สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# รถสำรวจควบคุมทิศทางด้วยเครื่องรับ จีพีเอส

# GPS Explorer Car

T046233

โดย

| | | |
|---|---|---|
| นายรชานนท์ | ศรีพิพัฒน์พร้อม | รหัสประจำตัว 41014347 |
| นายศิวพงศ์ | วัชระกิติพงศ์ | รหัสประจำตัว 41014427 |
| นายสรรชัย | บุญวณิชวัฒน์ | รหัสประจำตัว 41014445 |
| นายสันต์ | ศุภนิตยานนท์ | รหัสประจำตัว 41014453 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46233
วัน, เดือน, ปี 21 ธ.ค. 2546

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงาน ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถสำรวจควบคุมทิศทางด้วยเครื่องรับ จีพีเอส

GPS Explorer Car


ผู้จัดทำ

1. นายรชานนท์ ศรีพิพัฒน์พร้อม รหัสประจำตัว 41014347
2. นายศิวพงศ์ วัชระกิติพงศ์ รหัสประจำตัว 41014427
3. นายสรรชัย บุญวณิชวัฒน์ รหัสประจำตัว 41014445
4. นายสันต์ ศุภนิตยานนท์ รหัสประจำตัว 41014453


..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ )


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงาน รถสำรวจควบคุมทิศทางด้วยเครื่องรับ จีพีเอส

GPS Explorer Car


ชื่อนักศึกษา นายรชานนท์ ศรีพิพัฒน์พร้อม รหัสประจำตัว 41014347

นายศิวพงศ์ วัชระกิติพงศ์ รหัสประจำตัว 41014427

นายสรรชัย บุญวณิชวัฒน์ รหัสประจำตัว 41014445

นายสันต์ ศุภนิตยานนท์ รหัสประจำตัว 41014453


โครงงานได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ )


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รถสำรวจควบคุมทิศทางด้วยเครื่องรับ จีพีเอส**

รชานนท์ ศรีพิพัฒน์พร้อม
ศิวพงศ์ วัชระกิติพงศ์
สรรชัย บุญวณิชวัฒน์
สันต์ ศุภนิตยานนท์
อ.พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

**บทคัดย่อ**

โครงงานนี้เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องรับจีพีเอส (GPS : Global Positioning System) และเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการบอกตำแหน่งและทิศของรถสำรวจในขณะนั้น โดยเครื่องรับจีพีเอส และเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ จะเป็นอุปกรณ์ที่จะบอกตำแหน่งพิกัดบนโลกที่อยู่ในขณะนั้น และทำการส่งค่าไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการแสดงผลผ่านจอแอลซีดีและ ใช้ในการกำหนดทิศทางของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**GPS Explorer Car**

Mr. Rachanont Sripipatprom
Mr. Siwapong watcharakitipong
Mr. Sunchai Boonwanishawat
Mr. Sant Supanitayanon
Mr. Ponlasat Lertprasert Advisor
2001

**ABSTRACT**

This project is an application of microcontroller, GPS (Global Positioning System) and Electronic compass to control the robot can go to destination. GPS Receiver and Electronic Compass can be displayed the value of position and direction on the earth. And both can sent this data to microcontroller and used to control car direction. The value of data will be displayed on LCD monitor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

รายงานและโครงงานนี้คงจะสำเร็จลงไม่ได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจากบุคคลหลายๆ ท่าน เริ่มตั้งแต่การทำโครงงาน ตลอดจนคำแนะนำในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ อันได้แก่

อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

จึงขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาแนะนำในทุกๆ ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 MCS-51 | 3 |
| -โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช | |
| -คุณสมบัติทางเทคนิค | 3 |
| -การจัดขา | 5 |
| -โครงสร้างของพอร์ต | 8 |
| -จังหวะการทำงาน | 9 |
| -การจัดการหน่วยความจำของไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช | |
| -หน่วยความจำโปรแกรม | 11 |
| -หน่วยความจำข้อมูล | 13 |
| -รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ | 16 |
| -ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 | |
| -กลุ่มคำสั่งโอนย้ายข้อมูล | 20 |
| -กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ | 20 |
| -กลุ่มคำสั่งการคูณและหาร | 22 |
| -กลุ่มคำสั่งทางลอจิก | 23 |
| -กลุ่มคำสั่งจัดการข้อมูลระดับบิต | 24 |
| -กลุ่มคำสั่งกระโดด | 25 |
| -พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ | 25 |
| -8255 | |
| -8255A Internal Block Diagram | 36 |
| -8255A Operation Mode and Initialization | 38 |
| -Constructing and Sending 8255A Control Words | 41 |
| บทที่ 3 **ทฤษฎีและหลักการของจีพีเอส** | |
| -**ภาพรวมของระบบ** | 43 |



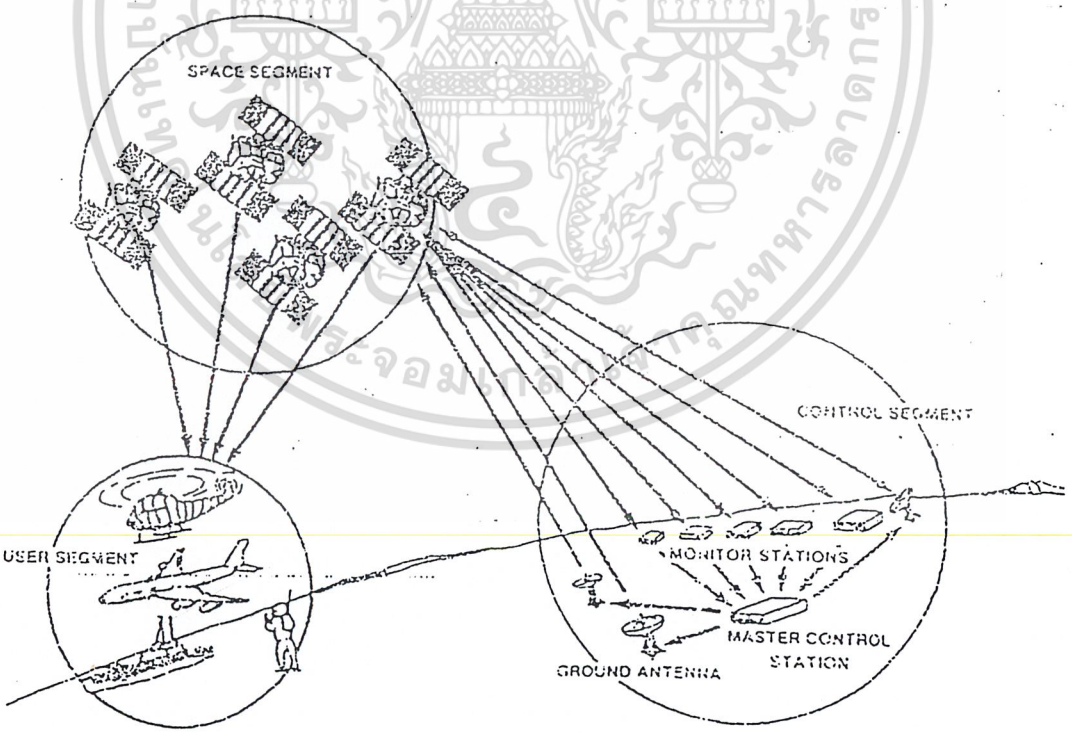
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การให้บริการของระบบจีพีเอส 49
-การทำงานของเครื่องรับสัญญาณ GPS 53
-การคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ 55
-การผิดพลาดในระบบ GPS 57
บทที่ 6 เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์
-ข้อมูลทั่วไปของ Vector 2X 79
- Mode ต่างๆ ของ Vector 2X 81
บทที่ 5 การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง
-ใช้ทรานซิสเตอร์ขับ 85
-ใช้ไอซีขับ 88
-ใช้ออปโต้คัปเปอร์ 88
บทที่ 6 โครงสร้างและหลักการ 91
บทที่ 7 การทดสอบ 100
บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์ 104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

ระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลกโดยใช้ดาวเทียมนาฟตาร์หรือ จีพีเอส (The Global Positioning System : GPS) เป็นระบบบอกตำแหน่งอ้างอิงกับพื้นโลก โดยการส่งคลื่นวิทยุจากดาวเทียมในอวกาศมายังภาคพื้นดินและใช้ความต่างของเวลาในการรับ-ส่งสัญญาณระหว่างดาวเทียม (อย่างน้อย 4 ดวง) กับตัวรับสัญญาณ ในการคำนวณหาตำแหน่ง, ความเร็ว, และเวลา (Position, Velocity, Time) ให้กับผู้ใช้งานทั้งทางบก, ทางอากาศ, ทางทะเล และทางอวกาศ ตามปกติระบบ GPS จะมีการใส่รหัสเพื่อให้เกิดความผิดพลาดเล็กน้อย เนื่องจากเดิมผู้คิดค้นคือ กระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา โดยมีจุดประสงค์มาใช้ในทางการทหาร แต่เนื่องจากที่ระบบนี้เป็นระบบเปิดคือสัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งออกมาโดยที่ผู้ใช้ทั่วไปสามารถรับและนำมาใช้ได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการใช้งานในทางที่ผิด จึงมีการใส่รหัสเพื่อให้ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่จะได้รับข้อมูลที่ถูกต้อง ระบบ GPS ประกอบด้วย 3 ระบบหลัก คือ ส่วนของกลุ่มดาวเทียม (Space Segment), ส่วนสถานีควบคุม (Control Segment) และส่วนของผู้ใช้งาน (User Segment)




รูปที่ 1.1 แสดงภาพการใช้งานระบบ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของดาวเทียมประกอบด้วยหมู่ดาวเทียมนาฟตาร์ 24 ดวงครอบคลุมพื้นที่รอบโลก โดยแต่ละดวงจะทำหน้าที่กระจายสัญญาณรหัสย่าน RF และส่งข้อมูลข่าวสารการนำร่อง (Navigation Data Message) ส่วนของสถานีควบคุมจะประกอบด้วยเครือข่ายสำหรับการติดตามดาวเทียม (Network of Monitoring) และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการติดตามควบคุม ซึ่งใช้ในการจัดวงโคจรของดาวเทียม และอัพเดท (Update) ข้อมูลข่าวสารการนำร่องซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อรับ, ถอดรหัส, ประมวลผล และนำสัญญาณจากดาวเทียมไปประยุกต์ใช้งาน

เครื่องรับสัญญาณจะได้รับข้อมูลข่าวสารการนำร่องจากดาวเทียมทำให้ทราบถึงเวลาการใช้ในการรับ-ส่ง และนำค่าเวลาที่ได้มาคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ โดยหลักการคือดาวเทียมจะส่งสัญญาณบอกค่าเวลา ณ เวลาที่ส่งสัญญาณออกมา เครื่องรับเมื่อได้รับสัญญาณจะได้ค่าเวลา ณ เวลาที่รับสัญญาณ โดยใช้สัญญาณเวลาจากตัวเครื่องรับเอง ดังนั้นจะได้ค่าเวลาที่ใช้ในการรับ-ส่ง และนำค่านี้ไปคำนวณระยะทางโดยค่าความเร็วของสัญญาณความถี่ย่าน RF ที่ใช้รับ-ส่ง จะเป็นค่าคงทีที่ทราบอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อนำค่าเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณและค่าความเร็วของสัญญาณมาคำนวณแล้ว จะได้ระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณแนวระนาบพื้นผิวทรงกลมที่มีจุดศูนย์กลางที่ดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ในเวลาเดียวกัน เพื่อใช้ในการหาจุดตัดของสัญญาณจากดาวเทียม โดย ณ ตำแหน่งจุดตัดของสัญญาณดาวเทียมจำนวน 3 ดวงนั้นจะเป็นพิสัยในแกน 3 มิติ และค่าสัญญาณจากดาวเทียมอีกดวงหนึ่งจะเป็นค่าพารามิเตอร์ของค่าความผิดพลาดของสัญญาณนาฬิกาของเครื่องรับ เมื่อเครื่องรับได้ทำการประมวลผลข้อมูลจากสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมแล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ออกมา 3 ค่า ได้แก่ ค่าตำแหน่ง (ละติจูดและลองติจูด), ความเร็วและเวลา และจากข้อมูลที่เราสามารถประยุกต์ค่าข้อมูล เพื่อใช้ในการออกแบบควบคุมการนำร่องให้กับอุปกรณ์ยานยนตร์ต่างๆ เช่น ควบคุมเส้นทางการบิน, เส้นทางการเดินเรือและรถยนตร์ ในปัจจุบันเทคโนโลยีสามารถพัฒนาจนเครื่องรับสัญญาณ GPS มีขนาดเล็กลงจนเป็นแบบพกพาได้

เครื่องรับสัญญาณแบบพกพามีฟังก์ชั่นในการส่งข้อมูลออกโดยพอร์ทแบบอนุกรม ข้อมูลที่ส่งออกมาจะส่งในรูปมาตรฐานโปรโตคอล NMEA 183 ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลของ ละติจูด, ลองติจูด, ความสูง, ความเร็ว, เวลา และอื่นๆ ของเครื่องรับสัญญาณ จากค่าเหล่านี้เราสามารถออกแบบโปรแกรมในการกำหนดเส้นทางเดินที่ถูกต้องและสั้นที่สุดล่วงหน้า เพื่อแนะนำเส้นทางเดินรถแก่ผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

## โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

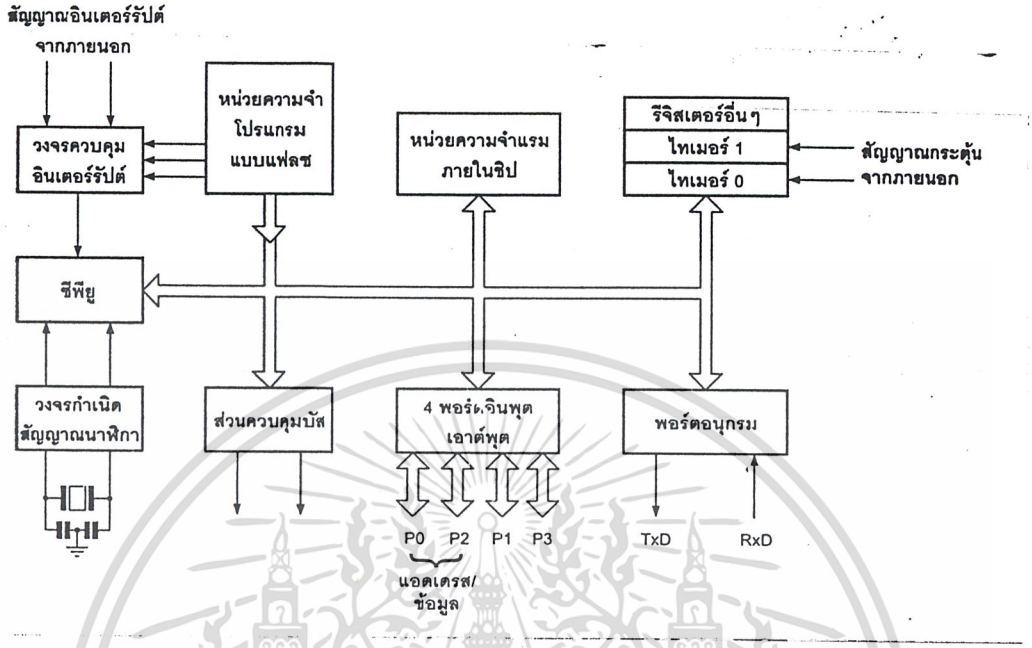
### คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 อนุกรม

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ CPU ขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้ง อินพุต และเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต อย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ในตัว สำหรับในอนุกรม AT89Sxx

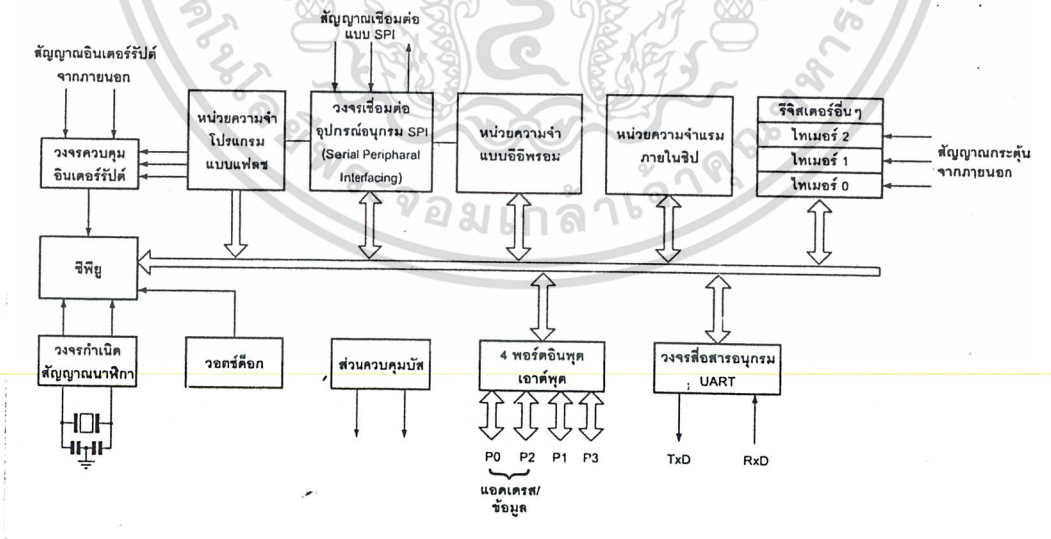
ในรูปที่ 2.1 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx จะเห็นได้ว่า โครงสร้างของ AT89Cxx จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐาน หากแตกต่างเฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช ที่เพิ่มเติมเข้ามา

สำหรับในรูปที่ 2.2 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของอนุกรม AT89Sxx จะเห็นได้ว่ามีส่วนประกอบที่เพิ่มเติมแตกต่างจาก AT89Cxx อยู่หลายส่วนอาทิ วงจรเชื่อมต่ออนุกรมแบบ SPI ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอนุกรมนี้ ใช้ในการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมแบบไม่ต้องถอดตัวชิป ออกไปจากระบบหรือเรียกว่าการโปรแกรมในวงจร และมีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตที่เพิ่มเติมเข้ามาอีกตัวซึ่งเป็นไทเมอร์ 2 และวงจรวอตช์ด็อกที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานผิดพลาดของ CPU

เอกสารนี้จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรมAT89Cxx




รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ไมโครคอนโทรลเลอร์ | หน่วยความจำโปรแกรม | หน่วยความจำข้อมูล |
|---|---|---|
| **AT89C1051** | แบบแฟลชขนาด 1 กิโลไบต์ | แรม 64 ไบต์ |
| **AT89C2051** | แบบแฟลชขนาด 2 กิโลไบต์ | แรม 128 ไบต์ |
| AT89C51 | แบบแฟลชขนาด 4 กิโลไบต์ | แรม 128 ไบต์ |
| AT89C52 | แบบแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์ | แรม 256 ไบต์ |
| AT89C55 | แบบแฟลชขนาด 20 กิโลไบต์ | แรม 256 ไบต์ |
| AT89S8252 | แบบแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์ | แรม 256 ไบต์<br>อีอีพรอม 2 กิโลไบต์ |
| AT89S53 | แบบแฟลชขนาด 12 กิโลไบต์ | แรม 256 ไบต์ |

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดโดยสรุปบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของ ATMEL

**การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51**

*ขา VCC* ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5 V

*ขา GND* เป็นขากราวน์ สำหรับต่อ กราวน์ของระบบ

*ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7)* มี 8 ขา ซึ่งกำหนดเป็นได้ทั้ง อินพุตและเอาต์พุต และขาพอร์ตนี้ยังใช้งานติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก(A0-A7)และขาข้อมูล(D0-D7) โดยใช้ระบบขบวนการมัลติเพล็กเข้าช่วย เพื่อสลับการทำงาน

*ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7)* มี 8 ขา ซึ่งกำหนดเป็นได้ทั้ง อินพุตและเอาต์พุต นอกจากนั้นในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4-P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

*ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7)* มี 8 ขา ซึ่งกำหนดเป็นได้ทั้ง อินพุตและเอาต์พุต และขาพอร์ตนี้ยังใช้งานติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก(A8-A15)

*ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7)* มี 8 ขา ซึ่งกำหนดเป็นได้ทั้ง อินพุตและเอาต์พุต และขาพอร์ตนี้ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษ ดังนี้

**P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจาการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD**

**P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจาการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD**

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา $\overline{\text{INT0}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา $\overline{\text{INT1}}$

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0

**P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา T1**

**P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ $\overline{\text{WR}}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก**

**P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ $\overline{\text{RD}}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก**

*ขารีเซต* ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซต สถานะที่ขานี้จะต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมชชีลไซเกิล

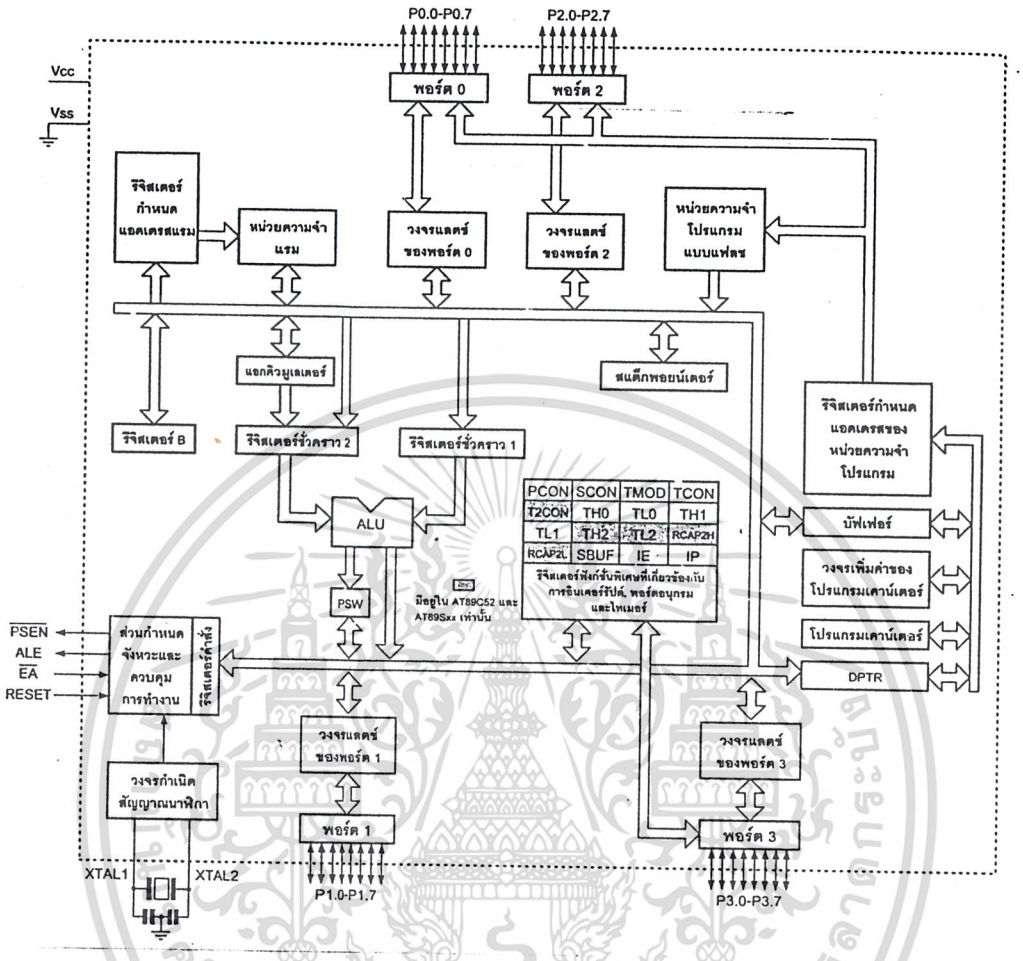
ขา *ALE/$\overline{\text{PROG}}$ (Address Latch Enable/Program pulse input)* เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบอีอีพรอม

ขา *PSEN (Program Store Enable)* ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

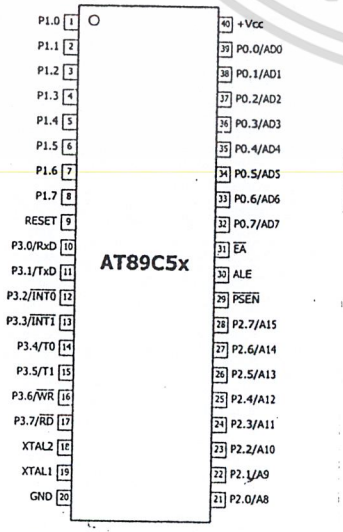
ขา *$\overline{\text{EA}}$/Vpp (External Address enable/Programming voltage input)* ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าขานี้เป็น " 0 " เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าขานี้เป็น " 1 " เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ขานี้ยังเป็นขาอินพุตสำหรับแรงดันไฟสูง สำหรับโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12 V

ขา *XTAL1 และ XTAL2* เป็นขาสำหรับต่อคริสตอล เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



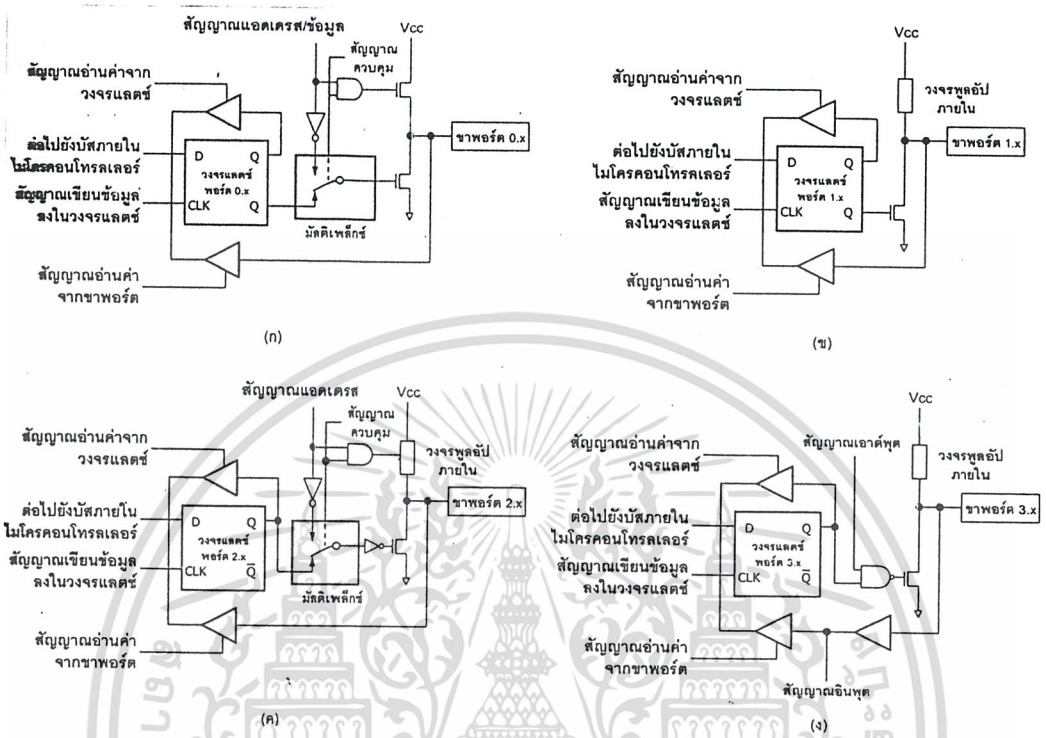

รูปที่ 2.3 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช



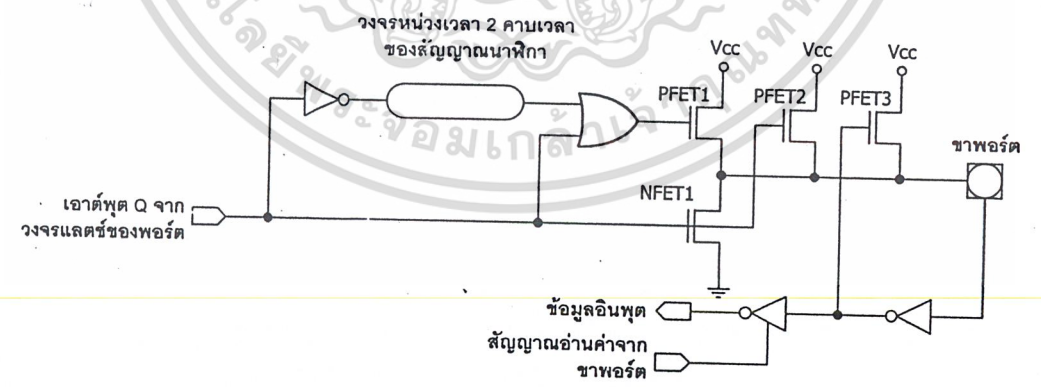

รูปที่2.4 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โครงสร้างของพอร์ต




รูปที่ 2.5 วงจรภายในของพอร์ตทุกพอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช




วงจรพูลอัปประกอบด้วยเฟตชนิดพีแชนเนล 3 ตัวคือ PFET1-PFET3 โดย NFET1 จะทำงานเมื่อได้รับลอจิก "1" จากขา Q และหยุดทำงานเมื่อได้รับลอจิก "0" วงจรพูลอัปจะเริ่มต้นทำงานเมื่อ NFET1 ได้รับลอจิก "1" PFET1 จะทำงานนานประมาณ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาภายใน หลังจากที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" ในขณะที่ PFET1 ทำงานจะทำให้ PFET3 ทำงานตามไปด้วย ทำให้เกิดการพูลอัปขาพอร์ต

รูปที่ 2.6 วงจรพูลอับภายในพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.5 แสดงวงจรภายในของแต่ละพอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชโดยในรูปที่ 2.5 (ก) เป็นวงจรของพอร์ต 0 วงจรแลตช์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจร D ฟลิปฟลอปนั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของแลตช์สามารถทำได้อิสระต่อกัน

ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดการทำงานของพอร์ตว่า ต้องการใช้เป็นอินพุต/เอาต์พุตปกติหรือใช้ในการติดต่อหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรพูลอัปภายใน หากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตจะต้องต่อตัวต้านทานภายนอกที่ขาพอร์ต 0 ทุกขา

ในรูปที่ 2.5 (ข) เป็นวงจรของพอร์ต 1 ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพล็ก แต่มีวงจรพูลอัปภายใน สำหรับรายละเอียดของวงจรพูลอับแสดงดังรูปที่ 2-6

ในรูปที่ 2.5 (ค) เป็นวงจรของพอร์ต 2 จะคล้ายพอร์ต 0 มาก ต่างกันเพียงวงจรพูลอัป

ในรูปที่ 2.5 (ง) เป็นวงจรของพอร์ต 3 จะคล้ายพอร์ต 1 มีการเพิ่มเติมวงจรบัฟเฟอร์ และอินพุตเอาต์พุตเมื่อทำงานในฟังก์ชั่นพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3 สามารถนำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกขา

**จังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์**

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะต้องเข้าใจจังหวะการทำงานของ CPU และลำดับขั้นตอนการประมวลผลคำสั่ง

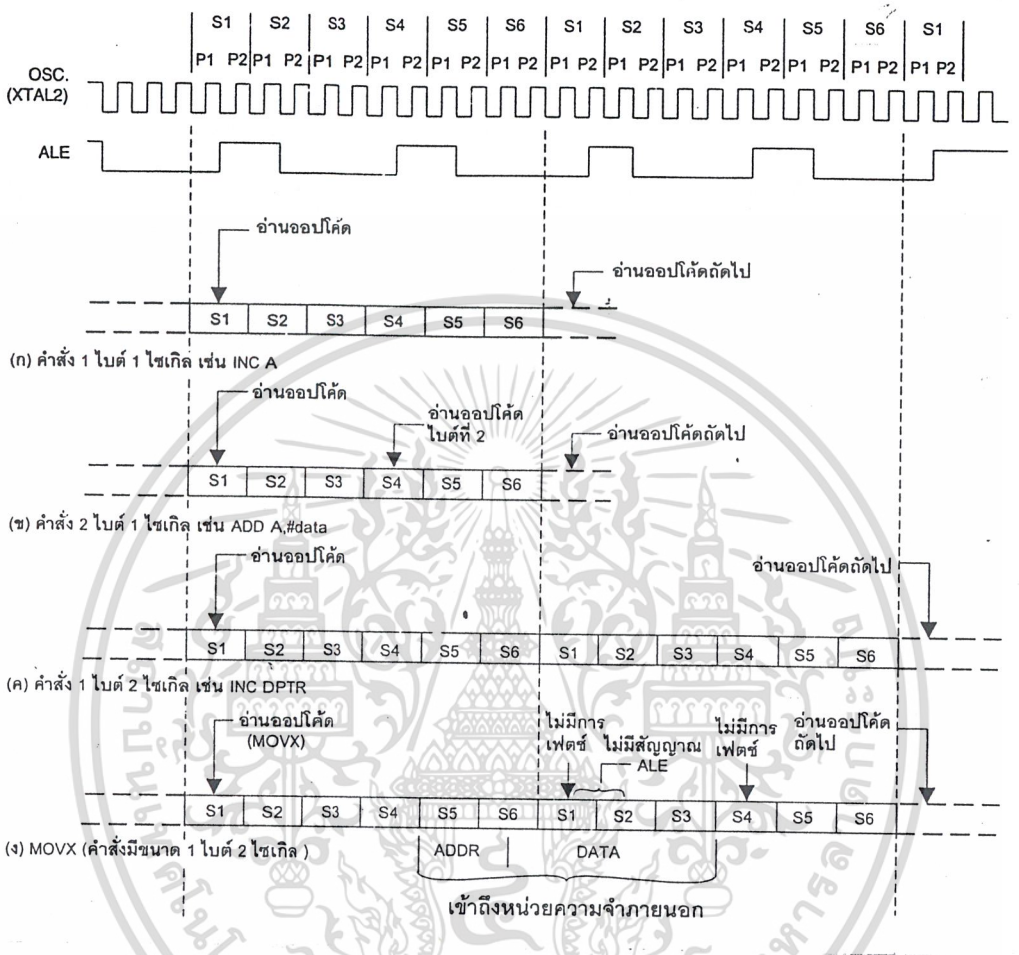
ในการประมวลผลขั้นตอนหลักๆ มี 2 ขั้นตอน คือ

กระบวนการเฟตช์(Fetch) เป็นการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลงรหัสคำสั่งนั้น เป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมการประมวลผลต่อไป

กระบวนการเอ็กซิคิวต์(Execute) เป็นการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดหรือเฟตช์ขึ้นมาโดยกระบวนการก่อนหน้านี้ เมื่อทำการเอ็กซิคิวต์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะไปเริ่มกระบวนการเฟตช์ใหม่

เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชจะเกิดการรีเซตในลักษณะที่เรียกว่า *เพาเวอร์ออนรีเซต (Power-on reset)* ทำให้ CPU เริ่มต้นทำงานที่ แอดเดรส 0000H ของหน่วยความจำโปรแกรม จังหวะการทำงานของ CPU จะเป็นไปตามรูปแบบ โดยได้รับการกำหนดมาจากรอบการทำงานหรือแมชีนไซเกิล(Machine Cycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.7 ไซเกิลการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในรูปที่2.7 เป็นไดอะแกรมแสดงจังหวะเวลาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยใน 1 รอบการทำงานแบ่งย่อยเป็น 6 สเตต ในแต่ละสเตตมีค่าเท่ากับ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา

ในรูปที่ 2.7 (ก) และ (ข) จะเป็นการเอ็กซิคิวคำสั่งที่ใช้เวลา 1 ไซเกิล เริ่มต้นที่สเตตที่ 1 จะเป็นการอ่านค่าออปโคด และนำไปส่งให้ รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register :IR) การเฟตช์ครั้งที่ 2 จะเกิดขึ้นสเตตที่ 4 ภายในไซเกิลเดียวกัน ถ้าเป็นคำสั่งไบต์เดียวกันจะถูกตัดทิ้งไปและสิ้นสุดการทำงาน สเตตที่ 6 ของไซเกิลเดียวกัน

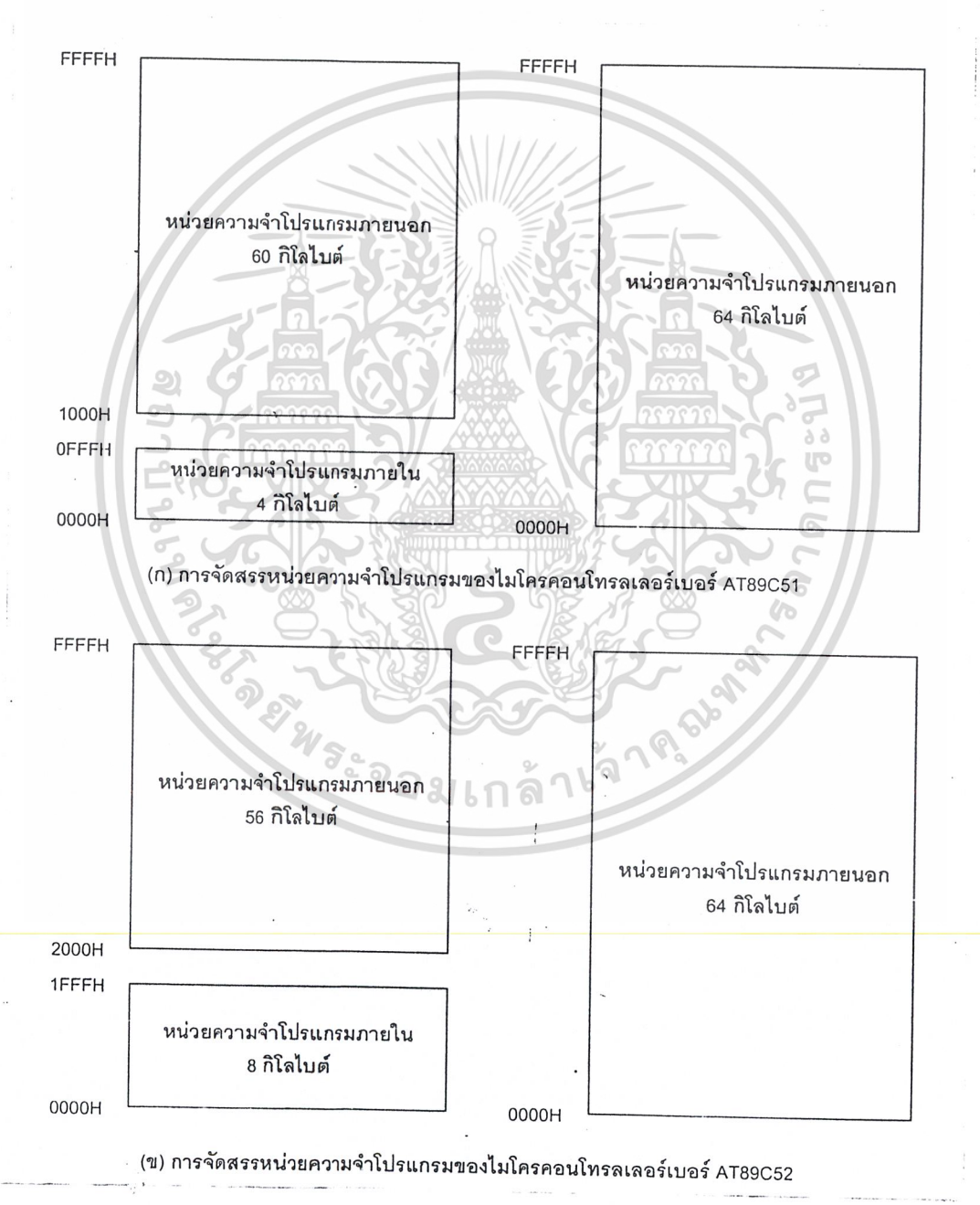
กรณี คำสั่งใช้เวลา 2 ไซเกิล การทำงานของคำสั่งจะสิ้นสุดที่ สเตตที่ 6 ของแมชีลไซเกิลที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ค) และรูป 2.7 (ง) แสดงให้เห็นว่าเวลาการเอ็กซิคิวไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่าทำการติดต่อหน่วยความจำภายใน หรือภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การจัดการหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช มีหน่วยความจำภายในหลักๆอยู่ 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งจะมีขนาดและการจัดสรรแตกต่างกันออกไป

**หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)**




**รูปที่ 2.8 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 สดงการจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในเบอร์ต่างๆ ที่นิยมใช้งาน อันประกอบด้วยเบอร์ AT89C51 และ AT89C52 จะเห็นว่าทั้ง 2 จะสามารถ ติต่อหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อ CPU ได้รับการรีเซตจะเริ่มที่ แอดเดรสนี้เสมอ อย่างไรก็ตามจะมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ประกอบด้วย

พื้นที่สำหรับการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H

พื้นที่สำหรับการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH

พื้นที่สำหรับการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H

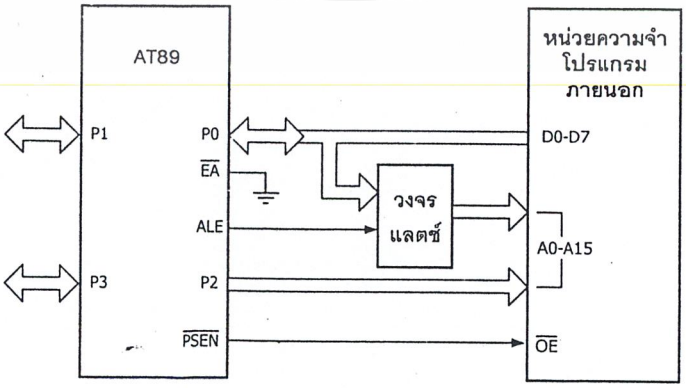
พื้นที่สำหรับการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH

พื้นที่สำหรับการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H

พื้นที่สำหรับการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH

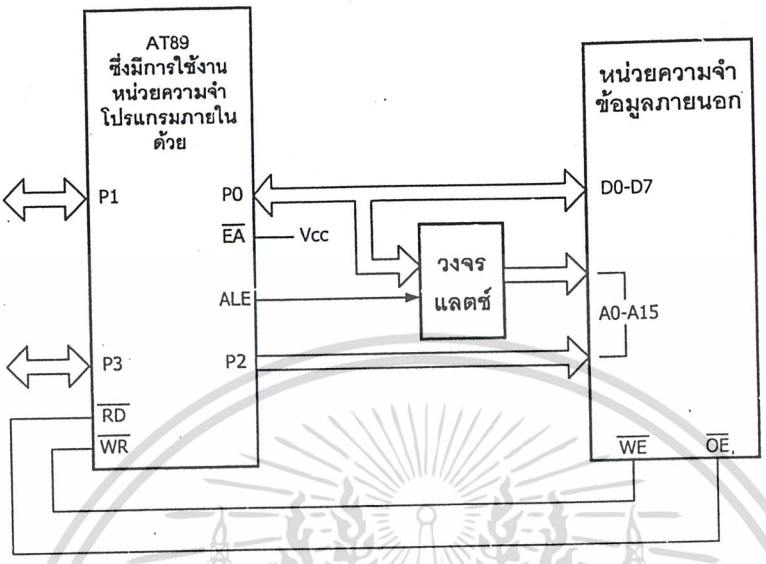
กรณีที่ใช้ไมโครคอลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชติดต่อกับ หน่วยความจำภายนอก สามารถทำได้โดยกำหนดแอดเดรส ให้ถูกต้อง

การต่อหน่วยความจำภายนอกดังรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าขาพอร์ต P0.0-P0.7 ถูกใช้เป็นขาข้อมูล D0-D7 และขาแอดเดรสไบต์ต่ำ โดยผ่านวงจรแลตช์ ซึ่งปกติใช้ไอซีเบอร์ 74HC573และใช้สัญญาณ ALE และ $\overline{\text{PSEN}}$ ในการเลือกว่าต้องการใช้งานเป็นขา P0.0-P0.7 เพื่อเป็นข้อมูลหรือขาแอดเดรส ในขณะที่ขา P2.0-P2.7 ใช้ในการเชื่อมต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูง A8-A15 ดังนั้นเมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก ไมโครคอลเลอร์จะเหลือพอร์ตใช้งานเพียง 16 บิตคือที่ขาพอร์ต P1.0-P1.7 และ P3.0-P3.7




รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

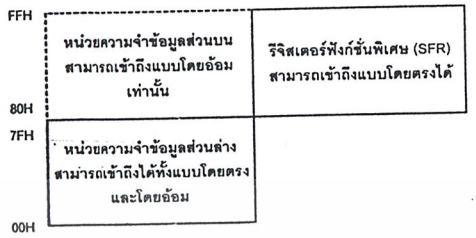
**หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)**

มีด้วยกัน 2 แบบคือ หน่วยความจำภายในและภายนอก โดยไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 สามารถติดต่อกับหน่วยกับความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ และติดต่อโดยใช้คำสั่ง MOVX การติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.10 จะเห็นว่ามีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แตกต่างกันที่สัญญาณที่ใช้สำหรับการอ่านและเขียนข้อมูลหน่วยความจำนั้นคือสัญญาณ $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$

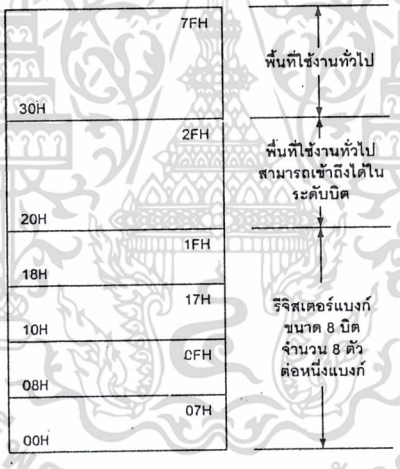
สำหรับไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในแบบแรม (RAM:Random Access Memory) โดยแต่ละเบอร์แตกต่างกันออกไป ในเบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ในขณะที่เบอร์ AT89C52 มีขนาด 256 ไบต์

สำหรับการจัดสรรแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ส่วนคือ *หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง(Lower)* , *ส่วนบน(Upper) และรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ(SFR:Special Function register)* แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์ ดังแสดงการจัดสรรในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.11 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูล




รูปที่ 2.12 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนล่าง

จะเห็นว่าหน่วยความจำทับซ้อนกันระหว่าง หน่วยความจำข้อมูลส่วนบนและรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ แต่จะใช้ในการติดต่อที่แตกต่างกันและในบางเบอร์จะไม่มีหน่วยความจำส่วนบน

ขนาดของหน่วยความจำข้อมูลโดยแท้จริงแล้วมีเพียง 256 ไบต์ แต่เสมือนว่ามี 384 ไบต์ เพราะการเข้าถึงที่แตกต่างกัน โดยในหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างขนาด 128 ไบต์ (00H-7FH) สามารถเข้าถึงได้ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม สำหรับหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน(80H-FFH) สามารถเข้าถึงได้แบบโดยอ้อมเท่านั้น ในขณะที่ SFR (80H-FFH) สามารถเข้าถึงได้แบบโดย ตรง ในรูปที่ 2-12 เป็นแสดงการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง หน่วยความจำ 32 ไบต์ ต่ำสุดที่แอดเดรส 00H-1FH แบ่งเป็น 4 กลุ่มเรียกว่า แบงก์(Bank) แต่ละแบงก์มีรีจิสเตอร์ R0-R7 การติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อกับหน่วยความจำในแบงก์ใดให้กำหนดที่รีจิสเตอร์ PSW (Program Status Word register) ซึ่งจะกล่าวต่อไป

หน่วยความจำข้อมูล 16 ไบต์ ถัดมาที่แอดเดรส 20H-2FH เป็นพื้นที่ใช้งานทั่วไป สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต(Bit addressable) และหน่วยความจำที่เหลือ 80 ไบต์ จะต้องแบ่งสำรองไว้เป็นพื้นของสแต็ก(Stack: ที่พักข้อมูลชั่วคราวสำหรับ CPU ในกรณีที่มีการกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย

ในรูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับหน่วยความจำส่วนล่าง หากแต่ 80 ไบต์ บนไม่ต้องสำรองไว้สำหรับสแต็กและต้องเข้าถึงในลักษณะโดยอ้อมเท่านั้น

| แอดเดรส | บิต | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FFH | | | | | | | | | |
| F0H | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 | รีจิสเตอร์ B |
| E0H | A7 | A6 | A5 | A4 | A3 | A2 | A1 | A0 | รีจิสเตอร์ ACC |
| D0H | D7 | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | - | D0 | รีจิสเตอร์ PSW |
| B8H | - | - | - | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 | รีจิสเตอร์ IP |
| B0H | 3.7 | 3.6 | 3.5 | 3.4 | 3.3 | 3.2 | 3.1 | 3.0 | รีจิสเตอร์ P3 |
| A8H | D7 | - | - | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 | รีจิสเตอร์ IE |
| A0H | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | รีจิสเตอร์ P2 |
| 99H | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ SBUF |
| 98H | S7 | S6 | S5 | S4 | S3 | S2 | S1 | S0 | รีจิสเตอร์ SCON |
| 90H | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | รีจิสเตอร์ P1 |
| 8DH | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ TH1 |
| 8CH | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ TH0 |
| 8BH | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ TL1 |
| 8AH | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ TL0 |
| 89H | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ TMOD |
| 88H | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 | T0 | รีจิสเตอร์ TCON |
| 87H | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ PCON |
| 83H | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ DPH |
| 82H | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ DPL |
| 81H | ไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ | | | | | | | | รีจิสเตอร์ SP |
| 80H | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | รีจิสเตอร์ P0 |

หมายเหตุ : ชื่อของแต่ละบิตที่กำหนดในรูปเป็นการกำหนดให้เห็นว่ามีการเรียงลำดับนัยสำคัญของรีจิสเตอร์แต่ละตัว โดยเรียงจากบิตสูงมายังบิตต่ำ สำหรับชื่อที่แท้จริงของแต่ละบิต ให้ตรวจสอบกับรายละเอียดของรีจิสเตอร์ตัวนั้นๆ ต่อไป

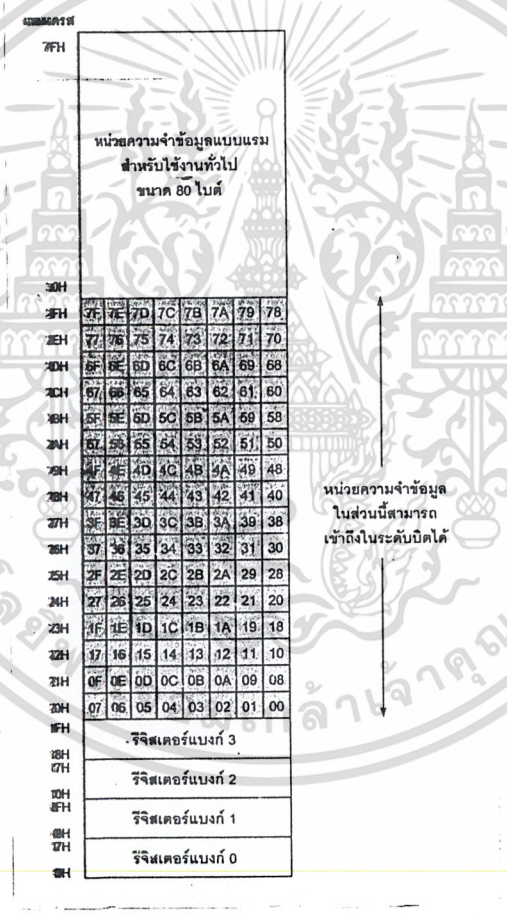
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนบนของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ(SFR: Special Function Register)**

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชทั้งหมดมีด้วยกัน 22 ตัวใน AT89C51 และ 28 ตัวใน AT89C52 และ AT89Sxx มีจำนวนไทเมอร์เคาน์เตอร์มากกว่านั่นเอง

รีจิสเตอร์ SFR มี แอดเดรส 80H-FFH ในพื้นที่หน่วยความส่วนบน สามารถเข้าถึงได้โดยตรง สำหรับรายละเอียดเบื้องต้นดังนี้




รูปที่ 2.14 การจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ(SFR)

**รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม(Program Status Word :PSW)**

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต ซึ่งหมายความว่าสามารถกรพทำคำสั่งหรือกำหนดค่าของแต่ระบิตในรีจิสเตอร์นี้ได้อย่างอิสระมีแอดเดรสอยู่ที่ D0H เป็นรีจิสเตอร์ซึ่งเก็บสถานะของโปรแกรมในขณะนั้น จะเรียกสถานะต่างของโปรแกรมว่าแฟลก เมื่อ CPU กระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



การคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกจะมีผลมีการเปลี่ยนแปลงในรีจิสเตอร์นี้ รายละเอียดของแต่ละบิตแสดงดังรูปที่ 2.15

**แอกคิวมูลเลเตอร์(Accumulator:ACC)**

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง E0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวนทางคณิตศาสตร์ อาจเรียกสั้นๆว่า รีจิสเตอร์ A หรือ ACC

รีจิสเตอร์สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต ซึ่งหมายความว่ากระทำคำสั่งหรือกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้อย่างอิสระ

| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CY | AC | F0 | RS1 | RS0 | OV | - | P |

CY : แฟลกทด (Carry flag) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก แล้วค่าของแอกคิวมูลเลเตอร์เกิน 255 (ฐานสิบ) หรือ FFH

AC : แฟลกทดเสริม (Auxiliary Carry flag) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์แล้วทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 3 มายังบิต 4

F0 : แฟลกใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าที่บิตนี้แล้ว ไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใด ๆ ที่บิตนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

RS1 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select1) ใช้งานร่วมกับบิต RS0 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

RS0 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select0) ใช้งานร่วมกับบิต RS1 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

OV : บิตเกิน (Overflow) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้ว ทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 6 มายังบิต 7 ของแอกคิวมูเลเตอร์ หรือแอกคิวมูเลเตอร์มีค่าเกิน 127 (ฐานสิบ) นอกจากนั้นยังใช้เป็นการแสดงค่าลบด้วย

\- : บิตนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดใช้งานได้อย่างอิสระ

P : บิตพาริตี้ (Parity) ใช้ในการตรวจสอบจำนวนค่า "1" ภายในแอกคิวมูเลเตอร์ ถ้าหากในแอกคิวมูเลเตอร์มีจำนวนบิตที่เป็น "1" รวมกันเป็นเลขคู่ บิตนี้จะเป็น "0" ถ้ารวมกันเป็นเลขคี่ บิตนี้จะเป็น "1"

รูปที่ 2.15 รายละเอียดแสดงสถานะของรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรมหรือ PSW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46233

**รีจิสเตอร์ B**

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง F0H มีหน้าที่พิเศษก็คือ หากมีการต้องคูณหรือหารทางคณิตศาสตร์ จะต้องนำข้อมูลมาเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ B แล้วจึงกระทำการคูณหรือหารกับค่ารีจิสเตอร์ A ต่อไป

ในกรณีที่ไม่ได้กระทำการคำสั่งคูณหรือหารสามารถใช้รีจิสเตอร์ B ในการเก็บข้อมูลทั่วไปได้ เหมือนปกติ และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิตเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ A

**โปรแกรมเคาน์เตอร์(Program Counter:PC)**

มีขนาด 16 บิต มีหน้าที่แจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำในโปรแกรมในตำแหน่งถัดไปที่ CPU จะทำงาน รีจิสเตอร์ PC เป็นรีจิสเตอร์ตัวเดียวที่ไม่ได้จัดสรรรวมไว้กับรีจิสเตอร์ SFR

รีจิสเตอร์ PC สำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบการโปรแกรมของการทำงานของโปรแกรมว่า ดำเนินไปตามลำดับขั้นตอนตามที่กำหนดไว้หรือไม่

**สแต็กพอยน์เตอร์(Stack Pointer:SP)**

หรือรีจิสเตอร์ตัวชี้สแต็ก มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 81H ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของตัวชี้ สแต็ก

**รีจิสเตอร์ชี้ข้อมูล(Data Pointer:DPTR)**

มีขนาด 16 บิต โดยแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์สูง(DPH) และรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์ต่ำ(DPL) โดยแต่ละตัวมีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 82H สำหรับ DPL และ 83H สำหรับ DPH รีจิสเตอร์ DPTR นี้ใช้ในการเก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ภายนอกที่ไมโครคอลโทรลเลอร์ต้องการติดต่อด้วย

**รีจิสเตอร์พอร์ต(Port Register)**

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ที่ใช้เก็บข้อมูลของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีด้วยกันทั้งสิ้น 4 ตัวคือ รีจิสเตอร์พอร์ต 0 หรือ P0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H,รีจิสเตอร์พอร์ต 1 หรือ P1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 90H, รีจิสเตอร์พอร์ต 2 หรือ P2 มีแอดเดรสอยู่ที่ A0H,รีจิสเตอร์พอร์ต 3 หรือ P3 มีแอดเดรสอยู่ที่ B0H รีจิสเตอร์ทุกตัวสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต

**รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม(Serial Data Buffer :SBUF)**

เป็นรีจิสเตอร์ขราด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ส่งออกหรือรับเข้าของวงจรสื่อสารอนุกรม โดยภายในรีจิสเตอร์ SBUF แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล(Tranmit buffer register) รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล(Receive buffer register) ถ้าต้องการรับข้อมูลก็สามารถรับข้อมูลจาก SBUF ได้ หรือถ้าต้องการส่งข้อมูลก็เขียนข้อมูลมาไว้ที่ SBUF ได้ ส่วนในรายละเอียดจะกล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รีจิสเตอร์ไทเมอร์(Time Register)**

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตแต่จะจัดเป็นไบต์สูงและไบต์ต่ำเช่นเดียวกับ DPTR รีจิสเตอร์ไทเมอร์ใช้ในการเก็บค่าตัวนับหรือเคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อเป็นการสร้างฐานเวลา, จับเวลาหรือนับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายใน

**รีจิสเตอร์แคปเจอร์(Capture Register)**

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต มีเฉพาะในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx เท่านั้น เนื่องจากต้องใช้ร่วมกับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 โดยมีชื่อเรียกอย่างย่อว่า รีจิสเตอร์ RCAP2 ซึ่งแบ่งออกเป็นไบต์ต่ำคือ RCAP2L มีแอดเดรสอยู่ที่ CAH และไบต์สูงคือ RCAP2H มีแอดเดรสอยู่ที่ CBH

รีจิสเตอร์แคปเจอร์จะถูกใช้งานเมื่อกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดแคปเจอร์ ซึ่งเป็นโหมดที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรล เลอร์ทำการตรวจจับสถานะการเปลี่ยนแปลงทางลอจิกที่ขา T2EX ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการวัดคาบเวลา ความถี่ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพัลส์ที่ขา T2EX นี้

**รีจิสเตอร์ควบคุม(Control Register)**

*รีจิสเตอร์ PCON* เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราส่วนในการรับส่งข้อมูลของวงจรสื่อสารอนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน

*รีจิสเตอร์ SCON* เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของวงจรสื่อสารอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

*รีจิสเตอร์ TCON และ T2CON* เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาเตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

*รีจิสเตอร์ TMOD และ T2MOD* เป็นรีจิสเตอร์ที่กำหนดโหมดหรือลักษณะการทำงานของไทเมอร์/เคาเตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

*รีจิสเตอร์ IE และ IP* เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวกับการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์(Interrupt: การขัดจังหวะการทำงานปกติของ CPU) โดย IE เป็นรีจิสเตอร์สำหรับอีนาเบิ้ลหรือใช้ในการกำหนดลักษณะของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ ในขณะที่ IP เป็นรีจิสเตอร์สำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ ว่าจะให้ CPU ตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ในลักษณะใดก่อนหรือหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีชุดคำสั่งที่เหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกประการ โดยสามารถแบ่งออกเป็นได้ 4 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มคำสั่งการโอนย้ายข้อมูล (data transfer instructions)
2. กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (arithmetic instructions)
3. กลุ่มคำสั่งทางลอจิก (logical instructions)
4. กลุ่มคำสั่งการจัดการข้อมูลระดับบิต (bit manipulated instructions)
5. กลุ่มคำสั่งการกระโดด (branch instructions)

การทำงานในแต่ละคำสั่งจะใช้เวลาในการประมวลผลที่แตกต่างกันออกไป โดยจะนับรอบของการทำงานหรือเรียกว่า แมชีนไซเกิล (machine cycle) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าเวลาใน 1 แมชีลไซเกิล ได้จาก

$$T = C*(12/ fXTAL)$$

โดยที่ T คือ ค่าเวลาในการประมวลผลคำสั่ง
C คือ จำนวนแมชีลไซเกิลของคำสั่งนั้น
fXTAL คือ ค่าความถี่ของคริสตอลที่ใช้ในการกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

**กลุ่มคำสั่งโอนย้ายข้อมูล**

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการโอนย้ายหรือเคลื่อนที่ข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์ ในหน่วยความจำข้อมูลด้วยกัน การโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก การสลับข้อมูล และคำสั่งที่ใช้ในการเรียกข้อมูลออกจากสแต็ก

**กลุ่มคำสั่งโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำภายใน**

สามารถแบ่งย่อยได้อีก 5 กลุ่ม ดังนี้

1. คำสั่งสำหรับโอนย้ายข้อมูลมาเก็บไว้ที่แอกคิวมูลเลเตอร์
2. คำสั่งสำหรับการโอนย้ายข้อมูลมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7
3. คำสั่งสำหรับโอนย้ายข้อมูลมาเก็บไว้ในหน่วยความจำข้อมูลภายในโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำสั่งสำหรับโอนย้ายข้อมูลมาเก็บไว้ในหน่วยความข้อมูลภายในโดยอ้อมผ่านทางรีจิสเตอร์ R0 หรือ R1
5. คำสั่งโอนย้ายข้อมูลระดับบิต

**กลุ่มคำสั่งการโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก**

หน่วยความจำที่อยู่ภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถอ่านและเขียนได้ตลอดเวลา จะเรียกว่า หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (external data memory) สามารถต่อได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ มีแอดเดรสอยู่ในช่วง 0000H-FFFFH การโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกจะใช้คำสั่ง MOVX เป็นหลัก พร้อมกันนั้นสามารถโอนย้ายข้อมูลแบบโดยอ้อมผ่านทางรีจิสเตอร์ DPTR เหมือนกับใช้รีจิสเตอร์ R0 กับ R1 แต่ R0,R1 มีข้อจำกัดด้านขอบเขตเพราะมีขนาดเพียง 8 บิต จึงสามารถติดต่อหน่วยความจำได้จำกัดเพียงตำแหน่ง 00H-FFH เท่านั้น

**กลุ่มคำสั่งโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก**

การโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจะใช้คำสั่ง MOVC เป็นหลักเนื่องจากหน่วยความจำฝดปรแกรมภายนอกมักจะเป็นหน่วยความจำชนิดอีพรอม ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านได้เพียงทางเดียวเท่านั้น การโอนย้ายไม่สามารถกระทำได้โดยตรงต้องอาศัยรีจิสเตอร์ DPTR หรือ PC ร่วมกับรีจิสเตอร์ A ทำการโอนย้ายโดยอ้อม มีกระบวนการดังนี้

1.กำหนดค่าแอดเดรสเริ่มต้นหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกไว้ที่รีจิสเตอร์ DPTR

2.กำหนดค่าตัวชี้แอดเดรสไว้ในรีจิสเตอร์ A

3.ใช้คำสั่ง MOVC A,@A+DPTR หรือ MOVC A,@A+PC

**กลุ่มคำสั่งการแลกเปลี่ยนข้อมูล**

การแลกเปลี่ยนข้อมูลเป็นการโอนย้ายข้อมูลแบบหนึ่งที่ทำการสลับค่าของข้อมูลระหว่างต้นทางกับปลายทาง ในขณะที่การโอนย้ายข้อมูลตามปกติ หลังการกระทำการโอนย้ายข้อแล้ว ข้อมูลต้นทางและปลายทางจะเหมือนกัน

**กลุ่มคำสั่งโอนย้ายข้อมูลกับสแต็ก**

มีด้วยกัน 2 คำสั่งคือ PUSH และ POP เมื่อซีพียูมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงแอดเดรสในการทำงาน จึงต้องมีการเก็บรักษาข้อมูลสุดท้ายไว้ก่อน หลังจากซีพียูกลับมาทำงานที่เดิมต่อไปจึงต้องมีการเรียกข้อมูลออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์**

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นการบวก ลบ คูณ หาร ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 การกระทำทางคณิตศาสตร์จะกระทำกับรีจิสเตอร์ A เป็นหลัก และผลที่ได้จะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A เสมอ

**กลุ่มคำสั่งการบวก**

สามารถแบ่งได้เป็นอีก 2 ลักษณะคือ คือคำสั่งการบวกแบบไม่คิดตัวทด และคำสั่งแบบคิดตัวทด แฟลกที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ แฟลกทด(C) , แฟลกทดเสริม(AC) และแฟลกเกิน (OV)

**กลุ่มคำสั่งการลบ**

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีการลบเฉพาะแบบคิดตัวยืม (full subtracter) แฟลกที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ แฟลกทด(C) , แฟลกทดเสริม(AC) และแฟลกเกิน (OV)

**กลุ่มคำสั่งการคูณและหาร**

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีคำสั่งการคูณและหารข้อมูล โดยกระทำผ่านรีจิสเตอร์ A และรีจิสเตอร์ B เท่านั้น จะเป็นการคูณและหารแบบไม่คิดเครื่องหมาย แฟลกที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ แฟลกเกิน (OV) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อกระทำการคูณเท่านั้น สำหรับแฟลกทดทั้งหมด จะเป็น “0” ตลอดการกระทำคำสั่งการคูณและหาร

ในการกระทำคำสั่งการคูณ ผลลัพธ์ที่ได้จะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A และ B โดยรีจิสเตอร์ A ไว้เก็บผลลัพธ์ไบต์ล่าง ส่วนรีจิสเตอร์ B เก็บผลลัพธ์ไบต์บน ซึ่งถ้าผลลัพธ์เกิน 255 หรือ FFH แฟลกเกินจะเซต เพื่อแจ้งให้ทราบว่าผลลัพธ์เกิน 8 บิต จะต้องไปอ่านผลลัพธ์ที่เหลือจากรีจิสเตอร์ B มารวมกับรีจิสเตอร์ A

ในการกระทำคำสั่งหารต้องกำหนดให้รีจิสเตอร์ A เป็นตัวตั้ง ส่วนตัวหารเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B ผลหารจะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A ถ้าหากผลหารไม่ลงตัว มีเศษเกิดขึ้นค่าของเศษจะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B

**กลุ่มคำสั่งเพิ่มและลดค่า**

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดค่าของข้อมูล,ค่าของรีจิสเตอร์ และค่าของแอดเดรสของหน่วยความจำ การทำงานเปรียบเทียบได้กับการบวกหรือลดค่าด้วยข้อมูล 01H เมื่อกระทำการในคำสั่งนี้ จะไม่ทำให้สถานะแฟลกเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คำสั่ง DA (Decimal-adjust Accumulator for addition)**

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการปรับค่าของข้อมูลให้เป็นฐานสิบ(BCD) หลังจากที่มีการบวกค่าเกิดขึ้นแล้วนำผลของการปรับค่าไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A คำสั่งนี้จะกระทำกับ รีจิสเตอร์ A เท่านั้น คำสั่งคือ **DA A**

**กลุ่มคำสั่งทางลอจิก**

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการประมวลผลทางตรรกหรือลอจิก ไม่ว่าจะเป็นการแอนด์ ออร์ และเอ็กคลูซีฟ-ออร์ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 การกระทำทางลอจิกสามารถกระทำกับรีจิสเตอร์ A หรือแอกคิวมูเลเตอร์,หน่วยความจำ และค่าข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้จากการกระทำคำสั่งทางลอจิกจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ หรือหน่วยความจำปลายทาง

กลุ่มคำสั่งทางลอจิกแบ่งเป็น 4 กลุ่มดังนี้

**กลุ่มคำสั่งแอนด์(AND operation)**

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ทำการแอนด์ข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์กับรีจิสเตอร์,รีจิสเตอร์กับหน่วยความจำ และรีจิสเตอร์กับข้อมูลตัวเลข จุดมุ่งหมายไว้เพื่อทำให้บิตของข้อมูลที่ไม่ต้องการใช้งานมีค่าเป็น “0” เมื่อกระทำคำสั่งในกลุ่มนี้ จะไม่ทำให้สถานะของแฟลกมีการเปลี่ยนแปลง

