ว

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน โครงการระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกล

กิจกรรม	เดือน - ปี						
	มี.ค 43	เม.ย 43	พ.ค 43	มิ.ย 43	ก.ค 43	ส.ค 43	ก.ย 43
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ ดิจิทัลรวมอิเลคทรอนิกส์ และตรวจสอบ อุปกรณ์							
ศึกษารูปแบบคำสั่ง ที่ใช้ในการควบคุม แขนกลและออกแบบ แบบ ฮาร์ดแวร์							
ศึกษาAlgorithm ใน การวิเคราะห์ระบบ ควบคุมแต่ละส่วน							
ทดสอบและแก้ไข Algorithmแต่ละ ส่วน							
รวม Algorithm ทุก ส่วนและทดสอบ กับชิ้นงานจริง และ แก้ไขข้อผิดพลาด							

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เรื่องการควบคุมดิจิทัลโซลูชันอัตโนมัติ
2. ทำให้เกิดแนวความคิดในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอุตสาหกรรมได้

1.6 งานประจำเดือนที่ต้องใช้

ค่าวัสดุและค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมเป็นเงิน 3000 บาท



บทที่ 2

หลักการและคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม

2.1 ในโครงการコンโทรลเลอร์ตระกูล 8051

บรรดาในโครงการコンโทรลเลอร์ที่มีการผลิตจากบริษัทต่าง ๆ จำนวนมากนั้น ในโครงการคอนโทรลเลอร์จากบริษัท อินเทล (Intel Corporation) ในตระกูล MCS-51 ได้มีการนำไปใช้งานกันแพร่หลายมากนับตั้งแต่ปี ก.ศ. 1980 เป็นต้นมา ในระยะที่ผ่านมาได้มีอิทธิพลอย่างรุนแรง บริษัท Phillips และ Siemens เป็นต้น ได้รับสิทธิ์ในการไปผลิตจำนวนมากและได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพและหน่วยการทำงานต่าง ๆ มากขึ้น ทำให้ในปัจจุบันมีในโครงการคอนโทรลเลอร์จากผู้ผลิตต่าง ๆ ที่มีพื้นฐานมาจากในโครงการคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของบริษัทอินเทลอยู่เป็นจำนวนมาก

ในโครงการคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ประกอบด้วย ในโครงการคอนโทรลเลอร์คลาสชั้น (version) ซึ่งมีสถาปัตยกรรมพื้นฐานที่เหมือนกัน เพียงแต่มีขนาดหรือจำนวนของหน่วยทำงานภายในที่แตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมในงานประยุกต์ต่าง ๆ ตามความต้องการ ดังแสดงให้เห็นในตารางข้างบนที่ 2.1 โดยมีทั้งถักขยะที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตไปช่วงจรรูปความซุกซึ้งมาก (LSI) แบบ HMOS หรือ CMOS ซึ่งมีคุณลักษณะที่สูงมากขึ้น และสิ่งปล่องกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามาก อย่างไรก็ตามการอ้างถึงในโครงการคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในที่นี้จะเรียกว่า 8051 แทน

2.1.1 คุณลักษณะพื้นฐานของ 8051

จากแผนภาพในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงหน่วยการทำงานพื้นฐานของในโครงการคอนโทรลเลอร์เยอร์ต่าง ๆ ที่ข้อมูลภายในตระกูล MCS-51 นี้ ประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต (Boolean Processor)
- ความสามารถในการอ้างคำແນ่งของหน่วยความจำไปรrogram 64 กิโลไบต์
- ความสามารถในการอ้างคำແນ่งของหน่วยความจำข้อมูล 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำไปรrogram ภายในขนาด 4 กิโลไบต์ แบบอีพรอเม็ม (EPROM) เมอร์ 8751 หรือแบบรอม (ROM) เมอร์ 8051

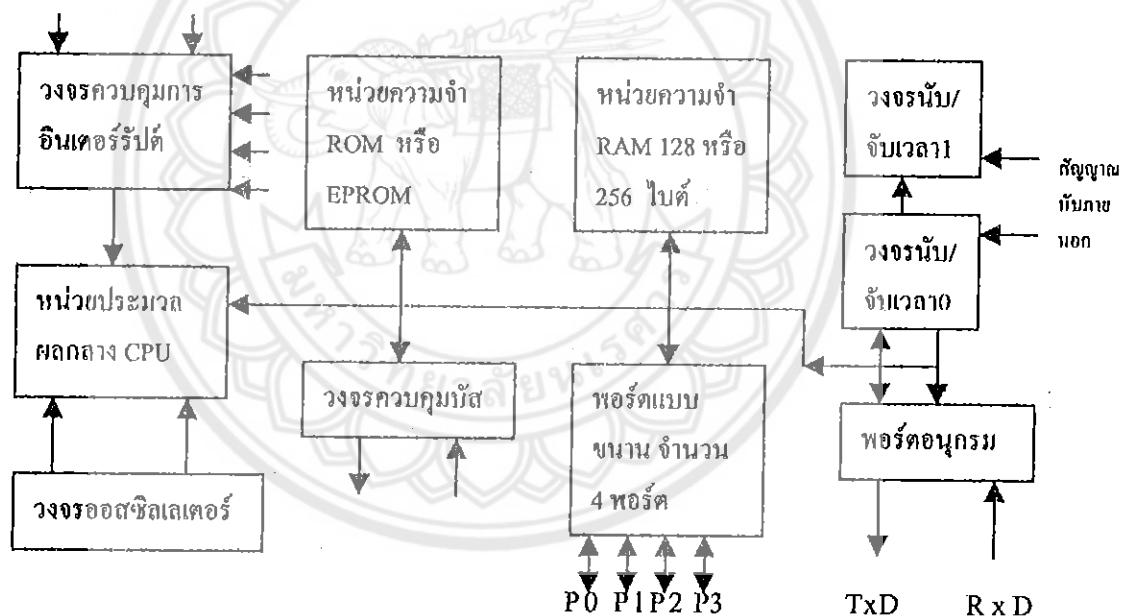
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงในโครงคอนโทรลเลอร์ระดับ MCS-51 ของบริษัทอินเตอร์
 (ที่มา : การใช้งานในโครงคอนโทรลเลอร์ระดับ 8051 สุนทร วิทยาลัยชุมชน)

EMBEDDED CONTROLLERS										
Feature	8051AH	8031AH	8731H	80C51BH	80C31BH	87CS1	8052AH	8032AH	8752	8044H
Program memory (Bytes)	4K	-	4K	4K	-	4K	8K	-	8K	4K
RAM Memory (Bytes)	128	128	128	128	128	128	256	256	256	194
Program Memory Expansion	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K
Data Memory Expansion	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K	64K
Max Clock Frequency (Mhz)	12	12	12	16	16	16	16	12	12	12
Typical instruction Time (uS)	1	1	1	0.75	0.75	0.75	1	1	1	1
16-bit Timer/counter	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2
Serial communications	Synchronous Mode, Asynchronous Mode, 9 or 10 – Bit Programmable									HDLC/ SDLC
No. of I/O Lines	32	16	32	32	16	32	32	16	32	32
Interrupt Sources	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5
(Two Priority Levels) Power Requirements 125	125	250	24	24	29	175	175	175	200	
(ICC Max. mA) Programmable Power Modes idlo power down	-	-	-	4.0 mA 50 uA	4.0 mA 51 uA	4.0 mA 52 uA	-	-	-	30 mA

- หน่วยความจำแบบแรม (RAM) ภายในจำนวน 128 ไบต์

- พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขานานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกทำงานได้อย่างอิสระ
- วงจรรับ/จับเวลาขนาด 16 บิต จำนวนสองชุด
- วงจรสำหรับแบบอนุกรมแบบฟูลดูปเล็กซ์ (Full Duplex)
- วงจรความคุณการอินเตอร์รัตจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภท พร้อมการกำหนดค่ากับความสำคัญได้สองระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

สัญญาณอินเตอร์รัปท์ภายนอก



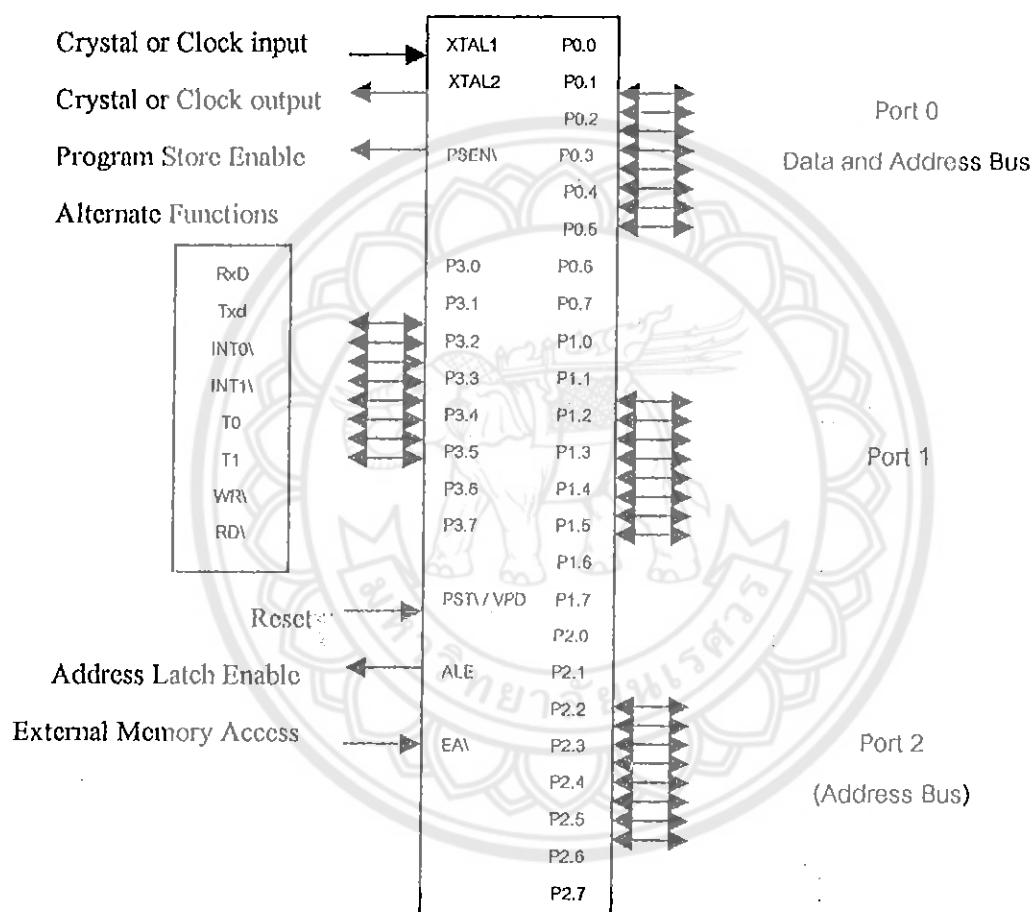
บัสแอคเคส/บัสข้อมูล

รูปที่ 2.1 แผนภาพบล็อกแสดงหน่วยทำงานเพื่องานพื้นฐานของ MCS-51

(ที่มา : การใช้งานในโครคون โทรลเลอร์ตระกูล 8051 สุนทร วิทยุสุรพงษ์)

โดยมากแล้วในโครค่อน โทรลเลอร์ตระกูลนี้ มักจะมีรูปร่างของไอซีเป็นแบบ DIP ขนาด 40 ขา ดังแผนภาพในรูปที่ 2.2 ซึ่งแต่ละขาสัญญาณจะมีหน้าที่ที่ระบุชัดเจนตามสัญลักษณ์ ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถที่สามารถใช้งานได้ เช่น พอร์ต串รีส์เอ็นเตอร์ (RS232C) ซึ่งสามารถใช้งานในเวลาเดียวกันได้

ตัวอย่างเช่น ขาสัญญาณบิต 0 ของพอร์ต 3 (ใช้ตัวย่อ P3.0) อาจจะใช้เป็นขาสัญญาณเอกสาร/อินพุตตามปกติ หรืออาจทำหน้าที่เป็นขาสัญญาโนินพุตของชุดมูลสื่อสารแบบอนุกรม (RxD) ให้กับวงจรสื่อสารแบบอนุกรมของ 8051 ได้ ซึ่งการกำหนดค่าจะทำงานในลักษณะใดก็ขึ้นอยู่กับการเขียนต่อวงจรเข้ากับขาสัญญาณและโปรแกรมควบคุมของระบบนั้น

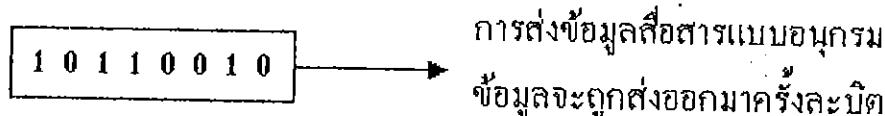


รูปที่ 2.2 การกำหนดหน้าที่ขาสัญญาณของไอซี 8051
(ที่มา : การใช้งานในโครงการเลอร์คระภุล 8051 ศูนย์วิทยุสื่อสาร)

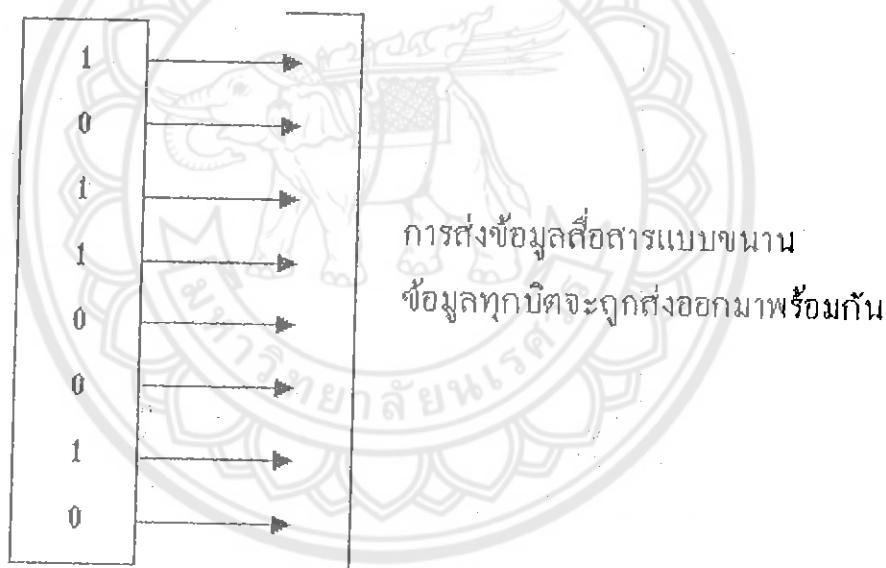
2.1.2 การต่อสารข้อมูลอนุกรม

การต่อสารข้อมูลอนุกรมเป็นการรับหรือส่งข้อมูลในลักษณะของบิตหรือกลุ่มของบิต คร่าวๆ หนึ่งบิตเป็นคำนับเรียบไปจนถึงศูนย์ การต่อสารแบบนี้จะมีข้อแตกต่างจากการต่อสารแบบขนาน เป็นอย่างมากเนื่องจากข้อมูลนี้การโอนเข้าเย็บพร้อมกันจึงมีความจำเป็นต้องใช้จานวนเส้นสัญญาณ

มากขึ้นตามจำนวนบิตของข้อมูลด้วยในขณะที่การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นต้องการเดินลักษณะเพียงสองหรือสามเด็นเท่านั้น ดังนั้นการสื่อสารแบบขนาดนี้ไม่เหมาะสมในการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกเป็นระยะทางไกลๆ เพราะจะทำให้เกิดแก้ไของค์ประกอบจำนวนมาก ลดลงพิจารณาเมริยมเพิ่มการสื่อสารทั้งสองประเภทได้จากรูปที่ 2.3 (a) และ 2.3 (b)



รูปที่ 2.3(a) ข้อมูลสื่อสารแบบอนุกรม ข้อมูลหนึ่งไบต์จะถูกส่งออกคราวละบิตเป็นลำดับ จนครบทั้งหมด

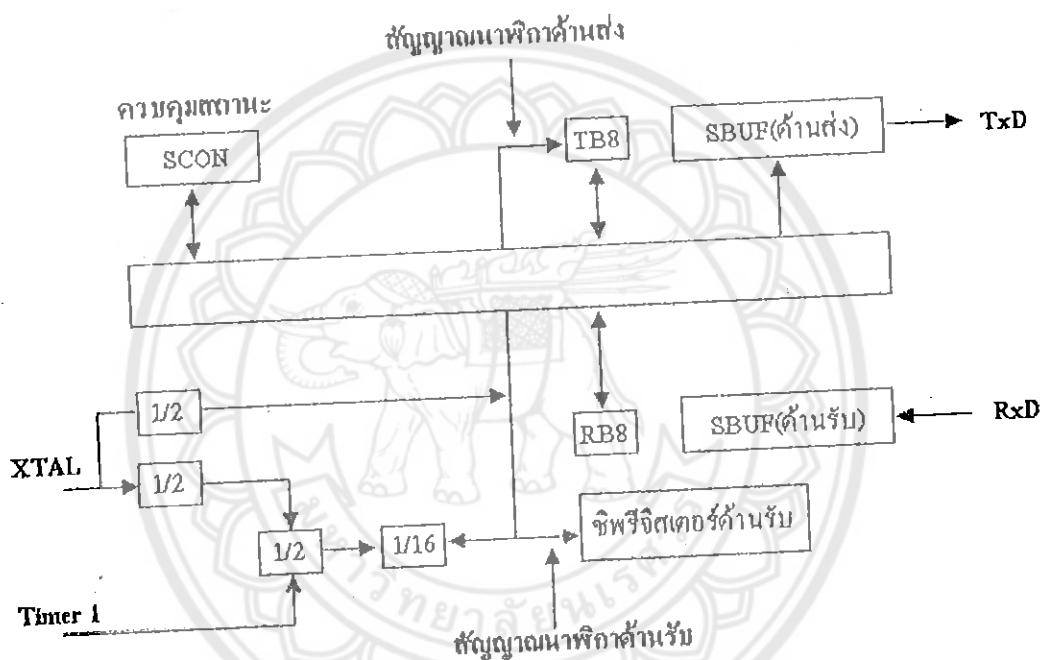


รูปที่ 2.3(b) ข้อมูลสื่อสารแบบขนาน ข้อมูลแต่ละบิตภายในหนึ่งไบต์จะถูกส่งออกมาพร้อมกัน
(ที่มา : การใช้งานในโทรศัพท์เคลื่อนที่และอุปกรณ์ 8051 สุนทร วิทยาลัยนานาชาติ)

2.1.3 การจัดการข้อมูลอนุกรมของ 8051

พอร์ตอนุกรมของ 8051 มีโครงสร้างการทำงานในแบบที่เรียกว่า ฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ซึ่งหมายความว่าสามารถในการรับและส่งข้อมูลอนุกรมในเวลาเดียวกัน จากรูปที่ 2.4

แสดงให้เห็นถึงแผนภาพการทำงานอย่างง่ายของวงจรส่วนจัดการข้อมูลนุกรมของ 8051 โดยทางด้านวงจรตัวส่ง ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ SBUF ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่จะส่งออก การใช้คำสั่งเปียนหรือโอนข้อมูลมาเข้ารีจิสเตอร์นี้จะเป็นการส่งข้อมูลนั้นออกไปยังพอร์ตต่อนุกรมทางขาสัญญาณ TxD โดยอัตโนมัติ ส่วนวงจรด้านตัวรับ ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ SBUF ผ่านเดียวกัน แต่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่นำมาจากส่วนของวงจรเลื่อนบิตหรือชิพรีจิสเตอร์ของวงจรจัดการข้อมูลนุกรมภายใน สัญญาณข้อมูลนุกรมที่รับเข้าจะผ่านมาทางขาสัญญาณ RxD



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรส่วนการรับและส่งข้อมูลนุกรมของ 8051
(ที่มา : การใช้งานในโครงการโทรศัพท์เคลื่อนที่ 8051 ศูนย์วิทยุฯ พ.ศ. ๒๕๕๔)

พอร์ตต่อนุกรมของ 8051 สามารถโปรแกรมให้ทำหน้าที่ในรูปแบบต่างๆ กันได้ โดยการกำหนดค่าบิต SMO และ SM1 ซึ่งอยู่ภายใต้รีจิสเตอร์ควบคุมและบอกสถานะ SCON ดังตารางที่ 2.3 ใหม่การทำงานทั้ง 4 แบบของพอร์ตต่อนุกรม มีดังนี้

ตารางที่ 2.2 โหนดการทำงานของพอร์ตอนุกรม

(ที่มา : การใช้งานในโครงการโทรศัพท์มือถือ 8051 สุนทร วิทยุสุราษฎร์)

โหนดการทำงาน	คำอธิบาย
โหนด 0	เป็นการขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต โดยทำงานร่วมกับชิปเร济สเตอร์ภายนอก ประเภทที่เปลี่ยนหรือซีนอลส์
โหนด 1	ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART (Universal asynchronous receiver / transmitter) โดยการใช้กู้น้ำข้อมูลแบบ 10 บิต และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการส่งข้อมูลได้
โหนด 2	ใช้สำหรับเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART โดยการใช้กู้น้ำข้อมูลแบบ 11 บิต และกำหนดอัตราเร็วในการส่งข้อมูลคงที่
โหนด 3	ใช้สำหรับเชื่อมต่ออนุกรมแบบ UART โดยการใช้กู้น้ำข้อมูลแบบ 11 บิต และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการส่งข้อมูลได้

นอกจากนี้โหนด 2 และ 3 ยังมีการดำเนินการแบบพิเศษอยู่ไป โดยสามารถนำมาราชีฟร์ไซซ์ในการสื่อสารข้อมูลแบบที่มีในโครงการโทรศัพท์มือถือ 8051 ได้ ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดเป็นลำดับไป

จากแผนภาพตารางที่ 2.3 ชิปเร济สเตอร์ภายในตัวส่งจะทำหน้าที่เลื่อนบิตข้อมูลออกไปภายนอกโดยไม่มีการบีฟเฟอร์ และเมื่อได้ให้มีการเปลี่ยนข้อมูลให้กับเร济สเตอร์ SBUF แสดงว่ามีความต้องการที่จะส่งข้อมูลนี้ออกไปแบบอนุกรม สำหรับชิปเร济สเตอร์ทางค้านรับจะทำการเลื่อนบิตข้อมูลที่รับเข้ามาเก็บไว้ เมื่อบิตของข้อมูลที่รับเข้ามายังรีบูตตามจำนวนที่กำหนดไว้ตามลักษณะโหนดการทำงานค่างๆแล้ว จะถูกย้ายไปเก็บยังเร济สเตอร์ SBUF ต่อไป อย่างไรก็ตามการเขียนข้อมูลนี้จะเกิดขึ้น ก็ต่อเมื่อเร济สเตอร์ SBUF นั้นไม่มีข้อมูลที่จะทำการส่งหรือได้ส่งข้อมูลออกไปเสร็จสิ้นแล้ว

ตารางที่ 2.3 เร济สเตอร์ควบคุมการทำงานและบิตสถานะการสื่อสารข้อมูลอนุกรม SCON

(ที่มา : การใช้งานในโครงการโทรศัพท์มือถือ 8051 สุนทร วิทยุสุราษฎร์)

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
S0	SCON.7	บิตเลือกโหนดการทำงาน
S1	SCON.6	บิตเลือกโหนดการทำงาน

SM2	SCON.5	แฟลีกกำหนดการทำงานแบบมัลติโปรดักชันเซอร์
REN	SCON.4	แฟลีกยอมให้มีการรับข้อมูล
TB8	SCON.3	ค่าของบิตที่ 9 สำหรับการส่งข้อมูลออก
RB8	SCON.2	ค่าของบิตที่ 9 ของข้อมูลที่รับเข้า
TI	SCON.1	แฟลีกแสดงการอินเตอร์รับปัตภัยหลังการส่งข้อมูล
RI	SCON.0	แฟลีกแสดงการอินเตอร์รับปัตเมื่อมีข้อมูลรับเข้า

2.1.4 การอินเตอร์รับปัตของการสื่อสารอนุกรม

เนื่องจาก การส่งหรือรับข้อมูลอนุกรมในการส่งข้อมูลไปบีตหนึ่งๆ ค่อนข้างจะใช้เวลานาน หลายมิติวินาที ดังนั้นเพื่อการจัดการเกี่ยวกับการสื่อสารแบบนี้เมื่อไปย่างมีประดิษฐ์ภาพ 8051 จึงได้กำหนดให้บิตหรือแฟลีกสถานะที่เกี่ยวข้องทั้งหมด จัดรวมอยู่ภายใต้รีจิสเตอร์ SCON เท่านั้น เช่น แฟลีก TI ซึ่งมีค่าเป็นหนึ่ง เพื่อแจ้งให้ทราบว่าได้รับข้อมูลผ่านเข้าทางพอร์ตอนุกรม เมื่อแฟลีกตัวใด ตัวหนึ่งนี่มีค่าเป็นหนึ่ง จะมีผลทำให้เกิดการอินเตอร์รับปัตขึ้น ดังนั้นภัยในโปรแกรมจะต้องทำการตรวจสอบจากสถานะของแฟลีกเหล่านี้อ่อนว่ามีการอินเตอร์รับปัตขึ้นด้วยสาเหตุใด หากนั้นจึงค่อยทำการกำหนดค่าถูบีตให้กับแฟลีกนั้น ถ้ากันจะดังก่อตัวนี้จะมีความแตกต่างไปจากการอินเตอร์รับปัตจากสัญญาณอื่นๆ เช่น วงจรนับ วงจรจับเวลา เมื่อต้น ซึ่งจะมีการกำหนดค่าถูบีตให้กับแฟลีกสถานะที่เกี่ยวข้องโดยอัตโนมัติ ภัยหลังจากที่ได้เข้าไปทำงานเบื้องต้นของโปรแกรมย่อมบริการอินเตอร์รับปัต ดังนั้นจึงขอให้สังเกตความแตกต่างในส่วนนี้ไว้ด้วย

2.1.5 กระบวนการรับและส่งข้อมูลอนุกรมของ 8051

การส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรมของ 8051 จะเริ่มต้นขึ้น ภัยหลังเมื่อมีการเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนี้จะถูกจัดการด้วยวิธีการทางค้านยาร์ดแวร์ในการเลื่อนบิตและส่งสัญญาณออกไปภายนอกโดยอัตโนมัติ เมื่อข้อมูลเหล่านี้ได้ส่งออกครบถ้วนแล้วจึงทำการกำหนดค่าของแฟลีก TI ให้เป็นหนึ่งเพื่อแจ้งให้ทราบว่า ขณะนี้รีจิสเตอร์ SBUF ว่าง และพร้อมที่จะส่งข้อมูลไปบีตต่อไปแล้ว ในกรณีที่ผู้ใช้เขียนข้อมูลใหม่ลงในรีจิสเตอร์ SBUF โดยไม่ต้องรอให้แฟลีก TI มีค่าเป็นหนึ่งก่อนจะมีผลทำให้ข้อมูลที่ส่งออกไปผิดพลาดได้

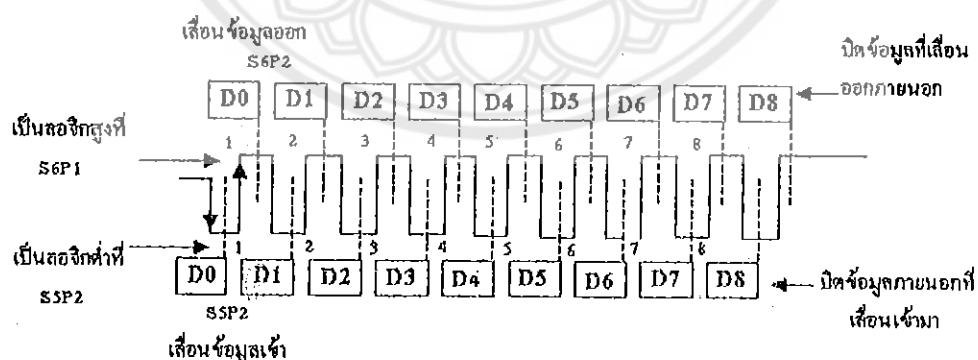
สำหรับการรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมจะต้องเริ่มต้นโดยการกำหนดค่าบิต REN (Receiver Enable) ให้มีค่าเป็นหนึ่งก่อน หลังจากนั้นเมื่อมีบิตของข้อมูลถูกส่งเข้ามาจากภายนอกรอบบีต ภาร์ดแวร์ของ 8051 จึงจะทำการเดื่อนบิตเหล่านี้เข้ามาโดยอัตโนมัติ และเมื่อบิตสุดท้ายถูกเดื่อนเข้า

เริ่บรือขแล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะถูกข้ายมาเก็บพัชรีสเตอร์ SBUF และทำการกำหนดให้ไฟล์ RI ให้มีค่าเป็นหนึ่ง ซึ่งมีผลทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์โปรแกรมขึ้น

2.1.6 พอร์ตต่อนุกรมใหม่ 0

การทำงานของพอร์ตต่อนุกรมในโหมดศูนย์ เป็นการขยายพอร์ตอินพุตหรือพอร์ตเอาต์พุตให้มีจำนวนมากขึ้น โดยจะทำการสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นเพื่อให้จังหวะของการทำงานที่พร้อมกันสำหรับการเลื่อนบิตเข้าหรือออกจากไอซีรีส์สเตอร์ภายนอก เมื่อมีการ โอนข่ายข้อมูลมาผังรีสเตอร์ ในแต่ละครั้งจะมีผลทำให้เกิดการส่งบิตข้อมูลทั้ง 8 บิตออกนา แบ่งว่าไฟล์ RI ยังคงมีค่าเป็นหนึ่งอยู่ก็ตาม นอกจากนี้แล้วเมื่อใดก็ตามค่าทางไฟล์ RI เป็นค่าหนึ่งก็ควรที่จะข้ายกข้อมูลที่รับเข้ามานั้นออกไปจากรีสเตอร์ SBUF เสียก่อนที่จะได้มีการกำหนดค่าไฟล์ RI ให้เป็นศูนย์เพื่อรับข้อมูลต่อไป

การทำงานของพอร์ตต่อนุกรมในโหมดศูนย์ เป็นการรับและส่งข้อมูลต่อนุกรมจำนวน 8 บิต โดยเพียงขาสัญญาณ RxD เท่านั้น ส่วนขาสัญญาณ TxD จะนำไปใช้เพื่อเป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการให้จังหวะการเลื่อนข้อมูลกับวงจรเลื่อนบิตภายนอก สำหรับอัตราการเลื่อนบิต จะถูกกำหนดให้ที่ค่าคงที่ที่ค่า 1/12 ของความถี่ของ oscillator จากฐานที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงแผนภาพเวลาสัญญาณต่างๆ ในโหมดศูนย์ เมื่อมีการรับและส่งข้อมูล 1 ไบต์ โดยสัญญาณนาฬิกา โดยสัญญาณนาฬิกาในการเลื่อนบิตนี้จะเกิดขึ้นในตัวของ 8051 เอง และมีจุดประสงค์เพื่อนำไปใช้สำหรับวงจรชิปรีส์เตอร์ภายนอกเท่านั้น



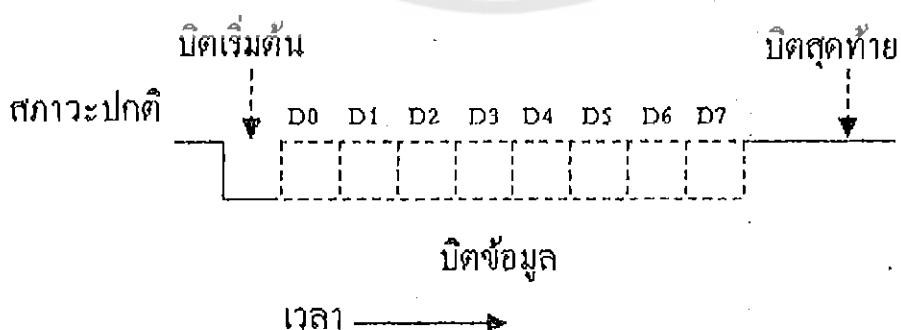
รูปที่ 2.5 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่อนุกรมโหมดศูนย์
(ที่มา : การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ระดับ 8051 ศุนทร วิทยาลัยฯ)

สัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นทางขาตัวอย่าง TxD นี้จะสั่นค่าไปมาจากระดับโลจิกสูงไปค่าในระหว่างไกด์เกิร์กับเวลาของขั้ลของสัญญาณ ALE ซึ่งอยู่ในความเวลาของซิลิเกเตอร์ที่ 15 ภาคหลังจากที่ได้ทำการสั่งการ โอนข้อมูลมาบังรีจิสเตอร์ SBUF หรือคำสั่งที่ทำให้ค่าเฟลิกสถานะ RI เป็นศูนย์ หลังจากนั้นสัญญาณนาฬิกาที่จะเปลี่ยนแปลงอีกรั้งระหว่างไกด์เกิร์กับเวลาของขั้ลของสัญญาณ ALE ในความเวลาของซิลิเกเตอร์หลังจากนั้นอีก 6 ภาค และจะดำเนินไปในลักษณะ เช่นนี้จนกระทั่งข้อมูลทั้ง 8 บิตได้ถูกส่งออกไปเรียบร้อยแล้ว เมื่อสัญญาณของขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกานี้เกิดขึ้นครบจำนวน 8 ครั้งแล้ว จึงจะมีผลทำให้เฟลิกสถานะ TI หรือ RI มีค่าเป็นหนึ่งขึ้น และสถานะของสัญญาณ TxD ที่จะเป็นระดับโลจิกสูงไปตลอด

ข้อมูลที่จะถูกส่งออกไปภายนอกจะถูกเก็บในบิตนับสำหรับต่อไปก่อนเป็นลำดับแรก โดยจะเริ่มนั้นในเวลาเริ่มต้นของความเวลาของซิลิเกเตอร์ ภายหลังจากที่ได้ทำการสั่งการ โอนข้อมูลมาบังรีจิสเตอร์ SBUF สำหรับบิตแรกของข้อมูลที่รับเข้ามานั้นจะถูกแต่งตั้งไว้ด้วยของข้ามของสัญญาณนาฬิกาในความเวลาของซิลิเกเตอร์ที่ 24 ภาคหลังจากที่ได้มีการกำหนดให้เฟลิกสถานะ RI เป็นค่าศูนย์ หลังจากนั้นในความเวลาของซิลิเกเตอร์อีก 12 ภาคต่อมาที่จะได้รับบิตต่อไป ซึ่งจะดำเนินการในลักษณะเช่นนี้จนกระทั่งได้จำนวนบิตข้อมูลครบทั้ง 8 บิต

2.1.7 พอร์ตบันดูรอนใหม่ค.1

การทำงานในใหม่ค.1 เป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมจำนวน 10 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น จำนวน 1 บิต บิตข้อมูลจำนวน 8 บิต และบิตสุดท้ายอีก 1 บิต ดังแสดงในรูป 2.6



รูปที่ 2.6 รูปแบบของสัญญาณข้อมูลอนุกรมในใหม่ค.1 ซึ่งมีลักษณะเดียวกับรูปแบบของการสื่อสารแบบอะตัง โครนัสที่ใช้ข้อมูล 8 บิต บิตเริ่มต้นและบิตสุดท้ายอย่างละ 1 บิต

(ที่มา : การใช้งานในโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล 8051 ศูนย์วิทยุสื่อสาร)

โดยข้อมูลจะถูกส่งออกไปทางขาสัญญาณ TxD และรับเข้ามาทางขาสัญญาณ RxD ในส่วนของข้อมูล 8 บิตที่ได้รับหรือทำการส่งออกจะเป็นบิตนี้สำคัญต่อไปนี้คือ สำหรับการส่งข้อมูลที่รับเข้ามานั้นก็จะได้รับในบิต RBB ภายในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลของในดังนี้สามารถกำหนดเลือกได้

ในการทำงานนี้สามารถใช้ในการติดต่อกับพอร์ตต่อสาระอนุกรมแบบ RS-232C ของเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ ดังนี้ในกรณีที่ให้เป็นข้อมูล 7 บิตและไม่ให้บิตที่ 8 เป็นบิตพาริตี้ก็อาจจะกำหนดค่าบิตนี้ให้เป็น 1 ซึ่งจะทำให้ด้านรับของบิตนี้เป็นบิตสุดท้ายไป สำหรับกรณีที่ 8051 เป็นฝ่ายรับข้อมูลของระบบเนี้ยซึ่งมีเพียง 7 บิต ก็จะมองค่าของบิตสุดท้ายของข้อมูลที่รับมาเป็นค่าของข้อมูลบิตที่ 8 แทนและบังคับรับบิตสุดท้ายต่อไป อย่างไรก็ตามนี่อาจก่อภาระด้านสัญญาณ ของบิตสุดท้ายนี้จะเป็นระดับถอยจิกสูงเช่นเดียวกับสภาพของสายสื่อสารเมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ดังนั้นระบบก็จะอ่านค่านี้เข้าไป ซึ่งก็ยังคงถือว่าถูกต้องตามหลักการโดยปริยาย