**กลุ่มคำสั่งออร์(OR operation)**

เป็นกลุ่มคำสั่งออร์ข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์กับรีจิสเตอร์,รีจิสเตอร์กับหน่วยความจำ และรีจิสเตอร์กับข้อมูลตัวเลข จุดมุ่งหมายไว้เพื่อทำให้บิตของข้อมูลที่ต้องการใช้งานมีค่าเป็น “1” เมื่อกระทำคำสั่งในกลุ่มนี้ จะไม่ทำให้สถานะของแฟลกมีการเปลี่ยนแปลง คำสั่งนี้มีประโยชน์ในการกำหนดสถานะของพอร์ตในแต่ละบิตได้โดยตรง

**กลุ่มคำสั่งเอ็กคลูซีฟ-ออร์(EX-OR operation)**

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ทำการเอ็กคลูซีฟ-ออร์ ข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์กับรีจิสเตอร์,รีจิสเตอร์กับหน่วยความจำ และรีจิสเตอร์กับข้อมูลตัวเลข จุดมุ่งหมายไว้เพื่อทำให้บิตของข้อมูลที่ไม่ต้องการใช้งานมีค่าเป็น “0” เมื่อกระทำคำสั่งในกลุ่มนี้ จะไม่ทำให้สถานะของ

แฟลกมีการเปลี่ยนแปลง จุดมุ่งหมายคือทำการสลับบิตของข้อมูลที่ต้องการใช้งานมีค่าเป็น “1” คำสั่งนี้มักใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กลุ่มคำสั่งเปลี่ยนแปลงค่าของแอกคิวมูเลเตอร์**

คำสั่งนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับแอกคิวมูเลเตอร์หรือรีจิสเตอร์ A แฟลกที่เกี่ยวข้องมีเพียงแฟลกทดเพียงแฟลกทดตัวเดียว

**กลุ่มคำสั่งการกระโดด**

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแอดเดรสการทำงานของซีพียู เนื่องจากบางครั้งจำเป็นต้องกระโดดข้ามไปทำยังแอดเดรสอื่นที่ไม่ได้อยู่ต่อเนื่องกัน มีหลายรูปแบบ โดยในแต่ละคำสั่งจะมีขอบเขตในการกระโดดที่แตกต่างกัน สามารถสรุปได้เป็น 2 รูปแบบ คือขอบเขตสัมพัทธ์(relative rang) และขอบเขตสัมบูรณ์(absolute rang)

**ขอบเขตสัมพัทธ์**

มีขอบเขตการกระโดดไปข้างหน้า +128 ไบต์ข้อมูลและขอบเขตการกระโดดถอยหลัง –127 ไบต์ข้อมูล การกำหนดแอดเดรสปลายทางที่ต้องกระโดดไปจึงใช้ข้อมูลเพียง 1 ไบต์ รวมกับข้อมูลของคำสั่งการกระโดดอีก 1 ไบต์ เมื่อเป็นเช่นนี้ข้อมูลสัมพัทธ์จะมีค่าเท่ากับ

แอดเดรสปลายทาง – แอดเดรสต้นทาง – 2

ถึงแม้ว่าขอบเขตของการกระโดดแบบสัมพัทธ์จะไม่ไกลมากนัก แต่ก็มีข้อดีคือ ใช้จำนวนหน่วยความจำโปรแกรมน้อยที่สุด เป็นการลดขนาดของโปรแกรมควบคุมได้เป็นอย่างดี เนื่องจากในการเขียนโปรแกรมควบคุมต้องใช้คำสั่งการกระโดดอย่างมากมาย

**ขอบเขตสัมบูรณ์**

เป็นการกำหนดหรือระบุตำแหน่งแอดเดรสใหม่ ที่ซีพียูจะต้องการกระโดดไปทำงานโดยตรง การกำหนดแอดเดรสสำหรับขอบเขตสัมบูรณ์มีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ อ้างแอดเดรสสัมบูรณ์แบบใกล้(shot absolute rang) อ้างแอดเดรสสัมบูรณ์แบบไกล(long absolute rang)

การอ้างแอดเดรสแบบใกล้มีขอบเขต 2 กิโลไบต์ จากตำแหน่งของคำสั่งถัดไปจะเรียกขอบเขตนี้ว่า *บล็อก 2 K* ในตลอดช่วงหน่วยความจำโปรแกรม 64 กิโลไบต์ สามารถแบ่งออกเป็น 32 บล็อก จำนวนบิตของแอดเดรสที่ใช้อ้างถึงมีเพียง 11 บิต ดังนั้นค่าสัมบูรณ์ของแอดเดรสปลายทางที่ต้องการกระโดดจะอยู่ในช่วง 000H-7FFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ้างแอดเดรสสัมบูรณ์แบบไกลมีขอบเขตสูงสุดเท่ากับแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมสูงสุด สามารถระบุแอดเดรสที่ต้องการเป็นค่าแอดเดรส 16 บิต การอ้างแบบนี้มีข้อดีคือทำความเข้าใจและตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมได้ง่าย ซีพียูสามารถทำการกระโดดไปทุกแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมได้อย่างไม่มีข้อจำกัด ข้อเสียคือต้องใช้หน่วยความจำโปรแกรมเพิ่มขึ้นเพื่อเก็บค่าแอดเดรสปลายทางให้ครบทั้ง 16 บิต

**กลุ่มคำสั่งการกระโดดแบบไม่มีเงื่อนไข**

การทำงานในกลุ่มคำสั่งนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแฟลก

**กลุ่มคำสั่งการกระโดดแบบมีเงื่อนไข**

การทำงานในคำสั่งนี้จะกระทำเมื่อเงื่อนไขที่กำหนดเป็นจริง

**กลุ่มคำสั่งเรียกและออกจากโปรแกรมย่อย**

กลุ่มคำสั่งนี้ถูกใช้เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงซีพียูเปลี่ยนแอดเรส ในการทำงานจากโปรแกรมหลักไปยังโปรแกรมย่อยหรือซับรูทีน(subroutine) และออกจากโปรแกรมย่อยกลับมายังโปรแกรมหลัก

จะเห็นได้ว่าคำสั่งของไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 มีอยู่ค่อนข้างมาก แต่ก็มีความซับซ้อนไม่มากนัก ทั้งยังช่วยในการเขียนโปรแกรมควบคุมสะดวกขึ้นเนื่องจากมีคำสั่งให้เลือกใช้งานมาก ทำให้สามารถใช้งานเพื่อตอบสนองเงื่อนไขต่างๆได้อย่างมากมาย

## พอร์ตอนุกรมของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด (การสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึง วงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทางในเวลาเดียวกัน) โดยใช้สัญญาณของขาพอร์ต 3 คือขาพอร์ต 3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขาพอร์ต 3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยสื่อสารเป็นแบบอะซิงโครนัส โดยปรกติแล้วจะใช้การสื่อสารโดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้วโดยใช้ไอซีพิเศษในการแปลงสัญญาณสื่อสารดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส**

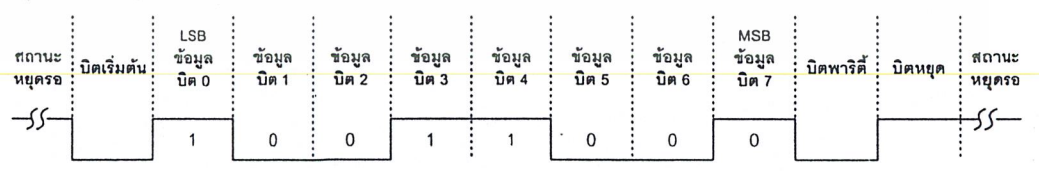
การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยแต่จะใช้การกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า **อัตราบอด** หรือ **บอดเรต (baud rate)** มีหน่วยเป็น **บิตต่อวินาที (bit per second : bps)**

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต

รูปที่ 2-16 แสดงรูปของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขาDATA จะมีสถานะลอจิก 1 เรียกสถานะนี้ว่า **สถานะหยุดรอ(waiting state)** การเริ่มต้นส่งข้อมูลเริ่มจากการให้ขาDATA มีลอจิก 0 ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า **บิตเริ่มต้น (start bit)** จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อนซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วย **บิตพาริตี้ (parity bit)** ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้าย หรือ **บิตหยุด (stop bit)** โดยจะทำให้ขาลอจิกเป็น 1 อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต,1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอดหรือบอดเรทที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรมมีด้วยกันหลายค่า ตั้งแต่ 110 ถึง 19,200 บิตต่อวินาทีโดยเพิ่มตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอดคือจำนวนบิตที่ส่งได้ภายใน 1 วินาที สมมุติว่าข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิตไม่มีการตรวจสอบพาริตี้บิต มีบิตเริ่มต้นและบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์ จะเท่ากับ 10 บิตถ้าใช้บอดเรต 9600 ก็จะสามารถส่งข้อมูลได้ 960 ไบต์ต่อวินาที




รูปที่ 2.16 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

**รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายใน MCS-51**

ในการทำงานของพอร์ตอนุกรมมีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 2 ตัวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial data buffer register)**

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99 H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษหรือ SFR มีขนาด 8 บิต แบ่งเป็น 2 ส่วนคือรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล(transmit buffer register)และรับข้อมูล(receive buffer register)

**รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial port Control register)**

มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดในการทำงานดังนี้

| บิต7 | บิต6 | บิต5 | บิต4 | บิต3 | บิต2 | บิต1 | บิต0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SM0 | SM1 | SM2 | REN | TB8 | RB8 | TI | RI |

**SM0-SM1 (serial port mode bit 0-1):** ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

**SM2:** ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์(multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ถ้าบิตนี้เป็น 1 บิต RI จะไม่แอกตีฟถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น 0 (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ที่ RB8) ในโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิตRI จะไม่แอกตีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 ไม่มีการใช้งาน

**REN (Enable serial reception):** ใช้ในการเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ทำการเซตหรือเคลียร์ด้วยขบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น 1

**TB8:** ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงานโหมด 2 และ 3 ทำการเซ็ตหรือเคลียร์ด้วยขบวนการทางซอฟต์แวร์

**RB8:** ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 แต่ถ้าอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น 0 ข้อมูล RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด(stop bit) สำหรับในโหมด 0 ไม่มีการใช้งาน บิตนี้สามารถทำการเซ็ตและเคลียร์ด้วยขบวนการทางซอฟต์แวร์

**TI (Transmit interrupt flag):** ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม จะสามารถเซ็ตได้เมื่อมีการส่งบิต 8 ไปเรียบร้อยแล้วสำหรับโหมด 0 แต่โหมดอื่นเมื่อส่งบิตหยุดเรียบร้อยแล้ว การเคลียร์บิตนี้ทำได้ทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

**RI (Receive interrupt flag):** ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม จะสามารถเซ็ตได้เมื่อทำการรับข้อมูลบิต 8 ไปเรียบร้อยแล้วสำหรับโหมด 0 แต่โหมดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้ว ยกเว้นกรณีที่บิต SM2 มีการเซต บิตนี้จะเซตก็ต่อเมื่อรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ทำได้ทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

**โหมดการทำงานของพอร์อนุกรมใน MCS-51**

พอร์ตอนุกรมใน MCS-51 สามารถเลือกการทำงานได้ถึง 4 โหมดคือ

1 โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิฟต์รีจิสเตอร์

2 โหมด 1 การกำหนดให้เป็น UART ขนาด 8 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

3 โหมด 2 การกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่

4 โหมด 3 การกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

การเลือกโหมดทำได้ด้วยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON

**การทำงานในโหมด 0 ของวงจรพอร์ตอนุกรม**

มีไดอะแกรมในการทำงานและไดอะแกรมเวลาในรูปที่ 2-17 ข้อมูลอนุกรมจะผ่านเข้าออกทางขา RxD ส่วนขา TxD ทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาในการเลื่อนข้อมูล (shift clock) ในโหมดนี้มีจำนวนข้อมูล 8 บิต โดยทำการรับและส่งข้อมูลใน LSB ก่อน *อัตราในการรับส่งข้อมูลหรืออัตราบอดถูกกำหนดไว้คงที่ที่ 1/12 ของความถี่ของสัญญาณนาฬิกา*

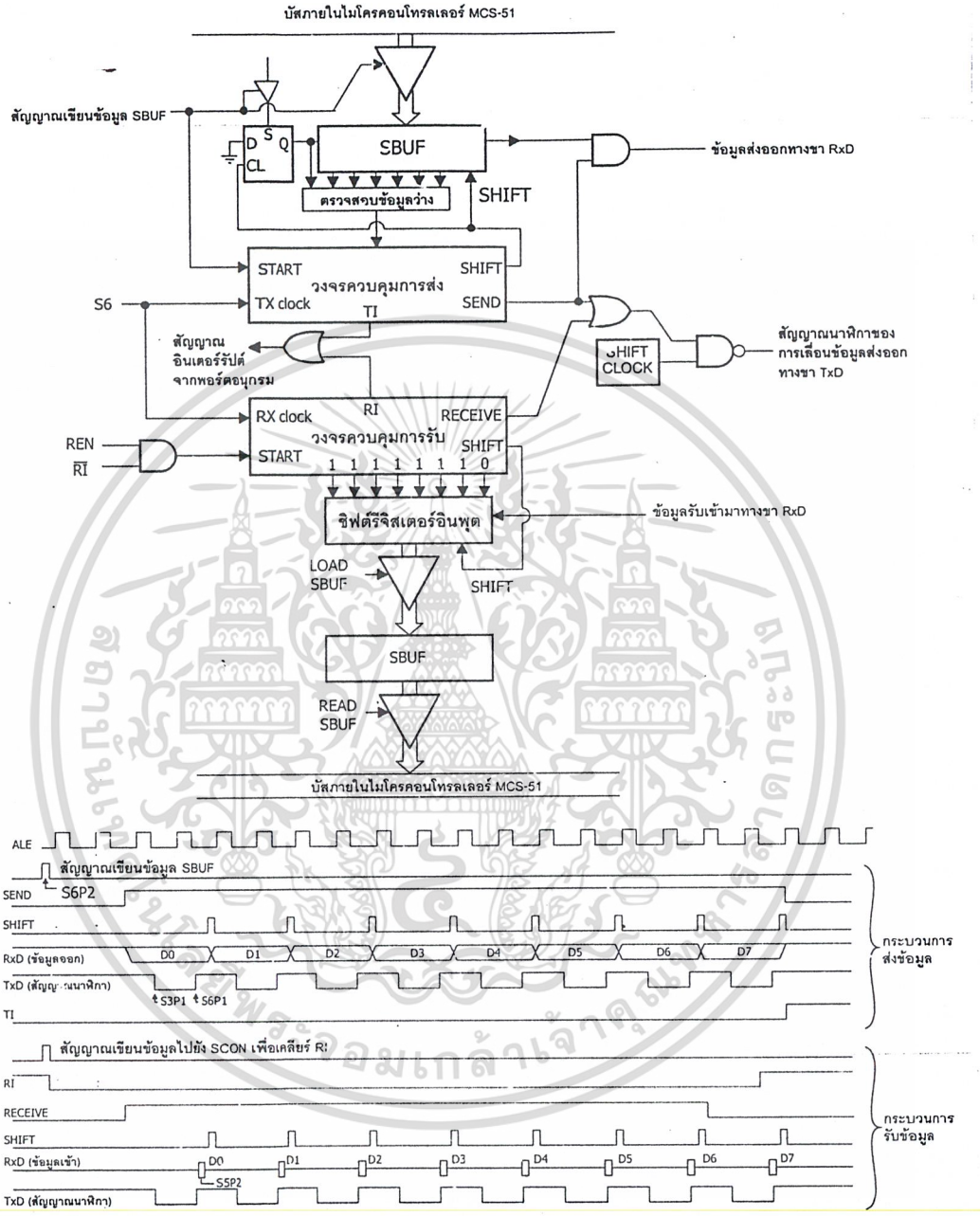
การทำงานในโหมดนี้ของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการเชื่อมต่อไอซีรีจิสเตอร์ภายนอกเพื่อทำการขยายพอร์ตอินพุตหรือเอาท์พุต แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้งานมากนัก เนื่องจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เองมีพอร์ตอยู่ค่อนข้างมากและติดต่อกับพอร์ตเหล่านั้นได้เร็วกว่ามาก

**การทำงานในโหมด 1 ของวงจรพอร์ตอนุกรม**

มีไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2.18 ในโหมดนี้ใช้ในการรับส่งข้อมูลรวม 10 บิต โดยส่งข้อมูลออกทางขา P3.1 หรือ TxD และรับข้อมูลเข้าทางขา P3.0 หรือ RxD ข้อมูลทั้ง 10 บิตประกอบด้วยบิตเริ่มต้น(มีค่าเป็น 0) 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต โดยรับหรือส่งข้อมูลใน LSB ก่อนและบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย(มีค่าเป็น 1) เก็บใน RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราบอดในโหมดนี้ได้รับการกำหนดโดยการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 1 หรือไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดได้

การทำงานในโหมดนี้ได้รับความนิยมสูงสุด เนื่องจากมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและสามารถทำการรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.17 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 0 ของพอร์ตอนุกรมภายใน

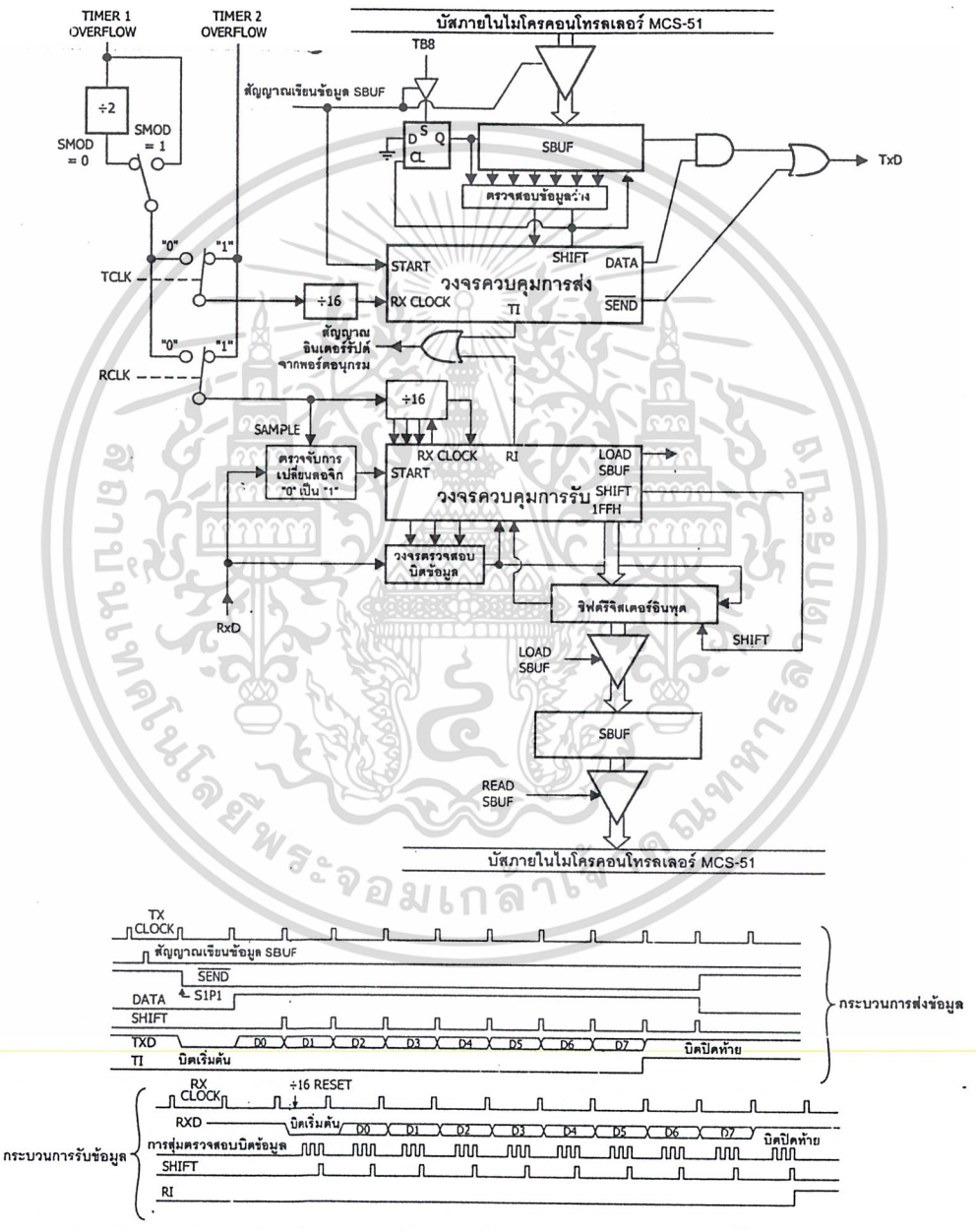
**การทำงานในโหมด 1 ของวงจรพอร์ตอนุกรม**

มีไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2.18 ในโหมดนี้ใช้ในการรับส่งข้อมูลรวม 10 บิต โดยส่งข้อมูลออกทางขา P3.1 หรือ TxD และรับข้อมูลเข้าทางขา P3.0 หรือ RxD ข้อมูลทั้ง 10 บิตประกอบด้วย บิตเริ่มต้น(มีค่าเป็น 0) 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต โดยรับหรือส่งข้อมูลใน LSB ก่อนและบิตหยุดหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