การส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นภายหลังจากที่ได้มีการเขียนหรือโอนข้อมูลเข้าไปยังรีจิสเตอร์ SBUF โดยผู้เขียนโปรแกรมจะต้องทำการตรวจสอบค่าของแฟลกสถานะ TI ภายในรีจิสเตอร์ SCON ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 ภายหลังที่ข้อมูลได้ถูกบันทึกต่อไป สำหรับการรับข้อมูลจะเริ่มนับตั้งแต่เมื่อได้มีการกำหนดค่า 1 ให้กับบิต REN และมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณที่ขาสัญญาณ RxD เกิดขึ้น การสุ่มอ่านค่าบิตข้อมูลเข้ามามาจะใช้อัตราเดียวกับอัตราบอร์ดที่ได้กำหนดไว้ในระหว่างการทำงานของบิตหลังจากที่ได้รับข้อมูลครบจำนวน 10 บิตแล้ว แนะนำว่าสภาพะตั้งในตารางด้านล่างนี้เกิดขึ้นก็จะมีผลให้เกิดการเข้าข้อมูลไปเก็บยังรีจิสเตอร์ SBUF

ตารางที่ 2.4 แฟลกสถานะของรีจิสเตอร์ในการรับข้อมูล

(ที่มา : การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ระดับ 8051 ศูนย์วิทยุฯ พจน์)

1	แฟลก RI มีค่าเป็น 0 (แสดงว่าได้มีการอ่านใบต์ของข้อมูลเข้ามาแล้ว และพร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไป)
2	ค่าของบิตสุดท้ายเป็น 1 (แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามานั้นถูกต้อง ซึ่งได้โอนเข้าไปเก็บยังรีจิสเตอร์ SBUF โดยไม่สนใจค่าของบิต SM2)

ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลที่รับเข้ามามีจำนวน 10 บิตนี้ ส่วนของบิตเริ่มต้นไม่ได้มีการนำไปใช้งานอีกต่อไป บิตข้อมูลจำนวน 8 บิตนี้จะถูกบันทึกไปเก็บยังรีจิสเตอร์ SBUF และส่วนของบิตสุดท้ายจะถูกนำไปเก็บในตำแหน่งของบิต RB8 ภายในรีจิสเตอร์ SCON นอกจากนี้ยังมีแฟลกสถานะ RI

ซึ่งจะเป็นค่าหนึ่ง เพื่อบอกสภาวะว่าได้มีการรับข้อมูลใหม่เข้ามาแล้ว ในกรณีที่โปรแกรมได้อ่านข้อมูลจากเรซิสเตอร์ SBUF แล้วแต่ไม่ได้กำหนดบิต RI ให้เป็นค่าศูนย์อีกครั้ง ข้อมูลที่รับเข้ามาใหม่หลังจากนั้นจะสูญหายไป

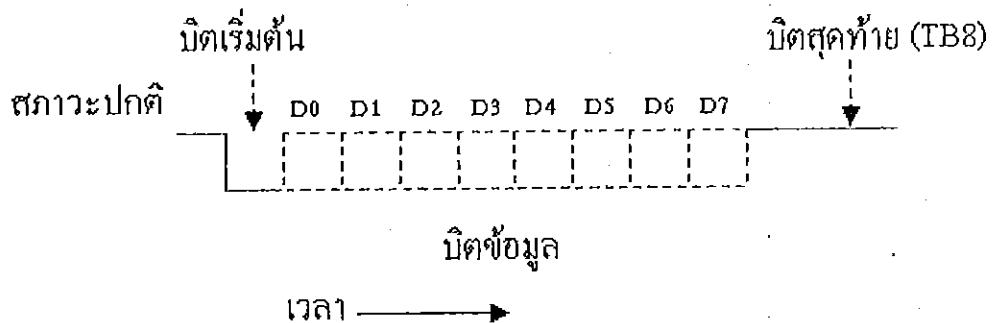
ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงอัตราบอคนาตรฐานที่นิยมใช้กันในการสื่อสารอนุกรม โดยการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆสำหรับการกำหนดอัตราบอคนาตรฐานโดยใช้ Timer 1

(ที่มา : การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ระดับ 8051 ศุนทร วิทยุสุรพจน์)

อัตราบอคนาตร (โหนด 1 และ 3)	ความถี่ของเรซิสเตอร์ (MHz)	บิต SMOD	C/T	MODE	Reload Value
62.5 K	12	1	0	2	FDh
19.2 K	11.059	1	0	2	FDh
9600	11.059	0	0	2	FDh
4800	11.059	0	0	2	FAh
2400	11.059	0	0	2	F4h
1200	11.059	0	0	2	E8h
1375	11.059	0	0	2	1Dh
110	6	0	0	2	72h
110	12	0	0	1	FEEBh

2.1.8 พอย์ตอันุกรรณ์โหนด 2 และ 3

การทำงานโหนด 2 หรือโหนด 3 ของพอย์ตอันุกรรณ์จะทำการรับส่งข้อมูล 11 บิต เช่นเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วย บิตเริ่มต้น บิตข้อมูลจำนวน 8 บิต บิตข้อมูลบิทที่ 9 และบิตสูคท้าบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แต่สำหรับโหนด 3 จะสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งข้อมูลໄให้ไม่ได้ถูกกำหนดไว้คงที่ เช่นในโหนด 2



รูปที่ 2.7 รูปแบบของสัญญาณข้อมูลอนุกรมในโหนด 2 ซึ่งมีลักษณะรูปแบบการสื่อสารที่ใช้บิตข้อมูลจำนวน 9 บิต บิตเริ่มต้นและบิตสุดท้ายอย่างละ 1 บิต
(ที่มา : การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ระดับ 8051 ศูนย์วิทยุฯ พ.ศ. ๒๕๕๗)

อัตราบอคโหนด 2

ความถี่อัตราบอค = $2 \text{ SMOD} / 32 \times \text{ความถี่ของซิลิคอน}$

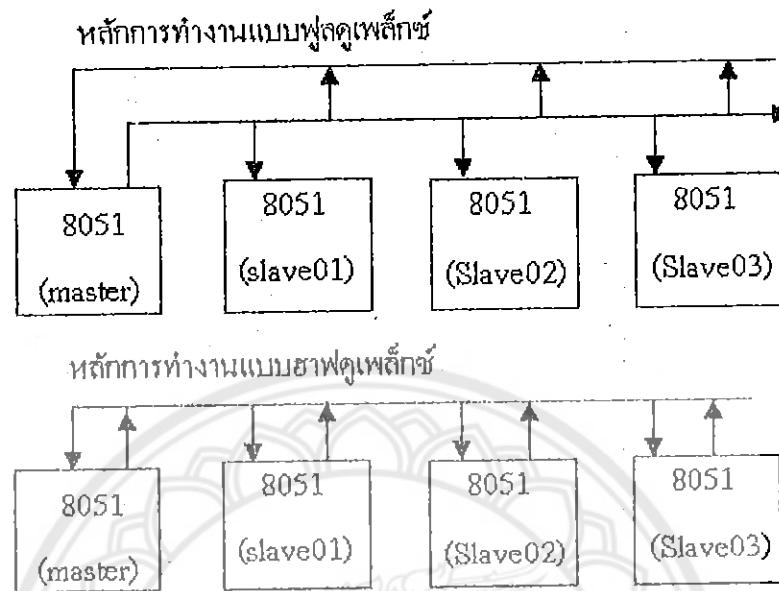
อัตราบอคโหนด 3

ใช้อัตราการโถเวอร์ไฟฟ้าของ Timer 1 หรือ Timer 2 โดยการคำนวณอัตราบอคเข้ามาร่วมกับของพอร์ตอนุกรมที่ทำงานในโหนด 1

การส่งข้อมูลอนุกรมในโหนด 2 และ 3 จะต้องนำค่าข้อมูลนั้นไปเก็บยังรีจิสเตอร์ SBUF สำหรับค่าของบิตที่ 9 ที่เพิ่งจีบนี้นำมาจากค่าของบิต TB8 ภายในรีจิสเตอร์ SCON ซึ่งจะต้องได้รับการกำหนดค่าจากผู้ใช้งาน เมื่อข้อมูลถูกเตือนบิตส่งออกไปภายนอกเรียบร้อยแล้ว แฟลชสถานะ TI จึงจะมีค่าเป็น 1 เช่นเดียวกับโหนดอื่นๆที่ผ่านมา และผู้ใช้จะต้องทำการเปลี่ยนกับให้เป็นค่า 0 ตามเดิม สำหรับการรับข้อมูลจะถูกนำมายกไว้ภายในรีจิสเตอร์ SBUF เช่นเดียวกัน โดยค่าของบิตที่ 9 จะนำไปเก็บไว้ยังบิต RB8 ภายในรีจิสเตอร์ SCON

2.1.9 การแยกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง 8051 หลายตัว

การทำงานลักษณะหนึ่งที่ออกแบบมาเพื่อการสื่อสารอนุกรมในโหนด 2 และ 3 โดยเฉพาะการสื่อสารในระบบมัลติไปร์เซ็ตเทอร์ ซึ่งเป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมระหว่าง 8051 หลายตัว



รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อ 8051 หลายตัว ในลักษณะการทำงานแบบชาฟคูเพล็กซ์ และฟูลคูเพล็กซ์
 (ที่มา : การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ระดับ 8051 ศุนทร วิทยุสารพานี)

ทั้งในแบบชาฟคูเพล็กซ์ ซึ่งติดต่อได้ในทิศทางเดียวกันในช่วงเวลาหนึ่ง และแบบฟูลคูเพล็กซ์ ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันคลังแสงให้เห็นในรูปที่ 2.8 ซึ่งการนำไปใช้งานจริงอาจจะต้องมีการใช้วงจรขับสัญญาณ หรือเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณบ้าง เพื่อให้สามารถสื่อสารได้ในระยะเวลาที่ใกล้เข้า

ในระบบข้างต้นนี้ 8051 ทุกตัวจะได้รับข้อมูลที่ส่งออกมากายในสายสัญญาณ เมื่่าว่างครึ่งขาจะต้องการเพียงการติดต่อกัน 8051 ตัวใดตัวหนึ่งโดยเฉพาะ และไม่ต้องการให้ 8051 ตัวอื่นๆ ถูกขัดจังหวะการทำงานด้วยข้อมูลนี้ก็ตาม โดยที่ไว้ไปแล้วมักจะใช้การส่งข้อมูลเพื่อรับสัญญาณ ตำแหน่งของ 8051 ปลายทางที่ต้องการจะติดต่อด้วยเป็นคำค้นแรก ก่อนที่จะได้มีการส่งข้อมูลสื่อสารจริง ดังนั้น 8051 ตัวอื่น ในระบบก็จะทราบได้ว่าไม่ใช่เป็นการสื่อสารข้อมูลกับตนเอง

การสื่อสารในลักษณะดังกล่าวนี้ สามารถดำเนินการได้เงินเดียวกันภายในระบบของ 8051 โดยการใช้ความสามารถของบิต SM2 ซึ่งอยู่ภายใต้รีเซตอร์ SCON เพื่อรับให้ทราบถึงประเภทของข้อมูลภายในระบบว่าเป็นข้อมูลหรือหมายเหลาเอกสารของ 8051 ซึ่งเชื่อมต่อเข้ากันภายในระบบดังนี้

ตารางที่ 2.6 การบ่งบอกว่าข้อมูลเป็นหมายเลขแอคเดรสหรือเป็นข้อมูลปกติ

(ที่มา : การใช้งานในโครค่อนໂທຣເຄອຣ໌ຕະກຸດ 8051 ຖຸນທາງ ວິຖຸສູຮພາຈນ)

กรณีเป็นหมายเลขแอคเดรส

ด้านส่าง	ต้องทำการกำหนดค่าของบิต TB8 ให้มีค่าเป็น 1
ด้านรับ	ค่าบิต RB8 ข้อมูลที่รับเข้ามา จะมีค่าเป็น 1 แสดงว่าข้อมูลภายในรີຈີສເຫຍົວ SBUF จะเป็นหมายเลขแอคเดรสของ 8051 ที่ถูกเรียกคิดคือ

กรณีเป็นข้อมูลปกติ

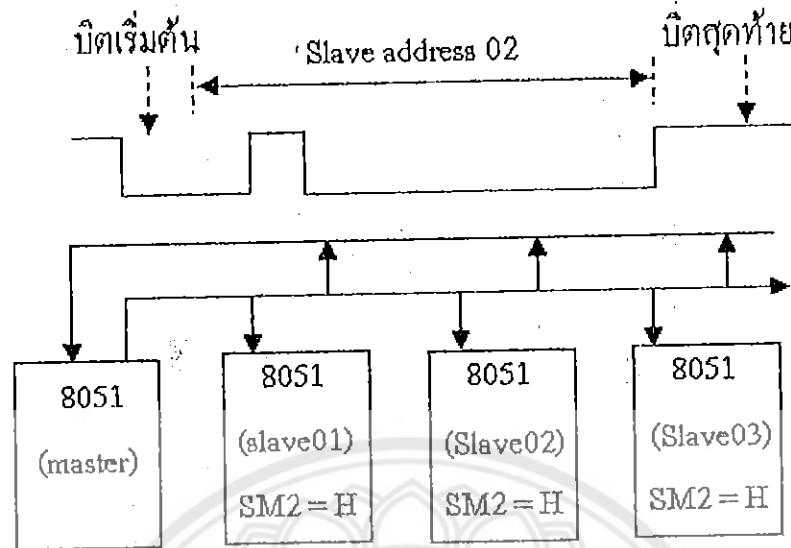
ด้านส่าง	ต้องทำการกำหนดค่าของบิต TB8 ให้มีค่าเป็น 0
ด้านรับ	ค่าบิต RB8 ของข้อมูลที่รับเข้ามา จะมีค่าเป็น 0 แสดงว่าข้อมูลภายในรີຈີສເຫຍົວ SBUF จะเป็นค่าข้อมูล

2.1.10 ขั้นตอนการสื่อสารระหว่าง 8051 หลายตัว

สมมติว่าในระบบหนึ่งประกอบด้วย 8051 จำนวนหลายตัวเชื่อมต่อกันในลักษณะแบบฟูล์ดิจิทส์ โดยมี 8051 ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลักของระบบ ซึ่งจะเรียนว่ามาสเตอร์ ขณะที่เหลือในระบบจะเป็นตัวที่คิดต่อจากมาสเตอร์ เรียกว่า สลave โดยมีจุดประสงค์ของการสื่อสารเพื่อเก็บข้อมูลจากสแลฟแต่ละตัว เป็นดังนี้

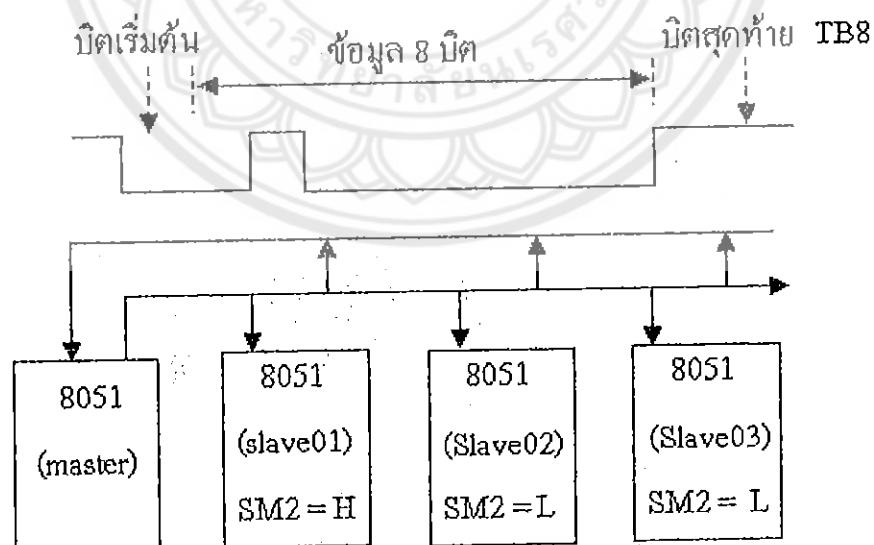
ในช่วงเริ่มต้นของการทำงาน 8051 ทุกตัว จะต้องถูกกำหนดให้ทำงานในโหมดเดียวกัน โปรแกรมส่วนของสแลฟจะต้องกำหนดค่า 1 ให้กับบิต SM2 เพื่อที่ว่าโปรแกรมจะถูกอินเตอร์ร์รัปต์ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลที่เป็นแอคเดรสเข้ามาเท่านั้น ดังนั้นการรับหรือส่งข้อมูลปกติจะไม่ทำให้เกิดการอินเตอร์ร์รัปต์ 8051 ที่ทำหน้าเป็นสแลฟเลย

การโอนถ่ายข้อมูลระหว่างมาสเตอร์และสแลฟ เริ่มต้นโดยการส่งข้อมูลค่าของแอคเดรสที่ต้องการคิดต่อออกไปเป็นลำดับแรก ดังแสดงในรูป 2.9(a) สแลฟทุกตัวซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้รับจะถูกทำ การอินเตอร์ร์รัปต์ เมื่อจากได้มีการกำหนดบิต SM2 ให้เป็นค่า 1 และข้อมูลที่สแลฟได้ทำการรับเข้ามาจะมีผลทำให้บิต RB8 มีค่าเป็น 1 การดำเนินการภายในโปรแกรมจะต้องนำค่าภายใต้รີຈີສເຫຍົວ SBUF มาเปรียบเทียบกับหมายเลขแอคเดรสของ ตนเอง ซึ่งได้กำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว หากสแลฟตัวใดมีค่าแอคเดรสตรงกันก็จะต้องทำการกำหนดค่าของบิต SM2 ให้เป็น 0 กระบวนการภายนอกจะดำเนินต่อไปจะเป็นการส่งข้อมูลปกติ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการอินเตอร์ร์รัปต์เฉพาะกับสแลฟที่มีค่าบิต SM2 เป็น 0 เท่านั้น ดังแสดงในรูป 2.9 (b)



รูปที่ 2.9(a) การส่งข้อมูลแอดเดรสสำหรับการติดต่อกับสเต็ฟหมายเลข 02H

โดยปกติการสื่อสารส่งข้อมูลสามารถทำได้หลายลักษณะตามที่ได้กล่าวกันไว้ล่วงหน้า เช่นอาจจะเป็นการส่งรหัส ETX หรือเครื่องหมาย \$ เป็นต้น ซึ่งเมื่อステ็ฟพบค่าของข้อมูลดังกล่าว แล้วจะทำการกำหนดบิต SM2 ให้กับมีเป็นค่า 1 ตามปกติ เพื่อรับการติดต่อในรอบใหม่ต่อไป

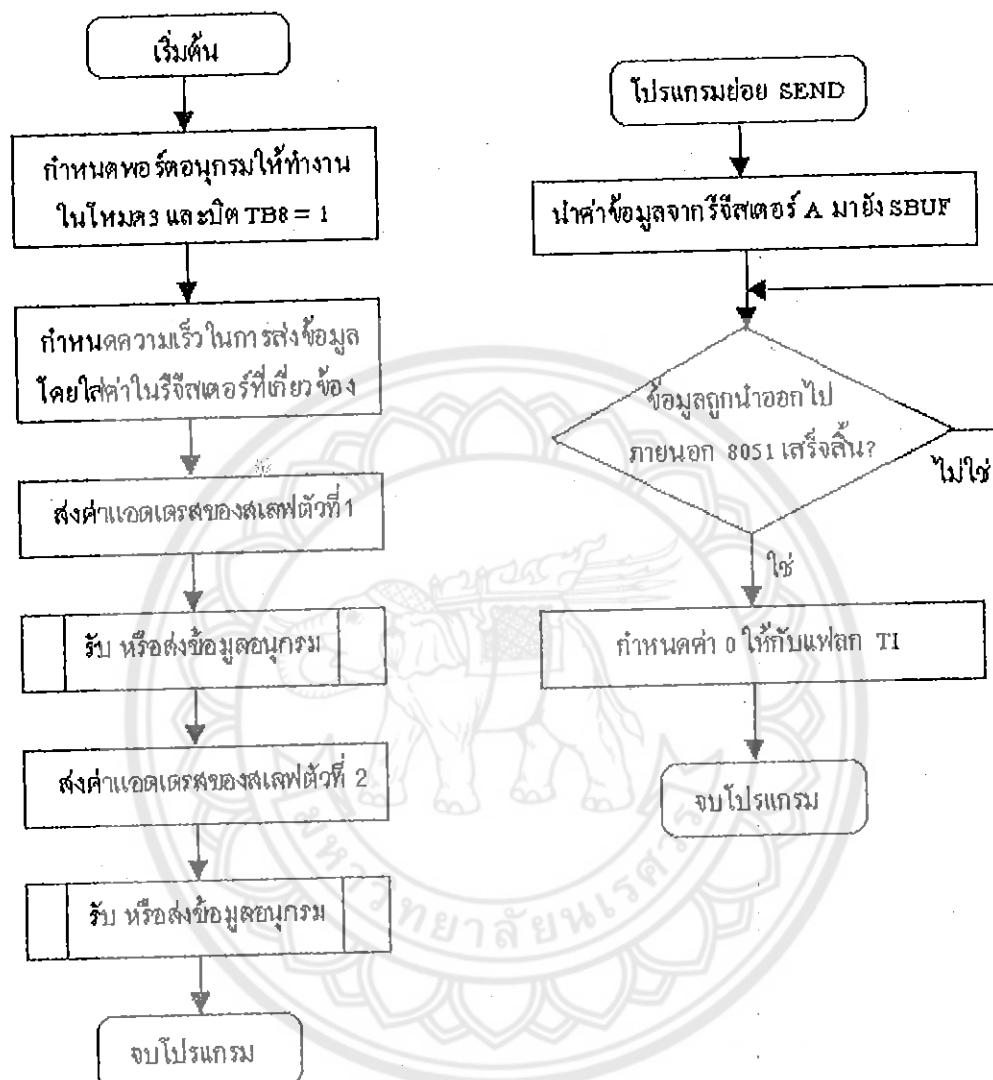


รูปที่ 2.9 (b) การรับและส่งข้อมูลระหว่างสเต็ฟหมายเลข 02H กับมาสเตอร์ โดยไม่มีผลให้เกิด อิน เทอร์รัปต์กับสเต็ฟหมายเลขอื่นๆภายในระบบ
(ที่มา : การใช้งานในโครงการโทรศัพท์มือถือ 8051 ศุนทร วิชัยสุรพงษ์)

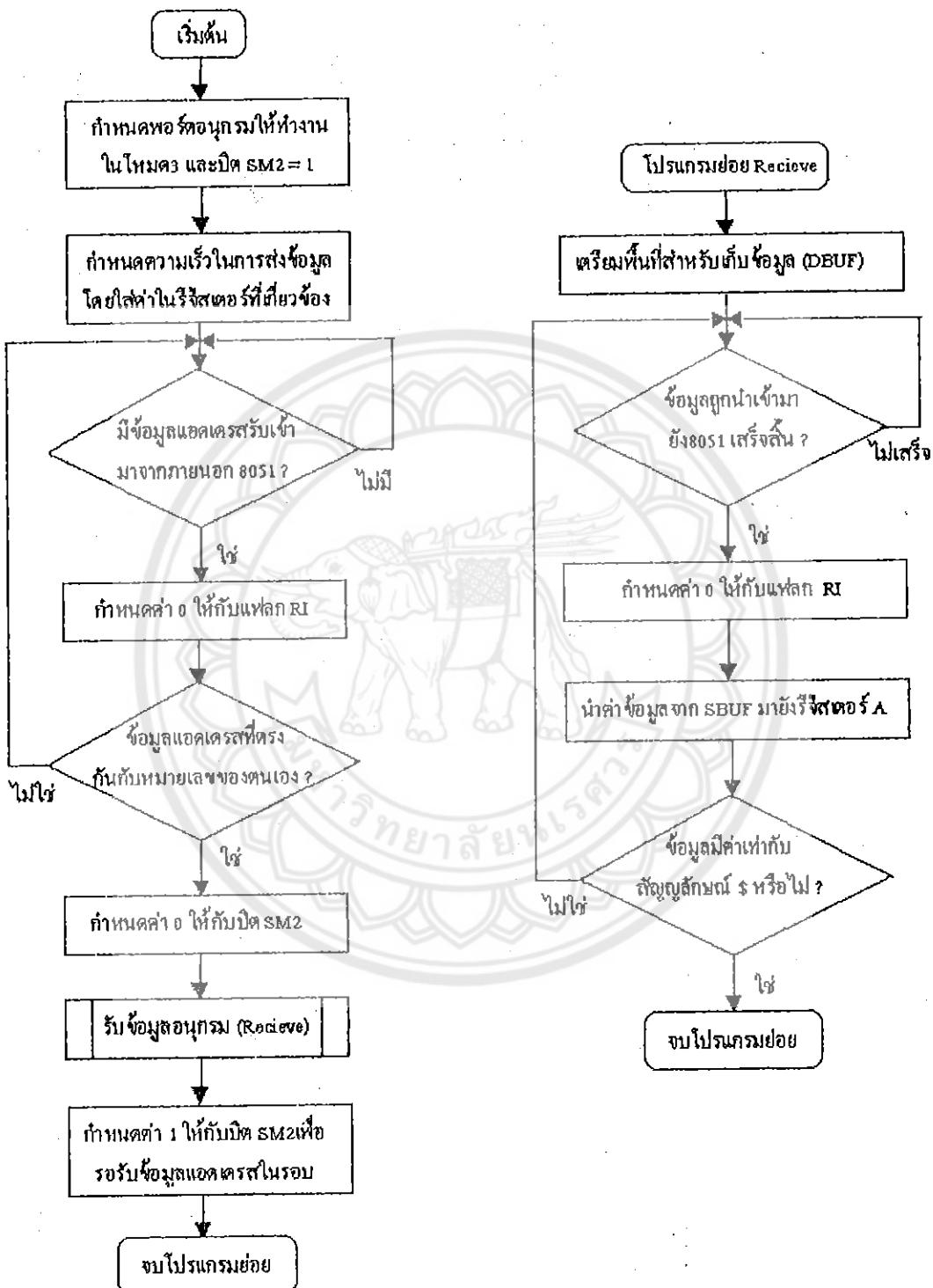
2.1.11 ตัวอย่างโปรแกรมการต่อสาระในระบบมัลติป্রอเซสเซอร์

ระบบมัลติป্রอเซสเซอร์ที่นำมาเป็นตัวอย่างเพื่อแสดงการทำงาน ประกอบด้วย 8051 หลัก หรือมาสเตอร์จำนวนหนึ่งตัวและ 8051 ตัวอื่นๆที่เหลือทำหน้าที่เป็นสเลฟ ในที่นี้กำหนดให้มีเพียงสองตัว ดังนั้นโปรแกรมควบคุมเพื่อทำงานในระบบดังกล่าวจึงประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมทำงานสำหรับมาสเตอร์และโปรแกรมสำหรับสเลฟแยกออกจากกัน ตามตัวอย่างโปรแกรมในรูปที่ 2.10 เป็นส่วนของโปรแกรมมาสเตอร์ ซึ่งสมมติว่าภายหลังที่ส่งแลคเดรสออกไปติดต่อกับสเลฟแล้วจะต้องรอรับข้อมูลที่ส่งกลับมาด้วย โปรแกรมเริ่มต้นจากการกำหนดค่าภายในรีจิสเตอร์ SCON เพื่อให้ทำงานในโหมด 3 โดยใช้ Timer 1 เป็นตัวกำหนดตีจังหวัดตามบด ต่อจากนั้นจึงจะเริ่มต้นการติดต่อ โดยส่งแลคเดรสหมายเลขของสเลฟตัวที่ต้องการออกไป เริ่มจากแลคเดรสของสเลฟ 0 ขอให้สังเกตด้วยว่าบิต TB8 นี้ได้กำหนดไว้เป็น 1 ตลอดเวลา ซึ่งมีผลทำให้หมายเลขของแลคเดรสที่ส่งออกไปผ่านรีจิสเตอร์ SBUF นั้นมีบิตที่ 9 เป็นค่า 1 ด้วยสำหรับโปรแกรมย่อของการส่งข้อมูลนั้นเนื่องจากว่าไม่ได้ทำการกำหนดให้มีการอินเตอร์รัปท์ขึ้น ดังนั้นภายนอกการส่งข้อมูลจึงจะห้องวนรอบตรวจสอบสภาพของแฟล็ก TI เอง โดยจะมีค่าเป็นหนึ่ง เมื่อบิทข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ SBUF ได้ถูกเลื่อนบิตออกไปจากขาสัญญาณของ 8051 เศร็จสิ้นแล้ว ถ่ายโปรแกรมย่อทางด้านการรับข้อมูล ภายนอกจากที่ได้มีการส่งแลคเดรสออกไปแล้วนั้น ไม่ได้มีส่วนของตัวคำสั่งทำงานจริง เป็นเพียงแค่การเสริมให้โปรแกรมมีความเห็นใจกับหากยังเขียนเท่านั้น

สำหรับโปรแกรมในรูปที่ 2.11 สมมติให้ว่ามาสเตอร์จะเป็นตัวส่งข้อมูลมาให้กับสเลฟแต่ละตัวและข้อมูลที่สุคนั้นจะเป็นตัวอักษร \$ ดังนั้นโปรแกรมของสเลฟส่วนเริ่มต้นเป็นการกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ SCON และ Timer 1 ซึ่งจะต้องเหมือนกับทางด้านมาสเตอร์ เพื่อให้สามารถสื่อสารข้อมูลกันได้อย่างถูกต้อง หลังจากนั้นจึงทำการตรวจสอบสภาพของแฟล็ก RI จนกว่าจะมีค่า 1 ซึ่งหมายความว่าได้มีข้อมูลเข้ามาหนึ่งไบต์ ขอให้สังเกตด้วยว่าขณะนี้บิต SM2 ของโปรแกรมได้กำหนดให้เป็นค่า 1 ทำให้ข้อมูลที่รับเข้ามานี้จะเป็นเฉพาะแลคเดรสของสเลฟซึ่งตัวมาสเตอร์ในระบบส่วนมากในสายสื่อสารเท่านั้น โปรแกรมจะต้องตรวจสอบว่าเป็นหมายเลขที่ตรงกับแลคเดรสของตนเองหรือไม่ เมื่อใดที่ตรงกันก็จะทำการกำหนดค่า 0 ให้กับ แฟล็ก RI ด้วย เพื่อแสดงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลอื่นๆเข้ามาแล้ว การทำงานภายหลังจากนี้จะเป็นการรับข้อมูลที่มาสเตอร์ส่งมา ดังนั้น จึงต้องทำการกำหนดค่าบิต SM2 ให้เป็นค่า 0 มิฉะนั้นจะไม่สามารถรับข้อมูลที่มีบิตที่ 9 เป็นค่าศูนย์เข้ามาได้เลย การสิ้นสุดข้อมูลจะทราบโดยการตรวจสอบว่ามีรหัสเป็นค่า \$ ซึ่งทำให้ระบบกลับไปเริ่มต้นการรับแลคเดรสนอรอบใหม่อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.10 แผนภาพการทำงานของ 8051 ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์
(ที่มา : การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ระดับ 8051 ศูนย์วิทยุสื่อสาร)



รูปที่ 2.11 แผนภาพการทำงานของ 8051 ที่ทำหน้าที่เป็นสเลฟ
(ที่มา : การใช้งานในโครงการโทรศัพท์ไร้สาย 8051 สุนทร วิทสุรพจน์)

2.2 หลักการออกแบบวงจรชิ้นโครงสร้าง ซีเคแวนเชียล (Synchronous Sequential)

ในหลักการออกแบบวงจรชิ้นโครงสร้าง โครงสร้าง ซีเคแวนเชียล (Synchronous Sequential) ควรทำตาม ลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

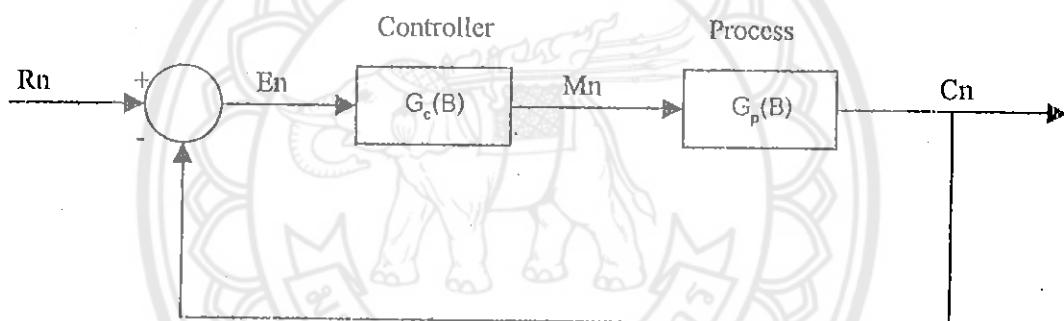
- ขั้นที่ 1 จากวัตถุประสงค์ของวงจรที่ต้องการออกแบบ ให้สร้างสเตท ไดอะแกรม (State diagram) และ ตารางสเตท (State Table) ขึ้น
- ขั้นที่ 2 ให้ตรวจสอบว่าตารางสเตท ที่สร้างขึ้นมีสเตทเกิน (Redundant State) หรือไม่ ถ้ามีก็ ให้ทำการลดสเตท (Reduce State Table) นั้นก่อน
- ขั้นที่ 3 กำหนดค่าสเตทและชายเมนท์ (State Assignment) ที่เหมาะสมให้กับแต่ละ สเตท ใน ตารางสเตท จากนั้นให้แทนค่าสเตทและชายเมนท์ นั้นลงใน ตารางสเตท จึงทำให้ได้เป็นตา ราชทราบชิ้น (Transition Table) ขึ้นมา
- ขั้นที่ 4 กำหนดหน่วยความจำ (Flip Flop) ที่ใช้ในวงจร แล้วหาตารางเอ็กซิเตชัน (Excitation Table) ของวงจรที่ต้องการออกแบบจากตารางทราบชิ้นที่ได้จากขั้นที่ 3 โดย พิจารณาจากตารางเอ็กซิเตชัน ของหน่วยความจำ นั้น ๆ
- ขั้นที่ 5 ข้อมูลใน ตารางเอ็กซิเตชัน ที่หาได้เป็นข้อมูลความต้องการของอินพุต ของ หน่วย ความจำ นั้น ๆ ดังนั้นให้สร้าง ကาร์โนว์แมป (Karnaugh Map) ขึ้นเพื่อหาสมการลอจิก (Logic Equation) ของแต่ละอินพุต ของ หน่วยความจำ และ เท้าต์พุต (Z) จึงนำมาเขียน ลอจิก ไดอะแกรม (Logic Diagram) ของวงจรที่ต้องการออกแบบ ได้
- สเตทและชายเมนท์ (State Assignment) หมายถึง การกำหนดค่าลอจิก ให้กับแต่ละ สเตท ของวงจร โดยมีหลักการพื้นฐานที่สำคัญคือ ถ้าวงจรประกอบด้วย หน่วยความจำ จำนวน n ตัว การกำหนด สเตทและชายเมนท์ ก็จำเป็นต้องกำหนดค่าลอจิก ตั้งแต่เดียวถึง n มิติ ที่ไม่ซ้ำกัน

2.3 ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์แบบ PID

การที่ระบบควบคุมจะต้องแม่นยำ เสถียร รวดเร็วและต้องประหนึด จึงทำให้มีการเกิด ระบบการควบคุมต่าง ๆ เพื่อใช้ในงานควบคุมให้ได้ผลตามที่ต้องการ การควบคุมแบบ PID เป็น การควบคุมแบบหนึ่งที่ตอบสนองต่อความต้องการคังก์ล่าร์ ในสูปของ การควบคุมจะประกอบไป ด้วยส่วนต่าง ๆ คือ จุดรวม (Summing point) , ตัวควบคุม (Controller) และตัวคำนวณการ (

Process) การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมจะเริ่มจากการป้อนค่าเป้าหมาย (Set point) ที่ต้องการเข้ามาซึ่งจุดรวม ทางด้านวงจร (Rn) ส่วนทางด้านบนของจุดรวมจะรับค่าจากเอาต์พุตของตัวดำเนินการ (Cn) ซึ่งอยู่ภายหลังส่วนของจุดรวมจะถูกหักล้างกันจนออกมาระบุค่าผิดพลาด (En) ทางด้านเอาต์พุตจะส่งให้กับอินพุตของตัวควบคุม ให้ทำการควบคุมค่าแรงดันที่ออกทางเอาต์พุตส่งให้กับอินพุตของตัวดำเนินการ ส่วนทางด้านเอาต์พุตของตัวดำเนินการจะเปลี่ยนแปลงค่าไปเรื่อยๆ เพื่อนำไปหักล้างกับค่าเป้าหมาย

การทำงานจะวนลูปแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าเอาต์พุต (Cn) และค่าเป้าหมาย (Rn) เท่ากัน เมื่อนำมาหักล้างกับค่าผิดพลาด (En) ก็จะเหลือศูนย์ การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมก็จะหยุดทันที นี้หมายความว่า ตัวดำเนินการทำงานได้ครบท่านที่เป้าหมายที่ต้องการพอดี หากซึ่งหากนี้ มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย เกิดขึ้น การทำงานของอุปกรณ์จะเข้าหาจุดเป้าหมาย ไปเรื่อยๆ



รูปที่ 2.12 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

ระบบควบคุมแบบต่างๆ

โดยทั่วไปในระบบควบคุมการทำงานของตัวควบคุม จากรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ต้องนำมาใช้ควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบ โดยได้แบ่งชนิดของระบบควบคุมออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

- ระบบควบคุมแบบเปิด – ปิด (ON – OFF Control)
- ระบบควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)
- ระบบควบคุมแบบผสตรวน (Integral Control)
- ระบบควบคุมแบบผสต่าง (Derivative Control)

การควบคุมจะใช้การควบคุมแต่ละชนิดหรือจะใช้การควบคุมหลายชนิดผสมกันก็ได้ เช่น ON – OFF, P, PI หรือ PID

15090982 e.2

พช.
ธกส.
26732.3.1 การควบคุมแบบเปิด-ปิด (ON-OFF Control)

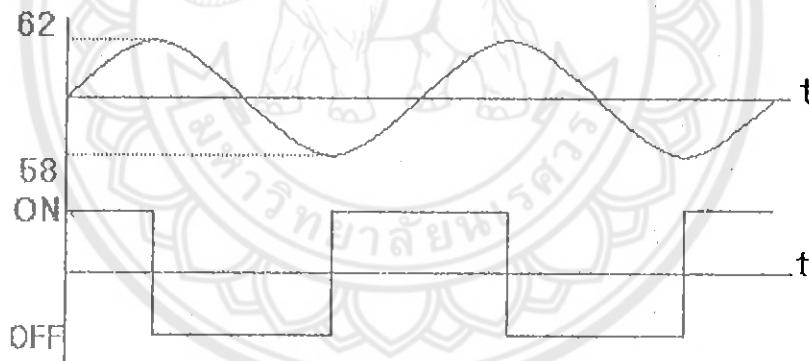
เป็นลักษณะการควบคุมแบบวิธีการ เปิด - ปิด ธรรมชาติ เหมือนการเปิด - ปิด สวิตช์ไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น เทอร์โมสตัตในเตารีด หรือการเปิด - ปิดวาร์ส จากรูปที่ 2.13 จะสังเกตเห็นว่าการทำงานของตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด นั้นเอาต์พุตจะไม่คงที่ จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอด ทำให้ไม่สามารถใช้ในระบบควบคุมบางอย่างได้ ปกติการควบคุมแบบเปิด-ปิด จะมี เดดแบนด์ (Dead Band) ซึ่งหมายความว่า เอาต์พุตของตัวควบคุมที่ออกมานี้มีการแกว่งอยู่ในย่านที่ตัวควบคุมยอมได้ เช่น จากรูป จะเห็นว่าอุณหภูมิ 58 องศา ถึง 62 องศา ถ้ากำหนดค่าเป้าหมาย ที่ค่า 60 องศา การทำงานของควบคุมแบบเปิด - ปิด จะมี เดดแบนด์ เท่ากับ $62 - 58 = 4$ องศา หรืออาจพูดได้ว่า ตัวควบคุมนี้เกิดการแกว่งระหว่าง 62 องศา ถึง 58 องศา ซึ่งการแกว่งจะขึ้นกับค่าเดดแบนด์ ของตัวดำเนินการเอง สรุปว่า การควบคุมแบบเปิด - ปิด จะใช้ได้ดีกับ ตัวดำเนินการ ที่มีเดดแบนด์ สั้นแต่มีกำลังตัวของเวลาหลาย

4400/97

T.O
2/1

815X8

2543

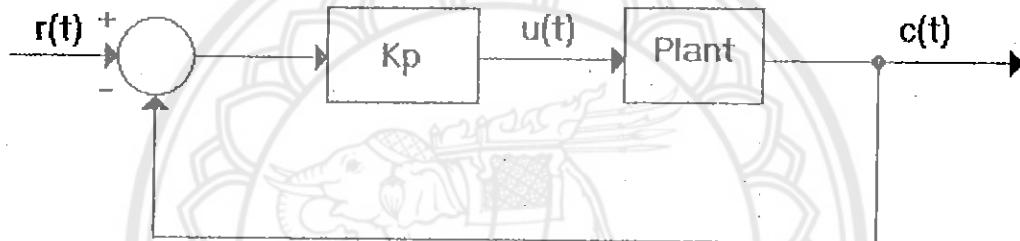


รูปที่ 2.13 การทำงานของตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด
(ที่มา : เทมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 207 ชีวิติ บุนราม)

2.3.2 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional, P)

การควบคุมแบบ P เป็นการควบคุมโดยการกำหนดค่าแกนที่ (K_p) ของตัวควบคุมหรือเรียกได้ว่า เป็นการกำหนดอัตราส่วนของเอาต์พุตต่ออินพุต หรืออาจจะกำหนดอุณหภูมิในรูปของไพรพอร์ตชั้น เกน (Proportion Gain) หรือ ไพรพอร์ตชั้น แบนด์ (Proportional Band) ที่ได้

จากรูปที่ 2.14 เป็นการควบคุมแบบ P ซึ่งจะใช้ค่า K_p เป็นตัวควบคุมระบบเพียงอย่างเดียว ถ้าค่า K_p มาก การเปลี่ยนแปลงจะเร็วซึ่งอาจทำให้เกิดการแกว่งของไปรษณัต ได้ ถ้าค่า K_p น้อย การเปลี่ยนแปลงค่าอาจทำให้ไปรษณัต ขาดการควบคุม (เกิด ออฟเซ็ท) และถ้าปรับให้ K_p มีค่า $= \infty$ การควบคุมแบบ P จะกลายเป็นการควบคุมแบบเปิด-ปิด ทันที ในกรณีที่ค่า K_p มีค่าน้อยเกินไปอาจเกิดการที่เข้าคุณไม่เท่ากันกับค่าเป้าหมาย (R_n) หรือ คอนโทรลเลอร์หาเป้าหมายไม่พบ เราเรียกว่าเกิดการ ออฟเซ็ท ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการให้ค่าไบเอส (Bias) ที่เหมาะสม ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบ P จะขึ้นอยู่กับค่าผิดพลาด (E_n) ปัจจุบันในขณะนั้น โดยไม่มีการพิจารณาค่าในเวลาอื่น



รูปที่ 2.14 การควบคุมแบบ P
(ที่มา : Modern Control Engineering Katsuhiko Ogata)

การควบคุมแบบ P จะทำให้เกิดสมการดังนี้

$$m(t) = K_p c(t) \quad \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ K_p คือ ค่าอัตราการขยายในรูปของ ดิสcrete (Discrete) ของสมการ (1) จะเป็น

$$m(t) = K_p C_n \quad \dots \dots \dots (2)$$

หากขึ้นลงลับไป 1 ช่วงเวลา สมการ (2) จะเป็น

$$m_{n-1} = K_p C_{n-1} \quad \dots \dots \dots (3)$$

(2) - (3) จะได้

$$\Delta m_n = m_n - m_{n-1} = K_p (C_n - C_{n-1}) \quad \dots \dots \dots (4)$$

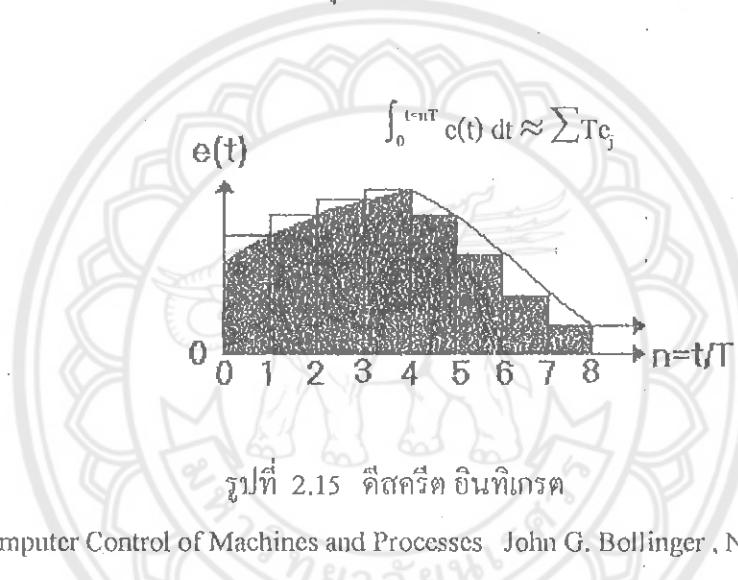
2.3.3 การควบคุมแบบ積分 (Integral Controller, I)

การควบคุมแบบ I เป็นการควบคุมแบบอินทิเกรตสัญญาณ โดยการตอบสนองจะขึ้นอยู่กับ ค่าผิดพลาด (E_n) สะสม และค่าอัตราส่วนของตัวควบคุมแบบ I (K_i)

โดยปกติการควบคุมแบบ I จะไม่ใช้ตัวเก็บเวลาแต่จะใช้กับแบบ P โดยเรียกว่า การควบคุมแบบ PI (PI Control) ซึ่งจะช่วยให้การควบคุมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นกว่าการควบคุมแบบใดแบบหนึ่งเพียงอย่างเดียว จุดเด่นของการควบคุมแบบ PI คือ จะช่วยในการควบคุมเอาต์พุตเข้าหาเป้าหมายได้เร็ว สรุปแล้วการเพิ่มการควบคุมแบบ I เข้าไปในการควบคุมแบบ P นั้น ก็เพื่อแก้ค่าออดเฟิล อันเกิดจาก การควบคุมแบบ P แต่ถ้ากำหนดค่า K_p มากเกินไป อาจทำให้เกิดการอสัลิลเดต (Oscillate) ได้ การควบคุมแบบ I จะทำให้เกิดสมการดังนี้

$$m(t) = K_i \dots \dots \dots (5)$$

เมื่อ K_i คือ ค่าอัตราการขยายของตัวควบคุมแบบ I



รูปที่ 2.15 ตีสคริท อินทิเกรต

(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

จากรูปที่ 2.15 ผู้ที่ได้กราฟของกราฟค่าติดลบ (E(t)) สามารถประมาณได้โดยการบวกพื้นที่ของสี่เหลี่ยมผืนผ้าแต่ละช่วง ดังสมการ

$$m_n = K_i \sum T c_j \dots \dots \dots (6)$$

เปลี่ยนใหม่ได้

$$m_n = K_i \sum T c_j + K_i T c_n \dots \dots \dots (7)$$

$$m_{n-1} = K_i \sum T c_j \dots \dots \dots (8)$$

(7) - (8) ได้

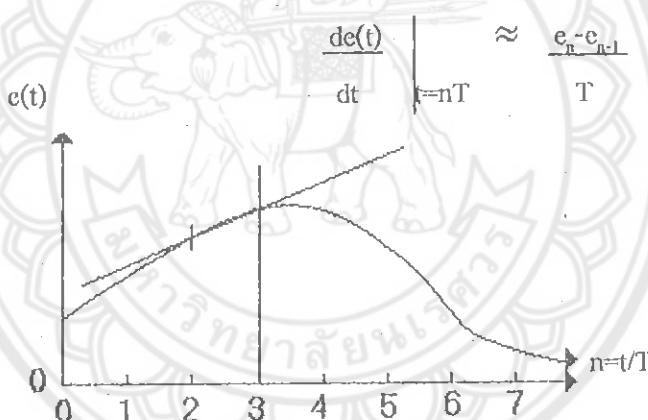
$$\Delta m_n = m_n - m_{n-1} = K_i T c_n \dots \dots \dots (9)$$

2.3.4 การควบคุมแบบผดุงต่าง (Derivative Control, D)

การควบคุมแบบ D เป็นการควบคุมแบบคิฟส์กูญาล โดยการตอบสนองจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (E_n) และค่าอัตราส่วนของการควบคุมแบบ D (K_d) ดังนั้น หากค่าผิดพลาด (E_n) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง การควบคุมแบบ D จะไม่มีผล

การควบคุมแบบ D นี้จะไม่ใช้ตัวเดี่ยวแต่จะใช้ร่วมกันแบบ P เป็นการควบคุมแบบ PID หรือใช้ร่วมกันเป็นการควบคุมแบบ PID ซึ่งจะช่วยให้ระบบการควบคุมเข้ามีความแม่นยำได้เร็วและได้ดีกว่าการควบคุมแบบอื่น ๆ เช่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย (R_n) หรือมีการปรับเปลี่ยนจากภายนอก การควบคุมแบบ D จะทำหน้าที่ปรับค่าเพื่อให้เข้าสู่เป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว ส่วนแบบ PI จะทำให้การเข้าสู่เป้าหมายไม่เกิดการแกว่ง

การควบคุมแบบ D จะมีส่วนการคั่งนี้



รูปที่ 2.16 คีสคริต คิฟเฟอร์เรนเซียชัน (Discrete differentiation)

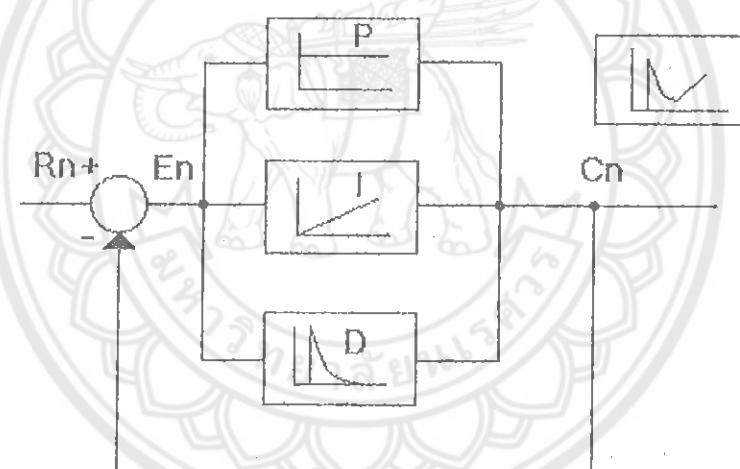
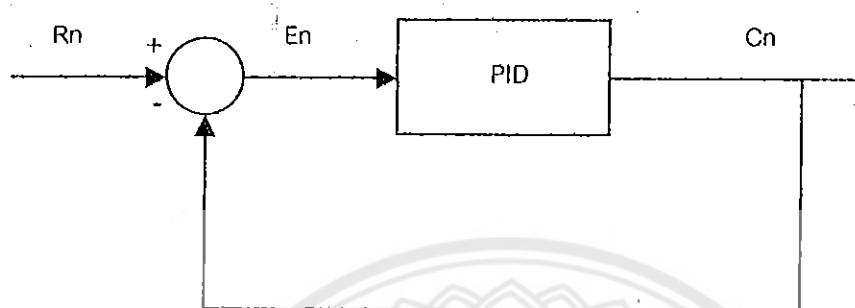
(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

จากรูปที่ 2.16 สามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$m_n = \frac{K_d(C_n - C_{n-1})}{T} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

การควบคุมแบบ PID จะใช้กับค่าเป้าหมาย (R_n) ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา หรือจะใช้กับการควบคุมตัวค่าดำเนินการที่มีความเร็วต่อการตอบสนองช้า แต่มีค่าเดดไทม์ (Dead time) มาก ๆ เช่น อุณหภูมิ หรือ ตัวค่าดำเนินการที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาหรือเกิดการรบกวนจาก

ภายนอกของตัวดำเนินการ ได้รับ ซึ่งถูกบันทุกของสัญญาณเอาต์พุต (C_n) จะมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อไปตามรูปที่ จะเห็นถูกบันทุกของสัญญาณเอาต์พุต (C_n) มีการผสานกันของแบบ P , แบบ I และแบบ D รวมกันอยู่อย่างเท่ากันได้รับ



$$C_n = K_p E_n + K_i \int E_n dt + K_d dE_n/dt$$

รูปที่ 2.17 บล็อกไซด์แกรนของกระบวนการควบคุมแบบ PID
(ที่มา : เทมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 207 ชีวิต มนรน)

การควบคุม PID (Proportion plus integral plus derivative control) จะมีสมการดังนี้

$$\Delta m_n = (\Delta m_n)_p + (\Delta m_n)_i + (\Delta m_n)_d \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

จากสมการ (4), (9) และ (12)

$$\Delta m_n = m_n - m_{n-1} = K_0 C_n + K_1 C_{n-1} + K_2 C_{n-2} \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

ໄຕຍ

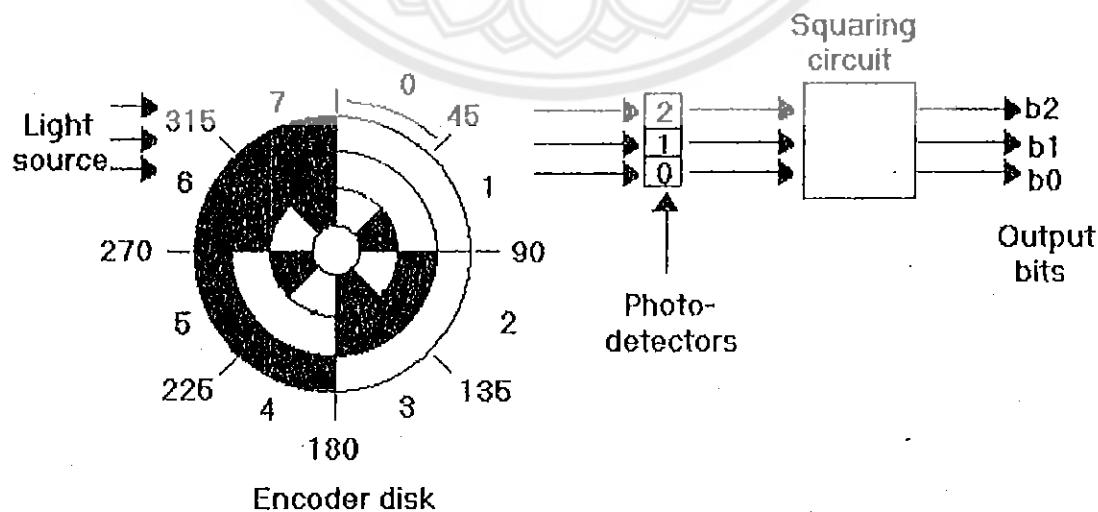
$$K_0 = K_p + K_i T + \frac{K_d}{T} \quad \dots \dots \dots \quad (15)$$

2.4 օօն գլանցային նոկտուր (Optical Encoder)

ออนปิดคัลเอนโคเดอร์ (Optical Encoder) เป็นการใช้แสงส่องผ่านถุงหุ้นของงานคิสก์ ที่ติดอยู่กับแกนเพลาหมุน และจะมีไฟไดค์เตกเตอร์ (Photo – detectors) เป็นตัวเปลี่ยนจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งที่นี่แสงและช่องโปรดักชันของงานคิสก์ จะเป็นตัวกำหนดเวลาพุ่งของไฟไดค์เตกเตอร์ (Photo – detectors) ซึ่งจะสามารถทราบตำแหน่ง , ความเร็วและความเร่งของเพลาหมุนได้

โดยทั่วไปจะมีอยู่ปติทัลเบิน โอดเคอร์รุ่นที่ 2 แบบ คือแบบค่าถัมบูรณ์ (Absolute Encoder) และแบบเพิ่มค่า (Incremental Encoder)

2.4.1 เอ็นโคดเดอร์แบบคำสั่งบุก (Absolute Encoder)



2.18 (a)

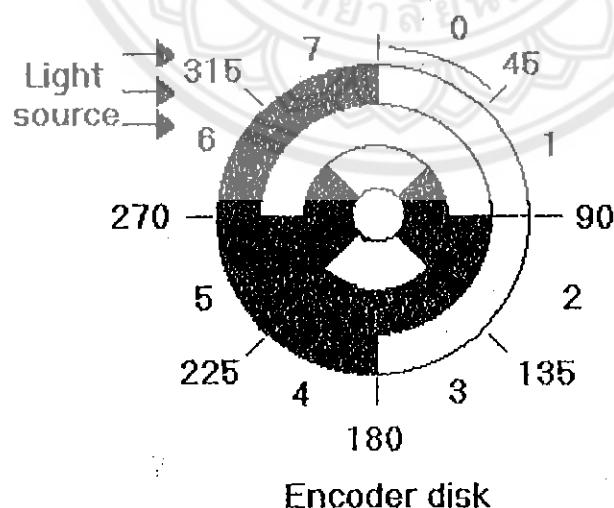
N	$\Theta [deg]$	$b_2 \ b_1 \ b_0$
0	0-45	0 0 0
1	45-90	0 0 1
2	90-135	0 1 0
3	135-180	0 1 1
4	180-225	1 0 0
5	225-270	1 0 1
6	270-315	1 1 0
7	315-0	1 1 1

2.18 (b)

รูปที่ 2.18 เอ็น โคดเดอร์แบบค่าสัมบูรณ์ 3 บิต

(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

เอ็น โคดเดอร์แบบค่าสัมบูรณ์จะประกอบด้วยชุดของระดับสัญญาณในลักษณะของเลขฐาน 2 หากมี 3 บิต ดังรูป 2.18 (a) แต่ละบิตจะเกิดจากการไฟโต๊ - ดิเทกเตอร์ (Photo - detector) คนละตัว และทำให้เกิดรหัสเลขฐาน 2 ในการกำหนดตำแหน่งของเพลาหมุน ดังรูป 2.18 (b)



Encoder disk

11 (a)

N	$\theta [deg]$	$b_2 \ b_1 \ b_0$
0	0-45	0 0 0
1	45-90	0 0 1
2	90-135	0 1 1
3	135-180	0 1 0
4	180-225	1 1 0
5	225-270	1 1 1
6	270-315	1 0 1
7	315-0	1 0 0

11 (b)

รูปที่ 2.19 เอ็นโคดเดอร์แบบค่าสัมบูรณ์แบบ รหัสเกรย์ (Gray code)

(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

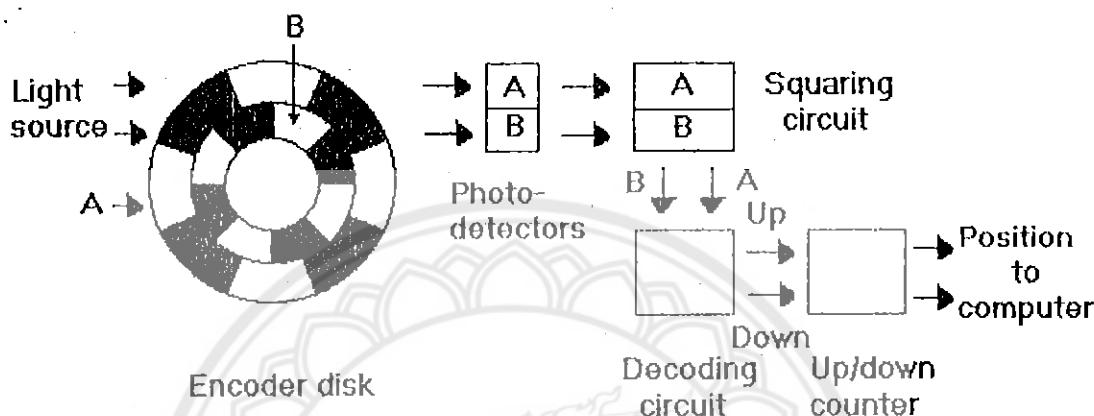
จากคิสก์ในรูป 2.18 (a) นักไม่ใช้ในการปฏิบัติจริง เพราะขณะที่เพลากำลังหมุนจะเกิดเปลี่ยนแปลงพร้อมกัน 2 บิต ได้ เช่น จาก 011_2 ไปเป็น 100_2 ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถรับประกันได้ว่าเปลี่ยนพร้อมกันเนื่องหรือไม่ เพราะถ้าหากไม่พร้อมกันจะทำให้เกิดความผิดพลาดห้ามที่จะมีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยรหัสเกรย์ (Gray Code) ดังรูป 2.19 (a) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 1 บิต เท่านั้น ดังรูป 2.19 (b) ทำให้สามารถตรวจสอบความผิดพลาดของเอ็นโคดเดอร์ได้ และสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของเลขฐาน 2 ตามปกติด้วยฮาร์ดแวร์ หรือคอมพิวเตอร์ซอฟแวร์ได้

อย่างไรก็ต ถึงแม้ว่าเอ็นโคดเดอร์แบบค่าสัมบูรณ์ (Absolute Encoder) จะมีข้อดีคือ มีความอิสระจากกันของตำแหน่งแต่ละจุดของเพลาหมุน แต่ก็มีข้อจำกัดทางด้านจำนวนตำแหน่ง หากมีมากก็จะต้องใช้จำนวนบิตสูง ทำให้ระบบมีขนาดใหญ่และราคาแพง

2.4.2 เอ็นโคดเดอร์แบบเพิ่มค่า (Incremental Encoder)

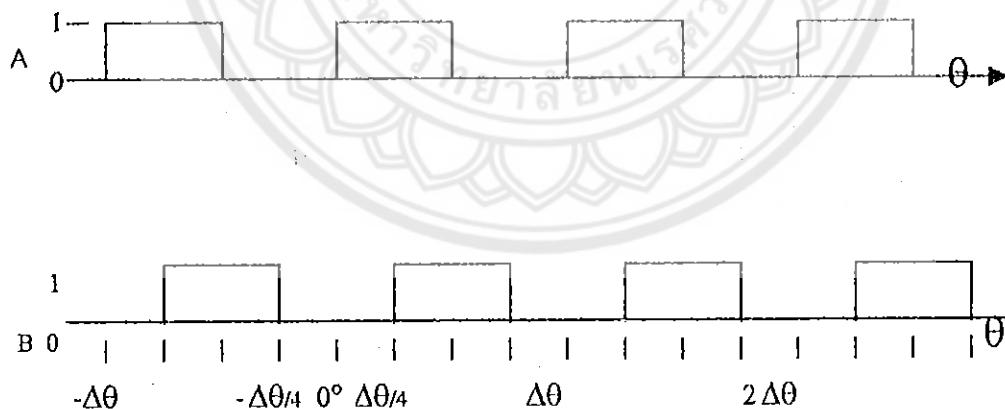
เอ็นโคดเดอร์แบบเพิ่มค่า (Incremental Encoder) จะใช้เพียง 2 บิต และใช้ไฟโต๊ะ – คีเทกเตอร์เพียง 2 ตัว ในการเปลี่ยนช่องไปร่องแสงและทิกแสงเป็นสัญญาณโลจิก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวงจรรับภายนอกที่จะต้องควบคุมโดยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งของเพลาหมุน และเมื่อเปลี่ยนเป็นค่าสัมบูรณ์หรือค่าจริง

โดยงานคิดสเก็ตจะประกอบไปด้วย 2 แบบ คือ โคล杏จะมีเฟสนำหน้ากันอยู่ 90 องศา ทำให้เกิดความสัมพันธ์ 4 สถานะ คือ จาก $00 \leftrightarrow 10 \leftrightarrow 11 \leftrightarrow 01$ แล้ววนกลับเข้า 00 ใหม่ และสามารถตรวจสอบทิศทางได้ด้วยการสังเกตสถานะต่อไปกลับสถานะเดิม



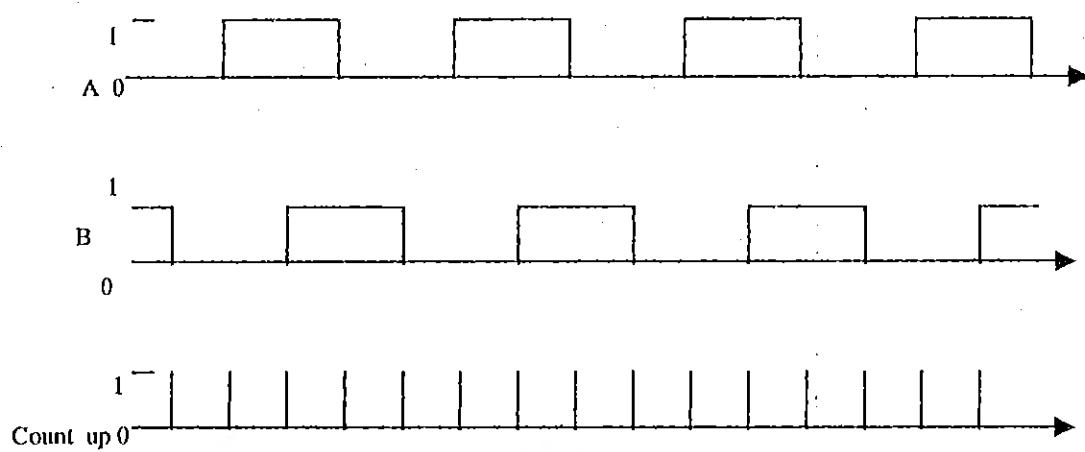
รูปที่ 2.20 เอ็นโคดเดอร์แบบเพิ่มค่า

(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

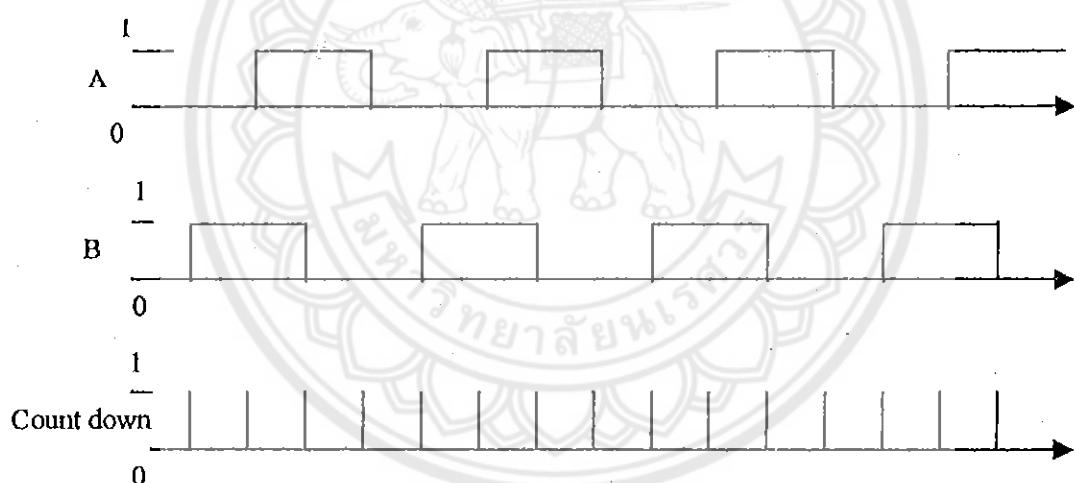


รูปที่ 2.21 เอตทุกของเอ็นโคดเดอร์แบบเพิ่มค่า

(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)



(a)



(b)

รูปที่ 2.22 แผนภาพเวลา (Timing diagram) ของอิเน็คโคเดอร์แบบเพิ่มค่า (a) นับขึ้น (b) นับลง
(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

อิเน็คโคเดอร์แบบเพิ่ม (Incremental Encoder) มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เมื่องจากสามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการตำแหน่งมาก ๆ ได้โดยการออกแบบวงจรนั้นและดัดแปลงให้สามารถรองรับได้

2.5 การแปลงในแนนกลล่ามแกน

โครงสร้างการเคลื่อนไหวของแนนกลสามารถแยกได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การเคลื่อนที่ตามแนวแกน (Prismatic) โดยตัวแปรของการเคลื่อนที่นี้ คือ a_n และ d_n
2. การหมุนของตัวเข็มต่อ (Revolute) โดยตัวแปรของการหมุนนี้คือ α_n และ θ_n

ในการกำหนดระบบพิกัดของแขนกลเพื่อออกแบบ สามารถใช้ทฤษฎีทางเรขาคณิตของ คีนา วิท - ชาร์เทนเบริก (Denavit-Hartenberg) ซึ่งเป็นการอธินายการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของระบบ พิกัด n มาอยู่ ณ ตำแหน่งของระบบพิกัด $n+1$ โดยระบบพิกัดจะถูกกำหนดโดย การหมุนและการเปลี่ยนตำแหน่ง ทั้งนี้ที่ต้องพิจารณา คือ

การหมุนรอบแกน z_n ด้วยมุมเท่ากับ θ_n

การเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน z_n ด้วยระยะทางเท่ากับ d_n

การเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน $x_{n+1} = x_n$ ด้วยระยะทางเท่ากับ a_n

การหมุนรอบแกน x_{n+1} ด้วยมุมเท่ากับ α_n

การแปลงร่วม (Homogeneous Transformation) ของการหมุน และการเคลื่อนที่โดยเป็นลักษณะเมตริกซ์เดียว (Single matrix) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนตำแหน่ง โดยเฉพาะจากระบบพิกัดหนึ่งไปสู่อีกระบบพิกัดหนึ่ง โดยจะเป็นลักษณะเมตริกซ์ 4×4

Rotation matrix	Position Vector
Perspective transformation	Scaling

โดยเมื่อนำมาเขียนในรูปของเมตริกซ์ทารานฟอร์มเมอร์ (Transformer matrix , T) จะได้ดังนี้

$$T = \begin{bmatrix} R & K \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

R คือ เมตริกซ์ของการหมุนซึ่งเป็นเมตริกซ์ 3×3

K คือ เมตริกซ์ของการแปลงซึ่งเป็นเมตริกซ์ 3×1

เมตริกซ์ของการหมุน (Rotation Matrix, R) คือ เมตริกซ์มุมลาก 3x3 โดยมีแกน x, y, z ซึ่งเป็นเวกเตอร์ | หน่วย (a_1, a_2, a_3) ของระบบพิกัด

เมตริกซ์ของการแปลง คือ เวกเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$K = k_x x_o + k_y y_o + k_z z_o$$

โดยที่ k_x, k_y, k_z คือ องค์ประกอบของเวกเตอร์ K และสามารถเขียนอยู่ในรูปของเวกเตอร์ (3x1) ได้ดังนี้

$$K = \begin{bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_z \end{bmatrix}$$

จากการ $p_o = K + Rp_i$ เมื่อให้ การแปลงร่วมของเมตริกซ์ โดยการรวมเวกเตอร์ตัวแทน K กับ เมตริกซ์การหมุน R จะได้ตัวแทนและมุมที่สมบูรณ์ของระบบพิกัดอีกระบบพิกัดหนึ่ง ที่มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างระบบพิกัดอ้างอิง เมื่อทำการแปลงระบบพิกัดของจุด P จากระบบพิกัดหนึ่งไปสู่ระบบพิกัดหนึ่ง จะได้

$$\begin{bmatrix} P_{0x} \\ P_{0y} \\ P_{0z} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1x} & a_{2x} & a_{3x} & k_x \\ a_{1y} & a_{2y} & a_{3y} & k_y \\ a_{1z} & a_{2z} & a_{3z} & k_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} P_{1x} \\ P_{1y} \\ P_{1z} \\ 1 \end{bmatrix}$$

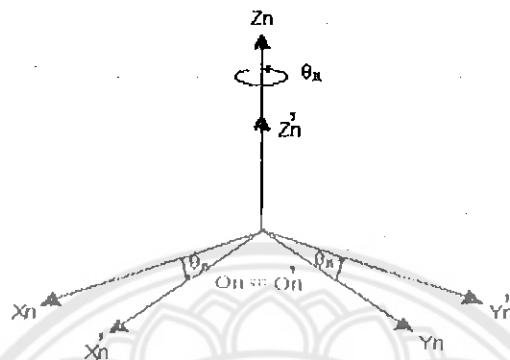
จากการแปลงร่วมของเวกเตอร์ตัวแทน K กับเวกเตอร์การหมุน R จะได้ แต่ที่ 4 ของ เมตริกซ์ 3x4 มีค่าเท่ากับ 0 และ 1 ทำให้ได้เมตริกซ์ 4x4

เมื่อนำมาแปลงร่วม จากโครงสร้างระบบพิกัดของแกน n ไปยังโครงสร้างระบบพิกัด n+1 โดยเขียนในรูปของเมตริกซ์ 4x4 ได้ดังนี้

$${}^n A = \text{Rot}(z_n, \Theta_n) * \text{Trans}(0,0,d_n) * \text{Trans}(a_n, 0, 0) * \text{Rot}(x_n, \alpha_n)$$

โดยที่ A คือ การแปลงร่วมของเมตริกซ์ จากแกน n ไปสู่แกน $n+1$
เมื่อนำมาพิจารณาทีละขั้น ได้ดังนี้

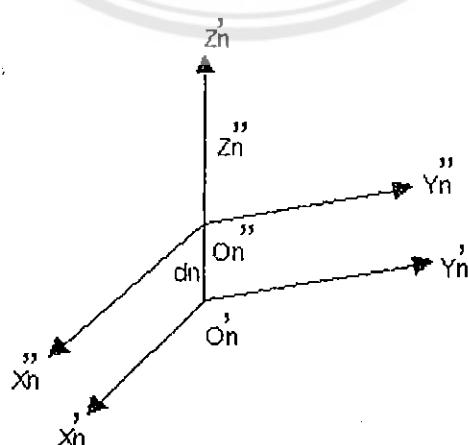
1. การหมุนรอบแกน z_n ด้วยมุมเท่ากับ θ_n



รูปที่ 2.23 การหมุนของ θ_n รอบแกน z_n

$$\text{Rot}(z_n, \theta_n) = \begin{bmatrix} \cos\theta_n & \sin\theta_n & 0 & 0 \\ \sin\theta_n & \cos\theta_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

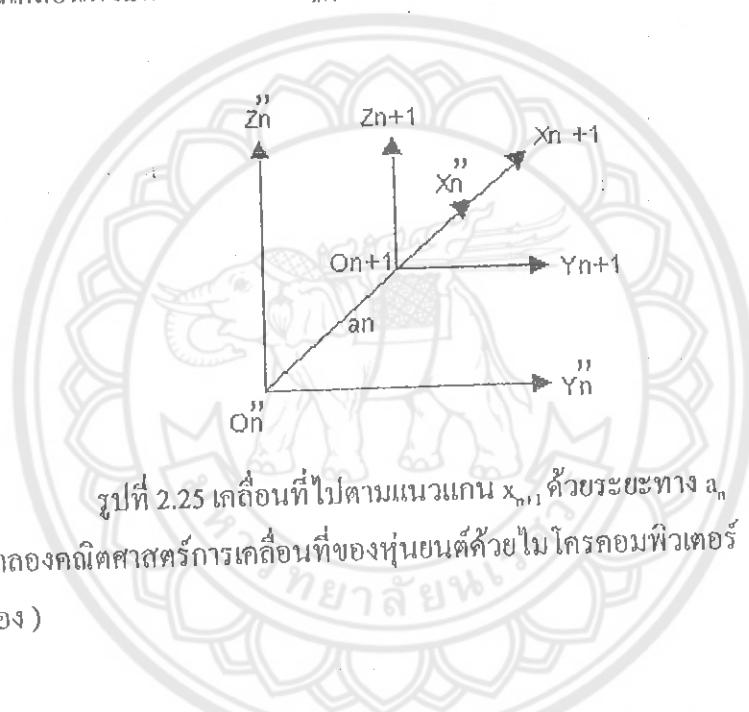
2. การเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน z_n ด้วยระยะทางเท่ากับ d_n



รูปที่ 2.24 เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน z_n ด้วยระยะทาง d_n

$$\text{Trans}(0,0,d_n) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3. การเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน x_{n+1} ด้วยระยะทางเท่ากับ a_n

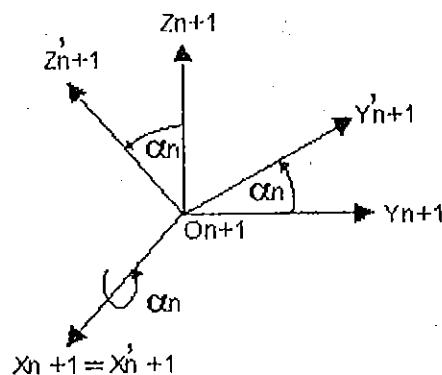


รูปที่ 2.25 เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน x_{n+1} ด้วยระยะทาง a_n

(ที่มา : การจำลองคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยในโครงคอมพิวเตอร์ วิรพงศ์ ทองคำ , วิปชญา สีทอง)

$$\text{Trans}(a_n, 0, 0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_n \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4. การหมุนรอบแกน x_{n+1} ด้วยมุมเท่ากับ α

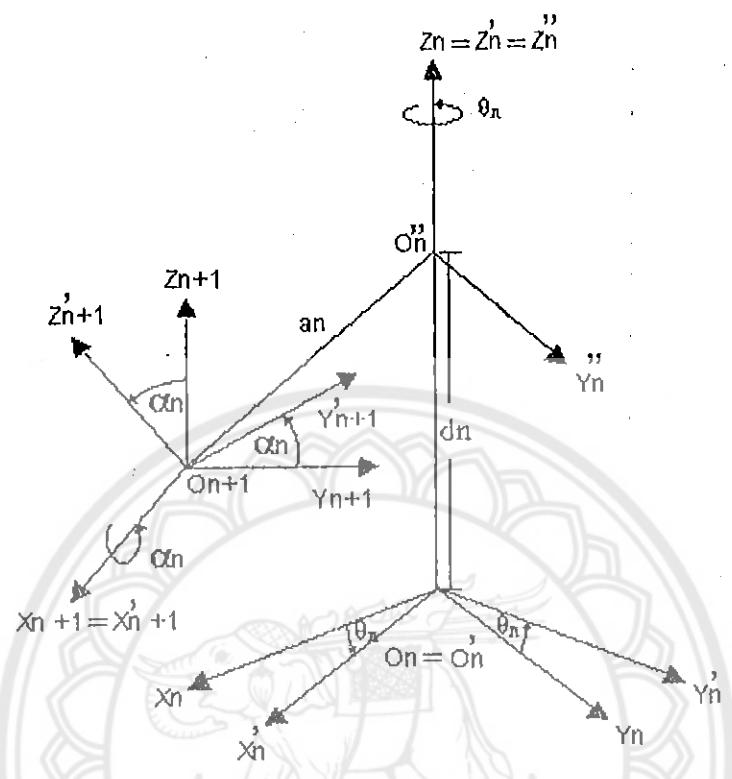


รูปที่ 2.26 การหมุน α_n รอบแกน x_{n+1}

(ที่มา : การจำลองคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ วราพงษ์ ทองคำกร,
วิปัสญา สีทอง)

$$\text{Rot}(x_n, \alpha_n) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_n & -\sin\alpha_n & 0 \\ 0 & \sin\alpha_n & \cos\alpha_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ดังนี้นผลของการแปลงรวมของเมตริกซ์ ระหว่างจุดเรื่องมูลทั้ง 2 จุด



รูปที่ 2.27 ผลของการแปลงระหว่าง จุดต่อ ก และ จุดต่อ ก+1

(ที่มา : การจำลองคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ วรพงษ์ ทองคำกร,
วิปัญญา สีทอง)

$$\begin{aligned}
 {}_{n+1}^n A = & \begin{bmatrix} \cos\theta_n & \sin\theta_n & 0 & 0 \\ \sin\theta_n & \cos\theta_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 & * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_n \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_n & -\sin\alpha_n & 0 \\ 0 & \sin\alpha_n & \cos\alpha_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$${}_{n+1}^n \Lambda = \begin{bmatrix} \cos\theta_n & -\sin\theta_n \cos\alpha_n & \sin\theta_n \sin\alpha_n & a_n \cos\theta_n \\ \sin\theta_n & \cos\theta_n \cos\alpha_n & \cos\theta_n \sin\alpha_n & a_n \sin\theta_n \\ 0 & \sin\alpha_n & \cos\alpha_n & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

จากสมการเมตริกซ์ 4×4 ที่ได้ สามารถแยกได้ 2 สักษณะ คือ คอร์ดันต์ตั้งแต่ 1-3 จากทางซ้าย จะเป็นเมตริกซ์ระหว่างจุดต่อ 2 จุด ค่า ซึ่งจะเกิดการหมุนขึ้น คือ จะเกิด θ_n หมุนรอบแกน z_n โดยจะหมุนกับ z_n และ α_n หมุนรอบแกน z_n โดยจะหมุนกับ x_n ส่วนคอร์ดันต์ทางขวา คือ ตำแหน่งของเวกเตอร์ k ระหว่างจุด O_n กับ O_{n+1}

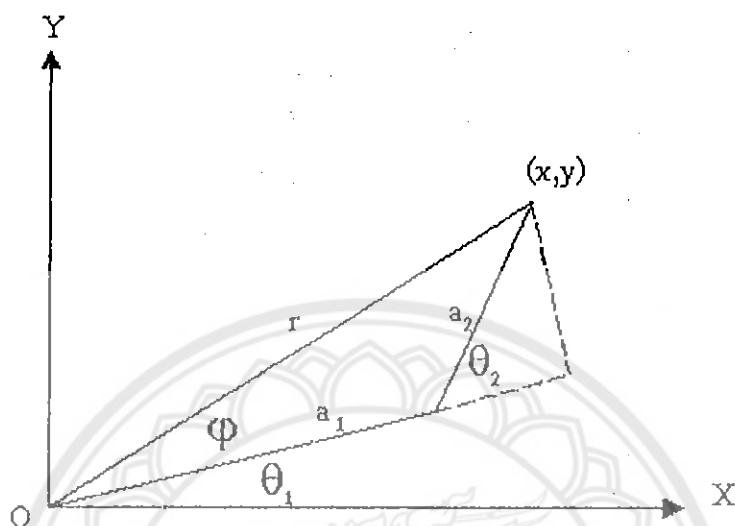
2.6 การคำนวณ การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์

การคำนวณ การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ (Determination kinetics of Robot) เป็นการหาสมการสำหรับการอธิบายการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยสมการนี้จะแสดงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบต่างๆ คือ แขนของหุ่นยนต์ (Link) และ จุดต่อเรื่องของแขนหรือจุดหมุน (Joint) ซึ่งในแต่ละองค์ประกอบจะมีนิยามกับโครงสร้างของหุ่นยนต์ในแต่ละตัว โดยในการอธิบายการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ จะใช้ การแปลงเมตริกซ์ และการหาสมการเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ สามารถหาได้ 2 สักษณะ คือ ฟอร์ward kinematics (Forward kinematics) และ inverse kinematics (Inverse kinematics)

1. ฟอร์ward kinematics เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ โดยเริ่มจากฐานไปสู่จุดปลายซึ่งเมตริกซ์ท่านฟอร์ward ที่ได้จะเป็นตัวแปลงจาก พิกัดแอนกูล (Robot coordinate) ไปสู่ พิกัด卡特 (Cartesian coordinate x,y,z) ซึ่งการ ฟอร์ward kinematics ส่วนใหญ่จะใช้ในการป้อนกลับเพื่อคุณภาพนิยาม ในการคำนวณ โดยการ ฟอร์ward kinematics นี้จะใช้วิธีการ แปลงเมตริกซ์ เพื่อหา ลักษณะของการเคลื่อนไหวของแต่ละแขนกลและนำมาแสดงความสัมพันธ์ของแขนกลทั้งหมด ซึ่งจะทำให้ได้ลักษณะของการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ที่สมบูรณ์

2. inverse kinematics เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ โดยเริ่มจากจุดปลายลงมาถึงฐาน ซึ่งการ inverse kinematics ส่วนใหญ่จะใช้ในการทำงานจริงของหุ่นยนต์ เนื่องจากสามารถ

วิเคราะห์ เข้าใจได้ และสามารถเห็นผลได้ทันทีในการคำนวณ โดยวิธีการอินเวอร์ส คิเนมติกส์ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.28 ซึ่งเป็นลักษณะของแนว 2 แขน



รูปที่ 2.28 แสดงการอินเวอร์ส คิเนมติกส์ ของแขนกล 2 แขน
(ที่มา : การจำลองคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยในโครงคอมพิวเตอร์ วรพงศ์ ทองตาก, วิปชยา สีทอง)

เมื่อพิจารณาจากรูปจะได้

$$x = a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos(\theta_2 + \theta_1)$$

$$y = a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_2 + \theta_1)$$

สามารถหา r ได้จาก $r^2 = x^2 + y^2$

ดังนั้นจากกฎของโคไซนส์ (cosines Law) ทำให้ได้

$$r^2 = a_1^2 + a_2^2 - 2a_1 a_2 \cos(\pi - \theta_2)$$

$$= a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos \theta_2$$

$$\cos \theta_2 = (r^2 - a_1^2 - a_2^2) / 2 a_1 a_2$$

$$\sin \theta_2 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta_2}$$

$$\theta_2 = \text{ATAN2}(\cos \theta_2, \sin \theta_2)$$

$$\text{จาก } \tan\varphi = (a_2 \sin\theta_2) / (a_1 + a_2 \cos\theta_2)$$

$$\tan(\varphi + \theta_i) = y/x$$

ดังนั้นสามารถหา θ_i ได้จาก

$$\theta_i = \text{ATAN2}(x, y) - \text{ATAN2}(\sin\theta_2, a_1 + a_2 \cos\theta_2)$$

2.7 การสร้างพิกัดย่อโดยการคิดแบบคิวบิก สไปน์

คิวบิกสไปน์ เป็นวิธีที่นำค่าเวลา(t) มาเปลี่ยนเป็น u_i เพื่อที่จะง่ายในการคำนวณในรูปของ เมตริกซ์ ค่า u_i จะเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 1 ส่วน t จะเปลี่ยนแปลงจาก t_{i-1} ถึง t_i จาก $t_{i-1} \leq t \leq t_i$, t จะมีความสัมพันธ์กับ u_i ดังนี้

$$t = t_{i-1} + (t_i - t_{i-1}) u_i \quad (1)$$

$$\text{และ } dt/du_i = t_i - t_{i-1} \quad (2)$$

ข้อมูลของพิกัดสูตรท้ายของการเคลื่อนที่จะแบบยอกเป็นช่วงๆ ซึ่งจะได้ตามสมการนี้

$$r^*(0) = r(t_{i-1}) \quad (3)$$

$$r'^*(0) = r'(t_{i-1}) dt/du_i \quad (4)$$

$$r^*(1) = r(t_i) \quad (5)$$

$$r'^*(1) = r'(t_i) dt/du_i \quad (6)$$

สมการที่ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ของเมตริกซ์ A_i^* ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่จะใช้ในการสร้างพิกัดย่อ ดังนี้

$$A_i^* = R_i^* B_i^* \quad (7)$$

$$\text{เมื่อ } R_i^* = [r(t_{i-1}) \quad r'(t_{i-1}) dt/du_i \quad r(t_i) \quad r'(t_i) dt/du_i] \quad (8)$$

$$\text{และ } B_i^* = [b_i^*(0) \quad b_i^*(0) \quad b_i^*(1) \quad b_i^*(1)] \quad (9)$$

$$b_i^*(u_i) = [u_i^3 \quad u_i^2 \quad u_i \quad 1]^T$$

ดังนั้น B^{-1} จึงเป็นค่าคงที่ซึ่งจะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 B^{-1} &= 0 \quad \left[\begin{array}{cccc} 0 & 1 & 3 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right] \\
 &= \left[\begin{array}{cccc} 2 & -3 & 0 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & 0 \\ -2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{array} \right] \quad (10)
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (1) จะได้ $u_i = (t - t_{i,1}) / (t_i - t_{i,1})$ (11)
 และพิกัดย่ออย่างเดียวพิกัดจะเกิดขึ้นเป็นจำนวน i ครั้ง ที่เวลา t จะสามารถคำนวณค่าพิกัดย่ออย่างเดียว
 จากสมการที่ (7), (10), (11)

ตัวอย่าง ต้องการสร้างพิกัดย่อของกราฟลอนที่จาก $(0, 0, 0)$ ไปยัง $(1, 0, -1)$ โดยใช้เวลา 10 วินาที และต้องการให้ความเร็วเป็นศูนย์เมื่อถึงจุดสุดท้าย

$$r(t_0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$r(t_1) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$r(t_0) \frac{dt}{du_i} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$r(t_p) \frac{dt}{du_1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

จากสมการที่ (2) จะได้ $\frac{dt}{du_1} = 10 - 0 = 10$ วินาที
จากสมการที่ (8) จะได้

$$\begin{aligned} R_1^* &= \begin{bmatrix} 0 & 0(10) & 1 & 0(10) \\ 0 & 0(10) & 0 & 0(10) \\ 0 & 0(10) & -1 & 0(10) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

แทนค่า R_1^* ลงในสมการที่ (7)

$$A_1^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2 & -3 & 0 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & 0 \\ -2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

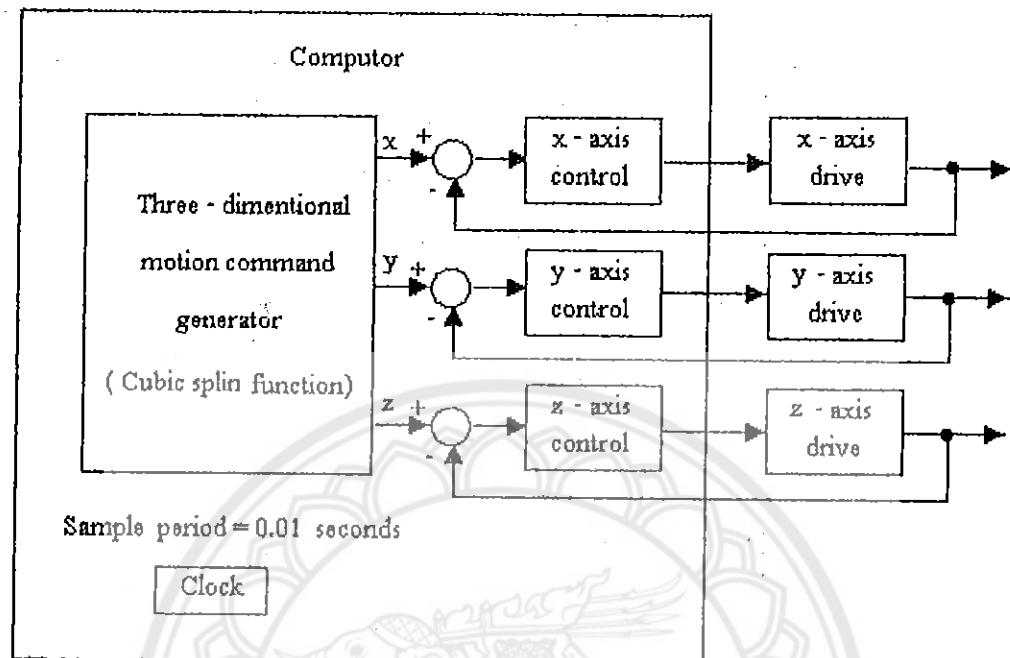
$$A_1^* = \begin{bmatrix} -2 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ตั้งนี้จะได้สมการของการสร้างพิกัดอย่างดังนี้

$$X(u_1) = -2u_1^3 + 2u_1^2$$

$$Y(u_1) = 0$$

$$Z(u_1) = 2u_1^3 - 3u_1^2$$



รูปที่ 2.29 แสดงระบบการควบคุมเครื่องจักรแบบ 3 แกน
(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

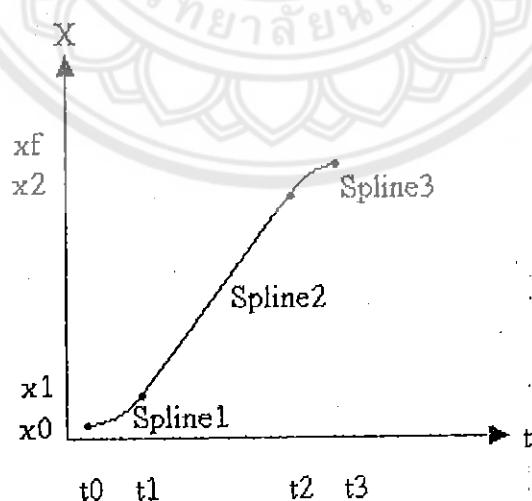
ด้วยระบบที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรนี้เป็นแบบในรูปที่ 2.29 และมีช่วงเวลาการสร้างพิกัด (Sample period, T) มีค่าเท่ากับ 0.01 วินาที คือเราสามารถที่จะสร้างพิกัดได้ทุกๆ 0.01 วินาที ดังนั้นอัตราการเพิ่ม Δu_i นั้น จะมีความสัมพันธ์กับ T ดังสมการด้านไปนี้

$$\begin{aligned}
 \Delta u_i &= T(dt/du_i) \\
 &= 0.01/10 \\
 &= 0.001
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าพิกัด X, Y, Z ในแต่ละช่วงเวลาซึ่งได้เลือกตัวอย่างมา 11 ตัวอย่างจาก 1000
 (ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

N	t	u_1	X	Y	Z
0	0.0	0.0	0.000	0.000	-0.000
100	1.0	0.1	0.028	0.000	-0.028
200	2.0	0.2	0.104	0.000	-0.104
300	3.0	0.3	0.216	0.000	-0.216
400	4.0	0.4	0.352	0.000	-0.352
500	5.0	0.5	0.500	0.000	-0.500
600	6.0	0.6	0.648	0.000	-0.648
700	7.0	0.7	0.784	0.000	-0.784
800	8.0	0.8	0.896	0.000	-0.896
900	9.0	0.9	0.972	0.000	-0.972
1000	10.0	1.0	1.000	0.000	-1.000

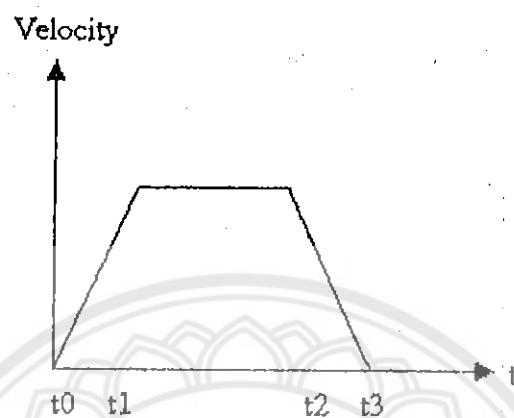
เมื่อนำค่าพิกัดมาหาตัวกราฟเทียบกับเวลา จะได้



รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดกับเวลา

(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

เมื่อนำมาแปลงเป็นกราฟความเร็วกับเวลา



รูปที่ 2.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

(ที่มา : Computer Control of Machines and Processes John G. Bollinger , Neil A. Duffie)

บทที่ 3

วิธีการออกแบบ, สร้างสรรค์ และเขียนโปรแกรมระบบควบคุม

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้

3.1.1 ฮาร์ดแวร์

- บอร์ดมาสเตอร์ 1 และมาสเตอร์ 2 เป็นชิ้นเดียวกันของบริษัทที่ที่ รุ่น CP-SB31 ใช้ชิปเซ็ต 8032 หน่วยความจำข้อมูล 32 กิกะไบต์ หน่วยความจำโปรแกรม 32 กิกะไบต์ มีไอซีเมมอร์ 8255 ขยายพอร์ต มีหน้าที่คิดต่อ กับพิซซิผ่านทางพอร์ตอ่อนุกรรม เพื่อรับข้อมูลซึ่งเป็นคำແเนงต่างๆ จากโปรแกรมบนพิซซิ แล้วคำนวณหาเส้นทางยอขตามสมการคิวบิกส์ไปล์ และแปลงให้เป็นองศาของแต่ละแกน แล้วส่งให้บอร์ดสเลฟต่างๆ ผ่านทางพอร์ตอ่อนุกรรมในระบบมัลติໂປರเชสเซอร์

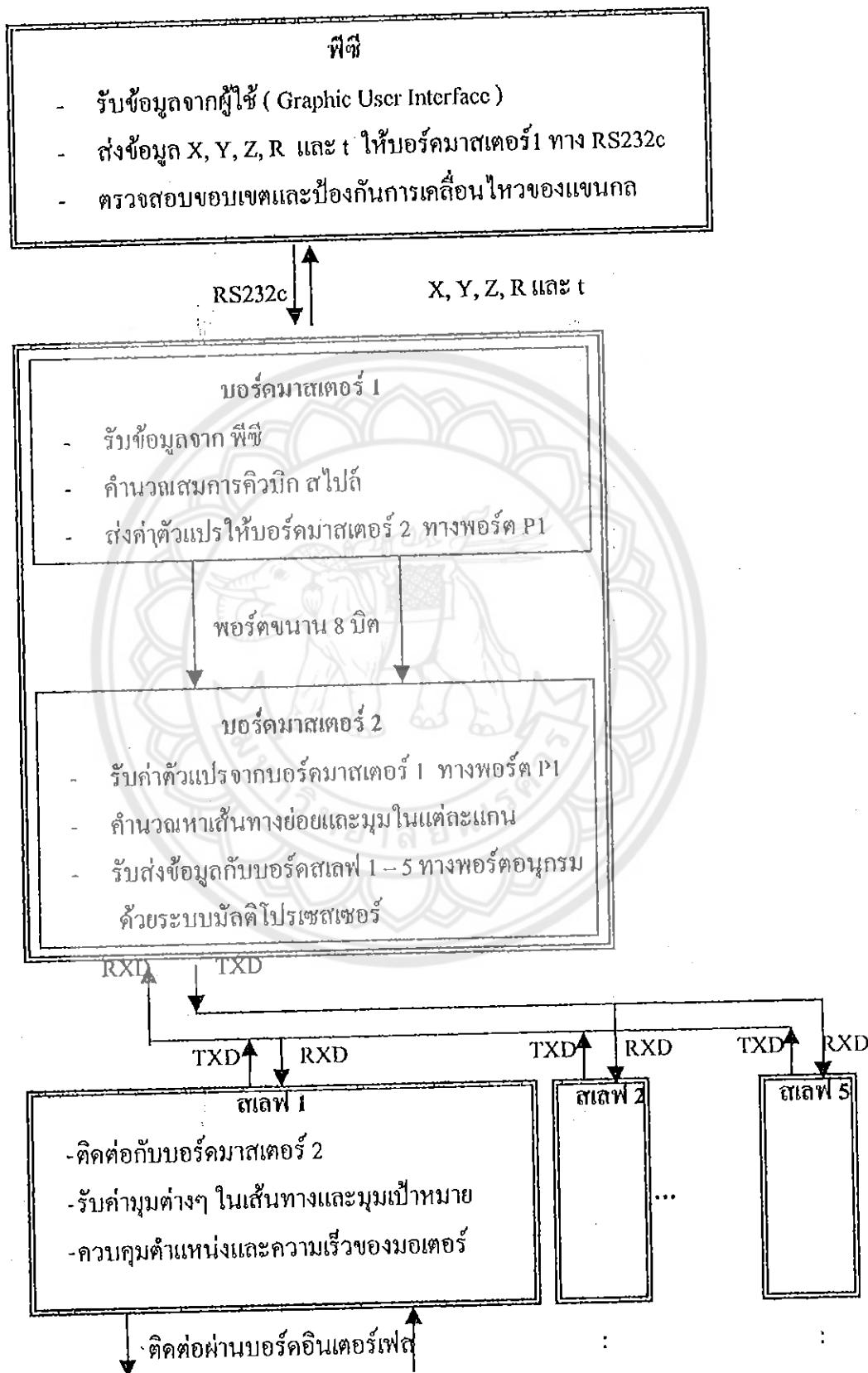
- บอร์ดสเลฟ 1 ถึงสเลฟ 5 เป็นชิ้นเดียวกันของบอร์ดรุ่นเดียวกันของบอร์ดมาสเตอร์ มีหน้าที่ในการรับข้อมูลจากบอร์ดมาสเตอร์และคำนวณตามหน่วยการคำนวณแบบพิไอดี (PID) แล้วส่งงานมอร์ด 8952 ผ่านบอร์ดอินเตอร์เฟส เพื่อกำกับมอเตอร์ และรับคำป้อนกลับจากบอร์ดคือโคลเดอร์/เกาท์เตอร์ ผ่านบอร์ดอินเตอร์เฟส เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปยังคำແเนงที่ต้องการได้

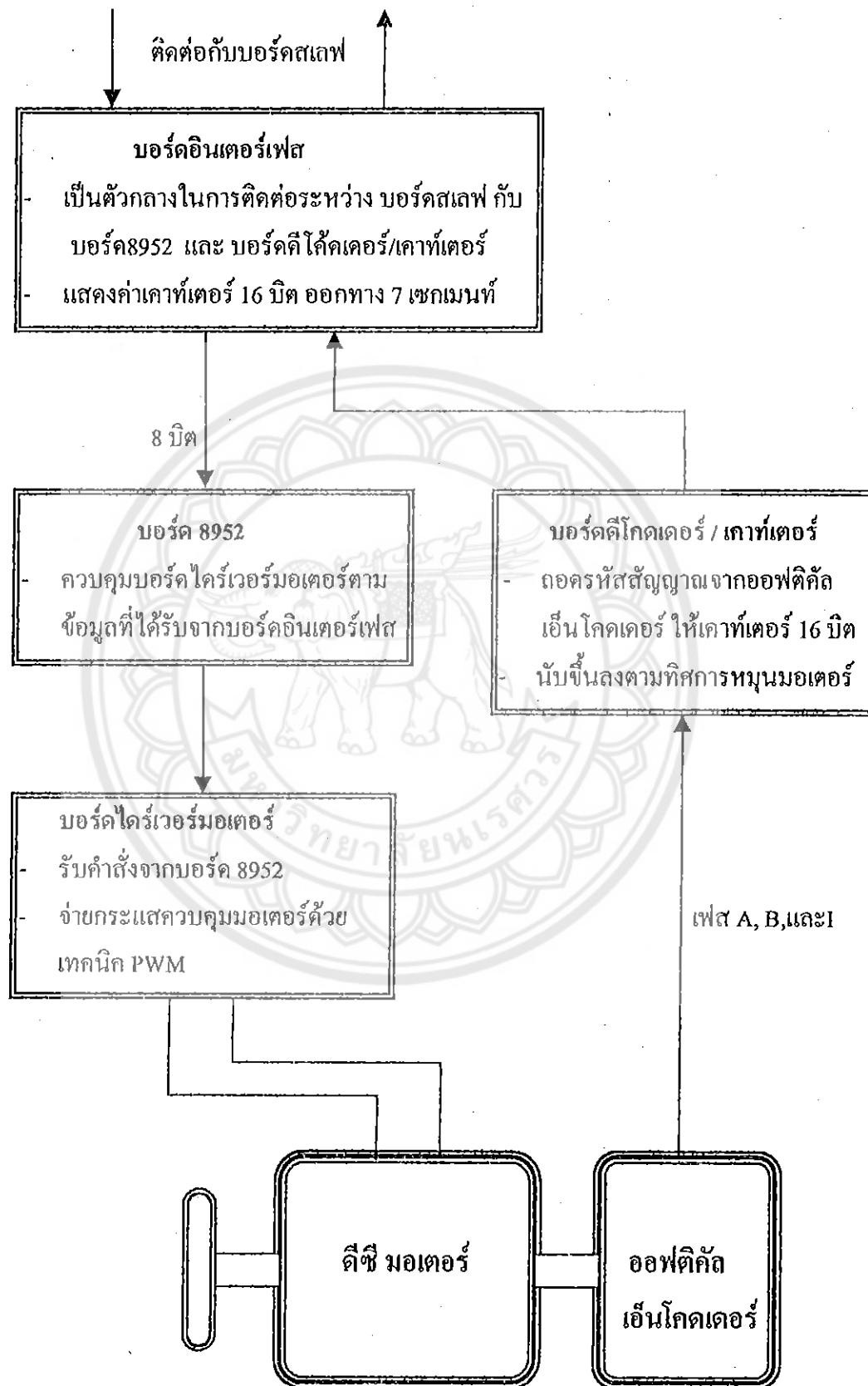
- บอร์ด 8952 เป็นบอร์ดที่ใช้ในโครคยอน โทรคเดอร์เบอร์ AT 89C52 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 8 กิกะไบต์ ชนิดแฟลช มีหน้าที่รับข้อมูลจากบอร์ดสเลฟ แล้วส่งมอร์ดไดร์เวอร์มอเตอร์ให้ทำงานตามต้องการ โดยจะใช้ไทม์เมอร์ (Timer) ในการสร้างสัญญาณ PWM

- บอร์ดไดร์เวอร์มอเตอร์ เป็นบอร์ดที่ทำหน้าที่รับคำสั่งจากบอร์ด 8952 แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้า出去ที่ความเร็วและทิศทางต่างๆ ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วได้โดยใช้เทคนิค PWM และควบคุมทิศทางด้วยวงจรไฮบอริดิกซ์ (H-Bridge) ซึ่งใช้มอเตอร์เซนเซอร์ 2 ตัวและชนิดเอ็น 2 ตัว

- บอร์ดคือโคลเดอร์/เกาท์เตอร์ เป็นบอร์ดที่สร้างจากสเตเตฟแมกชีน ทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณจากอุปกรณ์ต่างๆ โคลเดอร์ ซึ่งติดอยู่กับเพลทมอเตอร์ ให้เป็นคำແเนงปัจจุบันของแขนกล โดยสามารถระบุคำແเนงได้ 16 บิต

- บอร์ดอินเตอร์เฟส เป็นบอร์ดที่ใช้เป็นสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลระหว่างบอร์ดสเลฟ, บอร์ดคือโคลเดอร์/เกาท์เตอร์ และบอร์ด 8952 อีกด้วยขั้นแสดงคำคำແเนงของแขนกลอย่าง 7 เชกเมนต์ จำนวน 4 หลัก





รูปที่ 3.1 ภาพโดยรวมของระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกล

3.1.2 ซอฟต์แวร์

- โปรแกรม Protel EDA Client 3.2 ใช้ในการออกแบบวงจร (Schematic) ของบอร์ดต่าง ๆ
- โปรแกรม C 51-Compiler V2.51 ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์
- โปรแกรม Delphi 5 ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมบนพีซี
- โปรแกรม Mathcad ใช้ในการคำนวณสมการต่าง ๆ เพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

3.1.3 โครงสร้างกลไกแขนกัด (Robot Arm Machine)

- หุ่นยนต์อุตสาหกรรม 6 แนวแกน KAWASAKI UNIMATE MACHINE ชนิด 260 RIS6 โดยได้การตัดเปลี่ยนเป็น 5 แนวแกน เนื่องจากอุปกรณ์ของแขนกลไม่ครบ