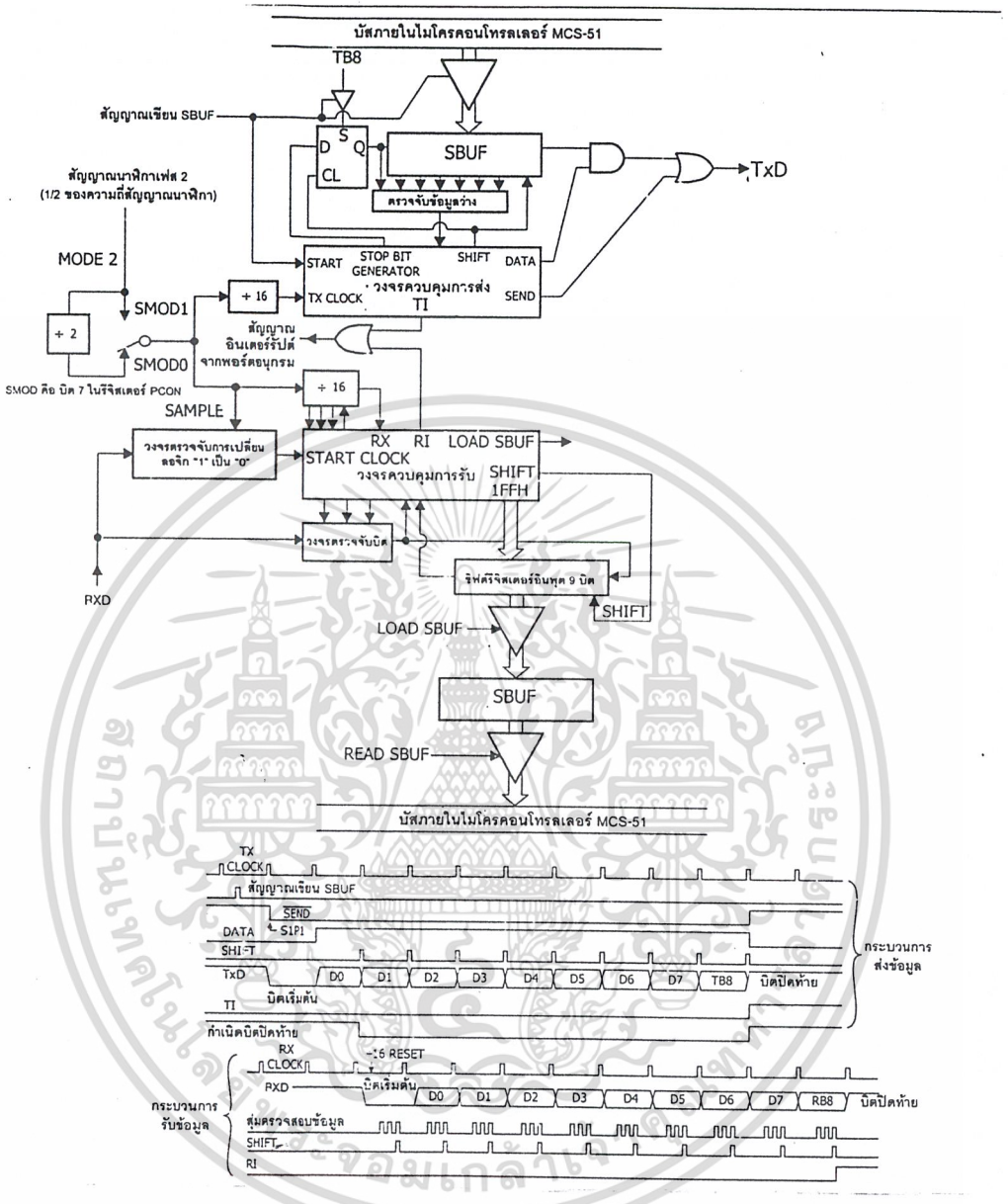
บิตปิดท้าย(มีค่าเป็น 1) เก็บใน RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราบอดในโหมดนี้ได้รับการกำหนดโดยการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 1 หรือไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดได้

การทำงานในโหมดนี้ได้รับความนิยมสูงสุด เนื่องจากมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและสามารถทำการรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ




รูปที่ 2.18 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1 ของพอร์ตอนุกรมภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



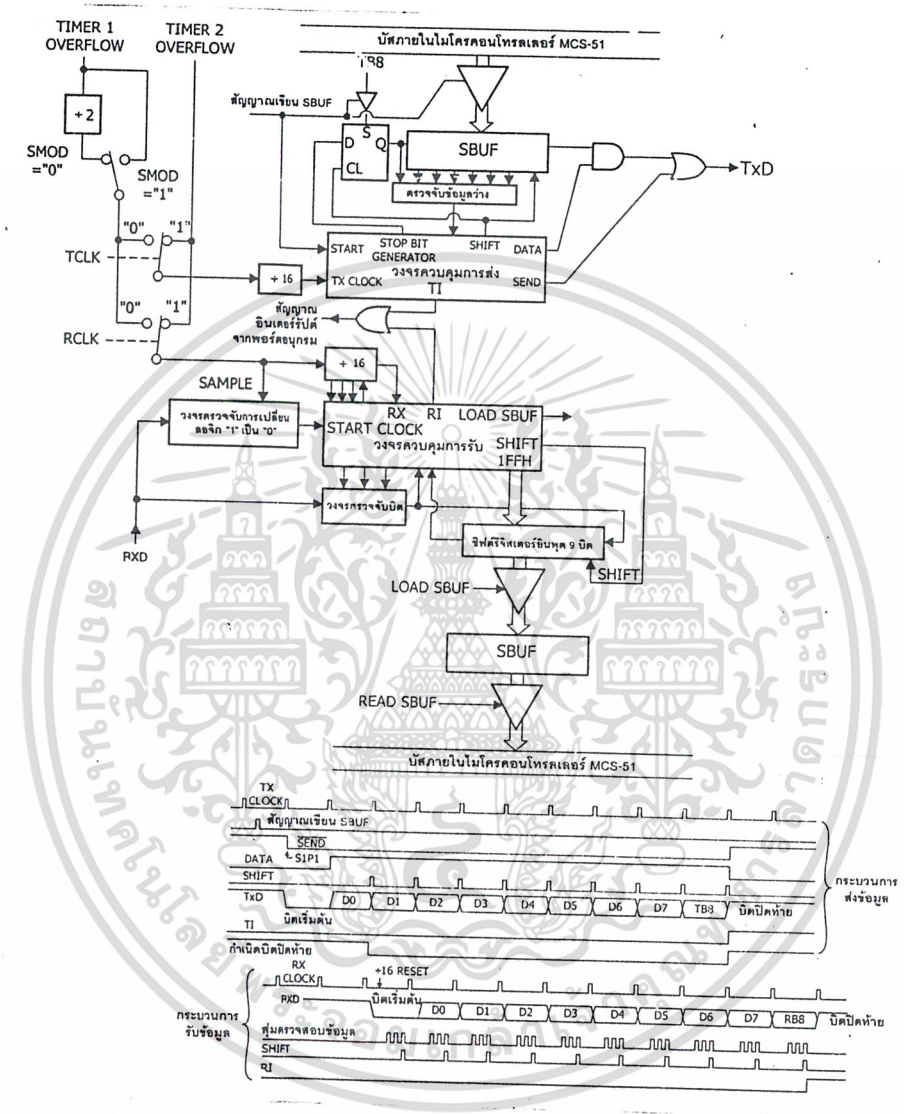

รูปที่ 2.19 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 2 ของพอร์ตอนุกรมภายใน

**การทำงานในโหมด 2 และ 3 ของวงจรพอร์ตอนุกรม**

ในทั้ง 2 โหมดนี้ใช้ข้อมูลรวมกัน 11 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (มีค่าเป็น 0) 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต โดยรับหรือส่งข้อมูลใน LSB ก่อน,บิตข้อมูลบิตที่ 9 และบิตปิดท้าย(มีค่าเป็น 1) ใน TB8 และ RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราบอดในโหมด 2 จะคงที่เลือกได้ 2 ค่าคือ 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ของสัญญาณนาฬิกา สำหรับในโหมด 3 สามารถกำหนดได้เหมือนโหมด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.19 และ 2.20 เป็นไดอะแกรมการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรม การทำงานโดยรวมจะคล้ายกับการทำงานในโหมด 1 ต่างกันที่จำนวนบิตของข้อมูล




รูปที่ 2.20 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 3 ของพอร์ตอนุกรมภายใน

**อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51**

**โหมด 0**

อัตราบอดของโหมดนี้มีค่าคงที่สามารถคำนวณได้จากสูตร

อัตราบอดในโหมด 0 = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา/12 หน่วยเป็นบิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โหมด 1 และโหมด 3**

เนื่องจาก 2 โหมดนี้สามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้ 2 แหล่ง คือ จากอัตราโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1 และ 2 สำหรับอัตราบอดเมื่อใช้การโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1 จะต้องใช้ค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON มาพิจารณาประกอบด้วย สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = $(2^{\text{ค่าของบิตSMOD}}/32)$ * อัตราโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1

ถ้าในไทเมอร์ 1 ไม่ได้เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ สามารถคำนวณหาอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = $(2^{\text{ค่าของบิตSMOD}}/32)$ * (ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา/{12*[256-(TH1)]})

| อัตราบอด BPS | ความถี่สัญญาณ | SMOD | ไทเมอร์ 1 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | C/T | โหมด | ค่ารีโหลด |
| โหมด 0:สูงสุด 1 MHz | 12MHz | X | X | X | X |
| โหมด2 :สูงสุด 375 K | 12MHz | 1 | X | X | X |
| โหมด 1,3 : 62.5 K | 12MHz | 1 | 0 | 2 | FFH |
| 19.2K (19,200) | 11.0592MHz | 1 | 0 | 2 | FDH |
| 9.6K(9,600) | 11.0592MHz | 0 | 0 | 2 | FDH |
| 4.8K(4,800) | 11.0592MHz | 0 | 0 | 2 | FAH |
| 2.4K(2,400) | 11.0592MHz | 0 | 0 | 2 | F4H |
| 1.2K(1,200) | 11.0592MHz | 0 | 0 | 2 | E8H |
| 137.5 | 11.0592MHz | 0 | 0 | 2 | 1DH |
| 110 | 6MHz | 0 | 0 | 2 | 72H |
| 110 | 12MHz | 0 | 0 | 1 | FEEBH |

ตารางที่ 2.2 แสดงการกำหนดอัตราบอดโดยใช้ไทเมอร์ 1

ในกรณีที่ใช้ไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอด โดยกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดอัตราบอด (Baud Rate generator) สามารถคำนวณได้จาก

อัตราบอด = อัตราโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 2/16 หน่วยเป็นบิตต่อวินาที

ถ้าหากกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดปรกติ สามารถคำนวณหาค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา/(32*(65536-(RCAP2H,RCAP2L)))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ (RCAP2H,RCAP2L) เป็นค่าของรีจิสเตอร์ RCAP2H และ RCAP2L มีขนาด 16 บิต ไม่คิดเครื่องหมาย

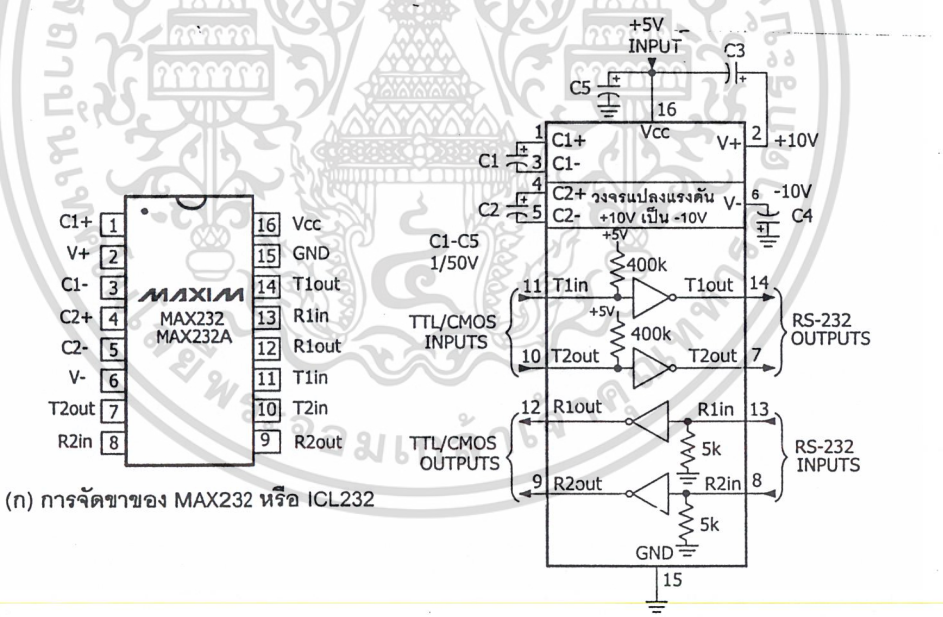
**โหมด 2**

ในโหมดนี้อัตราบอดจะขึ้นอยู่กับค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ถ้า SMOD เป็น 0 อัตราบอดจะเท่ากับ 1/64 ของความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ในกรณีที่ SMOD เป็น 1 อัตราบอดจะเท่ากับ 1/32 ของความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสามารถแสดงเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

อัตราบอด = $(2^{\text{ค่าของบิตSMOD}}/64)$ * ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

**การเชื่อมต่อกับพอร์ตของไมโครคอนโทรเลอร์**

ในการใช้งานส่วนใหญ่นิยมใช้เพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของมาตรฐาน RS-232 มีตั้งแต่ ±3 ถึง ±12 ในขณะที่ MCS-51 อยู่ในระดับ TTL จึงต้องใช้ไอซีในการเชื่อมต่อ

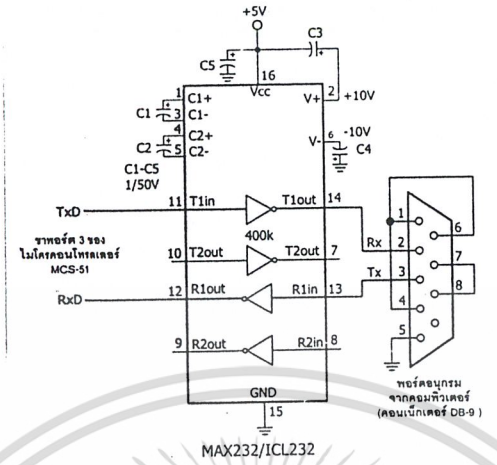



(ก) การจัดขาของ MAX232 หรือ ICL232

(ข) โครงสร้างภายใน ของ MAX232 หรือ ICL232

รูปที่ 2.21 รายละเอียดเบื้องต้นไอซีแปลงสัญญาณเพื่อเชื่อมกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

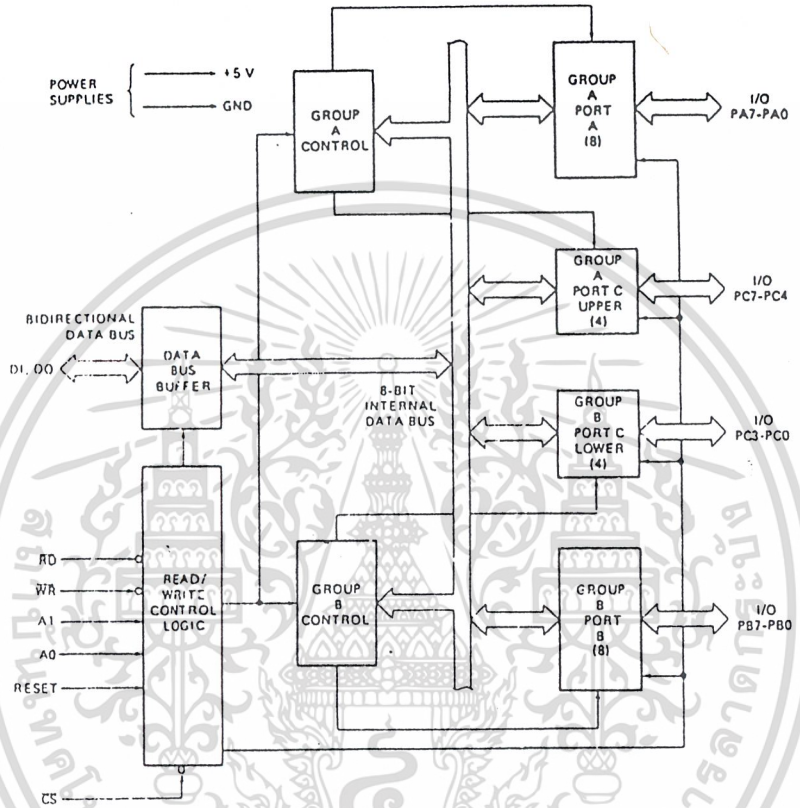
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.22 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**8255A Internal Block Diagram**




รูปที่ 2.23 โครงสร้างภายในของ 8255

จากรูปโครงสร้างภายในของ 8255 ทางด้าน ขวา จะเป็นขาสัญญาณต่างๆ ที่ใช้ต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอก (External I/O Device) และทางด้าน ซ้ายจะเป็นขาสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่อกับ Microprocessor

**PA0 – PA7** (Port A) จะสามารถใช้งานเป็น 8 Bit Input Port หรือ 8 Bit Output Port ก็ได้ ขาสัญญาณของ PA0 – PA7 นี้ จะใช้ต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอก

**PB0 – PB7** (Port B) จะสามารถใช้งานเป็น 8 Bit Input Port หรือ 8 Bit Output Port ก็ได้ เช่นเดียวกับ Port A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PC0 – PC7** (Port C) จะสามารถใช้งานเป็น 8 Bit Input Port หรือ 8 Bit Output Port ก็ได้ หรือจะแบ่งใช้งานเป็น 4 Bit Input/ Output Port สองอันก็ได้ คือ PC0 – PC3 (Port C ล่าง) และ PC4 – PC7 (Port C บน) ซึ่งจะสามารถกำหนดการทำงานแยกกันได้ และการใช้งานที่แยกกันนี้ยังสำหรับใช้เป็นสัญญาณ Handshake ในการ รับ/ส่ง ข้อมูลของ Port A และ B ได้อีกด้วย

**D0 – D7** (Data Bus) เป็นขาที่ใช้ต่อกับ Data Bus ของระบบ ในการเขียนข้อมูลไปยัง Port ต่างๆ หรือ Control Register และใช้ในการ อ่านค่าจาก Port ต่างๆ หรือ Status Register

$\overline{RD}$ (Read) เป็นสัญญาณที่จะบอก 8255 ว่า เราต้องการที่จะอ่านข้อมูล

$\overline{WR}$ (Write) เป็นสัญญาณที่จะบอก 8255 ว่า เราต้องการที่จะเขียนข้อมูล

**A0 และ A1** (Address Input) เป็นขาที่ใช้ในการเลือกว่า เราจะอ่าน/เขียน ข้อมูลกับ Port ใด หรือ Control Register โดย Port A **00** ; Port B **01** ; Port C **10** และ Control Register **11**

$\overline{CS}$ (Chip Select) เมื่อสัญญาณนี้ Active เราจะสามารถอ่าน/เขียนข้อมูลจาก 8255 ได้ โดยทั่วไปแล้วขาสัญญาณของ $\overline{CS}$ จะต่อมาจาก Output ของ Decoder ที่เป็นตัวกำหนด Address ที่ต้องการ

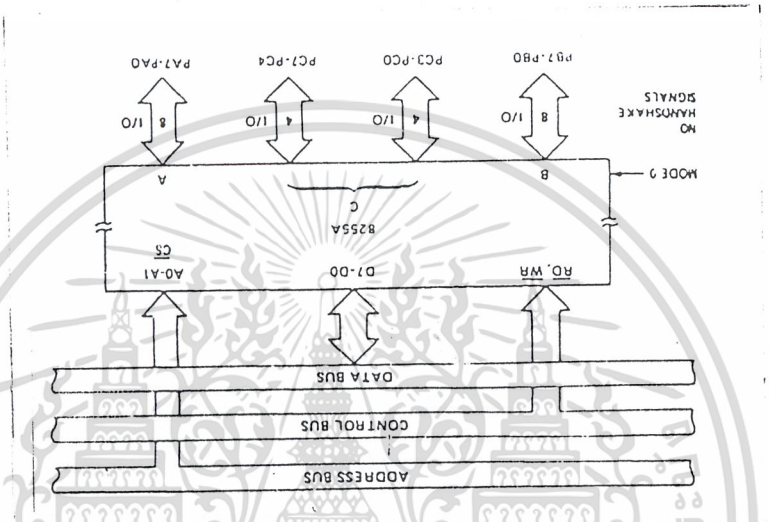
**RESET** (Reset) จะต่อเข้ากับสัญญาณที่ใช้สำหรับการ Reset ระบบ เมื่อทำการ Reset ระบบแล้ว ขาสัญญาณของ Port ต่างๆ จะถูกกำหนดให้เป็น Input ทั้งหมด เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น กับตัว 8255 และวงจรที่ต่ออยู่ที่ Port นั้นๆ ในขณะที่เราเปิดเครื่อง หรือ Reset ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**8255A Operational Mode and Initialization**

ตัว 8255 นั้นสามารถที่จะกำหนดลักษณะการทำงานที่ได้ 3 Mode คือ

**MODE 0**




รูปที่ 2.24 การใช้งานใน MODE 0

สำหรับการใช้งานเป็น Input / Output Port แบบ ธรรมดา (ไม่มีการ Handshake) การใช้งานใน Mode 0 นี้สามารถทำได้ทั้ง Group A และ Group B ซึ่งถ้าเราใช้งานใน Mode 0 แล้ว ส่วนของ Port C ก็จะสามารถใช้เป็น Input / Output ได้ ในส่วนของ Port C นี้สามารถกำหนดการทำงานได้อิสระ ระหว่าง C บน และ C ล่าง

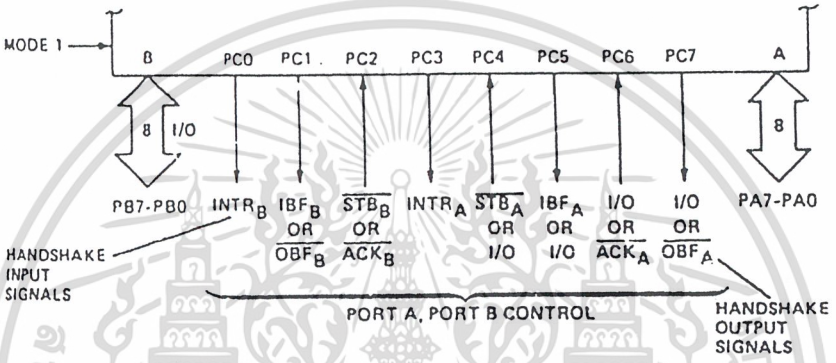
การกำหนดการทำงานว่า Port ใดจะเป็น Output หรือ Input นั้นจะทำโดยการส่งค่า Control Word ที่ต้องการไปให้ 8255 ที่ Control Register ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป และเมื่อใช้ Port C เป็น Output แล้ว เราสามารถที่จะ Set / Reset Bit ต่างๆ ของ Port C ได้ทีละ Bit โดยการส่งค่า Control Word พิเศษไปให้ 8255

**MODE 1**

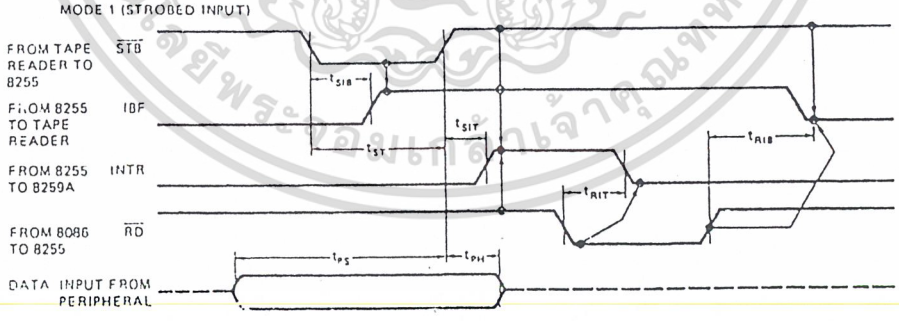
เมื่อเราต้องการใช้งาน Port A หรือ Port B เป็น Input / Output แบบที่มี Handshake (Strobe) ก็จะทำได้โดยการตั้งการทำงานของ Port นั้นๆ ให้เป็น Mode 1 การทำงานใน Mode นี้ มันจะใช้ขาสัญญาณของ Port C บางส่วน มาทำงานเป็นขาสัญญาณของการ Handshake สำหรับ Port B