3.2 การออกแบบวงจร

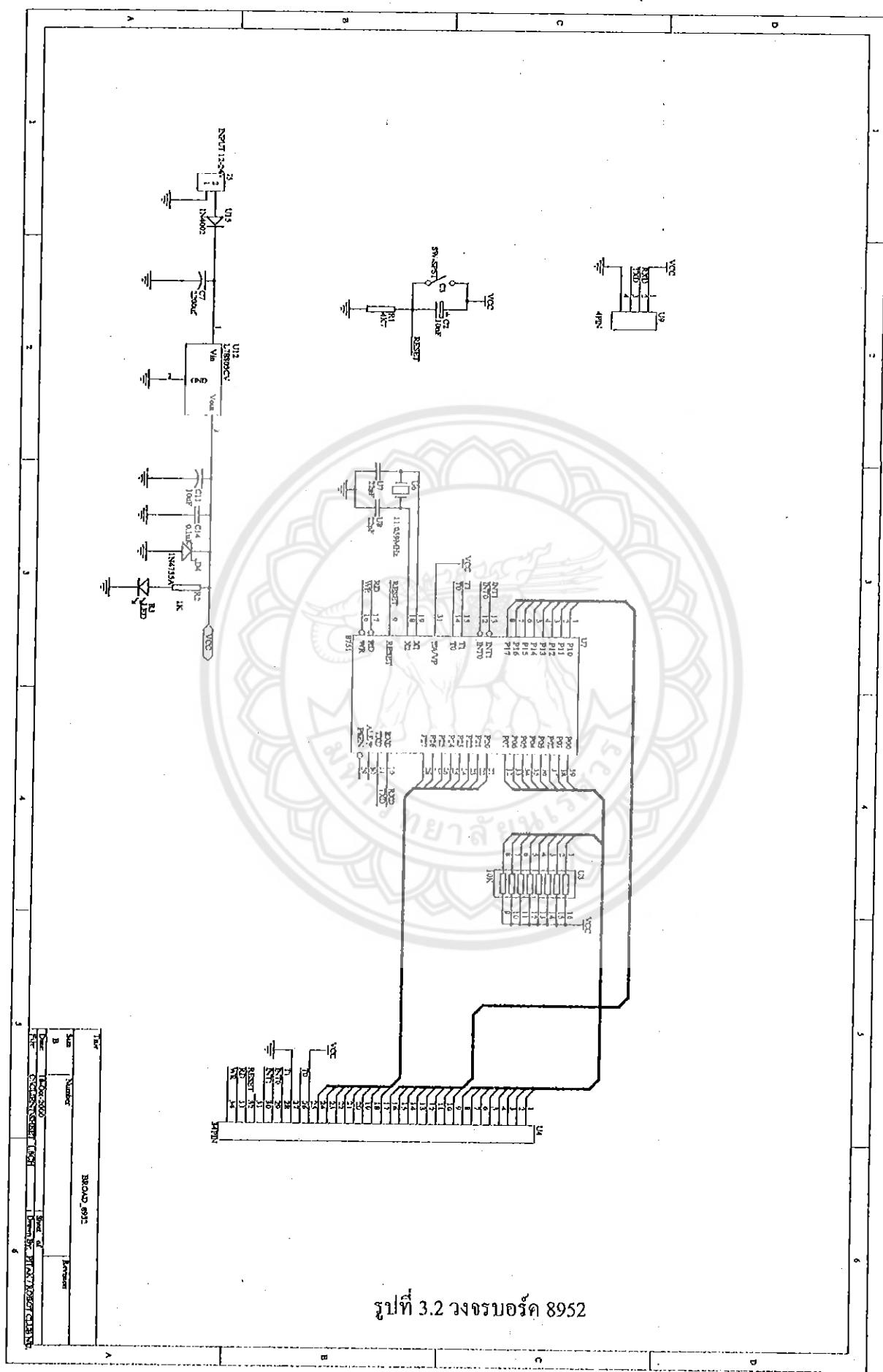
3.2.1 หลักการทำงานของบอร์ด 8952

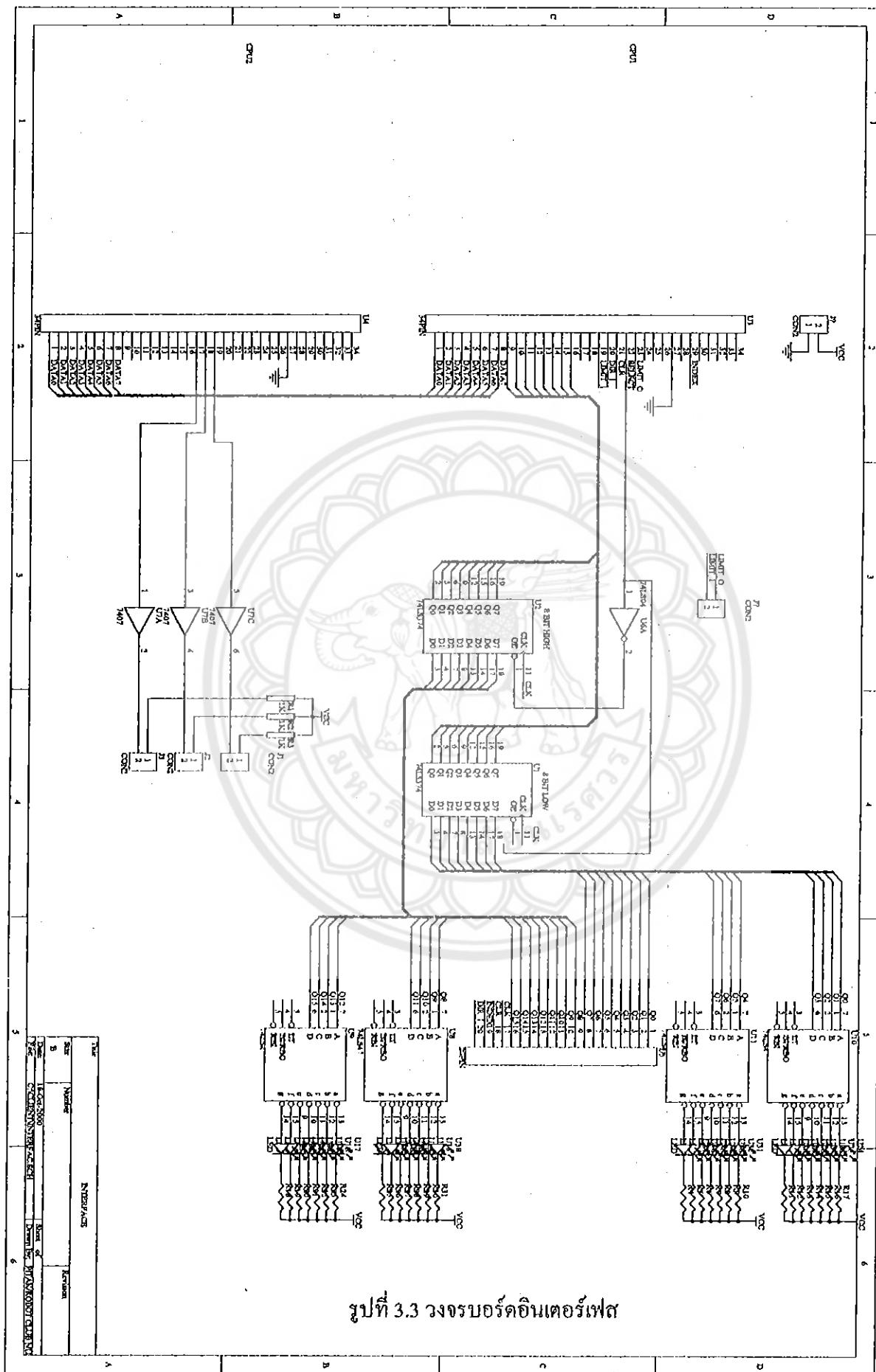
บอร์ด 8952 จะใช้ในโครงคอนโทรลเลอร์เมอร์ AT89C52 ในการควบคุมการทำงานซึ่งในวงจรจะประกอบด้วยอุปกรณ์เพียงเด็กน้อย เพราะมีหน่วยความจำในตัวเดียว โดยมีตัวสำหรับผู้อพิทีพอร์ต 0 , วงจรตัวอย่างขนาดพิเศษ 11.059 เมกะเฮิร์ต , วงจรรีเซ็ต และวงจรแหล่งจ่ายไฟ เมื่อจากมีอุปกรณ์น้อยจึงมีขนาดเล็ก และประหยัด

บอร์ด 8952 มีหน้าที่รับข้อมูลจากบอร์ดสเต็ฟซึ่งเป็นค่าตัวแปรคำนินการในสมการควบคุมแบบ PID และส่งผ่านบอร์ดอินเตอร์เฟสเพื่อสั่งให้บอร์ดไดเรอร์มอเตอร์ทำงานตามต้องการ โดยต้องเปลี่ยนค่าตัวแปรไปเป็นค่าที่บอร์ดไดเรอร์เข้าใจ คือ ทิศทาง , สัญญาณพัลซ์ และสัญญาณอิเนบิล ซึ่งจะใช้ใหม่เมอร์ในการสร้างพัลซ์ (PWM)

3.2.2 หลักการทำงานของบอร์ดอินเตอร์เฟส

เป็นบอร์ดที่มีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถือสารข้อมูลระหว่างบอร์ดต่าง ๆ และแสดงค่าตำแหน่งของแขนกลออกทาง 7 เซกเมนต์ จำนวน 4 หลัก ในฐาน 16 โดยไอซีเมอร์ 74LS47 ซึ่งในการส่งค่าตำแหน่งจากบอร์ดคือไอคอลเลอร์/เคทีเทอร์ ไปให้บอร์ดสเต็ฟนั้นจะมีไอซีเมอร์ 74LS374 จำนวน 2 ตัว ในการรับข้อมูลขนาด 16 บิต และส่งเข้าบอร์ดสเต็ฟที่ละ 8 บิต โดยบอร์ดสเต็ฟจะส่งสัญญาณเลือกมา





รูปที่ 3.3 วงจรบอร์ดอินเตอร์เฟส

3.2.3 หลักการทำงานของไดรเวอร์มอเตอร์ (Driver Motor)

ไดรเวอร์มอเตอร์ (Driver Motor) มีหน้าที่รับอินพุต จากคอนโทรลเลอร์ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณพัลซ์ (Pulse Width Modulation, PWM), ทิศทาง (Direction, Dir) และสัญญาณปิด – เปิด (Enable, EN) เมื่อไดรรับสัญญาณอินพุตดังกล่าวแล้ว ก็จะควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จะนำไปขับนอเตอร์ตามคำสั่ง

หากวงจรไดรเวอร์มอเตอร์ จะมีการไอโซเลต (Isolate) ด้วยอปติโอลอป (Opto isolate) ทั้ง 3 อินพุต เพื่อทำการแยกผ่านสัญญาณจากบอร์ดคอนโทรลเลอร์กับบอร์ดไดรเวอร์ ซึ่งจะสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนจากบอร์ดไดรเวอร์ไปรบกวนบอร์ดคอนโทรลเลอร์และบอร์ดอื่นๆ ได้

กระแสไฟฟ้าอินพุต จะให้ผลผ่านไดโอดเปล่งแสงภายในออฟติโอลอป เมื่อไดโอดเปล่งแสงสว่างจะทำให้เกิดกระแสปริมาณเล็กน้อย ให้ถูกอกจากอปติโอลอปไปที่ทรานซิสเตอร์ผ่านความต้านทานที่มีค่าสูง ทำให้เกิดความต่างศักย์ที่สูง แล้วนำความต่างศักย์ดังกล่าวไปเปรียบเทียบด้วยอปีแอนปี โดยจะต้องปรับค่าความต้านทานออฟเซต (R - Opset) ให้มีแรงดันประนาณครึ่งหนึ่งของแรงดันที่กรองตัวต้านทาน สัญญาณที่ได้จากอปีแอนปีจะเป็นสัญญาณลอจิก โดยสัญญาณทั้ง 3 จะไปควบคุมการทำงานของไปชีดดอร์ส (74LS138) ซึ่งสัญญาณทิศทางจะเข้าที่ขา 1 (A) ของไอซีสัญญาณพัลซ์เข้าที่ขา 6 (G1) และสัญญาณปิด – เปิด เข้าที่ขา 4 (G2A)

ผลของสัญญาณทิศทางจะสามารถทำให้ขา 15 (Y0) และขา 14 (Y1) ทำงานสับกัน นั่น อยู่กับล็อกจิกของสัญญาณ สำหรับสัญญาณพัลซ์จะทำให้เอต์พุตของไอซีทำงาน และไม่ทำงานเป็นจังหวะตามลักษณะของพัลซ์ ซึ่งจะมีผลต่อการควบคุมกระแสโดยที่ที่นำไปขับนอเตอร์ ด่วน สัญญาณปิด – เปิด นั้น หากมีล็อกจิก '1' จะทำให้ไดรเวอร์ไม่ทำงาน นั่นคือ ไม่มีกระแสไปขับนอเตอร์ แต่ถ้ามีล็อกจิก '0' ก็จะทำงาน

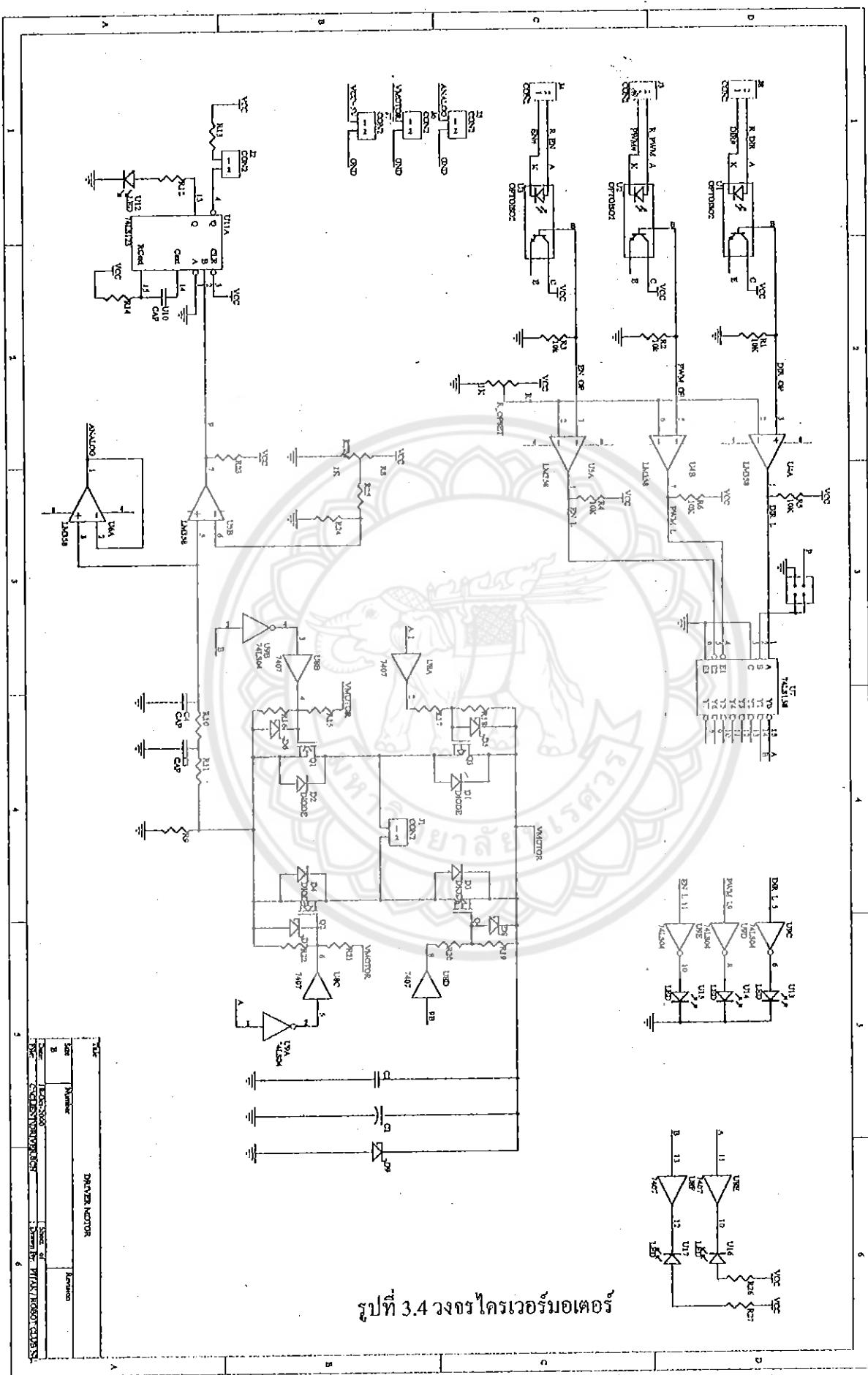
สำหรับวงจรที่ใช้ในการจ่ายกระแสให้มอเตอร์ จะใช้มอสเฟต (MOSFET) ต่อ กันแบบเอช – บริดจ์ (H – bridge) ขณะทำงานจะสั่งให้มอสเฟตทำงาน (ON) ทีละ 2 ตัว ทแยงบุนกัน เพื่อให้กระแสไหลผ่านมอเตอร์ ซึ่งวงจรได้ออกแล้วไม่ให้มอสเฟตข้างเดียวกันทำงานพร้อมกัน การควบคุมการทำงานของมอสเฟตทั้ง 4 ตัว จะรับสัญญาณมาจากไอซีดอร์ส (74LS138) ขา 15 (Y0) และขา 14 (Y1) ซึ่งปกติแล้วจะทำงานไม่พร้อมกัน โดยจะควบคุมมอสเฟตไขว้กัน

สัญญาณที่ควบคุมมอสเฟตชนิดพี (P – Channel) จะผ่านบีฟเฟอร์ (7407) นั่นคือหากอินพุตเป็นล็อกจิก '0' เอต์พุตของบีฟเฟอร์จะต่อลงกราว์ด ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทานเกิด

แรงดันต่ำคร่อม V_{GS} ประมาณ -5V ซึ่งจะทำให้มอเตอร์ฟ้าทำงาน หากเป็นล็อกจิก '1' ก็จะไม่ทำงานเนื่องจาก V_{GS} เท่ากับ 0V

สัญญาณที่ควบคุมมอเตอร์ชนิดเดิน (N-Channel) จะผ่านนอตเกต (74LS04) และเข้าบัสเฟอร์ (7407) โดยหากอินพุตของนอตเกตเป็นล็อกจิก '0' ก็จะทำให้อาร์พุตของบัสเฟอร์มีความด้านทำงานสูงมาก (High-Z) ทำให้เกิดกระแสไฟหล่อผ่านตัวด้านทาน เกิดแรงดันต่ำคร่อม V_{GS} ประมาณ 5V ทำให้มอเตอร์ฟ้าทำงาน หากเป็นล็อกจิก '1' ก็จะไม่ทำงาน

ก่อนที่กระแสไฟฟ้าที่ขับมอเตอร์จะต้องกว้าง จะมีการต่อตัวด้านทานที่มีค่าน้อยมาก และมีวัตต์สูงๆ มาคั่นก่อน เพื่อนำไว้โลที่เกิดขึ้นไปตรวจสอบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน มอเตอร์ เพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟโอเวอร์โหลด (Over load) โดยการใช้ตัวด้านทานและตัวเก็บประจุค่าน้อย ๆ ทำการลดสัญญาณรบกวน และนำໄไปเปรียบเทียบกับไว้โลที่จากตัวด้านทานปรับคลาได้ด้วยอปเปอเรนเซ่ แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปเข้าไอซีล็อกครั้ง (74LS138) ขา 2(B) ซึ่งหากออกอปเปอเรนเซ่ให้ล็อกจิก '1' จะทำให้อาร์พุตของไอซีล็อกครั้ง (74LS138) ทำงานที่ขา 13 (Y2) หรือขา 14 (Y3) แทน ซึ่งมีหน้าที่ให้มอเตอร์ไม่จ่ายกระแสไฟเมื่อต้อง遇上 เป็นการรักษาความปลอดภัยขั้นหนึ่ง นอกจากนี้สัญญาณที่ออกจากอปเปอเรนเซ่ยังกล่าว บังคับขยายความกว้างของพล๊อตที่เกิดจากกระแสไฟกินเพื่อขับไฟ去做เปลี่ยนแสงแสดงให้ผู้ใช้เห็นชัดเจนขึ้น โดยไอซีโนโนสเต็ม (74LS123) ซึ่งจะทำให้ได้ไฟเปลี่ยนแสงสว่างนานขึ้น



รูปที่ 3.4 วงจรไครเวอเร็นอเดอร์

3.2.2 การออกแบบและหลักการทำงานของวงจรดิจิตอลเดอร์และเกาท์เตอร์

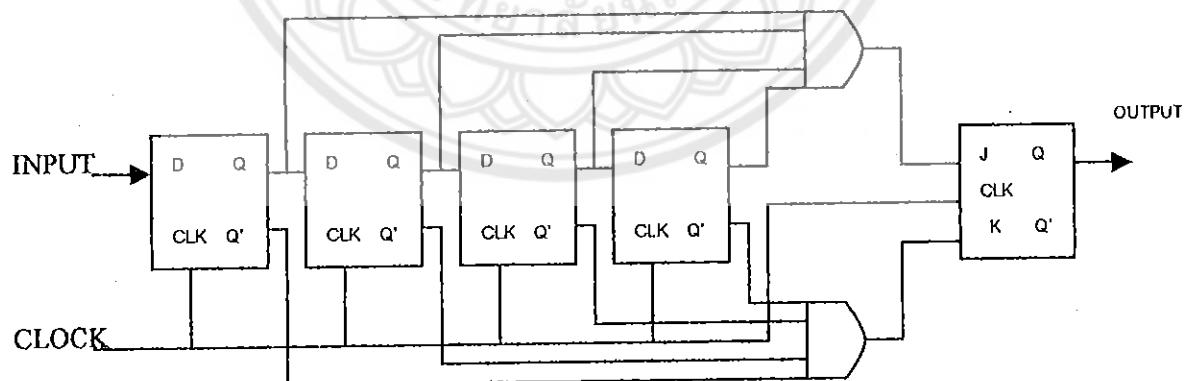
(Decoder and Counter)

วงจรออกแบบและวงจรนับ (Decoder and Counter) จะมีหน้าที่ถอดรหัสจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เอ็นโคడ์เยอร์ ให้เป็นตำแหน่งของวงจรดิจิตอล โดยวงจรนับจะเป็นตัวแสดงตำแหน่งให้กับคณโทรลเลอร์ที่ติดต่อด้วย



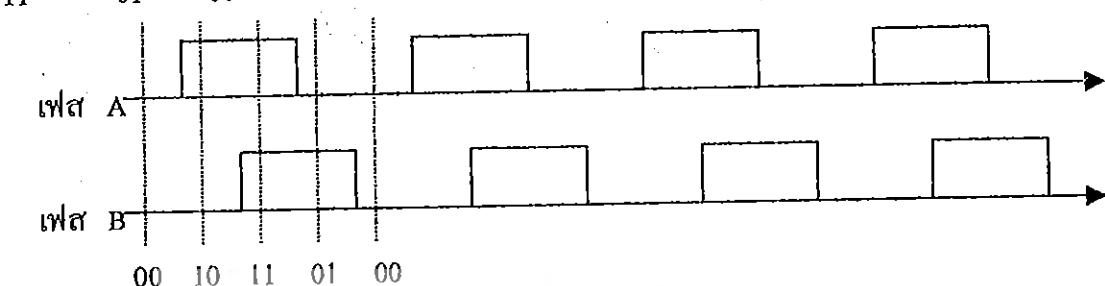
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของวงจรดิจิตอลเดอร์และเกาท์เตอร์

สัญญาณที่มาจากการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 3 ตัว คือ เฟส A , เฟส B และอินเด็กซ์ (Index) จะถูกกรองค่าบวกของวงจรดิจิตอลฟิลเตอร์ (Digital Filter) ก่อนเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เป็นแรงดันกระชาก โดยอาศัยการหน่วงเวลาด้วยฟลิปฟล็อก (Flip – Flop) ไว้ 4 คาบ สัญญาณจะมีเอาต์พุตเป็นลอจิก '1' ไดเมื่ออินพุตเป็นลอจิก '1' อย่างน้อย 4 คาบ หากน้อยกว่าจะถือว่าอินพุตนั้นคือสัญญาณรบกวน เอาต์พุตจะไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับดิจิก '0' ก็เช่นเดียวกัน



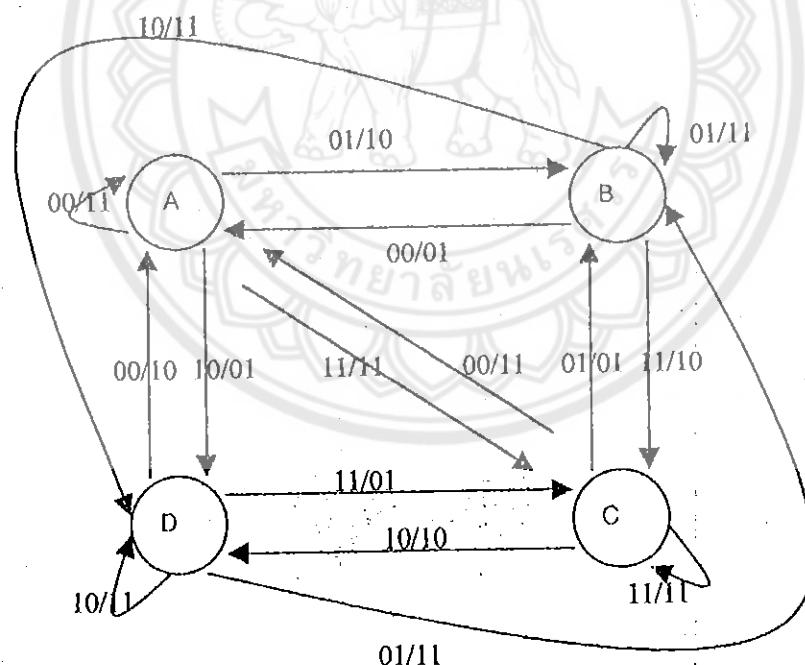
รูปที่ 3.6 วงจรดิจิตอลฟิลเตอร์

เมื่อสัญญาณต่าง ๆ ได้ผ่านวงจรคิจิตลพิเศษแล้วก็จะเข้าสู่วงจรลำดับ (Synchronous Sequential Circuit) ซึ่งจะทำการตรวจสอบสถานะของเฟส A และเฟส B คือ $00 \leftrightarrow 10 \leftrightarrow 11 \leftrightarrow 01 \leftrightarrow 00$



รูปที่ 3.7 สถานะต่าง ๆ ของเฟส A และเฟส B

จากการตรวจจับสถานะปัจจุบัน (Q_n) กับสถานะในอดีต (Q_{n-1}) จะทำให้ทราบทิศทาง และขนาดของการเรือนที่ โดยเอาต์พุตของวงจรลำดับจะเป็นสัญญาณพัลซ์นับขึ้น (Count up) และนับลง (Count down)



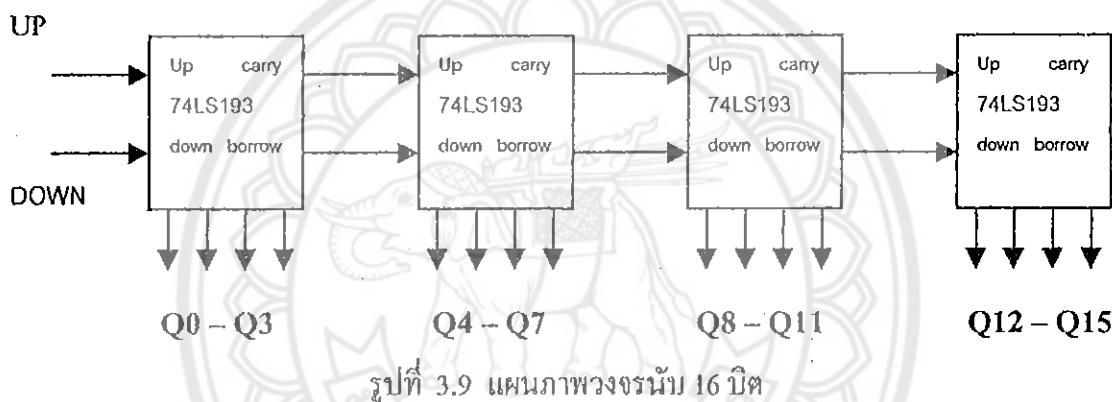
รูปที่ 3.8 สเตทไ/doe แกนของวงจรลำดับ

เมื่อทำตามขั้นตอนการออกแบบวงจรลำดับแล้วจะได้

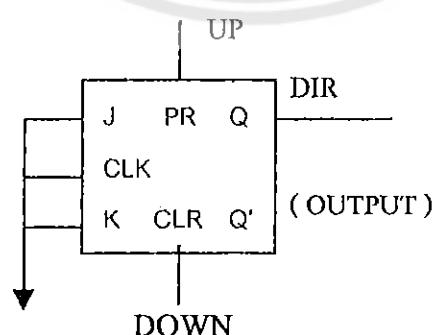
$$J_1 = A \quad K_1 = A'$$

$$\begin{aligned}
 J_2 &= B & K_2 &= B' \\
 Up &= A'Q'_2 + BQ'_1 + AQ_2 + B'Q_1 \\
 Down &= A'Q_2 + BQ_1 + AQ'_2 + B'Q'_1
 \end{aligned}$$

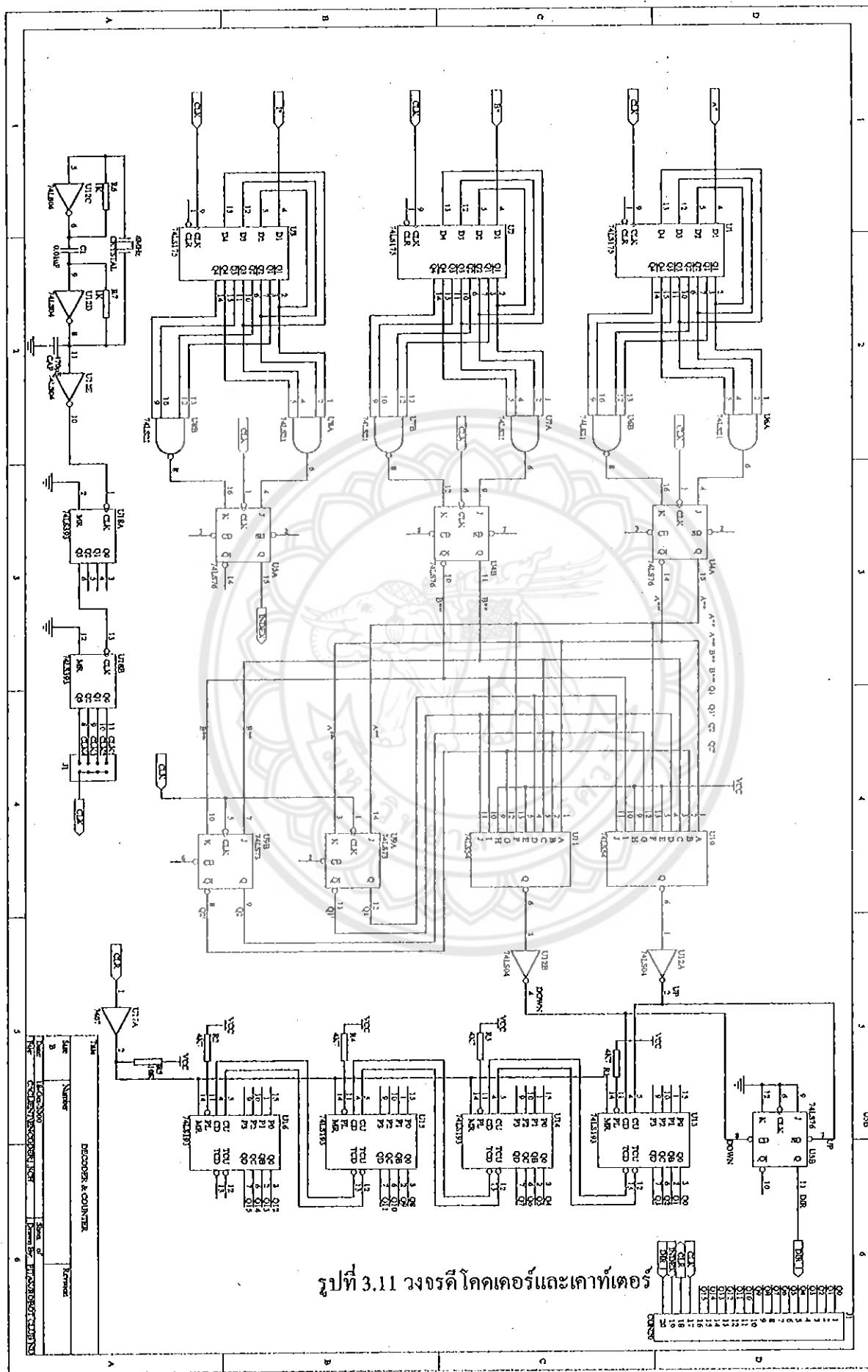
เมื่อได้สัญญาณนับขึ้นและนับลงแล้วก็จะนำไปป้อนให้กับ 74LS193 และนำขาทด (Carry) ไปต่อขาบวกขึ้น (Up) ของ 74LS193 อีกด้วย ส่วนขาบีบ (Borrow) ไปต่อกับขาบวกลง (Down) ด้วย โดยจะใช้ 74LS193 นับสัญญาณพัดซ์ทั้งหมด 4 ตัว ทำให้สามารถบุคคลาแห่งได้ 16 บิต หรือ 65535 ตำแหน่ง



สำหรับสัญญาณทิศทาง ซึ่งจะใช้ในกรณีที่คอนโทรลเลอร์ต้องการทราบ เช่น ในฟังก์ชันของอินเด็กซ์ โดยจะใช้เทคนิครีเซต (Reset) และพรีเซต (Preset) ของฟลิปฟล๊อป

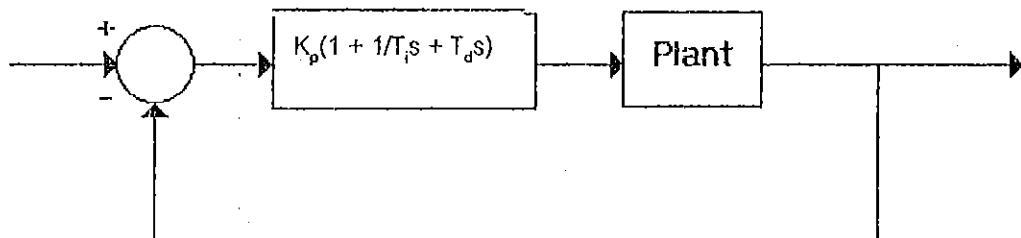


รูปที่ 3.10 วงจรสร้างสัญญาณทิศทาง (DIR)



รูปที่ 3.11 วงจรคีโตกเดอร์และเก้าท์เตอร์

3.3 การปรับค่า K_p , K_i และ K_d ของตัวควบคุมแบบ PID



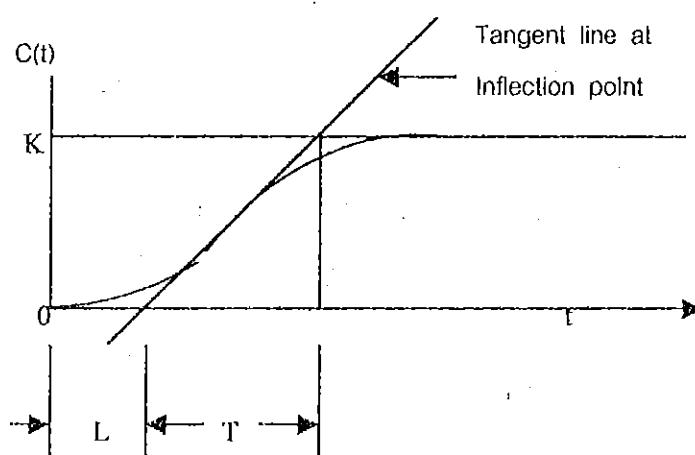
รูปที่ 3.12 ตัวควบคุมแบบ PID

(ที่มา : Modern Control Engineering Katsuhiko Ogata)

ได้มีนักคณิตศาสตร์คิวบิชที่จะหาทางตั้งค่า PID เพื่อให้ได้การควบคุมที่มีคุณภาพดีที่สุด หลายวิธีด้วยกัน แต่ในที่นี้ขอยกตัวอย่างเพียงแค่ 2 วิธี เท่านั้น โดยใช้ กฎของไซเกอร์และนิโคลส (Ziegler – Nichols rules for tuning PID controllers) ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก การปรับค่า PID เพื่อให้ได้ค่า Damping ratio เท่ากับ 25% สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1

- ให้เปลี่ยนระบบควบคุมเป็นวงรอบเปิด (Open loop)
- หาดักษณ์ของกระบวนการ (Process Characteristic) โดยการป้อนสัญญาณควบคุมด้วยยูนิต – สเต็ป อินพุต (Unit – step input)
- แล้วบันทึกรูปด้านของตัวแปรไปรษณ
- หาเวลาหน่วง (Dead time, L) และค่าคงตัวเวลา (T) จากดักษณ์ของกระบวนการ (Process Characteristic) ในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การตอบสนองแบบ S-shaped

(ที่มา : Modern Control Engineering Katsuhiko Ogata)

5. นำค่า L และ T ที่หาได้ไปคำนวณหา K_p , T_i และ T_d จากตารางที่ 3.1

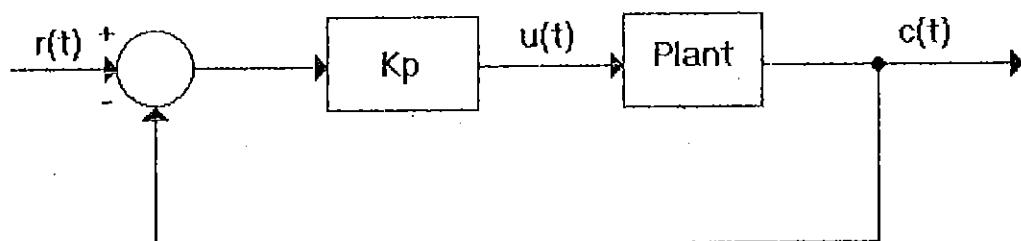
ตารางที่ 3.1 การปรับค่าตามกฎของไซเกอร์และนิโคล วิชที่ 1

(ที่มา : Modern Control Engineering Katsuhiko Ogata)

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0.9T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2T/L$	$2L$	$0.5L$

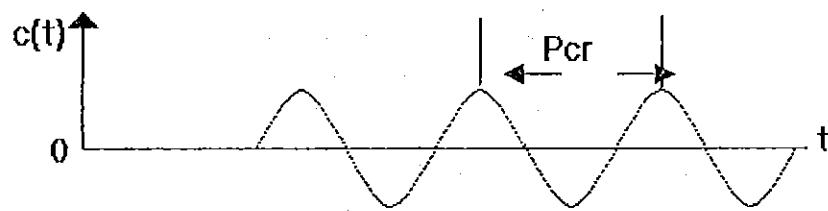
วิธีที่ 2

- ให้ระบบควบคุมเป็นแบบวงจรปิด (Closed loop)
- ตั้งค่า $T_i = \alpha$ และ $T_d = 0$ ให้ใช้การควบคุมแบบ P อย่างเดียว
- ครั้งแรกตั้งค่า K_p ไว้ต่ำๆ ถองเปลี่ยนค่าเป้าหมายเพื่อสูญเสียสนองแบบเพิ่มค่า K_p ไปเรื่อยๆ จนถึงค่าที่เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเดือน้อยจะทำให้โทรศัพท์เกิดการแก้ร่างต่อเนื่องไปตลอด ค่า K_p ในขณะนั้นเรียกว่า K_{cr} (Critical gain)
- หากาบเวลาในการแก้ร่าง ให้เท่ากับ P_{cr} (Corresponding Period) ตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมแบบ P

(ที่มา : Modern Control Engineering Katsuhiko Ogata)



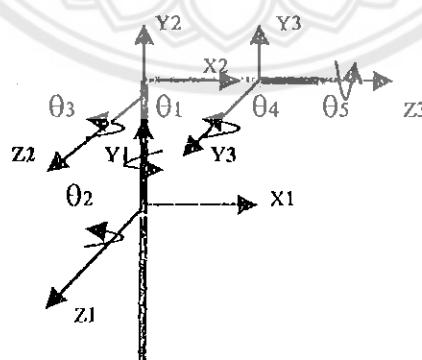
รูปที่ 3.15 การเกิดของสัญญาณด้วยความเวลา P_{cr}
(ที่มา : Modern Control Engineering Katsuhiko Ogata)

5. นำค่า K_{cr} และ P_{cr} ที่หาได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่า K_p , T_i และ T_d จากตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การปรับค่าตามกฎของไชเกอร์และนิโกล วิธีที่ 2
(ที่มา : Modern Control Engineering Katsuhiko Ogata)

Type of controller	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$P_{cr}/1.2$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

3.4 การคำนวณทางคณิตศาสตร์ทั่วไป



รูปที่ 3.16 การหมุนและตั้งจุดเริ่มต้น

จากสมการ matrix Transformer ระหว่างจุดต่อ 2 จุด จะได้

$${}^0_1 T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & -\cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1_2 T = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & a_2 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & a_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2_3 T = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & 0 & \sin \theta_3 & a_3 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & 0 & -\cos \theta_3 & a_3 \sin \theta_3 \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ซึ่งจะได้ Forward kinematics

$${}^0_3 T = {}^0_1 T \times {}^1_2 T \times {}^2_3 T$$

$${}^0_3 T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \cos \theta_{23} & \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \sin \theta_{23} & \cos \theta_1 [a_3 \cos \theta_{23} + a_2 \cos \theta_2] + \sin \theta_1 [d_3 d_2] \\ \sin \theta_1 \cos \theta_{23} & -\cos \theta_1 & -\sin \theta_1 \cos \theta_{23} & \sin \theta_1 [a_3 \cos \theta_{23} + a_2 \cos \theta_2] - \cos \theta_1 [d_3 + \cos \theta_2] \\ \sin 23 & 0 & 0 & a_2 \sin \theta_{23} + a_2 + \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

หรือ

$${}^0_1 T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \cos \theta_{23} & \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \sin \theta_{23} & P_w X \\ \sin \theta_1 \cos \theta_{23} & -\cos \theta_1 & -\sin \theta_1 \cos \theta_{23} & P_w Y \\ \sin \theta_{23} & 0 & 0 & P_w Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

นำ ${}^0_1 T^{-1}$ ถูกทึงสองข้างของสมการ

$${}^0_1 T^{-1} \times {}^0_3 T = {}^1_2 T^2 {}^0_3 T$$

$$\begin{bmatrix} * & * & * & \cos \theta_1 P_{wx} + \sin \theta_1 P_{wy} \\ * & * & * & P_{wz} \\ * & * & * & \sin \theta_1 P_{wx} - \cos \theta_1 P_{wy} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{23} & 0 & \sin \theta_{23} & a_3 \cos \theta_{23} + a_2 \cos \theta_2 \\ \cos \theta_{23} & 0 & -\cos \theta_{23} & a_3 \sin \theta_{23} + a_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 + d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

พิจารณาตำแหน่งที่ (3,4) จะได้

$$\sin \theta_1 P_{wx} - \cos \theta_1 P_{wy} = d_2 + d_3$$

กำหนดให้ $t = \tan\left(\frac{\theta_1}{2}\right)$

จะได้ $\theta_1 = 2 \times \alpha \tan \left[\left(\frac{P_{wx} - \sqrt{P_{wx}^2 + P_{wy}^2 - d_2^2 - 2d_2 d_3 - d_3^2}}{-P_{wy} + d_2 + d_3} \right) \right]$

$$\theta_3 = \alpha \sin \left[\left(\frac{-a_3 a_2 + \sqrt{-a_3^2 (a_2^2 + 2d_2^2 + 4d_3 d_2 + 2d_3^2 - 2r^2)}}{2a_3^2} \right) \right]$$

$$\theta_2 = 2\alpha \tan \left[\left(\frac{a_2 + a_3 \sin(\theta_3) - \sqrt{a_2^2 + 2a_2 a_3 \sin(\theta_3) + 2a_3^2 - 2a_3^2 \cos(\theta_3)^2 - P_{wz}^2}}{a_3 \sin \theta_3 + P_{wz}} \right) \right]$$

การหา θ_4 มี 2 แบบ คือ

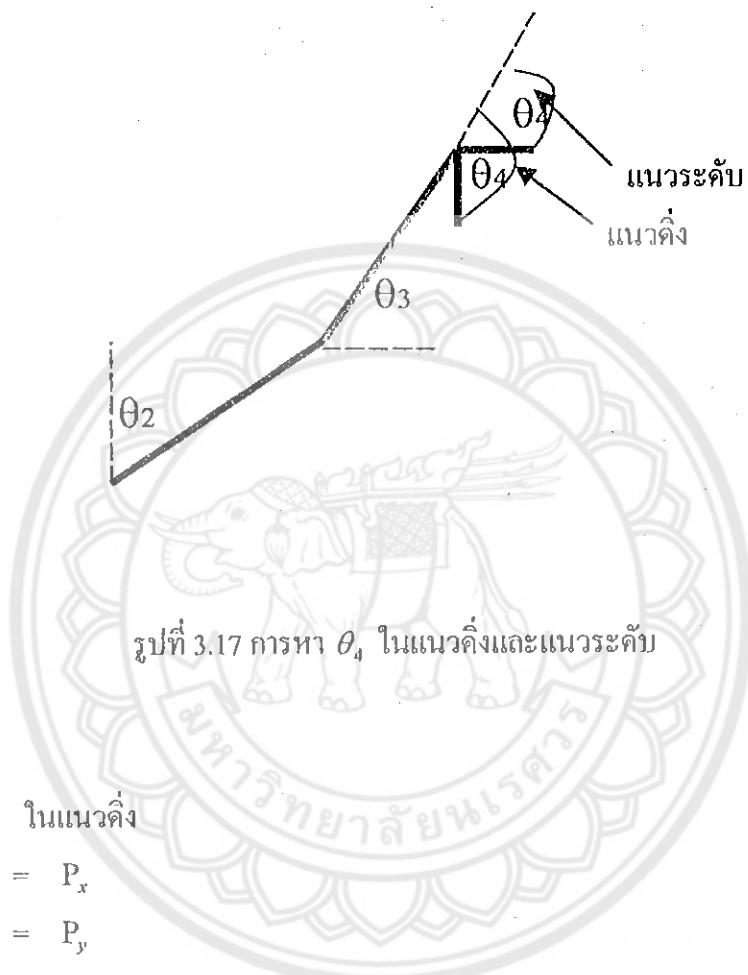
1. แบบแนวตั้ง

2. แบบแนวระดับ

$$\theta_4 \text{ แนวตั้ง} = -90 - \theta_3$$

$$\theta_4 \text{ แนวระดับ} = -\theta_3$$

θ_5 รับมาจากผู้ใช้



รูปที่ 3.17 การหา θ_4 ในแนวคิ่งและแนวคัม

ในการนิที θ_4 ในแนวคิ่ง

$$P_{wx} = P_x$$

$$P_{wy} = P_y$$

$$P_{wz} = P_z - a_4$$

ในการนิที θ_4 ในแนวคัม

$$P_{wx} = P_x - a_4 \cos \theta 1$$

$$P_{wy} = P_y - a_4 \sin \theta 1$$

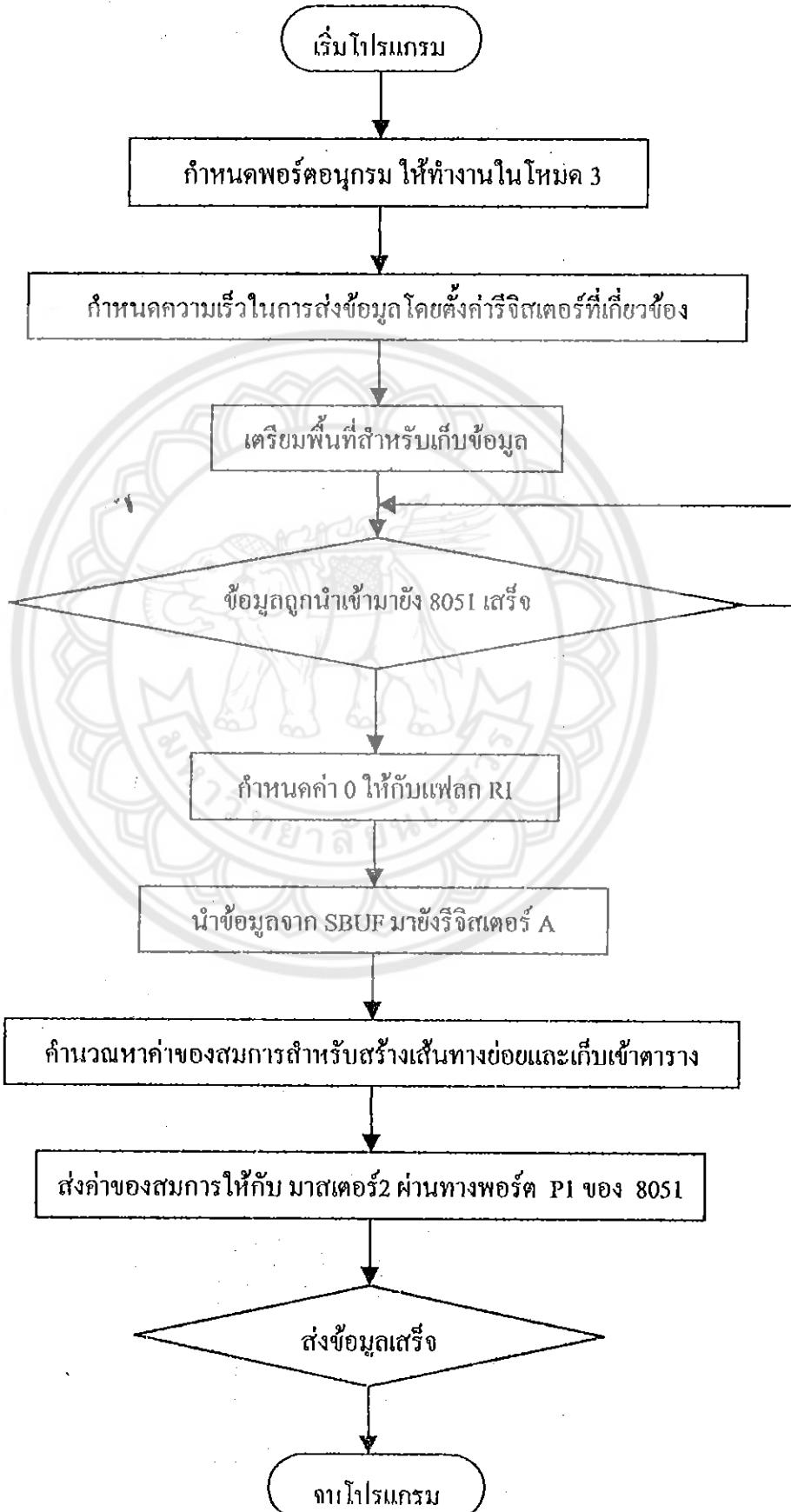
$$P_{wz} = P_z$$

3.5 แนวคิดการเขียนโปรแกรม

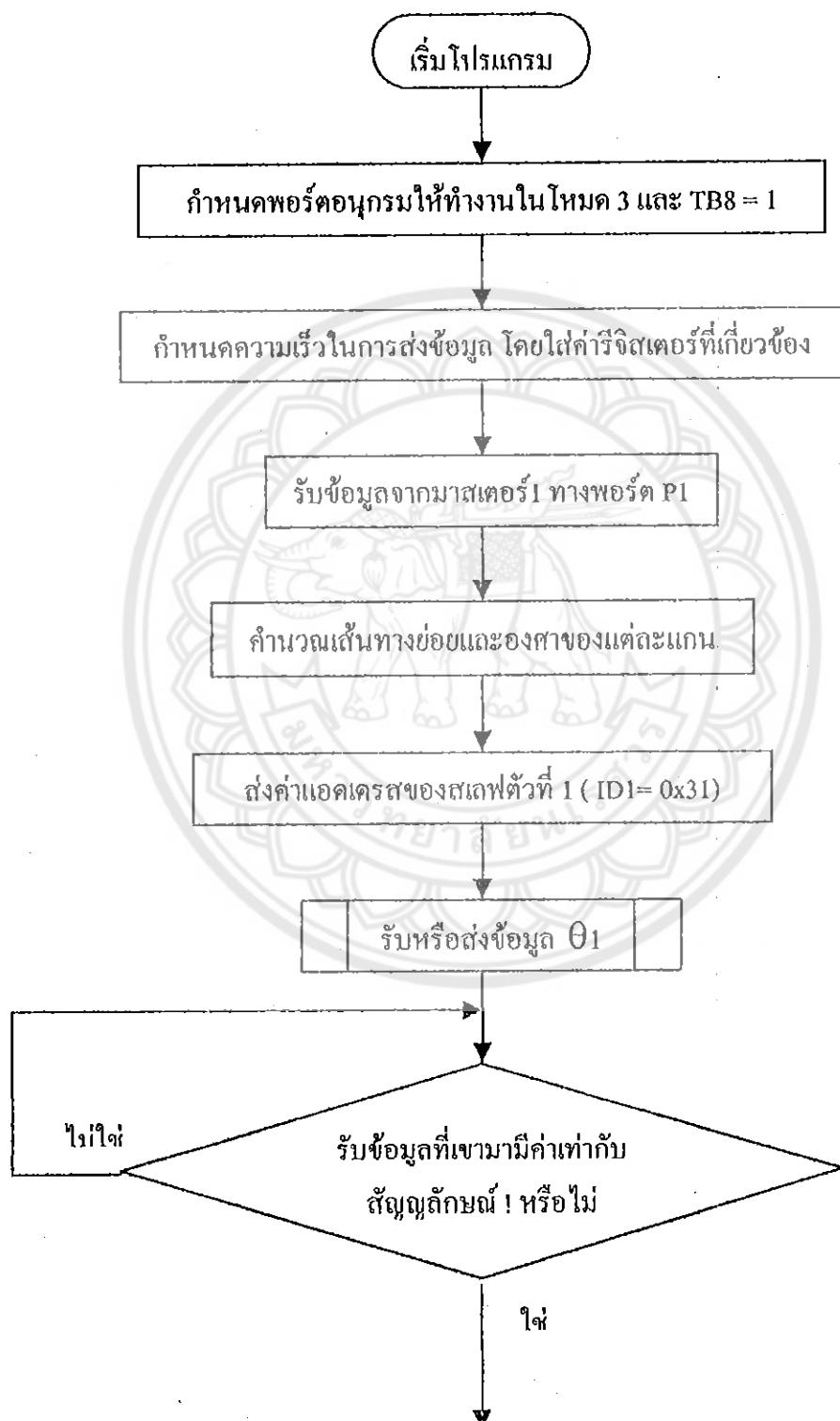
3.5.1 โปรแกรม Robot Arm ที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งานที่มี