เอกสารนี้ได้รับการสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ PC0 PC1 PC2 และสำหรับ Port A ถ้ากำหนดให้เป็น Mode 1 Input Port มันจะใช้ขา PC3 PC4 PC5 เป็น Handshake ส่วนขา PC6 PC7 จะสามารถใช้เป็นขา Input /Output ได้ ถ้า Port A กำหนดเป็น Mode 1 Output Port มันจะใช้ขา PC3 PC6 PC7 ส่วนขา PC6 PC7 จะสามารถใช้ Input /Output ได้




รูปที่ 2.25 การใช้งานใน MODE 1




รูปที่ 2.26 Timing Diagram ของสัญญาณ Handshake

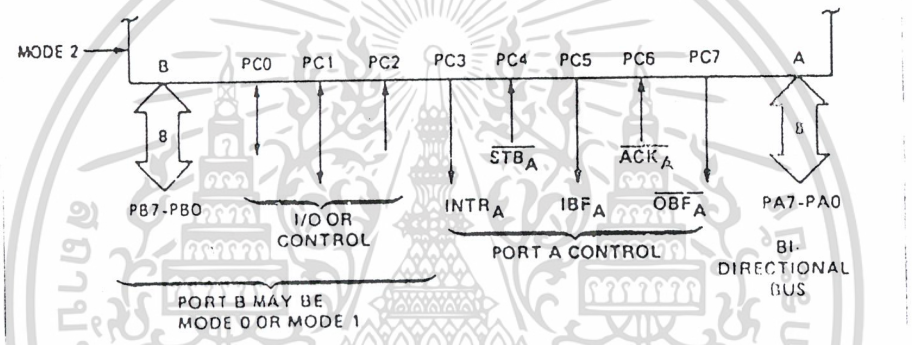
ในกรณีที่ใช้งานเป็น **Output** สัญญาณของ $\overline{OBF}$ จะกลับเป็น "1" เมื่อ Output Device ส่งสัญญาณ $\overline{ACK}$ กลับมา ( รับข้อมูลไปแล้ว) เราก็สามารถที่จะส่งข้อมูลตัวใหม่ไปให้ได้ จากที่กล่าวไปแล้ว Microprocessor จะสามารถรับรู้ได้ โดยใช้การ Polling สถานะของ $\overline{OBF}$ หรือจะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการของการ Interrupt โดยใช้สัญญาณ **INTR (Active High)** ไปสร้างเป็น Interrupt ของ Microprocessor

ถ้าใช้งานเป็น **Input** สัญญาณ ของ **IBF** จะเป็นตัวที่บอกว่า ขณะนี้มีข้อมูลใหม่ที่เข้ามา และเช่นเดียวกัน เราสามารถที่จะใช้วิธีการของ Polling หรือ Interrupt ก็ได้

**MODE 2**

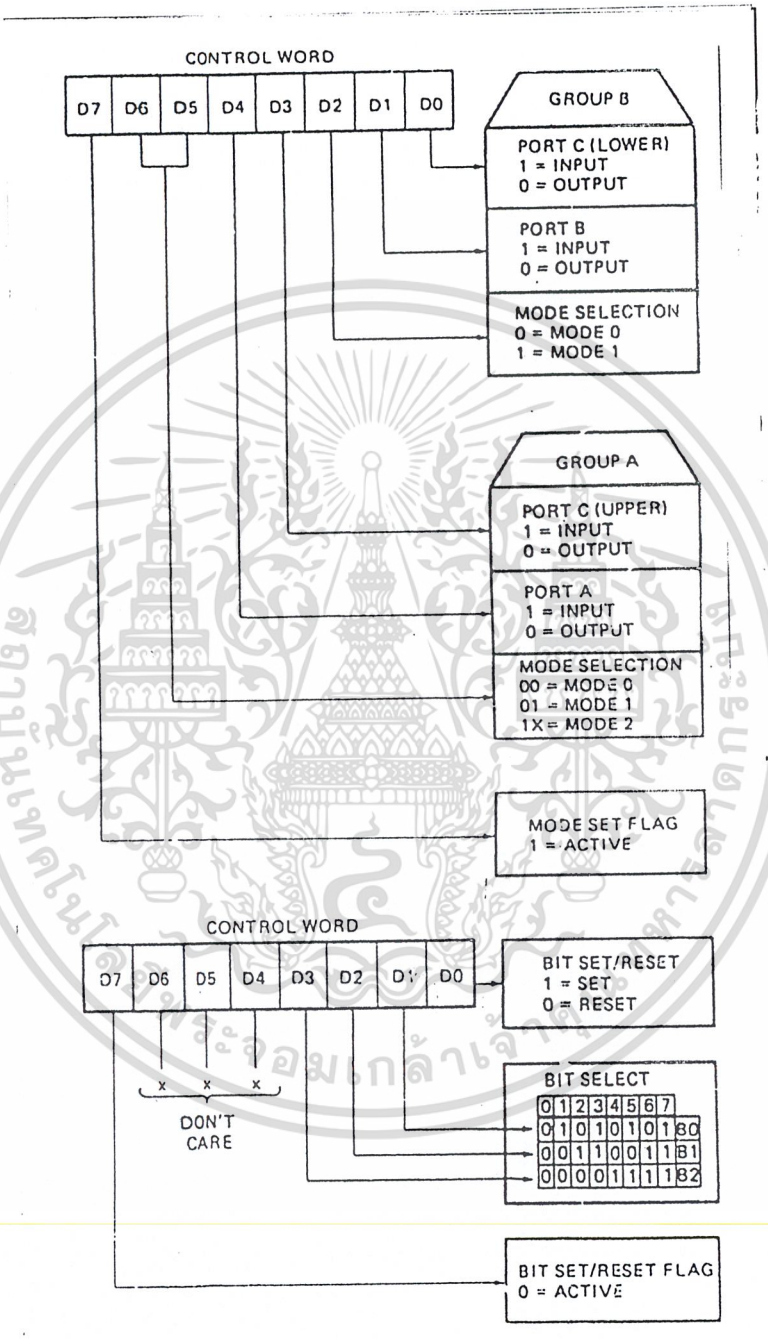



รูปที่ 2.27 การใช้งานใน MODE 2

เฉพาะ Port A เท่านั้นที่จะสามารถกำหนดให้ทำงานใน Mode 2 นี้ได้ โดยมันจะทำงานเป็น Bi-directional Handshake Data Transfer (ข้อมูลจะสามารถ เข้า หรือออก จาก Port A ได้) มันจะใช้ประโยชน์ในการ รับ /ส่ง ข้อมูลกับระบบอื่นๆ ในการทำงานของ Mode 2 นี้ มันจะใช้ PC3 PC4 PC5 PC6 PC7 เป็นสัญญาณ Handshake

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Constructing and Sending 8255A Control Words**




รูปที่ 2.28 แสดง Control Word ของ 8255A

จากรูปแสดงรูปแบบของ Control Word ของ 8255A ทั้งสองแบบ โดยในแบบแรก (มี Bit MSB เป็น “1” ) จะเป็น mode definition control word ซึ่งจะใช้ในการกำหนด Mode การทำงาน

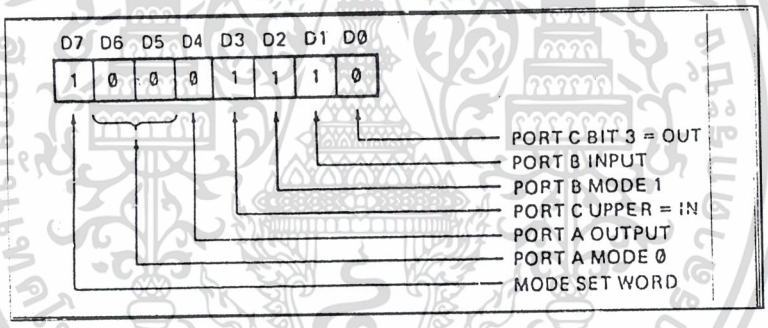
เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Port ต่างๆ และแบบที่สอง (มี Bit MSB เป็น “0” ) จะเป็นการทำ Bit Set /Reset ของ Output ที่ Port C หรือใช้ในการ Enable สัญญาณ Interrupt Output ของการทำงาน ใน Handshake Mode

ข้อมูลของ Control word นี้ จะต้องส่งไปให้ที่ Control Register ของ 8255A ที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้

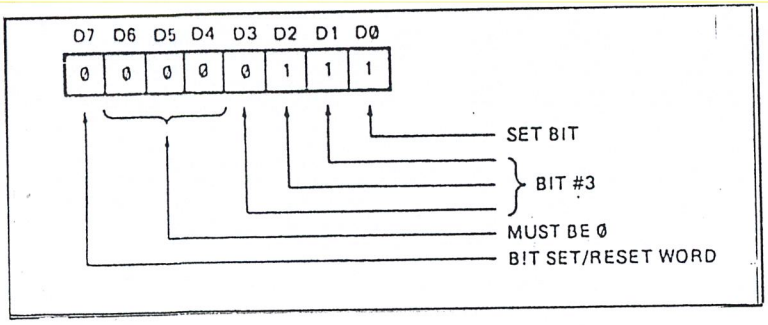
| | | | |
|---|---|---|---|
| Port B | as | Mode 1 | Input |
| Port A | as | Mode 0 | Output |
| Port C บน | as | | Input |
| Port C Bit 3 | as | | Output |

เราจะได้ Mode definition control word ต่อไปนี้




รูปที่ 2.29 Mode definition control word

ถ้าเราต้องการที่จะ Set Bit 3 ของ Port C ก็จะได้ Bit Set /Reset control word คือ




รูปที่ 2.30 Bit Set /Reset control word

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# ทฤษฎีและหลักการของจีพีเอส

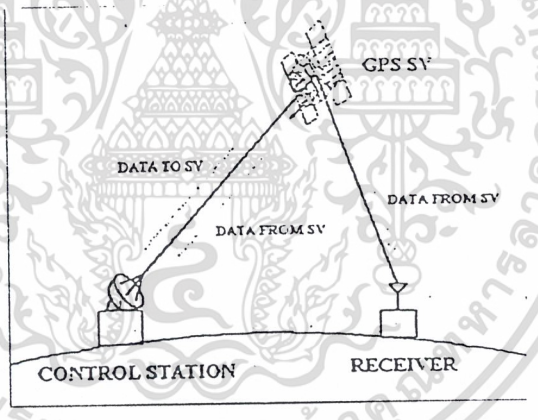
## 3.1 ภาพรวมของระบบ ( System Overview )

ระบบจีพีเอส ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

3.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียม ( Space Segment )

3.1.2 ส่วนของสถานีควบคุม ( Operation Control Segment )

3.1.3 ส่วนของผู้ใช้ ( User Receiving Segment )

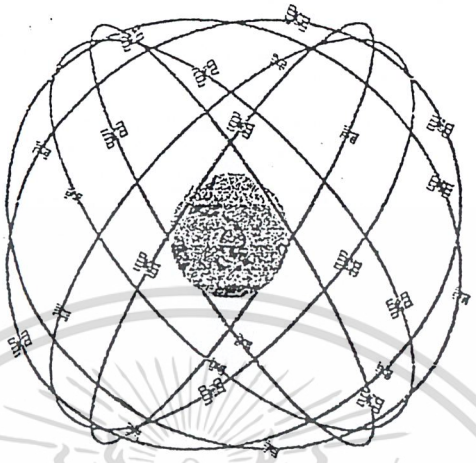



รูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมของระบบจีพีเอส

### 3.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียม ( Space Segment )

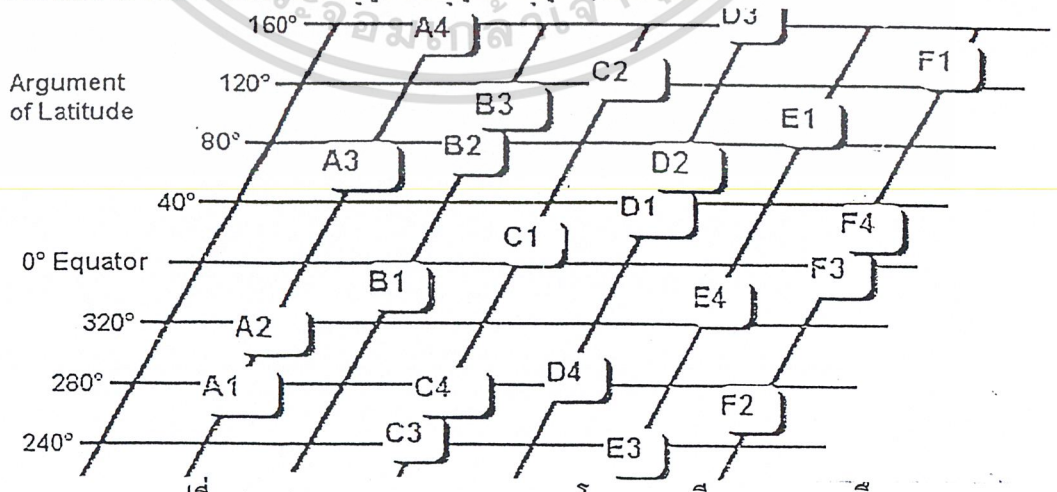
ส่วนของกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส ประกอบด้วยกลุ่มดาวเทียมนาฬตาร์ 24 ดวง ในวงโคจรเซมิซิงโครนัส ( Semi Synchronous Orbit ) ( ประมาณ 12 ชั่วโมง ) หดดาวเทียมจะถูกจัดใน 6 ระนาบวงโคจร ซึ่งจะมีดาวเทียม 4 ดวง ในแต่ละระนาบวงโคจรจะมีมุมเอียง ( Inchination Angles ) 55 องศาสัมพันธ์กับเส้นศูนย์สูตร ( Equator )ของโลกและดาวเทียม โดยจะมีความสูงเฉลี่ยของการโคจรเท่ากับ 20,000 กิโลเมตร ( 10911 Nautical Miles ) เหนือผิวโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงกลุ่มดาวเทียมจีพีเอสโดยมีระนาบวงโคจร 6 ระนาบแต่ละระนาบจะมีดาวเทียมอยู่ 4 ดวง

ดาวเทียมจะโคจร 1 รอบใช้เวลาประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที โดยจะวนตามเส้นทางเหนือผิวโลกซ้ำกันทุก ๆ 23 ชั่วโมง 56 นาที ผู้ใช้อยู่ ณ ตำแหน่งคงที่บนพื้นดิน จะเห็นดาวเทียมดวงเดิมในแต่ละวันผ่านเส้นทางเดินในท้องฟ้า แต่ดาวเทียมจะขึ้นและตกเร็วขึ้น 4 นาที ในแต่ละวันเนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง ดาวเทียมจะถูกวางตำแหน่งในระบบวงโคจรที่จะทำให้ดาวเทียม 4 ดวงในระนาบนั้นสามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดสังเกตุได้ในทุก ๆ ที่บนโลก




รูปที่ 3.3 แสดงภาพฉายของระนาบวงโคจรดาวเทียม ณ เวลาหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความสะดวกในการอ้างถึงดาวเทียม จะมีวิธีการอ้างอิงถึง 3 วิธีคือ

- กำหนดตัวอักษร A-F ให้กับระนาบในแต่ละระนาบและ 1-4 ให้กับดาวเทียมในระนาบ
- กำหนดโดยใช้หมายเลขดาวเทียมนาฟสตาร์ ที่ถูกกำหนดโดย U.S Air Force ในการบ่งชี้ดาวเทียม
- กำหนดโดยใช้รหัสซูโดแรนดอม ( Pseudorandom Code ) ดาวเทียมและดวงจะมีรหัสซูโดแรนดอมที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ความต่างนี้ในการอ้างถึงดาวเทียมได้

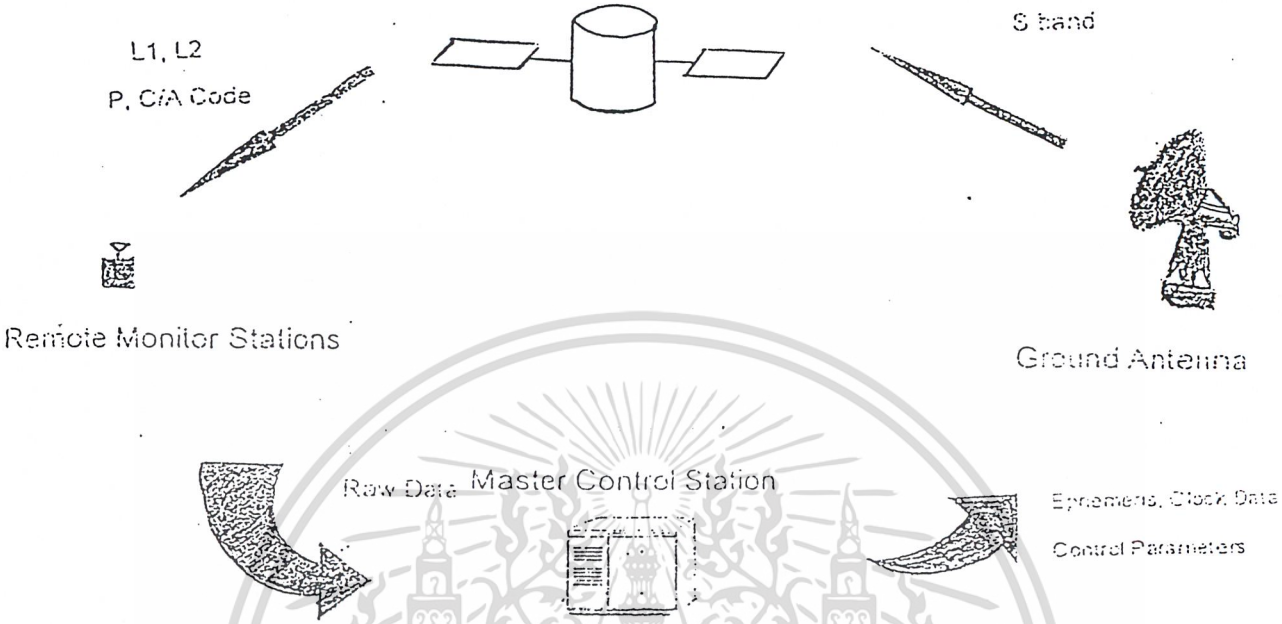
ดาวเทียมจะส่งสัญญาณเพื่อวัดระยะทางออกมาบนความถี่ D-Band 2 อ่าน คือ Link1( L1 ) ที่ 1575.42 MHz และ Link2 ( L2 ) ที่ 1227.6 MHz สัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งโดยใช้เทคนิคสเปรดสเปกตรัม ( Spread Spectrum ) โดยใช้รหัสที่แตกต่างกันอยู่ 2 รหัสคือ รหัส C/A ( coarse/aquistion code ) ที่มีความถี่ 1.023 MHz บน L1 และรหัส P ( Precition code ) ที่ความถี่ 10.23 MHz บนทั้ง L1 และ L2 รหัส C/A และรหัส P นี้ สามารถถูกใช้เพื่อบอกระยะทางระหว่างดาวเทียมกับผู้ใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตาม ปกติรหัส P จะถูกเข้ารหัสไว้ และสามารถที่จะใช้บอกระยะทาง ระหว่างทางการเท่านั้น รหัส P ที่ถูกเข้าสัญญาณอีกครั้งเรียกว่า รหัส Y ส่วนข่าวสารการนำร่อง ( Navigation Message ) คือ ข้อมูลไบอัสสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม ( Satellite Clock-Data ) ข้อมูลอิฟีเมอริส ( Satellite Ephenmeris Data ) สำหรับดาวเทียมที่ส่งสัญญาณข้อมูงที่ใช้แก้ไขข้อผิดพลาด ที่เกิดจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ ( Ionosphere Signal-Propagation Correction Data ) ข้อมูลอัลมาแนคของดาวเทียม ( Satellite Almance Data ) สำหรับดาวเทียมทุกดวงในกลุ่ม

3.1.2 ส่วนของสถานีควบคุม ( Operation Control Segment )

ส่วนของสถานีควบคุมมีส่วนรับผิดชอบการทำงานของดาวเทียมจีพีเอส เช่นการรักษาตำแหน่งดาวเทียม ( Station Keeping ) , ตรวจสภาพและระบบต่าง ๆ บนดาวเทียม , ตรวจแผงเซลแสงอาทิตย์ ( Solar Cell ) , ระดับพลังงานของแบตเตอรี่ , การเปิดดาวเทียมสำรอง , การปรับปรุงข้อมูลเวลา , ข้อมูลอิฟีเมอริส ( Ephemeris ) , ข้อมูลอัลมาแนค ( Almance ) และตัวชี้ค่าอื่น ๆ ในข่าวสารการนำร่องวันละครั้ง หรือตามแต่ความจำเป็น

ส่วนควบคุมประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สถานีสังเกตุการณ์ ( Monitor Station ) สถานีควบคุมหลัก ( Master Control Station ) และจานสายอากาศภาคพื้นดิน ( Ground Antenna )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.4 แสดงการทำงานในส่วนควบคุม

3.1.2.1 สถานีสังเกตุการณ์ ( Monitor Station )

สถานีสังเกตุการณ์จะมีเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส ทั้ง 2 ความถี่ ( L1 และ L2 ) โดยจะทำการวัดค่าซูโดเรนจ์ และ เดลตาเรนด์ ของแต่ละดาวเทียมที่ผ่านสถานี และมีนาฬิกา Cesium @ ตัวที่ตั้งเวลาเพื่อใช้ในการอ้างอิงกับเวลาของระบบจีพีเอส

สัญญาณจากดาวเทียมที่ส่งมาถึงสถานีสังเกตุการ์ณนั้นมีการหักเหและล่าช้าในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และ โทรโปรเฟียร์ เรียกการล่าช้านี้ว่าโอโอโนสเฟรียริกดีเลย์ ( Ionosphere Delay )และ โทรโปสเฟียริกดีเลย์ ( Tropospheric Delay ) การล่าช้านี้จะทำให้เกิดการผิดพลาดของข้อมูลซึ่งการแก้ไขนั้นสถานีสังเกตุการณ์จะรวบรวมข้อมูลจากสัญญาณที่ได้รับทั้ง 2 ความถี่ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และจะส่งไปยังสถานีควบคุมหลักโดยกรมอุตุนิยมวิทยาของสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดและหาข้อมูลที่ต้องใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 สถานีควบคุมหลัก ( Master Control Station )

สถานีควบคุมหลักมีหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูล ที่ได้รับจากสถานีสังเกตุการณ์ เพื่อตรวจสอบและกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม ข้อมูลอัลมาแนค ข้อมูลอิฟีเมอริสให้ถูกต้อง โดยเริ่มจากแก้ไขค่าซูโดเรนต์ที่เกิดจากการล่าช้าเนื่องจากการผ่านชั้นบรรยากาศ ของทุกๆ สถานีสังเกตุการณ์ จากนั้นจึงนำไปผ่านคาลมานฟิลเตอร์ ( Kalman Filter ) เพื่อให้ได้ค่าอิฟีเมอริสและค่าการเหลื่อมของสัญญาณนาฬิกาที่ถูกต้องโดยฟิลเตอร์จะถูกอัพเดททุก ๆ 15 นาทีด้วยค่าตำแหน่งของดาวเทียมที่ถูกคำนวณในระบบโคออดิเนตแบบเอิร์ธเซนเตอร์เอิร์ธฟิกซ์ ( Earth-Center Earth-Fixed( ECEF )) สถานีควบคุมหลักจะเป็นศูนย์กลางในการทำงานของส่วนควบคุม ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศ Falcon,Colorado Spring,CO. ส่วนสถานีสังเกตการณ์จะกระจายอยู่ตามที่ต่าง ๆเพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมในย่าน L-Band และจะส่งสัญญาณเตือนไปยังสถานีควบคุมหลักภายใน 60 วินาทีหากตรวจพบความผิดพลาด

Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

รูปที่ 3.5 แสดงสถานที่ตั้งของสถานีควบคุม

3.1.2.3 สายอากาศภาคพื้นดิน ( Ground Uplink Antenna Facility )

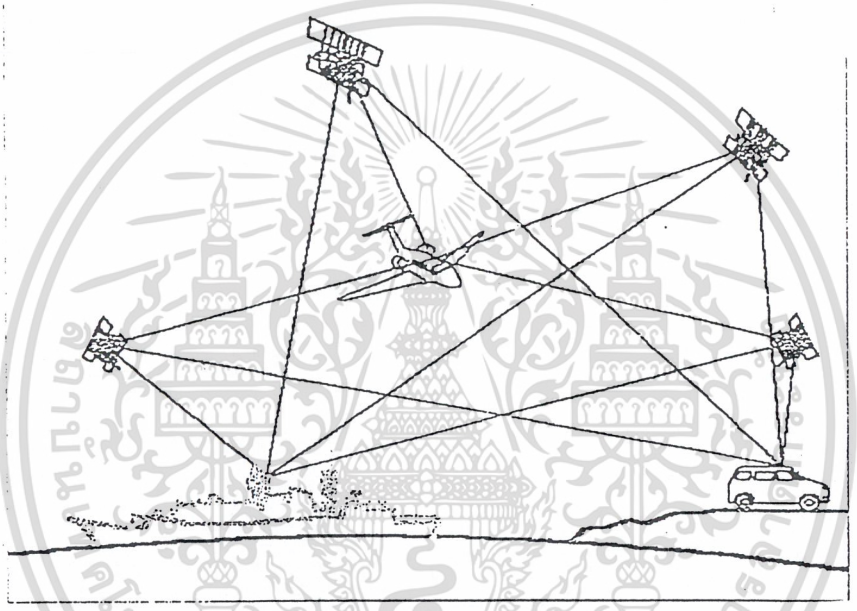
ส่วนของสถานีสายอากาศภาคพื้นดินจะทำการส่งคำสั่ง ข้อมูลการนำร่อง และข้อมูลอื่นๆ ที่เรียกว่า TT&C ( Telemetry,Tracking and Command ) ซึ่งเตรียมพร้อมโดยสถานีควบคุมหลัก สำหรับดาวเทียมแต่ละดวง ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังสถานีสายอากาศภาคพื้นดิน และเก็บไว้จน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าดาวเทียมดวงที่ต้องการส่งข้อมูลจะผ่านมาโดยจะส่งคลื่นความถี่ S-Band โดยสถานีสายอากาศจะตั้งอยู่คู่กับสถานีสังเกตการณ์

3.1.3 ส่วนของผู้ใช้ ( User Receiving Segment )

ในส่วนของผู้ใช้นั้น ส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส โดยจะรับสัญญาณ L-Band ที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมและนำมาคำนวณเพื่อหาค่าตำแหน่ง ความเร็วและเวลา ( Position, Velocity, Time ) ของเครื่องรับ จากนั้นจะนำค่าไปประยุกต์ใช้งานตามแต่ลักษณะการใช้งาน



รูปที่ 3.6 แสดงการประยุกต์ใช้งานในส่วนของผู้ใช้

ส่วนประกอบหลักของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส จะประกอบไปด้วย สายอากาศ, เครื่องรับ ( Receiver ), โปรเซสเซอร์, อุปกรณ์อินพุต-เอาท์พุต

3.1.3.1 สายอากาศ ( Antenna )

สัญญาณดาวเทียมจะถูกรับเข้ามาผ่านสายอากาศที่มีโพลาไรซ์ของคลื่นแบบวงหมุนวนขวา ( Right Hand Circular Polarized ) และรับได้ในช่วงครึ่งวงกลม เนื่องด้วยสัญญาณจากดาวเทียมเป็นแบบหมุนวนขวาเสาอากาศแบบโคนิคอลเฮลิกซ์ ( Conical Helix Antenna ) จึงเหมาะสมกว่าเครื่องรับจีพีเอสที่แทรครหัส P(Y) ที่อยู่ทั้งใน L1 และ L2 สายอากาศและเครื่องรับต้องมีแบนด์วิตธ์ 20.46 MHZ ถ้าเครื่องรับแทรคสัญญาณ C/A ที่อยู่ใน L1 สายอากศและเครื่องรับต้องมีแบนด์วิตธ์ 2.046 MHz

3.1.3.2 เครื่องรับ ( Receiver )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับจะรับสัญญาณอานาลอกจากสายอากาศ แล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ A/D คอนเวอร์เตอร์ โดยอัตราการสุ่มตัวอย่างทั่วไปจะเป็นแปด ถึงสิบสองเท่าของอัตราการชิพรหัส PRN ( 1.023 MHz ) สำหรับรหัส C/A ใน L1 และ L2 โดยอัตราการสุ่มตัวอย่างน้อยที่สุดจะเป็น 2 เท่าของแบนด์วิตธ์สูงสุดของข่าวสาร สำหรับเครื่องรับที่แทรคเฉพาะรหัส C/A แบนด์วิตธ์สูงสุดของข่าวสารจะมากกว่า 2 MHz ในเครื่องรับที่ทำการแทรครหัส P(Y) แบนด์วิตธ์สูงสุดของข่าวสารจะมากกว่า 20 MHz ข้อมูลหลังการแซมปลิ้งจะถูกส่งต่อไปยังดิจิตอลซิกแนลโปรเซสเซอร์ ( Digital Signal Processor ) เพื่อทำการดีมอดดูเลทข้อมูลข่าวสารออกจากคลื่นพาหะ ค่าที่วัดได้และข่าวสารการนำร่องจะถูกส่งต่อไปยังโปรเซสเซอร์

3.1.3.3 โปรเซสเซอร์ ( Processor )

โปรเซสเซอร์จะทำการควบคุมการทำงานของเครื่องรับ โดยเริ่มจากค้นหาสัญญาณ แทรคสัญญาณ และดึงข้อมูลออกจากสัญญาณ จากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าตำแหน่ง ความเร็ว และเวลาของเครื่องรับ ( PVT ) ในเครื่องรับสัญญาณส่วนใหญ่จะได้ค่า PVT ด้วยความถี่ 1 Hz แต่ในเครื่องรับ ที่ใช้ในการควบคุมจะต้องการความถูกต้องและผลการตอบสนองที่เร็วกว่า ด้วยความถี่อย่างน้อย 5 Hz

3.1.3.4 อุปกรณ์อินพุต เอาท์พุต ( Input – Output Element )

อุปกรณ์อินพุต เอาท์พุต เป็นอุปกรณ์อินเตอร์เฟสระหว่างชุดเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส กับผู้ใช้อุปกรณ์อินพุตเอาท์พุต จะทำการในส่วนของการควบคุมและแสดงผล แสดงสถานะและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามลักษณะที่ถูกออกแบบมา โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์อินพุต เอาท์พุตจะถูกรวมไว้กับเครื่องรับสัญญาณเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

## 3.2 การให้บริการของระบบจีพีเอส ( GPS Services )

ในการให้บริการระบบจีพีเอสนี้แบ่งการให้บริการออกเป็นสองระดับ คือ การบอกตำแหน่ง
แบบสมบูรณ์ ( Precise Position Services ( PPS )) และการบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน ( Standard Positioning Service ( SPS ))

3.2.1 การบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ์ ( Precise Positioning Service ( PPS ))

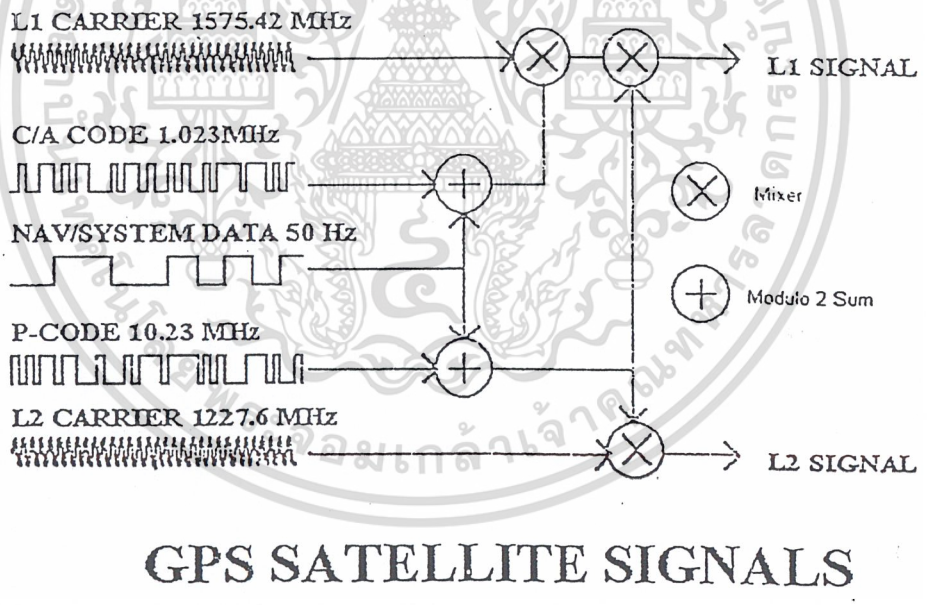
การให้บริการแบบ PPS จะเน้นไปในทางการทหาร โดยจะต้องได้รับการอนุมัติจาก U.S. Department of Defense ( DOD ) ผู้ที่ได้รับอนุญาติ เช่น U.S. Military, NATO Military และกองทัพอื่น ๆ หรือพลเรือน เช่น Australian Defense Mapping Agency การบริการแบบ PPS จะให้ค่าคลาดเคลื่อนประมาณ 16 เมตร และผิดพลาดหทางเวลาไม่เกิน 100 ns และเครื่องรับสัญญาณจีพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสสามารถให้ความถูกต้องของความเร็วคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.2 m/s ( ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องรับ )

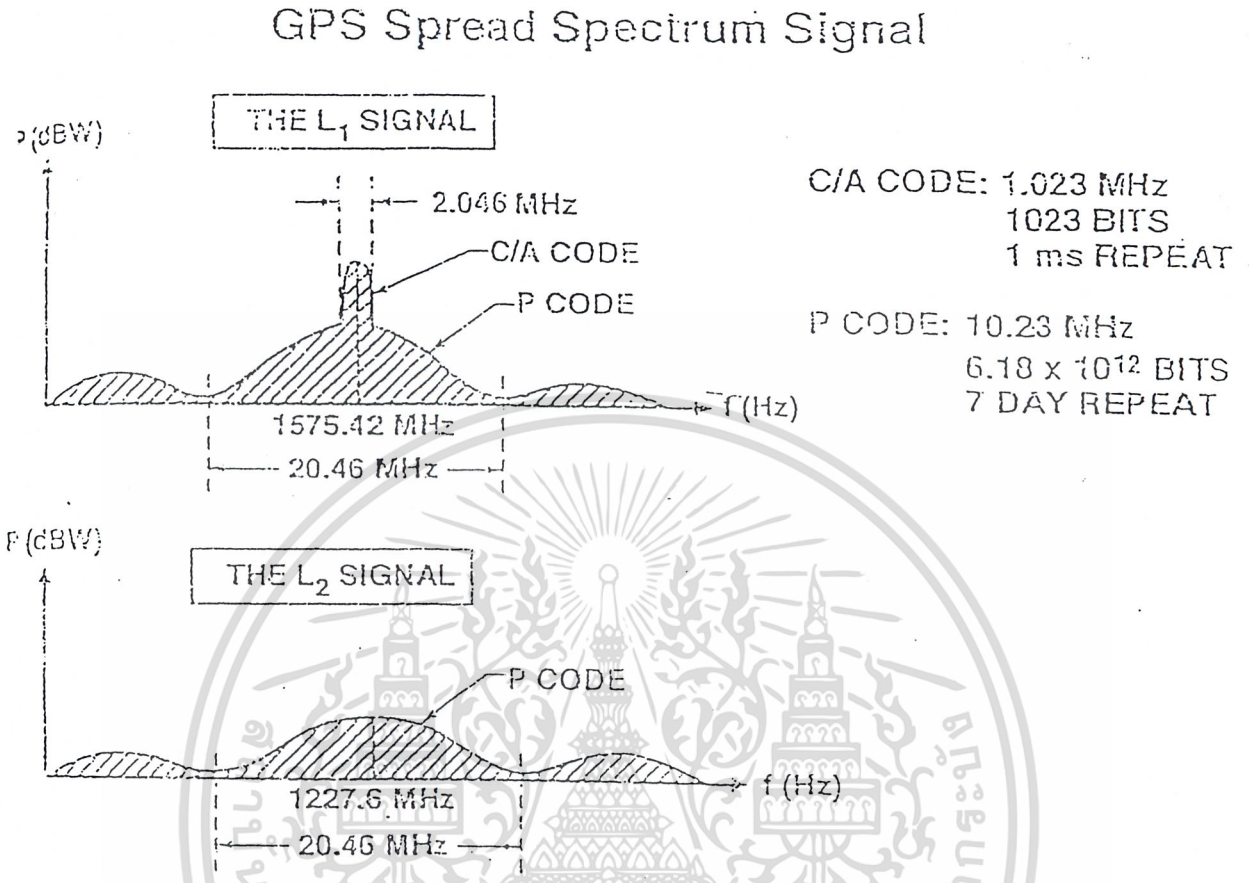
Ionoshere ได้อย่างละเอียดเพราะต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทนสัญญาณ L2 รหัส C/A จถูกเข้ารหัสด้วยเทคนิค SA เพื่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นเล็กน้อย สาเหตุเนื่องมาจากปัญหาด้านความมั่นคง

3.2.2 P-Code เป็นข้อมูลรหัส PRN แบบไบนารี่ มีความถี่ 1.023 MHz ขนาดยาว7 วัน โดยจะเริ่มใหม่ทุก ๆ เที่ยงคืนวันเสาร์-อาทิตย์ รหัส P-Code จะเหมือนกับรหัส C/A คือถูก Exclusive-OR กับข้อมูลข่าวสารการนำร่องแต่จะถูกมอดดูเลตกับทั้งคลื่นพาหะ L1 และ L@ ทำให้ผู้ใช้บริการแบบ PSP สามารถใช้คลื่นทั้งสอง คำนวณความล่าช้าอันเนื่องจากบรรยากาศได้อย่างละเอียด รหัส P-Code จะถูกเข้ารหัสเช่นเดียวกับรหัส C/A แต่รหัส P-Code จะถูกเข้ารหัสด้วยวิธี AS ด้วยและจะเรียกเปลี่ยนเป็นรหัส P(Y)-Code




รูปที่ 3.7 แสดงสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.8 แสดงภาพ Spectrum ความถี่ของสัญญาณจากดาวเทียม

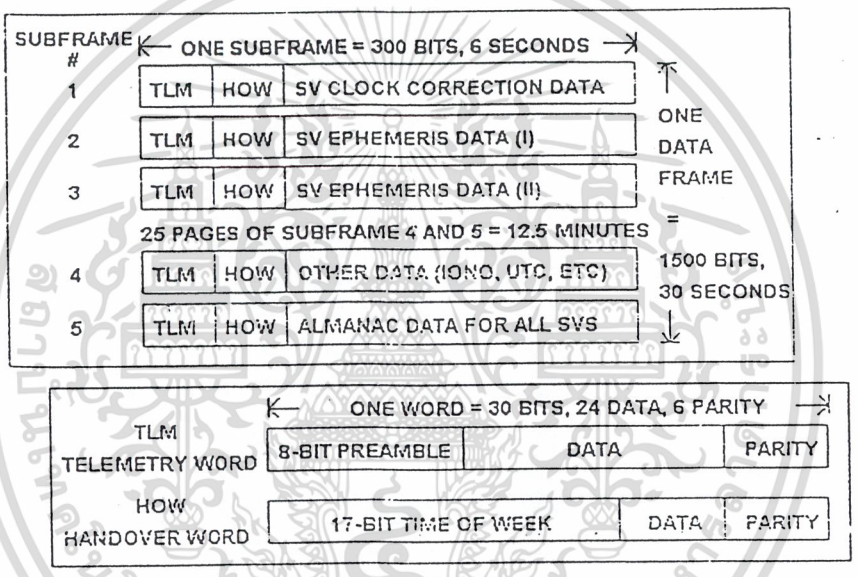
3.3.3 ข่าวสารการนำร่อง ( Navigation Message ) ข่าวสารการนำร่องมีความถี่ 50 Hz จะรวมอยู่ทั้งในรหัส P(Y) และ C/A ด้วยวิธี Exclusive-OR ข่าวสารการนำร่องมีข้อมูลเอกลักษณ์ของดาวเทียมดวงที่ส่งสัญญาณ และข้อมูลทั่วไปของดาวเทียมดังนี้

- เวลาขณะที่ส่งข้อมูลออกจากดาวเทียม ( time of transmission of message )
- Hand-Over Word ( HOX ) for the transition from C/A-Code to P(Y)-Code tracking
- ข้อมูลการแก้ไขสัญญาณนาฬิกา ( Clock Correction )
- ข้อมูลอิฟีเมอริส
- ข้อมูลแสดงสถานะของดาวเทียมส่งสัญญาณ ( Health data for the Transmitting Satellite )
- ข้อมูลอัลมาแนค ( Almanac and Health data for all satellite )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าโคแอฟฟี่เชียลสำหรับจำลองชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ( Coefficients for the Ionosphere delay model )
- ค่าโคแอฟฟีเชียลเพื่อคำวณเวลา UTX ( Coeffients to calculate UTC )

ข่าวสารการนำร่องจะประกอบด้วย 25 เฟรมข้อมูล แต่ละเฟรมมี 1500 บิท โดยแต่เฟรมจะถูกแบ่งเป็น 5 เฟรมย่อย เฟรมย่อยละ 300 บิท ข้อมูลในเฟรมย่อยที่ 1-3 ในแต่ละเฟรมจะเหมือนกัน ใช้เวลาในการรับข้อมูลทั้งหมดของเฟรมย่อย 6 วินาที




GPS NAVIGATION DATA FORMAT

รูปที่ 3.9 แสดงภาพข่าวสารการนำร่อง

เฟรมย่อยที่ 1 จะบรรจุข้อมูลการแก้ไขสัญญาณนาฬิกาสำหรับดาวเทียมที่ส่ง และมีพารามิเตอร์บ่งบอกถึงความแม่นยำและสภาพของสัญญาณ

เฟรมย่อยที่ 2,3 จะบรรจุอิฟีเมอริสพารามิเตอร์ ( Ephmeris Parameter ) เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของดาวเทียม สำหรับคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับต่อไป

เฟรมย่อยที่ 4,5 จะเป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตลอด 25 เฟรม โดยจะบรรจุข้อมูลแสดงสถานะของดาวเทียมข้อมูลอัลมาแนค ข้อมูล UTC และข้อมูลจำลองสถานะของบรรยากาศ

HOW จะมีข้อมูลที่บอกถึงเวลาของดาวเทียมและเวลาของรหัส P(Y) ที่มีคาบเวลายาวถึง 7 วันเพื่อให้เครื่องรับสามารถใช้ในการถอดรหัส P(Y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLM จะมีข้อมูลเริ่มต้นที่ช่วยให้เครื่องรับสามารถใช้ในการ detect ข้อมูลเริ่มต้นในแต่ละเฟรมย่อย

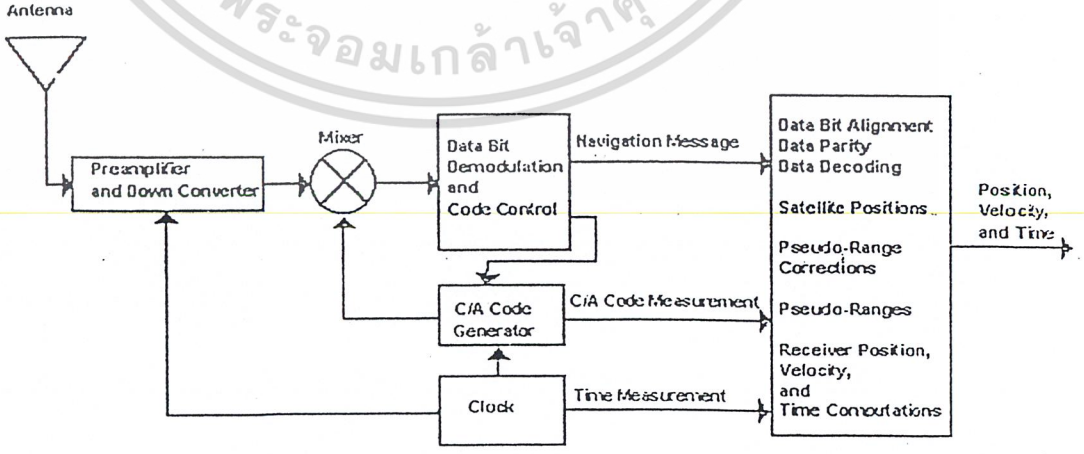
## 3.4 การทำงานของเครื่องรับสัญญาณ GPS ( GPS Receiver Operation )

### 3.4.1 การเลือกดาวเทียม ( Satellite Tracking Selection )

กระบวนการแทรคสัญญาณจะเริ่มโดย เครื่องรับจะหาว่าดาวเทียมดวงไหนที่เป็นไปได้ในการแทรคสัญญาณ โดยจะทำการค้นหารหัส C/A ของดาวเทียมที่อยู่ในวิสัยและล็อคสัญญาณดาวเทียมดวงนั้น เมื่อดาวเทียมถูกแทรคเครื่องรับจะสามารถดีมอดดูเลทข้อมูลการนำร่อง, ค่าอัลมาเนตและข้อมูลแสดงสถานะของดาวเทียมทั้งหมด ซึ่งการเลือกดาวเทียมของเครื่องรับจะต้องใช้ข้อมูลจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงในการคำนวณ เครื่องรับอจรับข้อมูลทุกดวงในพิสัยมาทำการคำนวณเลยก็ได้ แต่เครื่องรับส่วนใหญ่จะทำการเลือกดาวเทียมไม่มากเกินไป ในการคำนวณเนื่องจากปัญหาการยุ่งยากในการคำนวณ และต้นทุน ดังนั้นในการเลอีกดาวเทียมที่จะรับข้อมูลเครื่องรับอาจเลือกจากข้อมูลสถานะดาวเทียมที่ดีที่สุดที่ได้จากสัญญาณแทรคดาวเทียมดวงแรก หรืออาจเลือกจากดาวเทียมที่ได้สัญญาณก่อนเลยก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