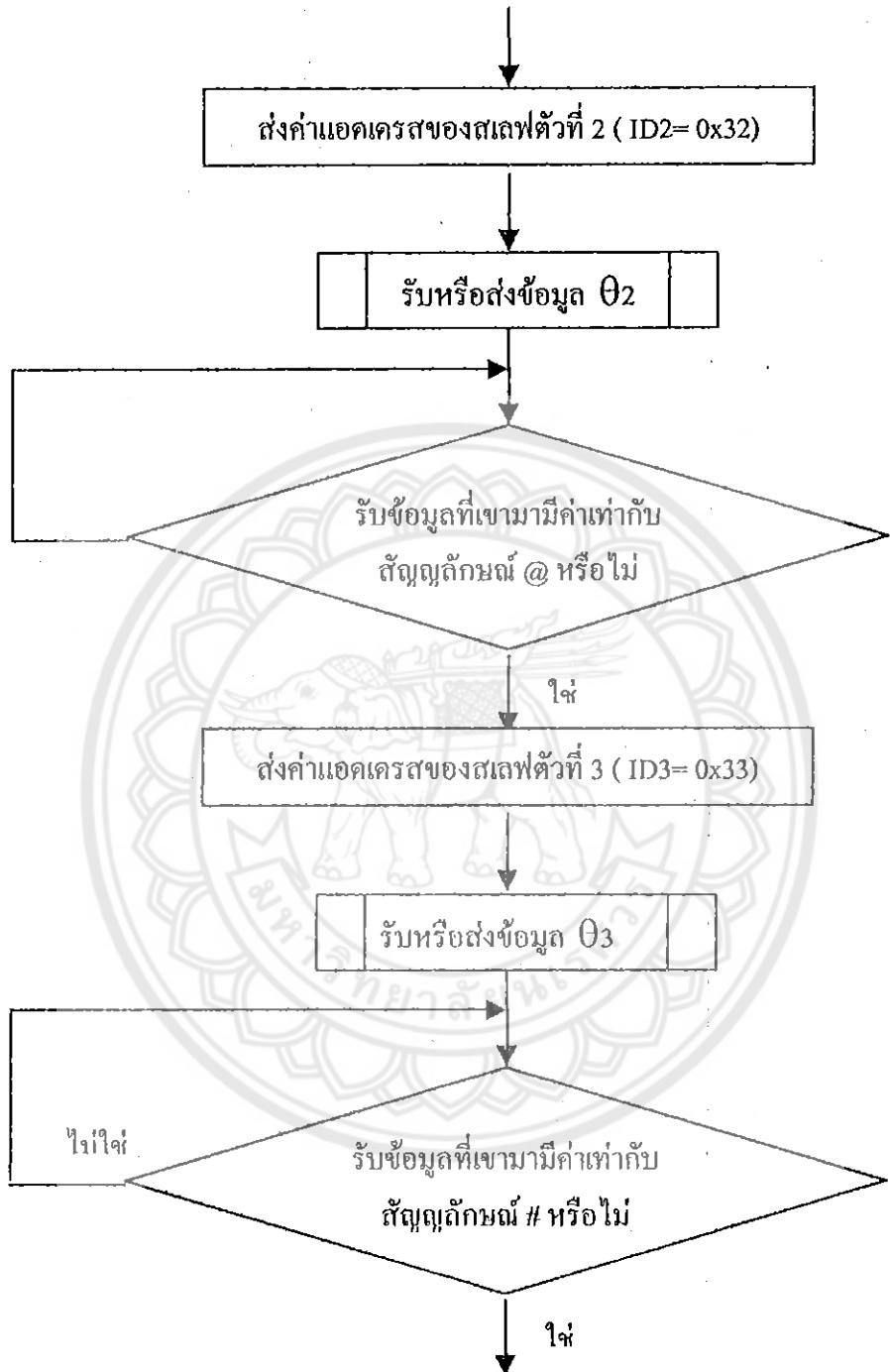


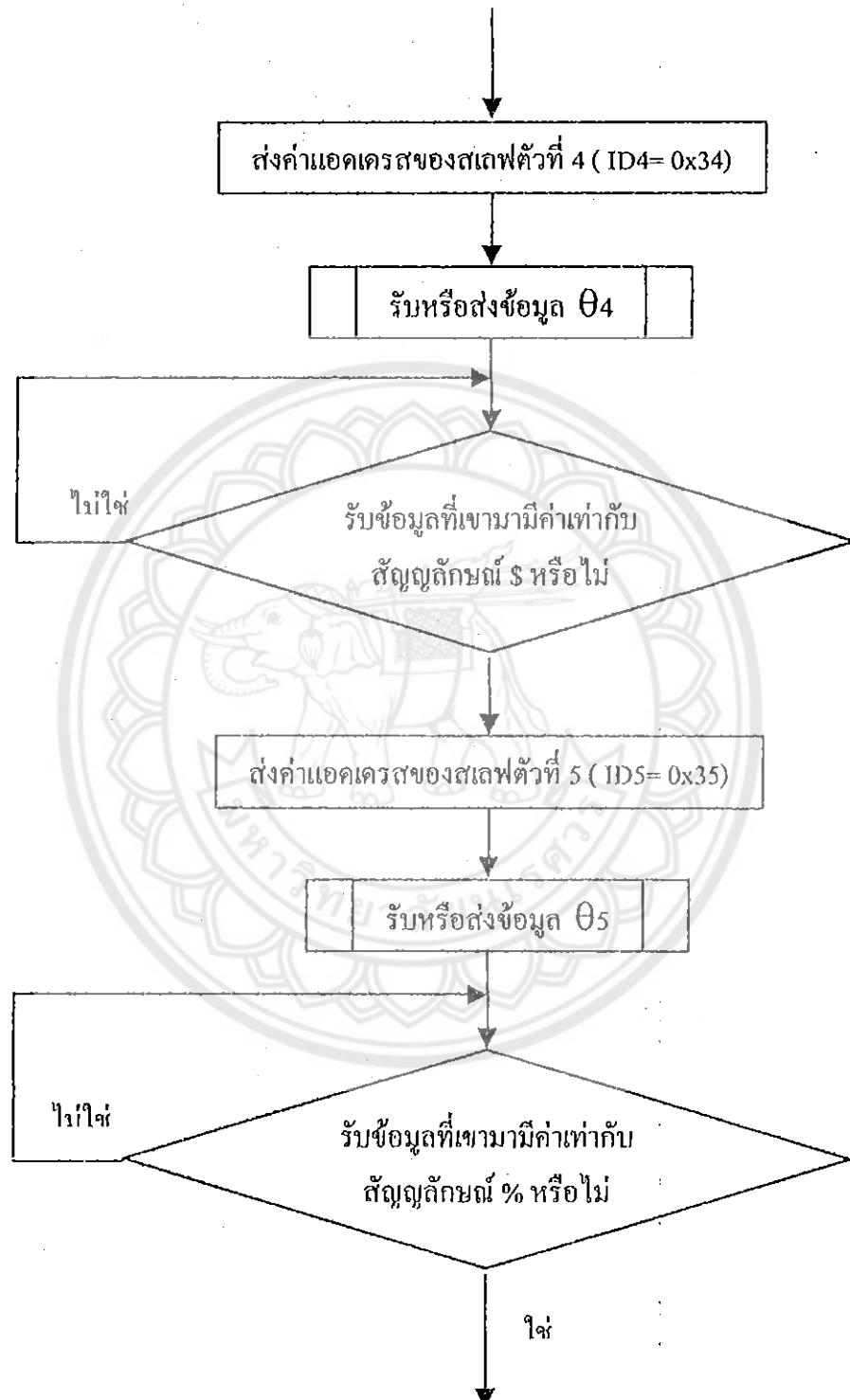
3.5.2 โปรแกรมสำหรับน้อมนาฬาสเตอร์

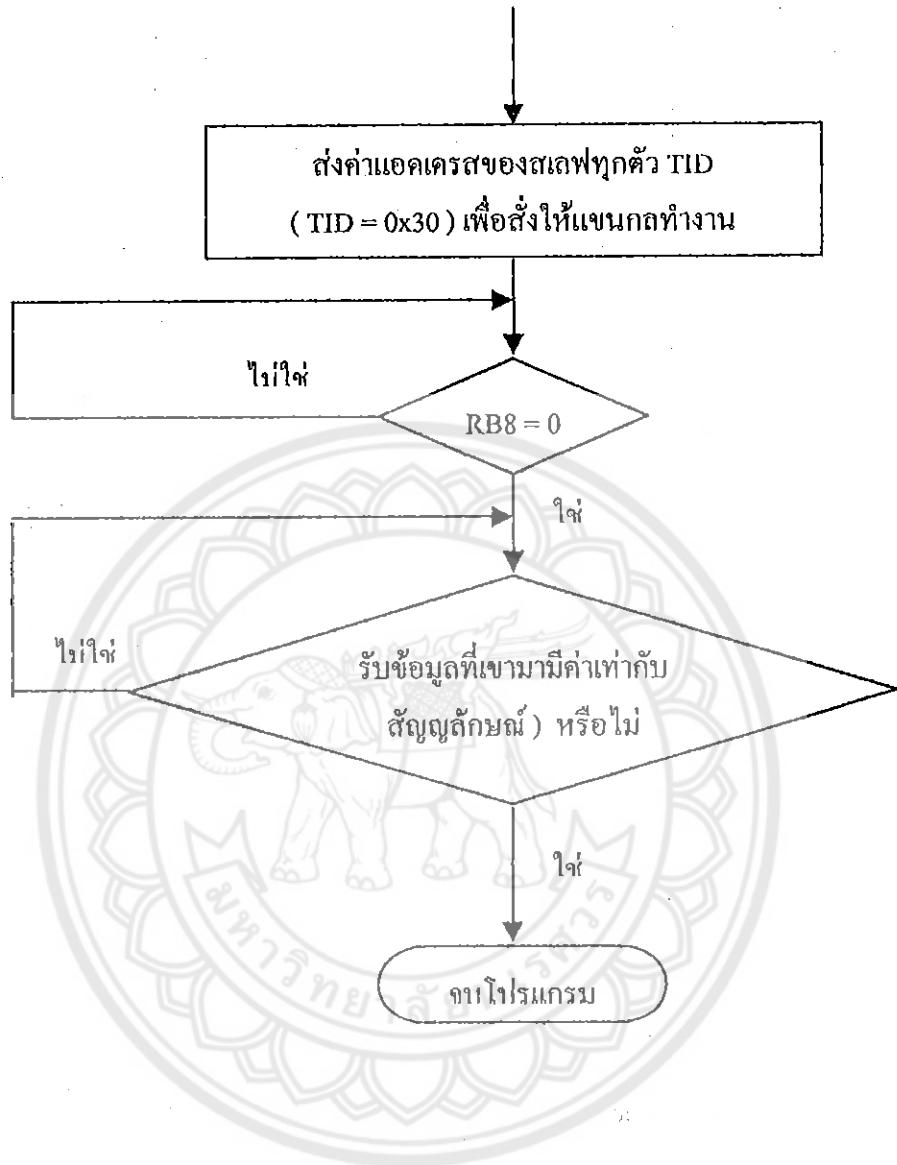


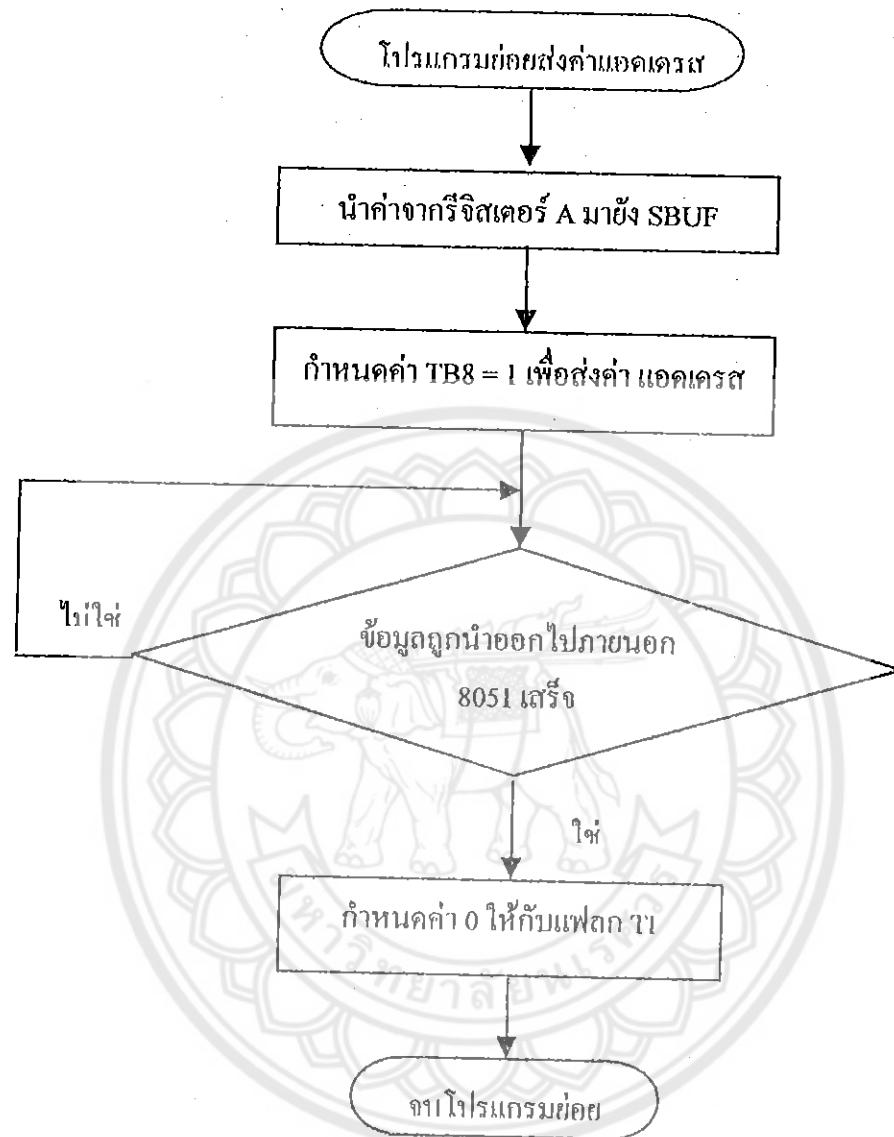
3.5.3 โปรแกรมสำหรับน้อมนาฬาด้วย

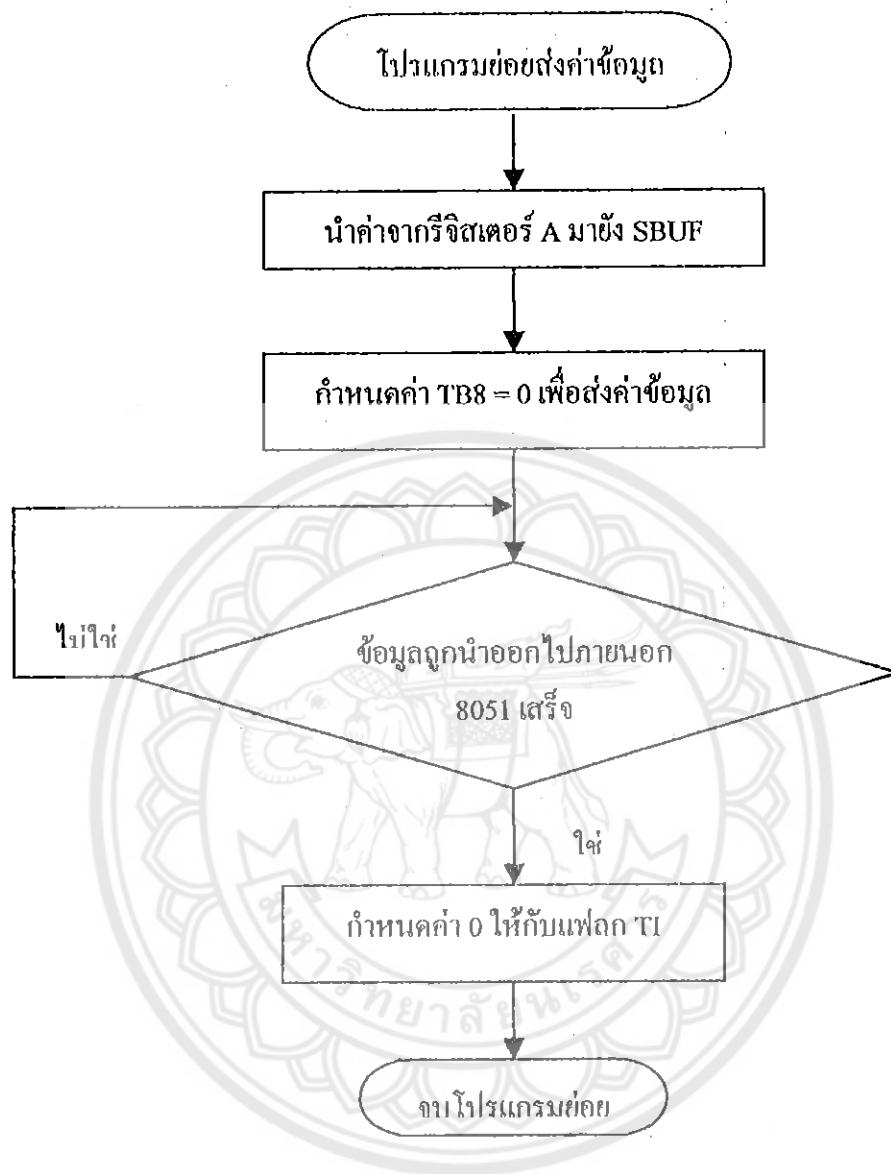




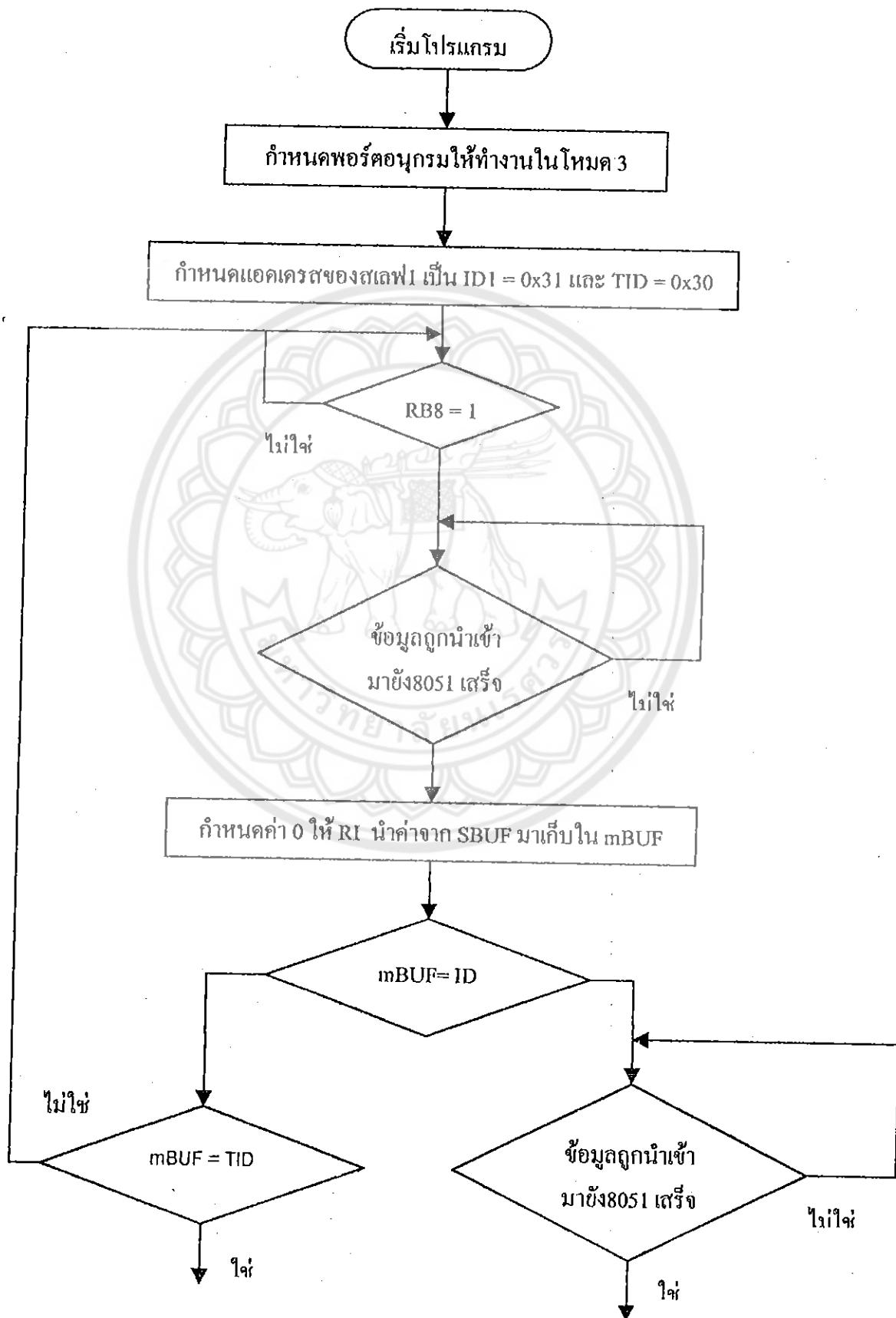


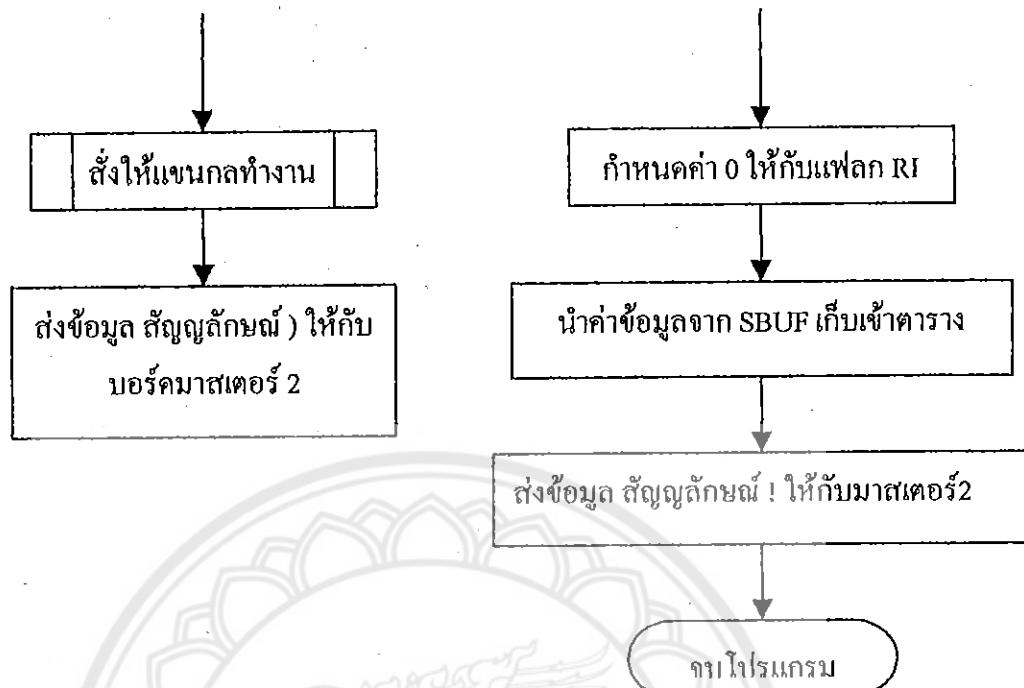




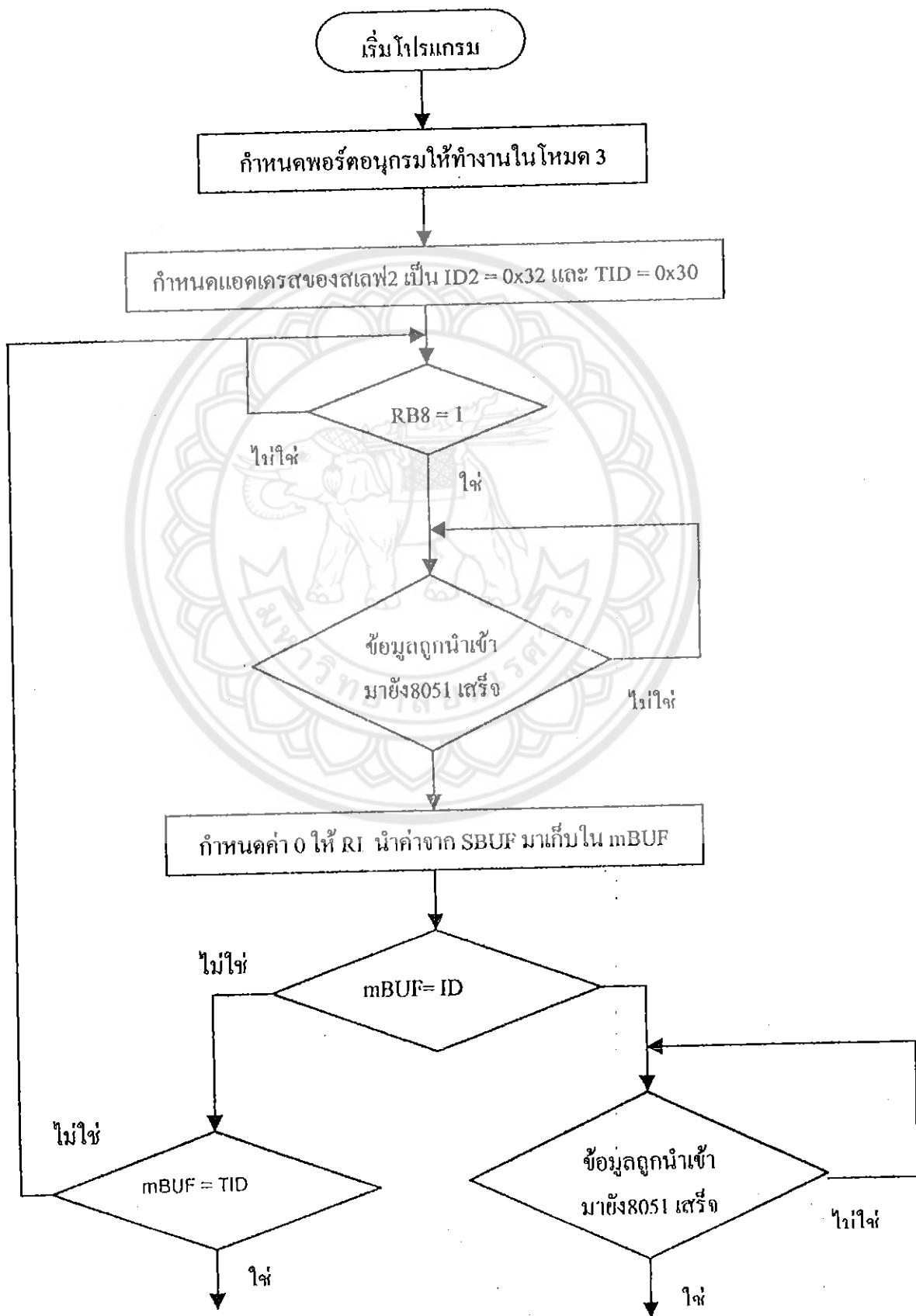


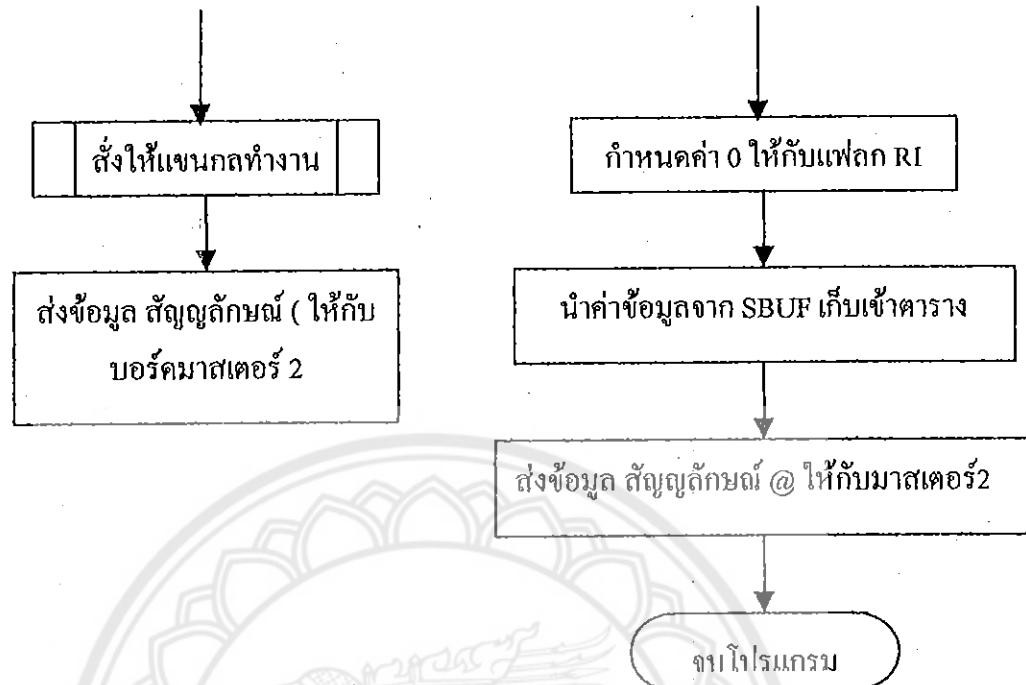
3.5.4 โปรแกรมสำหรับนอร์มลีฟ 1



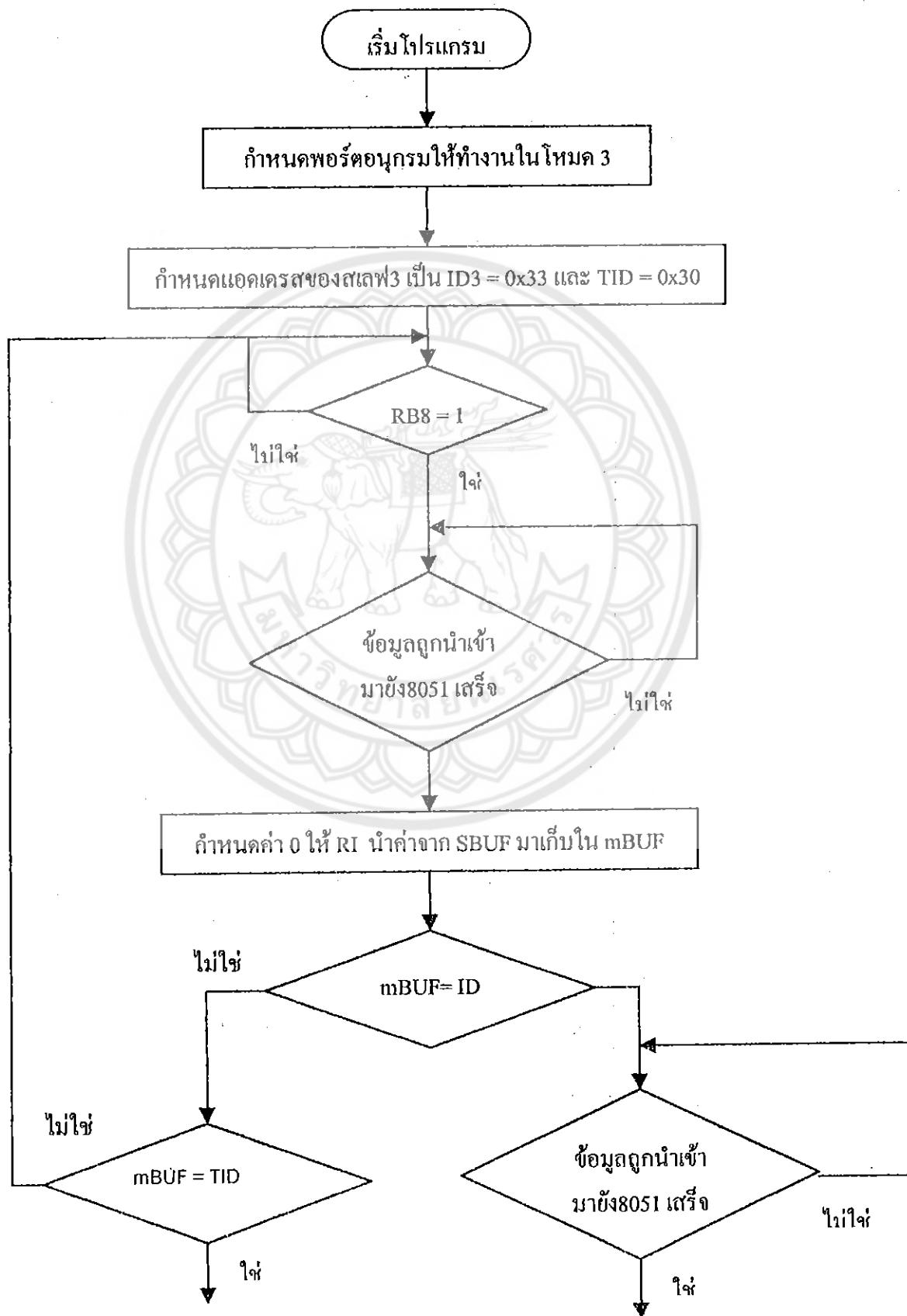


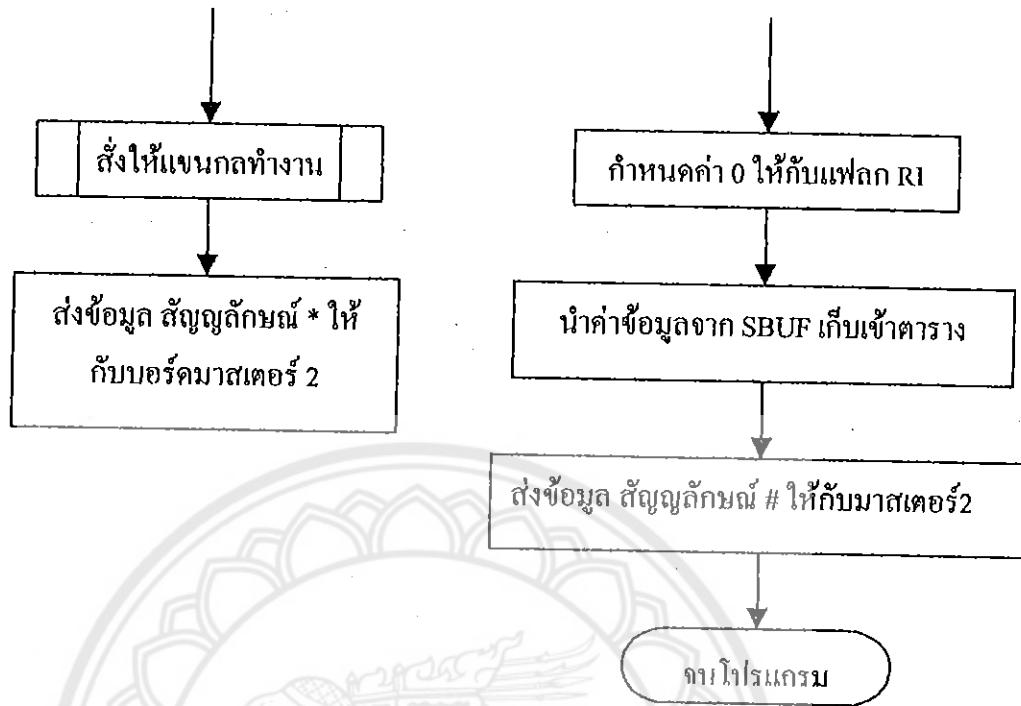
3.5.5 โปรแกรมสำหรับนอร์ดสเลฟ2



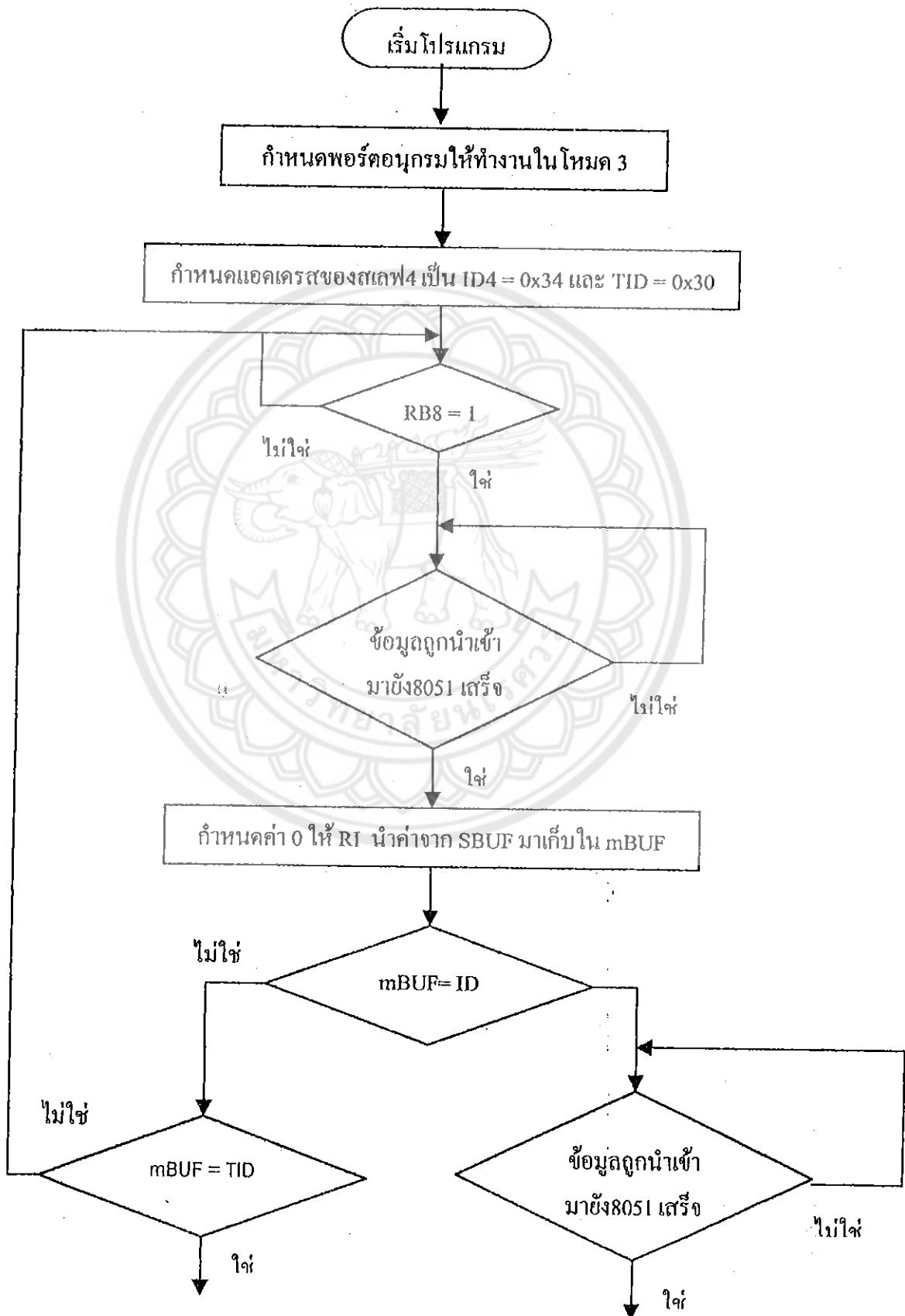


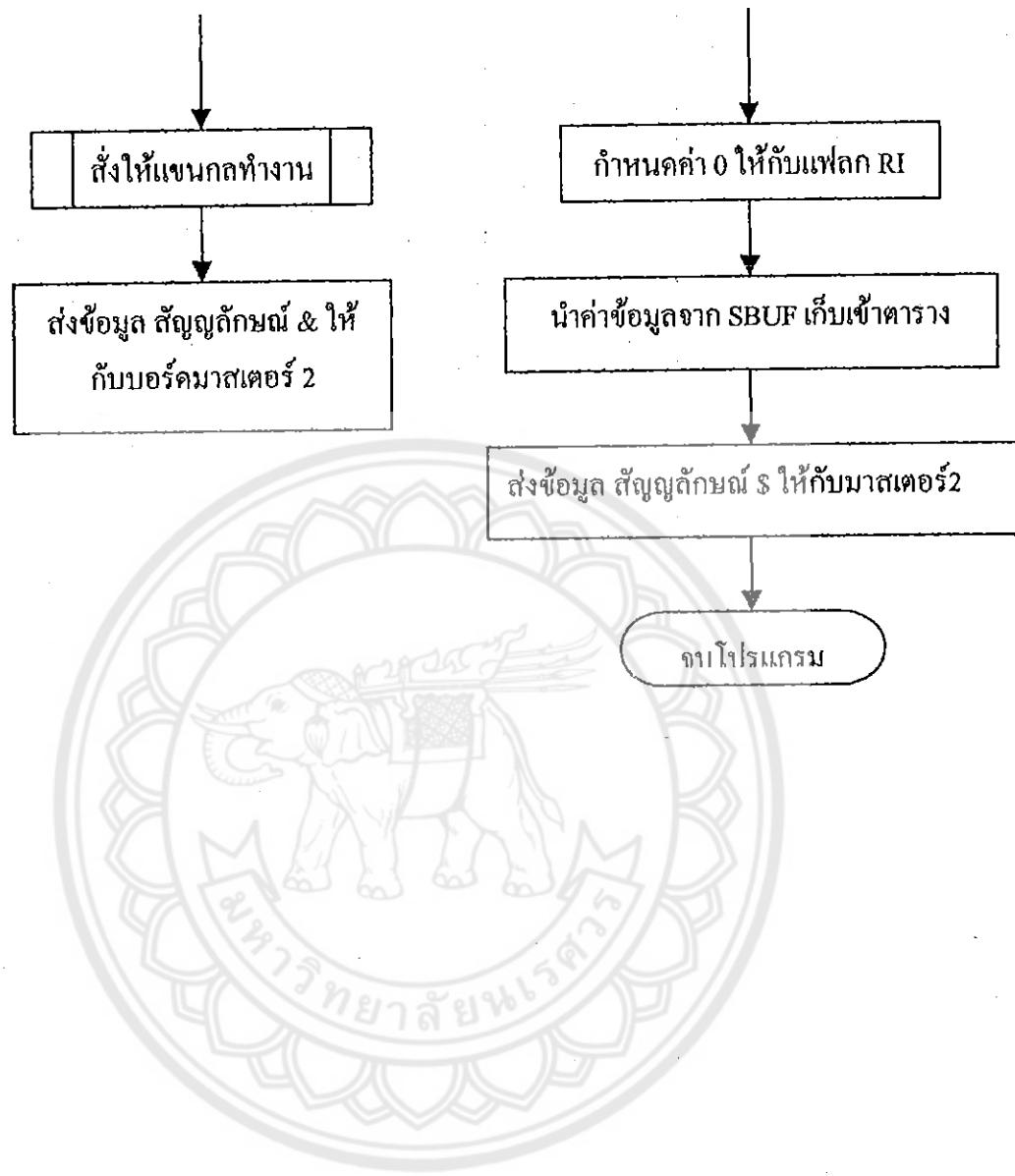
3.5.6 โปรแกรมสำหรับบอร์ดสเลฟ 3



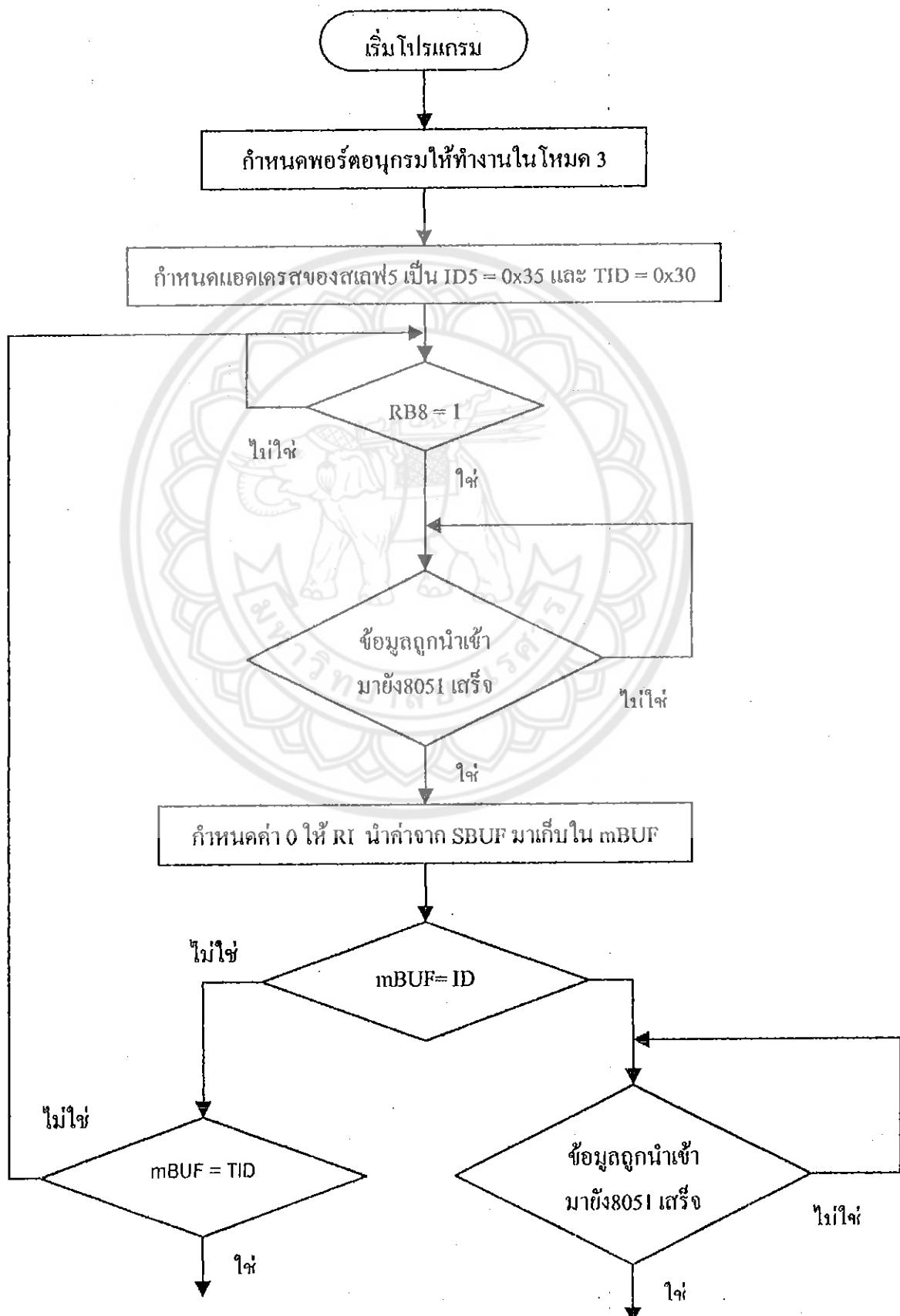


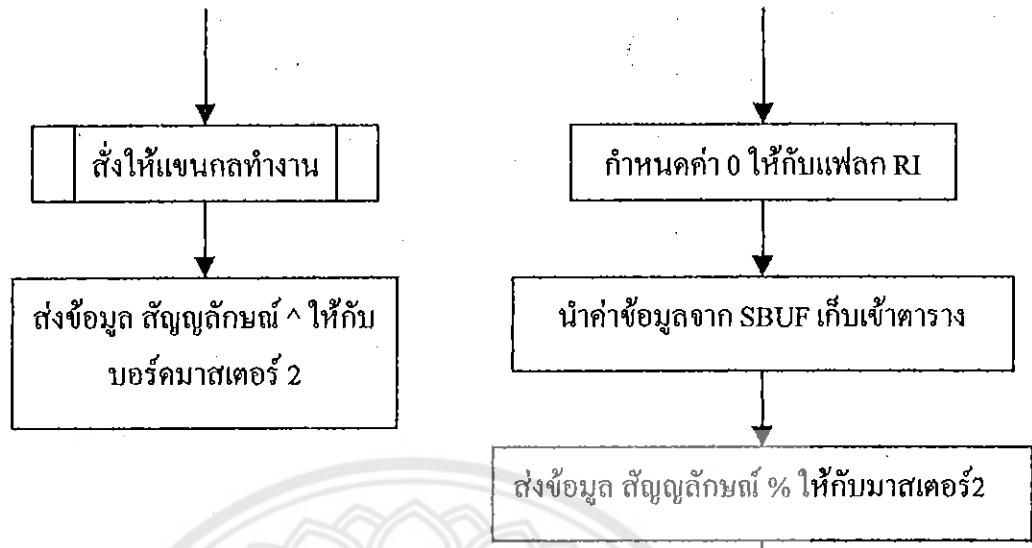
3.5.7 โปรแกรมสำหรับน้อมร็อกกุลไฟฟ้า





3.5.8 โปรแกรมสำหรับบอร์ดสเปฟ5

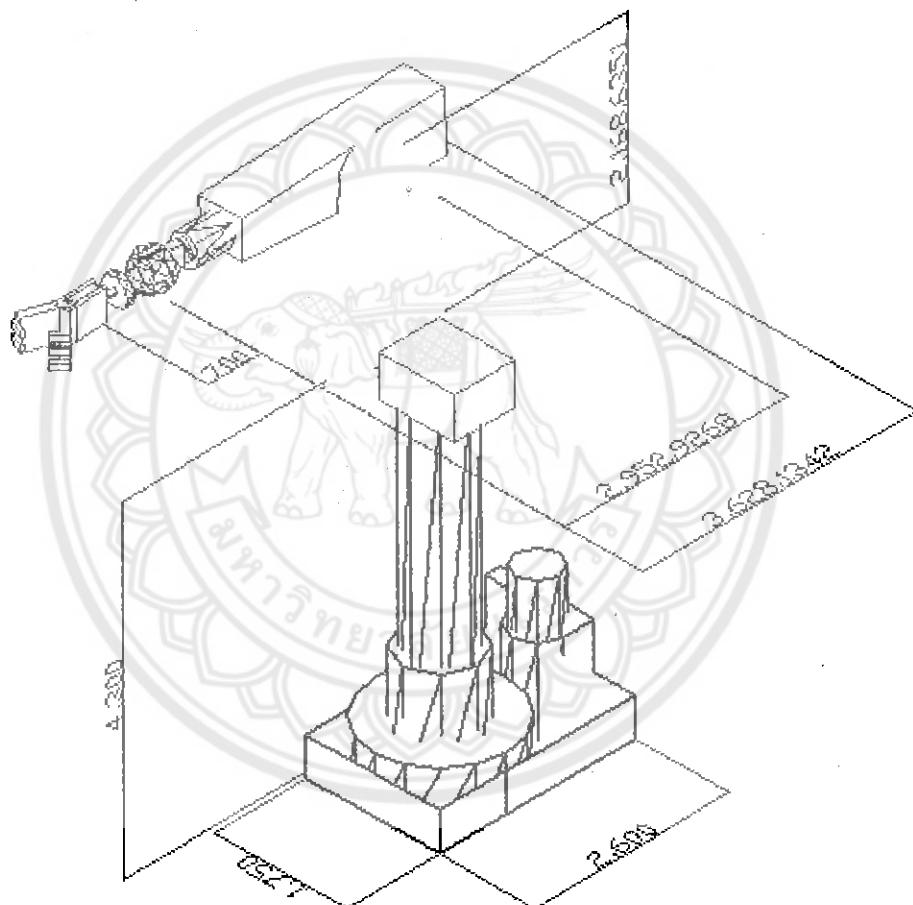




บทที่ 4

ผลการทดลองและการทำงานของปอร์แกรม

4.1 โครงสร้างทางกายภาพของแขนกล



รูปที่ 4.1 โครงสร้างทางกายภาพของแขนกล

เป็นแขนกลอุตสาหกรรม 6 แนวแกน ของ KAWASAKI UNIMATE MACHINE ชนิด 260 RIS6 ซึ่งใช้อุปกรณ์เป็นโครงสร้าง และใช้ ดิซิเชอร์โวโมเตอร์ จำนวน 6 ตัว ในการเคลื่อนไหว แต่แขนกลมีอุปกรณ์ขาดหายไปบางส่วน ผู้จัดทำโครงงานนี้จึงทำการคัดแปลงให้เป็นแขนกล 5 แนวแกน

4.2 ผลการหาค่าคงที่เครื่องตั้งมุม 1 องศา

เนื่องจากไม่มีข้อมูลทางด้านกायภาพของแบบกลที่ใช้ในโครงการนี้ จึงต้องหาค่าต่าง ๆ ที่ทำเป็นโดยการวัดและประมาณค่า ค่าคงที่เครื่องตั้งมุม 1 องศาเป็นค่าหนึ่งที่จำเป็น ดังนั้นจึงใช้มอร์คีโตก เครื่องและเครื่องตั้งมุมต่าง ๆ ที่วัดได้ง่าย เช่น 90, 180, 360 องศา หลาย ๆ ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

จากการทดลองหมุนแขนกลในแต่ละแกน ที่มุมต่าง ๆ มุมละ 10 ครั้ง ได้ผลตามตารางที่ 4.1 ซึ่ง เป็นเลขฐาน 16

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่เครื่องตั้งมุม 16 ของแต่ละแกนที่มุมต่างๆ

แกนที่	มุม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
1	90	2D5E	2E0B	2CC8	2D70	2DA2	2D68	2DBD	2D95	2DBC	2E67
	180	5C81	5C20	5C26	5C1C	5C48	5C50	5C38	5C72	5C68	5C52
2	90	4397	435F	4378	4359	4376	438E	43A4	4362	4399	43A4
	180	870A	873C	872B	871C	873C	8715	8729	8723	8719	8734
3	90	2986	2979	297F	2A97	2A93	2A4F	2A4A	2A73	2A9A	29A1
	180	5440	53DC	5405	541C	5451	541E	5419	5415	5439	542C
4	90	1F68	1F01	1F40	1F35	1F04	1F49	1F5B	1F58	1F2E	1F5C
	180	3E37	3E34	3E5F	3E10	3E18	3E1B	3ECF	3F71	3E67	3E61
5	360	631F	637D	632E	6338	62FB	62F1	6300	634C	6306	62F1

จากตารางที่ 4.1 สามารถเปลี่ยนเป็นเลขฐาน 10 ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แบบฟอร์มคำนวณค่าใช้จ่ายที่ต่อรือกับค่าจ้างคน

แกน ที่	มุม	คั้งที่ 1	คั้งที่ 2	คั้งที่ 3	คั้งที่ 4	คั้งที่ 5	คั้งที่ 6	คั้งที่ 7	คั้งที่ 8	คั้งที่ 9	คั้งที่ 10
1	90	11614	11787	11464	11632	11682	11624	11709	11669	11708	11879
	180	23681	23584	23590	23580	23624	23632	23608	23666	23656	23634
2	90	17303	17247	17272	17241	17270	17294	17316	17250	17305	17316
	180	34570	34620	34603	34588	34620	34581	34601	34595	34585	34612
3	90	10630	10671	10623	10903	10899	10831	10826	10867	10660	10657
	180	21568	21468	21509	21532	21585	21534	21529	21525	21561	21548
4	90	8040	7937	8000	7989	7940	8009	8027	8024	7982	8028
	180	15927	15924	15964	15888	15896	15899	16079	16241	15975	15969
5	360	25375	25469	25390	25400	25339	25329	25344	25420	25350	25329

นำค่าจากตารางที่ 4.2 มาหาค่าเค้าที่ต่อรือเฉลี่ยที่มุม 1 องศา โดยการตัดค่าสูงสุดและตัดสุด
ของการทดสอบในแต่ละมุมออกก่อน แล้วนำมารวบรวมหาค่าเฉลี่ย ผลจะได้ดังตารางที่ 4.3

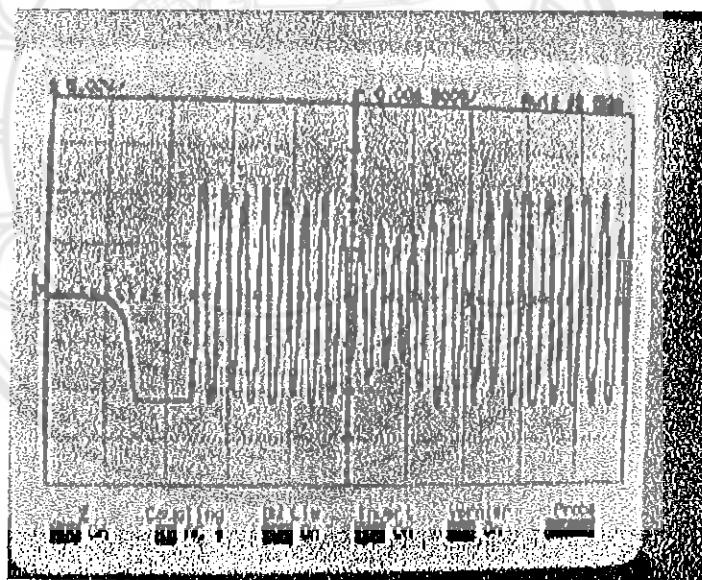
ตารางที่ 4.3 ค่าเค้าที่ต่อรือที่เขียนกับมุม 1 องศา

แกนที่	มุม	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	มุม 1 องศา
1	90	93425	11678.125	130.5
	180	188994	23624.25	
2	90	138257	17282.125	192.115
	180	276785	34598.125	
3	90	85993	10749.125	119.545
	180	172306	21538.25	
4	90	63995	7999.875	88.76
	180	127636	15954.5	
5	360	202947	25368.375	70.47

จากตารางที่ 4.3 พนวณแนวโน้มแกนที่ 1, 2 และ 3 จะมีความละเอียดสูงมาก โดยเฉพาะ
แกนที่ 2 เนื่องจากมีเพียงที่มีอัตราหามากกว่า อิคทั้งที่เป็นแกนที่มีผลกระทบต่อความแม่นยำมาก ส่วนใน
แกนที่ 4 และ 5 ก็มีความละเอียดน้อยลง แต่ก็ถือได้ว่าแนวโน้มมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปซึ่ง
ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ละเอียดมาก

4.3 ค่า K_p, K_i และ K_d

จากการทดลองปรับค่า K_p, K_i และ K_d ตามกฎของ ไซเกอร์และนิโคลайнิวต์ที่ 2 โดย
ใช้ค่าเวลา (T) = 16 มิตติวินาที ในการทดลองแกนที่ 2 เมื่อเพิ่มค่า K_p จนระบบเกิดการอสูรชีล
เลขค้างรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเกิดอสูรชีลเลขของระบบ

จากรูปที่ 4.2 สามารถหาค่า K_{cr} และ P_{cr} ได้ดังนี้

$$K_{cr} = 0.3$$

$$P_{cr} = 187.5 \text{ mS}$$

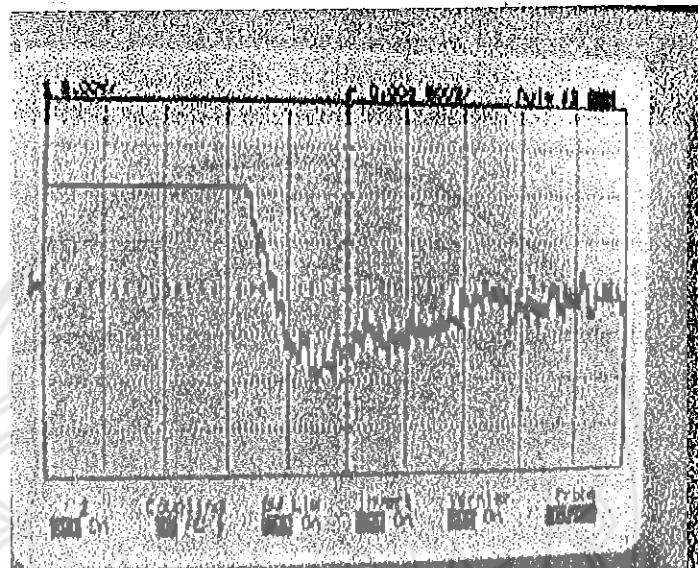
นำค่า K_{cr} และ P_{cr} ไปคำนวณตามตารางที่ 3.2 จะได้

$$K_p = 0.6 (0.3) = 0.18$$

$$Ki = 0.5(187.5) m = 0.0934$$

$$Kd = 0.125(187.5)m = 0.023$$

หลังจากทำการทดลองใช้ค่า K_p , K_i และ K_d ตามที่กำหนดได้ ปรากฏว่าแนวกลเคลื่อนไหวได้ไม่ดีนัก และเมื่อทำการวัดค่าของอสซิลโลสโคปจะได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเคลื่อนไหวของแนวแกนก噔เมื่อใช้ค่า K จากการกำหนด

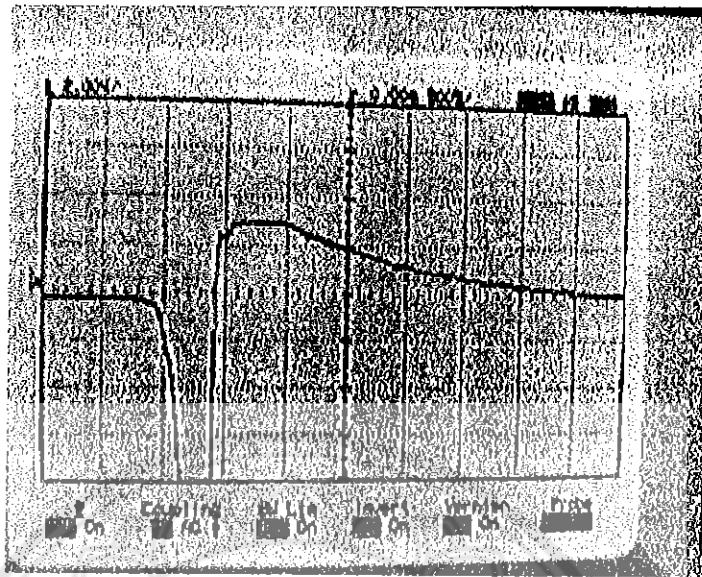
จึงต้องทำการปรับค่าด้วยวิธีกองฟิลเตอร์ถูกและสังเกตการเคลื่อนไหวของแนวแกนกจนเป็นที่น่าพอใจ ได้ค่าที่ใช้จริงดังนี้

$$K_p = 0.2$$

$$K_i = 0.1$$

$$Kd = 0.005$$

เมื่อทำการวัดจะได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเดือนไขวของ xeniket เมื่อใช้ค่า K จากการลองผิดลองถูก

จากรูปที่ 4.4 พบร่วมระบบสามารถถูเข้าสู่เป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และเสถียร ซึ่งหมายถึงระบบควบคุมมีคุณสมบัติครบตามระบบควบคุมที่ดี

สำหรับแกนที่เหลือก็ทำในลักษณะเดียวกันกับข้างต้นจะได้ค่า K_p , K_i และ K_d ตามตารางที่ 4.4

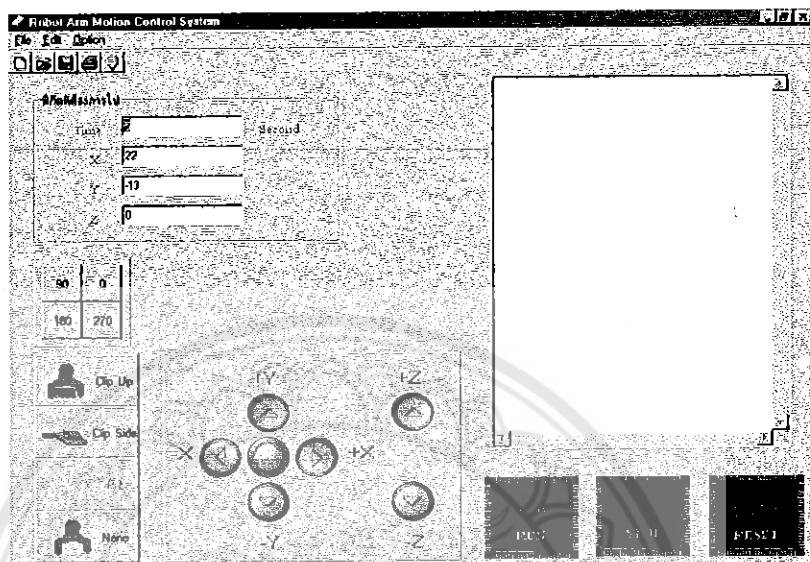
ตารางที่ 4.4 ค่า K ของแต่ละแกน

แกนที่	K_{cr}	P_{cr}	K_p		K_i		K_d	
			ค่านิยม	ใช้จริง	ค่านิยม	ใช้จริง	ค่านิยม	ใช้จริง
1	-	-	-	0.5	-	0.1	-	0.0
2	0.3	187.5 mS	0.18	0.2	0.093	0.1	0.023	0.005
3	1.4	94 mS	0.84	0.5	0.047	0.05	0.012	0.007
4	0.27	250 mS	0.162	0.16	0.125	0.12	0.031	0.005
5	0.13	170 mS	0.078	0.09	0.085	0.09	0.021	0.003

หมายเหตุ แกนที่ 1 ไม่สามารถหาค่า K_{cr} และ P_{cr} ได้ โดยค่า K ได้จากการลองผิดลองถูก

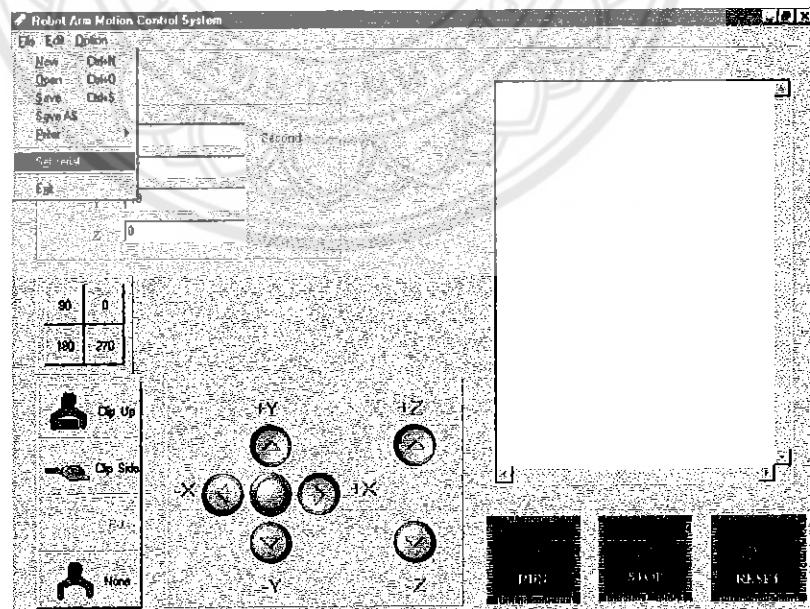
4.4 การทำงานของโปรแกรมในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้

- เมื่อเข้ามาในโปรแกรมจะมีลักษณะดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 4.5 หน้าต่างหลักของโปรแกรมในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้

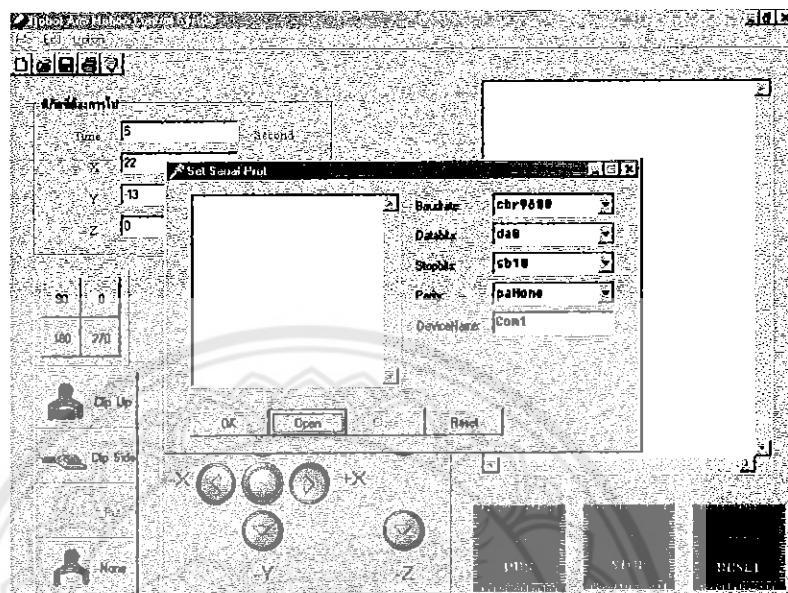
- รูปแสดงเมนูไฟล์



รูปที่ 4.6 เมนูไฟล์

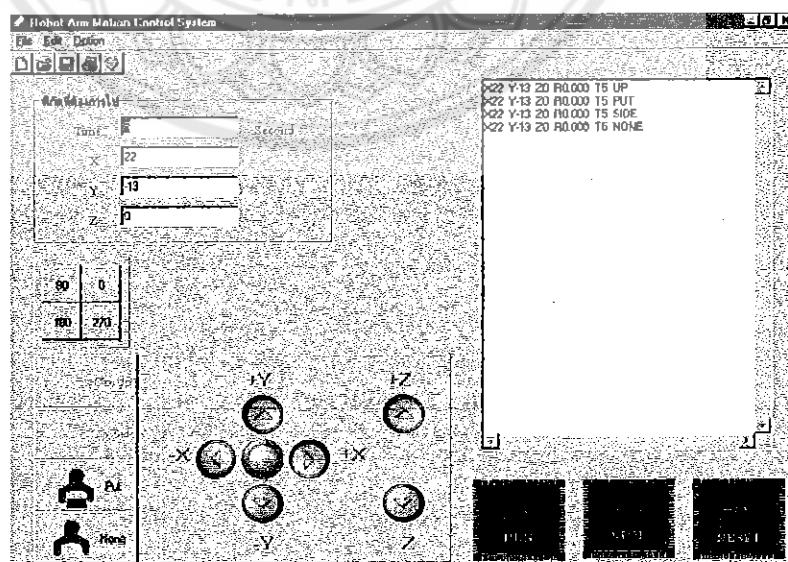
การส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมให้คลิกที่ปุ่ม File → Set serial จะมีหน้าต่างสำหรับตั้งค่าต่างๆ

3. รูปแสดงหน้าต่างตั้งค่าพอร์ตอนุกรม



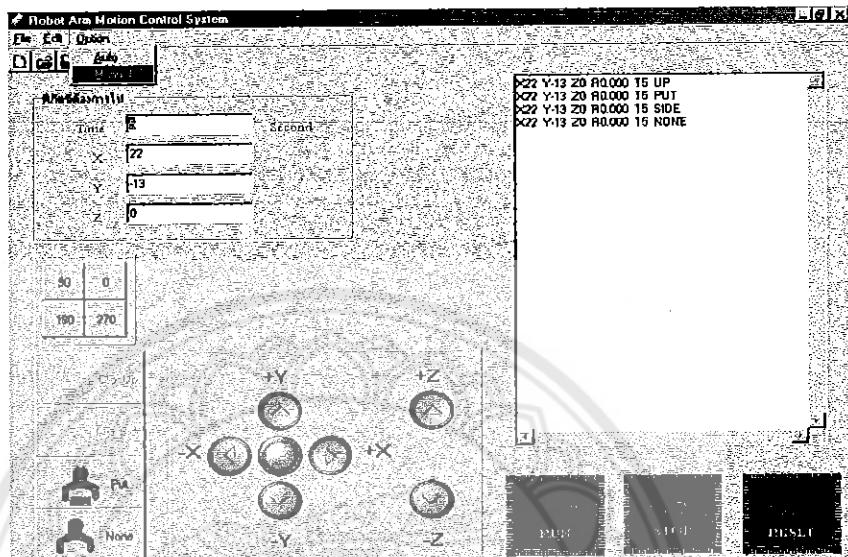
รูปที่ 4.7 หน้าต่างพอร์ตอนุกรม

4. รูปแสดงข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการส่งค่าพิกัดและคำสั่งต่างๆ โดยเกิดจากการป้อนค่าพิกัดที่ต้องการและคลิกที่ปุ่มคำสั่งที่ต้องการทำ



รูปที่ 4.8 การป้อนค่าพิกัดที่ต้องการ

5. รูปแสดงเมนูที่ต้องการควบคุมแขนกลแบบอัตโนมัติหรือแบบไม่อัตโนมัติ โดยถ้าเป็นแบบไม่อัตโนมัติสามารถใช้ปุ่มเพื่อค่าเพิ่มหรือลดพิกัดได้โดยตรง



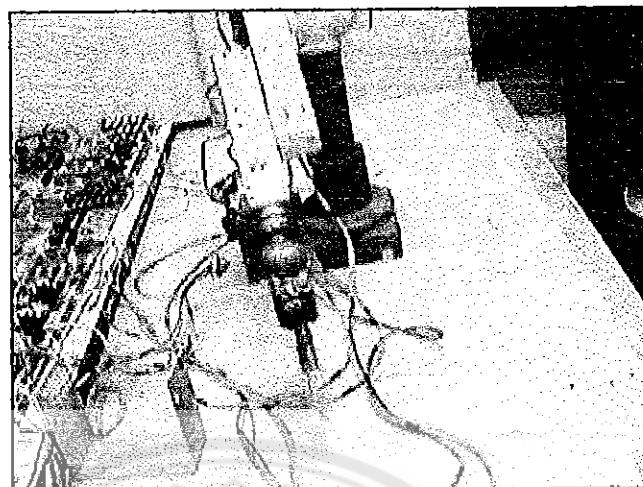
รูปที่ 4.9 หน้าต่างของอุปกรณ์

เมื่อศัลศักดิ์ต่างๆ ได้ตามต้องการแล้วให้กดปุ่ม RUN เพื่อส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมไปให้มาส เทอร์บินอร์ค

4.5 ลักษณะของแขนกลที่ทำเหมือนต่าง ๆ

4.4.1 ลักษณะของแขนกลหลังจากรีเซ็ตเค้าท์เตอร์

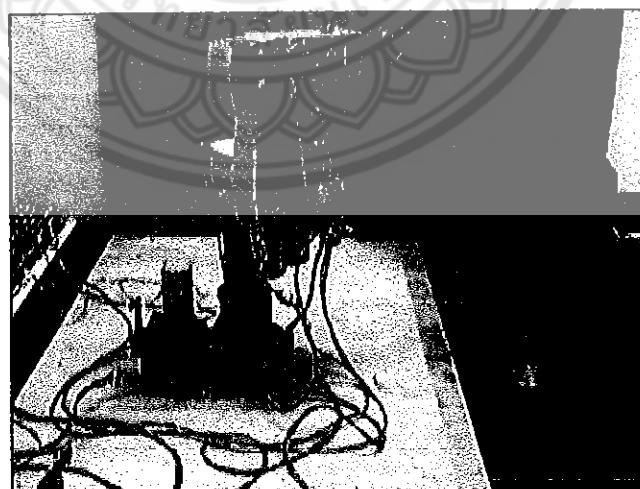
เมื่อเริ่มทำงานระบบจะต้องรีเซ็ตเค้าท์เตอร์เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยจะสั่งให้แขนกลแกนที่ 5 รีเซ็ตก่อน จากนั้นแกนที่ 4, 3, 2 และ 1 จะรีเซ็ตตามลำดับ ซึ่งการรีเซ็ตจะใช้ลินิต สวิตช์เป็นตัวส่งสัญญาณให้บอร์ดสเลฟ จากนั้นบอร์ดสเลฟจะส่งสัญญาณไปให้บอร์ดคีโอดิโอร์ และเค้าท์เตอร์รีเซ็ตเค้าท์เตอร์ หลังจากที่รีเซ็ตครบทั้ง 5 แกนแล้วแขนกลจะมีลักษณะตามรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ลักษณะของแขนกลหัวใจรีเซตເຄາຫ່ວຍ

4.4.2 ลักษณะของแขนกลที่ตำแหน่ง 0 องศาทั้ง 5 แกน

จากการคำนวณตามวิธีฟอร์เวิล์ด คิมเมติกส์ ໄโดยมีพิกัดแขนกลอยู่ที่ 0 องศาทั้ง 5 แกน จะได้พิกัดปลายที่จุด ($22, -13, 0$) เมื่อป้อนพิกัดนี้ใส่ในโปรแกรมแขนกลจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ลักษณะของแขนกลที่ตำแหน่ง 0 องศาทั้ง 5 แกน

4.4.3 ลักษณะของแขนกลที่คำแห่ง (-22,-13,-10)

เมื่อป้อนพิกัด (-22,-13,-10) ใส่ในโปรแกรมแขนกลจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ลักษณะของแขนกลที่คำแห่ง (-22,-13,-10)

4.4.3 ลักษณะของแขนกลที่คำแห่ง (10,-20,0)

เมื่อป้อนพิกัด (10,-20,0) ใส่ในโปรแกรมแขนกลจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ลักษณะของแขนกลที่คำแห่ง (10,-20,0)

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การที่จะควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกันนั้น นอกจგาจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ การออกแบบวงจรและการพัฒนาโปรแกรมบนพีซีแล้ว ยังต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบควบคุมแบบป้อนกลับ PID คณิตศาสตร์ของแขนกัน การสร้างพิกัดข้อมูลแบบคิวบิกส์ไปใน อีกทั้งต้องศึกษาด้วยตนเองด้านโครงสร้างและกลไกของแขนกันให้ดี

เมื่อทำการกรอกตำแหน่งให้โปรแกรม โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าตำแหน่งที่กรอก เป็นตำแหน่งที่ป้องกันและเป็นไปได้หรือไม่ หากไม่ผ่านก็จะเตือนผู้ใช้ แต่ถ้าเป็นค่าที่ถูกต้อง และมีสิ่งให้ทำงาน ระบบก็จะทำงานตามขั้นตอนที่ได้โปรแกรมไว้ โดยแขนกันแต่ละแกนจะทำงานไปพร้อมๆ กันจนถึงเป้าหมาย แต่ระหว่างการเคลื่อนที่ แขนกันแต่ละแกนมีความสัมพันธ์ ไม่คล้อยชัดกันก็อ ไม่สามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงได้ เพราะมีพิกัดข้อมูลน้อยกินไป เนื่องจากการสื่อสารระหว่างมอร์กามาเตอร์ 2 กับบอร์ดแพฟฟ์ไปรับผิดชอบไม่ถูกต้อง แต่แขนกันก็สามารถไปถึงเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ รวดเร็ว และเสถียร

พิกัดตำแหน่งอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคำตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง แขนกันได้จากการวัดและหาค่าเฉลี่ย

5.2 ประเมินผลกระบวนการ

สามารถบรรลุจุดประสงค์ที่ได้ตั้งไว้คือ

1. เราสามารถควบคุมตำแหน่งและความเร็วของดีซีมีเซอร์โวมอตอร์ได้
2. เราสามารถออกแบบและสร้างต้นแบบระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกันได้
3. เราสามารถนำแขนกันไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องคัดแยกผลไม้ โดยการเพิ่มคัวจับที่แกนที่ 5
4. เราได้มีความรู้ทางด้านหุ่นยนต์ในกระบวนการผลิต ทันเป็นรากฐานของการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์ของประเทศไทย

5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

1. เนื่องจากความไม่สะดวกในการทำแท่นทั่งชิ้น ได้แก่ กะดาษทางโทรศัพท์/โทรศัพท์ และบอร์ดอินเทอร์เฟส โดยสายไวน์-แพรบีนซ์ ซึ่งอาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย จึงใส่ตัวบล็อกประจุคร่อมขาไฟเลี้ยงของไอซีทุกตัวบนบอร์ด
2. ในโรงงานอุตสาหกรรมมีแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับการป้องกันสัญญาณรบกวนด้วย
3. ไม่icrocon โทรเลขร์ที่ใช้ในโรงงานนี้มีความเร็วต่ำทำให้ต้องใช้หลายตัวช่วยกันทำงาน หากต้องการลดจำนวนลงก็ควรหาไม่icrocon โทรเลขร์ที่มีความเร็วสูงกว่า แต่ก็มีราคาแพงขึ้น เช่นกันและพหายนานมีปัญหา
4. บอร์ดไดร์เวอร์ร์มอเตอร์จ่ายกระแสไฟไม่สูง ทำให้มอเตอร์ของแกนที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ ได้รับกระแสไฟไม่เพียงพอที่จะทำการแก้ไขโดย การนำบอร์ดไดร์เวอร์ร์มาขนาดกันเพื่อให้มีกระแสไฟมากขึ้น
5. ปัญหาแรกเดียวกันในช่วงทดสอบ เป็นปัญหาที่ตรวจเช็คได้ยากและเสียเวลา ดังนั้นก่อนที่จะประกอบอุปกรณ์ลงบนบอร์ดควรตรวจสอบก่อนทุกครั้ง
6. เนื่องจากลักษณะของโปรแกรมที่เขียนเป็นการเขียนติดต่อกับไม่icrocon โทรเลขร์ในครั้งแรก MSC 51 และไม่icrocon พิวเตอร์ ผ่านทาง RS 232 C ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องมีความเข้าใจในลักษณะของภาษาและโครงสร้างของไม่icrocon โทรเลขร์ที่ต้องมีความเข้าใจในลักษณะของภาษาและข้อผิดพลาดในการเขียนโปรแกรม
7. เนื่องจากโครงสร้างของญี่ปุ่นยังมีจุดต่อที่เยื่องกันอยู่ และไม่มีจุดต่อสำหรับหุ้นยนต์ตัวนี้ จึงทำให้การคำนวณและการวัดความยาวของแขนกลแต่ละแกนมีความซับซ้อนมากขึ้น ทำให้อาจเกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณหาสมการได้ง่าย ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องเอาใจและมีความรอบคอบอย่างสูง
8. ค่าพิกัดย่อของมือถือทำให้แขนกลเคลื่อนที่ไม่ค่อยเป็นเส้นตรง เมื่อจากการสื่อสารข้อมูลมีประสิทธิภาพต่ำ จึงควรศึกษาการสื่อสารข้อมูลให้ลึกซึ้ง

5.4 เป้าหมายในอนาคต

1. สามารถควบคุมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีทางการแพทย์ได้
2. ปรับปรุงให้แขนกลใช้งานได้ทั้ง 6 แนวแกน ซึ่งจะทำให้แขนกลเคลื่อนไหวได้ไกลและแม่นยำขึ้น

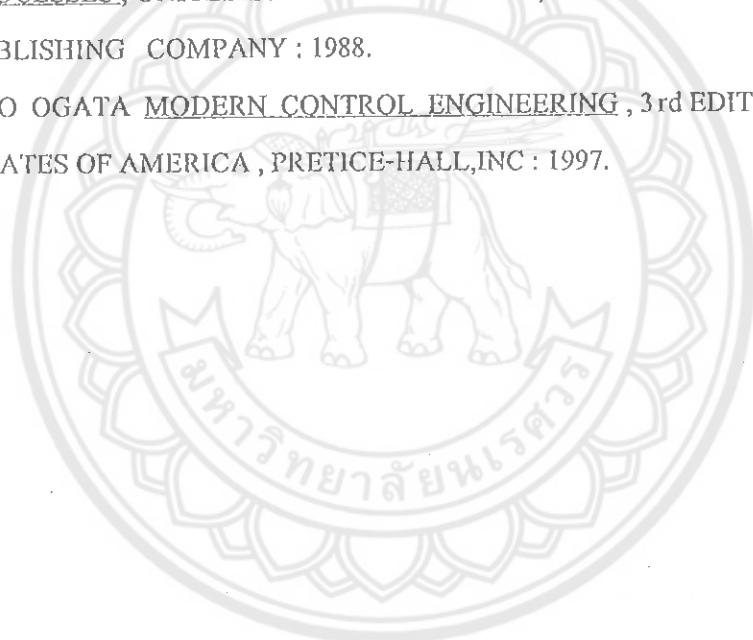
บรรณานุกรม

ชาลิต ชูนรัน เทคโนโลยีดักเกอร์ อิเด็กทرونิกส์, จีเอ็คยูเคชั่น, กรุงเทพฯ : ฉบับที่ 207 , 2543.
วรพงศ์ ทองคำกร, วิปศยา สีทอง การจำลองคอมพิวเตอร์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยไมโคร
คอมพิวเตอร์, ปริญญาพินช์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

สุนทร วิทูอุรพจน์ การใช้งานในโกรคอนโทรลเลอร์ ตรรกะ 8051, จีเอ็คยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

JOHN G. BOLLINGER, NEIL A. DUFFIE COMPUTER CONTROL OF MACHINES AND
PROCESSES, UNITED STATES OF AMERICA, ADDISON-WESLEY
PUBLISHING COMPANY : 1988.

KATSUHIKO OGATA MODERN CONTROL ENGINEERING, 3rd EDITION, UNITED
STATES OF AMERICA, PRETICE-HALL, INC : 1997.



ภาคผนวก

รีจิสเตอร์ของ 8051

PSW : PROGRAM STATUS WORD , สามารถอ้างถึงในระดับบิตได้

ชื่อบิต : PSW

ตำแหน่ง : D0h

ค่าบิตเริ่มต้น : 0000 0111

CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P
----	----	----	-----	-----	----	---	---

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
CY	PSW.7	Carry Flag
AC	PSW.6	Auxiliary Carry Flag
F0	PSW.5	Flag 0
RS1	PSW.4	บิตสำหรับเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ บิต 1
RS0	PSW.3	บิตสำหรับเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ บิต 0
OV	PSW.2	Overflow Flag
-	PSW.1	แฟล็กที่ผู้ใช้สามารถใช้โดยอิสระ
P	PSW.0	Parity Flag

หมายเหตุ ค่าที่ระบุในตำแหน่งบิต RS0 และ RS1 ทำหน้าที่ในการกำหนดเดือดแบงก์ของรีจิสเตอร์

รีจิสเตอร์	บิต RS0	บิต RS1	ตำแหน่งหน่วยความจำ
แบงก์ 0	0	0	0000h
แบงก์ 1	0	1	0008h
แบงก์ 2	1	0	0010h
แบงก์ 3	1	1	0018h

PCON : POWER CONTROL REGISTER , ไม่สามารถอ้างถึงในระดับบิตได้
ชื่อบิต : PCON ตำแหน่ง : 97h ค่าบิตเริ่มต้น : 0xxx 0000

SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL
------	---	---	---	-----	-----	----	-----

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
SMOD	PCON.7	บิตกำหนดการทวีคูณของอัตราบันดาลปกติ
-	PCON.6	
-	PCON.5	
-	PCON.4	
GF1	PCON.3	แฟล็กสำหรับให้ผู้ใช้งานทั่วไป Flag1
GF0	PCON.2	แฟล็กสำหรับให้ผู้ใช้งานทั่วไป Flag2
PD	PCON.1	บิตสำหรับการกำหนด Power down
IDL	PCON.0	บิตสำหรับการกำหนด Idle mode

การอ่านหอดรับปัต

IE: INTERRUPT ENABLE REGISTER , สามารถอ้างถึงในระดับบิตได้

ชื่อบิต : IE

ตำแหน่ง : A8h

ค่าบิตเริ่มต้น : 0x00 0000

EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
----	---	-----	----	-----	-----	-----	-----

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
EA	IE.7	อินาเบิล/ดิสເອເນີລາກາຣເກີດອິນເຕອຮັບປໍ່ໄດຍຮວມ
-	IE.6	
ET2	IE.5	อินาเบิล/ດີສເອເນີລາກາຣເກີດອິນເຕອຮັບປໍ່ໄຕຣຳວັນ
ES	IE.4	อินາເບີລ/ດີສເອເນີລາກາຣເກີດອິນເຕອຮັບປໍ່ພ້ອງຕອນຸກຮນ
ET1	IE.3	อินາເບີລ/ດີສເອເນີລາກາຣເກີດອິນເຕອຮັບປໍ່ໄຕຣຳວັນ
EX1	IE.2	อินາເບີລ/ດີສເອເນີລາກາຣເກີດອິນເຕອຮັບປໍ່ INT1
ET0	IE.1	อินາເບີລ/ດີສເອເນີລາກາຣເກີດອິນເຕອຮັບປໍ່ Timer 0
EX0	IE.0	อินາເບີລ/ດີສເອເນີລາກາຣເກີດອິນເຕອຮັບປໍ່ INT0

IP: INTERRUPT PRIORITY REGISTER , สามารถอ้างถึงในระดับบิตได้

ชื่อบิต : IP

ตำแหน่ง : B8h

ค่าบิตเริ่มต้น : 0000 0000

-	-	PT2	PS	PT1	PXI	PT0	PX0
---	---	-----	----	-----	-----	-----	-----

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
-	IP.7	
-	IP.6	
PT2	IP.5	ระดับความสำคัญของ Timer 2
PS	IP.4	ระดับความสำคัญของ พอร์ตอุปกรณ์
PT1	IP.3	ระดับความสำคัญของ Timer 1
PXI	IP.2	ระดับความสำคัญของ INT1
PT0	IP.1	ระดับความสำคัญของ Timer 0
PX0	IP.0	ระดับความสำคัญของ INT0

ระดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์ร์ร์บ์ประมากต่างๆ

ระดับความสำคัญ	สัญญาณ	ความหมาย
1	IE0	อินเตอร์ร์ร์บ์ภายนอก 0
2	TF0	วงจรนับ/จัมเวลา 0
3	IE1	อินเตอร์ร์ร์บ์ภายนอก 1
4	TF1	วงจรนับ/จัมเวลา 1
5	RI หรือ TI	วงจรรับ/ส่งข้อมูลอุปกรณ์
6	TF2 หรือ EXF2	วงจรนับ/จัมเวลา 2

คำแนะนำเกี่ยวกับการตั้งค่า TMOD

แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์	คำแนะนำของ TMOD (Hex)
IE0 อินเตอร์รัปต์ภายนอก 0	0003
TF0 วงจรนับ/จับเวลา 0	000B
IE1 อินเตอร์รัปต์ภายนอก 1	0013
TF1 วงจรนับ/จับเวลา 1	001B
RI หรือ TF วงจรรับ/ส่งข้อมูลอุปกรณ์	0023

TMOD : TIMER/COUNTER MODE REGISTER , ไม่สามารถเขียนถึงในระดับบิตได้
 ชื่อบิต : TMOD คำแนะนำ : 89h ค่าบิตรีนตัน : 0000 0000

GATE1	C/T1	M1	M0	GATE0	C/T0	M1	M0
-------	------	----	----	-------	------	----	----

ชื่อบิต	คำแนะนำ	ความหมาย
GATE1	TMOD.7	บิตควบคุม GATE สำหรับ Timer 1
C/T1	TMOD.6	บิตกำหนดการทำงานแบบตัวนับหรือจับเวลาของ Timer 1 โดยถ้าเป็นค่า 0 จะทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลา
M1	TMOD.5	บิตบันสำหรับการกำหนดโหมดการทำงานของ Timer 1
M0	TMOD.4	บิตถ่างสำหรับการกำหนดโหมดการทำงานของ Timer 1
GATE0	TMOD.3	บิตควบคุม GATE สำหรับ Timer 0
C/T0	TMOD.2	บิตกำหนดการทำงานแบบตัวนับหรือจับเวลาของ Timer 0 โดยถ้าเป็นค่า 0 จะทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลา
M1	TMOD.1	บิตบันสำหรับการกำหนดโหมดการทำงานของ Timer 0
M0	TMOD.0	บิตถ่างสำหรับการกำหนดโหมดการทำงานของ Timer 0

TCON : TIMER/COUNTER CONTROL REGISTER , สามารถอ้างถึงในระดับบิตได้

ชื่อบิต : TCON

ตำแหน่ง : 88h

ค่าบิตเริ่มต้น : 0000 0000

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
TF1	TCON.7	แฟล็กแสดงการโอล์ฟลั่วของ Timer 1
TR1	TCON.6	บิตกำหนดการทำงาน/หยุดการทำงานของ Timer 1
TF0	TCON.5	แฟล็กแสดงการโอล์ฟลั่วของ Timer 0
TR0	TCON.4	บิตกำหนดการทำงาน/หยุดการทำงานของ Timer 0
IE1	TCON.3	แฟล็กแสดงการอินเตอร์รัปต์ของ INT 1
IT1	TCON.2	บิตเลือกประเภทตัญญาณอินเตอร์รัปต์ของ INT1
IE0	TCON.1	แฟล็กแสดงการอินเตอร์รัปต์ของ INT 0
IT0	TCON.0	บิตเลือกประเภทตัญญาณอินเตอร์รัปต์ของ INT0

T2CON :TIMER/COUNTER 2 CONTROL REGISTER, สามารถอ้างถึงในระดับบิตได้

ชื่อบิต : T2CON

ตำแหน่ง : C8h

ค่าบิตเริ่มต้น : 0000 0000

TF2	Exf2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2
-----	------	------	------	-------	-----	------	--------

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
TF2	T2CON.7	แฟล็กแสดงการโอล์ฟลั่วของ Timer 2
EXF2	T2CON.6	Timer 2 External flag
RCLK	T2CON.5	Receive clock flag
TCLK	T2CON.4	Transmit clock flag
EXEN2	T2CON.3	Timer 2 external enable flag
TR2	T2CON.2	แฟล็กกำหนดการทำงาน/หยุดการทำงานของ Timer 2
C/T2	T2CON.1	แฟล็กเลือกโหมดการทำงานเป็นตัวบันหรือจับเวลา
CP/RL2	T2CON.0	แฟล็กแสดงโหมดการແສດງ Capture/Reload

SCON : SERIAL PORT CONTROL REGISTER, สามารถอ่านเขียนในระดับบิตได้
ชื่อบิต : SCON คำแนะนำ : 98h ค่าเริ่มต้น : 0000 0000

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	T1	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
SM0	SCON.7	บิตเลือกโหมดการทำงาน
SM1	SCON.6	บิตเลือกโหมดการทำงาน
SM2	SCON.5	แฟล็กกำหนดการทำงานแบบมัตติไปรษณีย์
REN	SCON.4	แฟล็กบอร์นให้มีการรับข้อมูล
TB8	SCON.3	ค่าของบิตที่ 9 สำหรับการส่งข้อมูลออก
RB8	SCON.2	ค่าของบิตที่ 9 สำหรับการรับข้อมูลเข้า
TI	SCON.1	แฟล็กแสดงการอินเตอร์รัปต์ภายนอกดังการส่งข้อมูล
RI	SCON.0	แฟล็กแสดงการอินเตอร์รัปต์เมื่อมีข้อมูลรับเข้า

អាមេរិក

SM0	SM1	MODE	ลักษณะการทำงาน	อัตราบอค
0	0	0	ชิพรีจิสเตอร์	F ออสซิลเลเตอร์/12
0	1	1	8 มิต UART	สามารถเปลี่ยนแปลงได้
1	0	2	9 มิต UART	F ออสซิลเลเตอร์/32 หรือ F ออสซิลเลเตอร์/64
1	1	3	9 มิต UART	สามารถเปลี่ยนแปลงได้

CP – SB31 (SINGLE BOARD 31 ON PC)

CP – SB31 ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้งานควบคุม ซึ่งตรงกับหน้าที่หลักของ CPU ในตระกูล MCS 51 คือเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ โครงสร้างทางกายภาพของบอร์ด CP – SB31 มีดังนี้ ลักษณะของบอร์ด CP – SB31

- CPU 8031 (ON BOARD) OR 8032 , 8052 , 8751

MEMORY

- มี SOCKET ขนาด 28 PIN 2 ตัว สามารถใส่หน่วยความจำได้สูงสุด 96 KB

I/O

- 8 x 3 บิต INPUT/OUTPUT (8255)
- 8 x 1 บิต INPUT/OUTPUT (PORT1)
- 1 SERIAL PORT (RS 232)

POWER

- 10 VDC POWER SUPPLY JACK
- 5 VDC (REGULATE) 7805 ON BOARD

ประวัติผู้ทำโครงการ

1. นายธนวรรธน์ เกรียงไกร รหัส 40360315

เกิดวันที่ 1 เมษายน 2522 ภูมิลำเนา 212/1 ถ.สำราญรื่น ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
จบจากโรงเรียนอุตรดิตถ์

2. นายพิทักษ์ คเตยชุม รหัส 40360406

เกิดวันที่ 21 กรกฎาคม 2522 ภูมิลำเนา 278/6 ถ.บรมราชานุสรณ์ ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
จบจากโรงเรียนอุตรดิตถ์

3. นายอภิศักดิ์ พรหมผาย รหัส 40360588

เกิดวันที่ 20 กันยายน 2521 ภูมิลำเนา 155/4 ถ.ย่านศิลาอาสน์ ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
จบจากโรงเรียนอุตรดิตถ์