### 3.4.2 การรับสัญญาณดาวเทียม ( Satellite Signal Acquistion )

สัญญาณของดาวเทียมที่ส่งออกมาเมื่อมาถึงเครื่องรับ สัญญาณที่ได้จะมีกำลังอ่อน และจะถูกรบกวนโดย noise เครื่องรับจึงจำเป็นต้องทำการจำลองสัญญาณที่ได้รับเข้ามา และนำมาเรียงให้ตรงกับสัญญาณดาวเทียม จากนั้นจึงทำการคอมเพรสกลับมาให้เป็นสัญญาณอีกครั้ง เรียกวิธีการนี้ว่า เทคนิค Cod Correlation



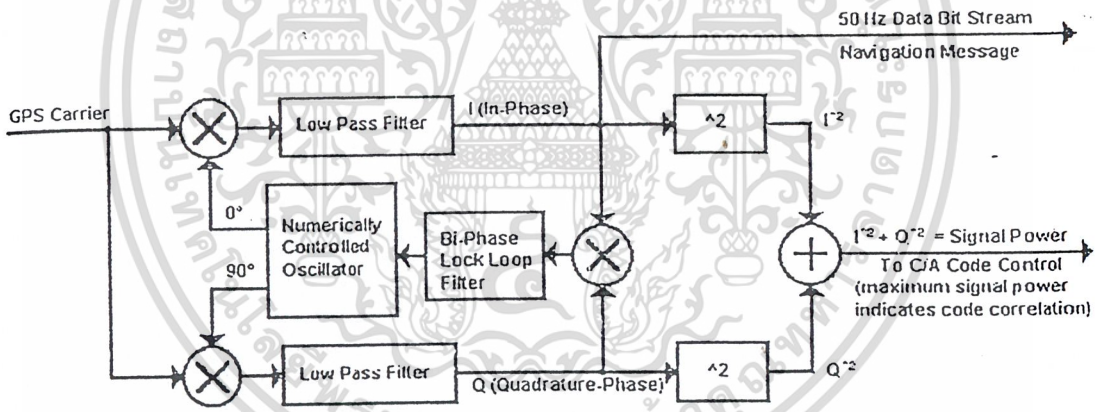

Simplified GPS Receiver Block Diagram

รูปที่ 3.10 แสดงภาพบล๊อกไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การถอดรหัสข้อมูล ( Data Detection )

ข้อมูลที่เครื่องรับสัญญาณได้จากดาวเทียม เป็นข้อมูลที่มีการมอดดูเลทกันของคลื่นพาหะ รหัส C/A รหัส P(Y) และข้อมูลข่าวสาร ในการถอดคลื่นพาหะจะใช้ Low Pass Filter เพื่อแยกเอาคลื่นพาหะออก เครื่องรับจะใช้ตัวสังเคราะห์ความถี่สร้างเฟสที่คงที่ และใช้เทคนิคเฟสล็อกลูป ( Phase Lock Loop ) ในการล็อคลูปข้อมูล ( เรียก Code Tracking Loop ) ไว้เพื่อการ detect สัญญาณ ส่วนการถอดรหัส C/A ออกจะทำการสร้างสัญญาณ C/A จำลองขึ้นจากคุณลักษณะของดาวเทียมแต่ละดวง เพื่อกำหนดและล็อคลูปข้อมูล รหัส C/A แล้วจึงทำการแยกรหัส C/A ออกมา ส่วนรหัส P(Y) นั้นเนื่องจากมีความยาวคาบสัญญาณถึง 7 วัน จึงใช้วิธี phase lock loop ไม่ได้ จึงใช้ข้อมูลที่อยู่ใน HOW ในการทราบเวลาที่แน่นอนในการทำงาน




รูปที่ 3.11 แสดงภาพการถอดรหัสข้อมูลข่าวสารการนำร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 การคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ

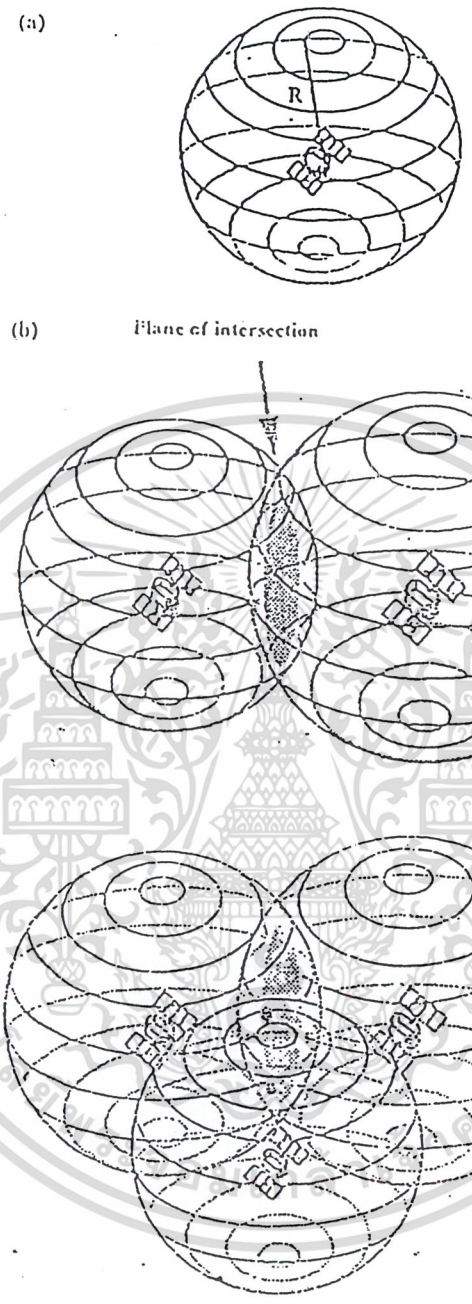
GPS เป็นระบบการวัดพิสัยทางเดียวที่มีเครื่องส่งสัญญาณอยู่ในดาวเทียมที่หมุนรอบโลกอยู่ในอวกาศ ถึงแม้ว่าดาวเทียมจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง เครื่องรับจะติดตามดาวเทียมที่อยู่ในพิสัยและประมาณค่าพารามิเตอร์ วงโคจรดาวเทียม ซึ่งทำให้สามาระคำนวณหาค่าตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมในระบบอ้างอิงกับแกนโลก ( Earth Center Earth Fixed Referance System; ECEF ) ข้อมูลนี้เรียกว่า Ephermeris หรือเวคเตอร์ตำแหน่งของดาวเทียมต่อเวลา ผู้ใช้ที่ต้องการหาตำแหน่งในสามมิติ คือ ละติจูด ลองติจูด และความสูง ต้องวัดสัญญาณ GPS จากดาวเทียมสามดวงและคำนวณเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณ ( Transil Time ) จากแต่ละดาวเทียมมาถึงผู้ใช้จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างดาวเทียมสามดวง และเครื่องรับในแนวแกนสามแกน จึงสามารถหาค่าแกนทั้งสามได้ แต่กรณีนี้สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ เวลาของทั้งเครื่องรับสัญญาณ GPS และเวลาเครื่องส่งสัญญาณจะต้องมีความแม่นยำสูงและจะต้องตรงกันหมด ( Synchronous ) แต่ในความเป็นจริงสัญญาณจากเครื่องส่ง ( ดาวเทียม ) จะมีวิธีการแก้สัญญาณเวลาให้ถูกต้องจากสถานีควบคุมหลักแต่เครื่องรับสัญญาณในแต่ละเครื่องไม่สามารถควบคุมให้มีเวลาที่เที่ยงตรงได้ ดังนั้นจึงมีการเพิ่มความสัมพันธ์ในด้านความต่างของเวลาขึ้นมาอีกค่า จึงต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มอีก 1 ดวง ดังนั้นระบบนำร่อง GPS จึงมีความจำเป็นต้องใช้สัญญาณจากดาวเทียมในการคำนวณอย่างน้อย 4 ดวง

### 3.5.1 การระบุตำแหน่งโดยสัญญาณดาวเทียม

สัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียมดวงหนึ่งจะมีข้อมูลของเวลาขณะส่งจากสัญญาณนาฬิกาแบบดาวเทียมรวมอยู่ด้วย เมื่อสัญญาณมาถึงเครื่องรับจะสามารถทราบเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณจากระบบนาฬิกาของเครื่องรับที่ Synchronous กับของระบบ ดังนั้นเมื่อเราทราบว่าความเร็วของสัญญาณดาวเทียมมีค่าประมาณเท่ากับความเร็วแสง จึงสามารถหาระยะห่างระหว่างดาวเทียมเครื่องรับสัญญาณได้ โดยสัญญาณจากดาวเทียม 1 ดวง จะทราบว่าเครื่องรับอยู่บนผิวทรงกลมที่มีรัศมีเป็นระยะห่างของดาวเทียมและเครื่องรับ

ถ้าทำการวัดระยะจากดาวเทียมดวงที่ 2 พร้อมๆกัน จะได้พื้นที่ตำแหน่งของเครื่องรับบนเส้นรอบวงกลมซึ่งเกิดจากการตัดกันของทรงกลมดังรูป และถ้าเพิ่มสัญญาณจากดาวเทียมดวงที่ 3 ก็จะได้ตำแหน่งของผู้ใช้ 2 ตำแหน่งที่เกิดจากการตัดกันของทรงกลมทั้ง 3 ตำแหน่งที่เหลือเพียง 2 ตำแหน่งโดยค่าตำแหน่งที่อยู่ด้านบนจะเป็นตำแหน่งที่ลอยอยู่ ดังนั้น ณ ตำแหน่งด้านล่างที่เกิดจากการตัดกันของทรงกลมทั้ง 3 จะเป็นตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องรับสัญญาณสำหรับผู้ใช้ที่อยู่บนผิวโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.12 แสดงภาพการตัดกันของระยะห่างจากดาวเทียมอันเป็นตำแหน่งของเครื่องรับ

### 3.6 การผิดพลาดในระบบ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าระบบ GPS จะถูกพัฒนาให้มีความถูกต้องในระบบการนำร่องทั่วโลกก็ตามนั้น แต่ระบบ GPS ยังคงมีค่าความผิดพลาดมากพอสมควร โดยความผิดพลาดนี้มีสาเหตุมาจาก

3.6.1 Ephemeris Data Error เป็นค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากตำแหน่งของดาวเทียม GPS เกิดจากการเฉไปของวงโคจรดาวเทียม เมื่อข้อมูล GPS ไม่ได้ส่งตำแหน่งที่ถูกต้องของดาวเทียมจะมีผล ความผิดพลาดไปถึงการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ ค่าความผิดพลาดนี้จะถูกแก้ไขโดยข้อมูลควบคุมจากสถานีควบคุมหลัก ดังนั้นถ้าไม่มีการแก้ไขจากสถานีควบคุมข้อมูลจะมีการผิดพลาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่จากรายงานใน ค.ศ. 1984 แสดงว่าสำหรับการทำงานไม่เกิน 24 ชั่วโมงค่าความผิดพลาดอันเนื่องมาจาก Ephemeris มีความผิดพลาดไม่เกิน 2.1 เมตร

3.6.2 Satellite Clock Error ในเครื่องส่งสัญญาณ GPS ที่ดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ จำเป็นต้องมีนาฬิกาอะตอมมิค ( Cesium and Rubidium Oscillators ) ซึ่งมีความแม่นยำสูงและจะต้อง synchronous กับนาฬิกาของระบบโดยตลอด แต่ในความเป็นจริงสัญญาณของดาวเทียมจะถูกแก้ไขโดยสถานีควบคุมหลักในซิงโครัสกับระบบโดยตลอด แต่นาฬิกาของเครื่องรับนั้นยากที่จะทำการแก้ไข จึงต้องมีการชดเชยการคำนวณโดยใช้สัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มในการคำนวณด้านเวลา

3.6.3 Security Signal ความผิดพลาดเป็นความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด สาเหตุเนื่องจากทางสหรัฐอเมริกาได้ใส่รหัสข้อมูล SA ลงในสัญญาณดาวเทียมทุกดวง ค่าความคลาดเคลื่อนจาก SA นั้นจะมีความคลาดเคลื่อนทางเวลาประมาณ 10 นาทีทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางระยะทางเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร ผู้ใช้ทั่วไปที่ใช้ระบบ SPS จะมีสัญญาณ SA รวมอยู่ด้วยทำให้เกิดความผิดพลาดแต่ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ระบบ PPS จะไม่มีความผิดพลาดจากรหัส SA

3.6.4 Ionosphere Errors เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ผิดพลาดรองมาจากสาเหตุของ SA ทำให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณดาวเทียมเกิดเนื่องจากอิเลคตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศ Ionosphere สัญญาณจากดาวเทียมเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้จะไม่สามารถเดินทางได้เท่ากับความเร็วแสง การเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะมีความล่าช้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอิเลคตรอนอิสระที่อยู่ในชั้นนี้ และแปรผันตรงกับ 1/f ผู้ใช้ทั้งหมดจะมีค่าความคลาดเคลื่อนในความล่าช้าในชั้น Ionosphere

3.6.5 Troposhere Errors เป็นสิ่งหนึ่งที่ทำให้ความเร็วแสงเฉไป โดยที่ความแปรปรวนของอุณหภูมิของความดันและความชื้น ทั้งหมดนี้ทำให้ความเร็วแสงของสัญญาณแปรปรวนไปทั้งรหัสสำหรับผู้ใช้ทั่วไปค่าความผิดพลาดนี้จะอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร

3.6.6 Multipath Errors เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจากการส่งสัญญาณของดาวเทียม GPS ไปกระทบผิวสะท้อนก่อนที่จะไปถึงผู้รับ เช่น สะท้องผิวของตึก หรือ ผิวของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยผลกระทบนี้มีแนวโน้มที่มากขึ้นในที่ๆเครื่องรับอยู่นิ่ง ๆ ใกล้กับผิวะท้องที่ใหญ่มาก ๆ ความผิดพลาดที่พบมากที่สุดประมาณ 15 เมตร การแก้ไขคามผิดพลาดนี้คือ การต่อสายอากาศ ( Antenna ) ให้กับเครื่องรับสัญญาณ

3.6.7 Receiver Errors เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะของเครื่องรับสัญญาณอันเนื่องมาจากความร้อนภายในเครื่องรับสัญญาณ ประสิทธิภาพ Software ของเครื่องรับ และจำนวนช่องรับสัญญาณเนื่องจาก ปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาจนความผิดพลาดลักษณะนี้น้อยมาก

3.6.8 ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการจับกลุ่มของดาวเทียมที่ใช้ในการนำร่อง ( Geometric Dillution of Precision ) ความผิดพลาดนี้เกิดจากการหาระยะทางซูโรเรนจ์ของเครื่องรรับ การเลือกกลุ่มดาวเทียมจะเป็นองค์ประกอบหลัก มีการใช้ค่าๆ หนึ่งเป็นตัวแสดงถึงคุณภาพของผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจาก การกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับ GPS ค่านี้คือ ไดลูชัน ออฟ พรีซิชัน ( Dilution of Precision; DOP ) ค่าของ DOP มักถูกอธิบายในเทอมต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับสัญญาณที่ได้จากการจับกลุ่มดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งของ เครื่องรับสัญญาณเทอมต่างๆ เหล่านี้ได้แก่

GDOP - Geometrical Dilution of Precision

PDOP - Position Dilution of Precision ( 3-D ) บางทีเรียก Spere DOP

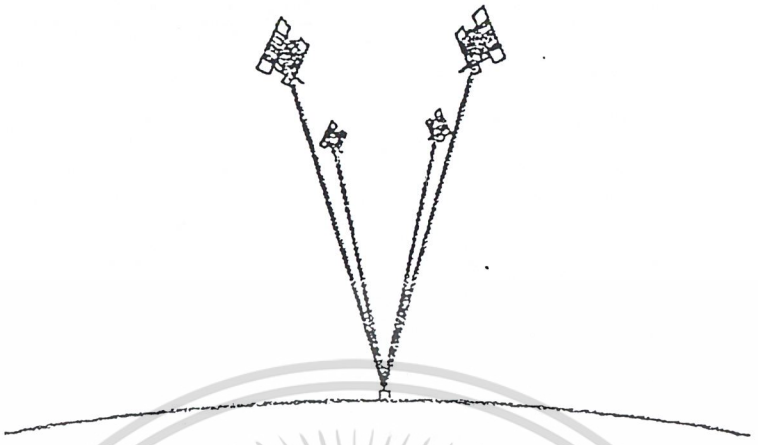
HDOP - Horizontal Dilution of Precision ( Latitude , Longtitude )

VDOP - Vertical Dilution of Precision ( Height )

TDOP - Time Dilution of Precision ( Time )

ตัวที่มักจะนำมาพิจารณาได้แก่ ค่าจีออเมตริก ไดลูชัน ออฟ พรีซิชั่น ( Geometric Dilution of Precision; GDOP ) จะแสดงถึงการจัดวางตัวของดาวเทียมสี่ดวงที่ทำกับเครื่องรับสัญญาณ ถ้าค่า GDOP มีค่ามาก พิกัดที่ได้จากเครื่องรับอาจผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็นมากเช่นเดียวกัน ตัวอย่างของการจัดกลุ่มดาวเทียมที่ทำให้ GDOP มีค่าดีและไม่ดีเป็นดังรูปที่ 3.16 ถึง 3.19

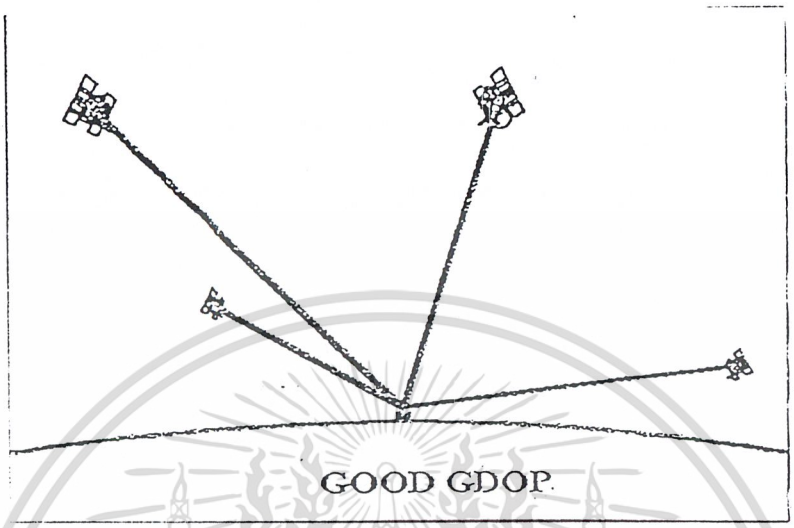
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



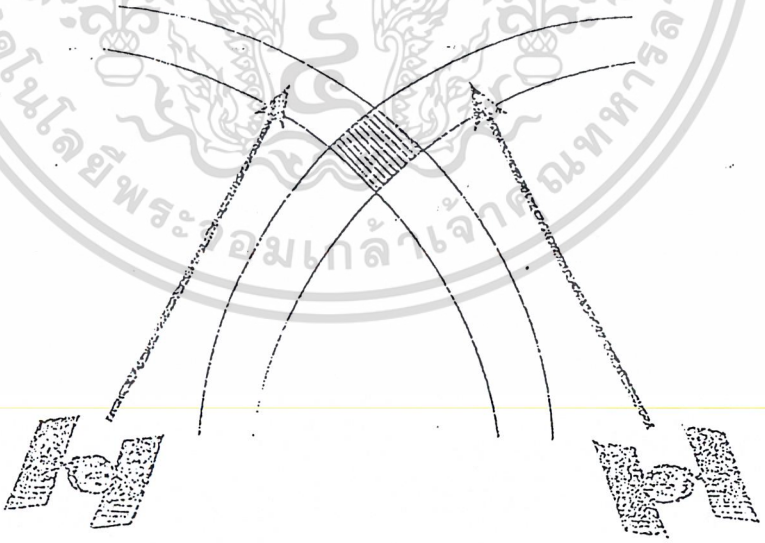

รูปที่ 3.16 แสดงภาพ POOR GDOP

รูปที่ 3.17 ผลของ POOR GDOP แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การตัดกันที่กว้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.




รูปที่ 3.18 แสดงถึง GOOD GDOP



รูปที่ 3.19 ผลของ GOOD GDOP แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การตัดกันที่แคบลง

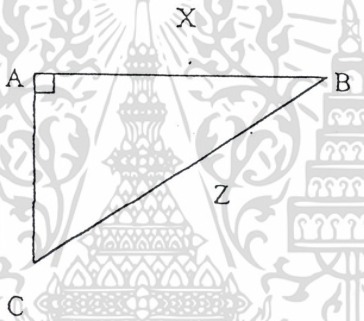
## 3.7 พื้นฐานของการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อนี้เป็นการอธิบายถึงพื้นฐานการกำหนดพิกัดโดยการใช้ดาวเทียม เพื่อทำให้เข้าใจถึงระบบที่ใช้งานว่า มีขีดจำกัดอย่างไร และจำเป็นต้องรู้อะไรบ้าง เพื่อจะได้ทำความเข้าใจระบบจีพีเอสได้ดีขึ้น

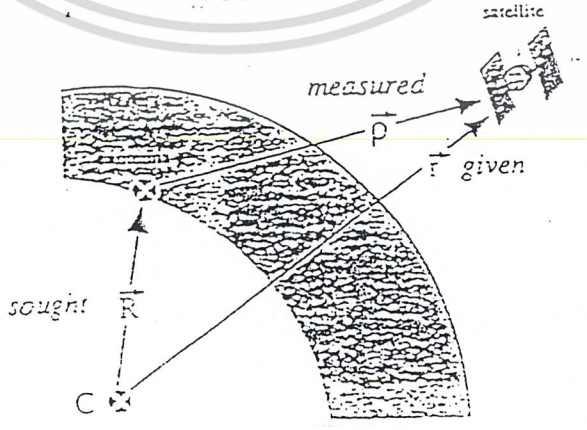
3.7.1 แนวความคิดเบื้องต้นในการระบุพิกัดของจีพีเอส

ในวิชาเลขาคณิตพื้นฐานที่เคยศึกษามาเกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยมทำให้ทราบว่า ถ้ารู้เส้นรอบรูปสามเหลี่ยม จะสามารถหาเส้นที่สามได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่น สมมุติว่ามีรูปามเหลี่ยมทางเลขาคณิตอย่างง่าย โดยอาศัยความรู้เบื้องต้นจะเขียนได้ว่า $Y^2 = Z^2 - X^2$ หรืออาจกล่าวได้ง่ายๆ ว่า ถ้ารู้ความยาวของ Z และ X ก็จะสามารถหาค่าความยาวของ Y ได้




รูปที่ 3.20 แสดงการหาความยาวของ Y เมื่อทราบความยาวของ X, Z และมุมต่างๆ

ในทำนองเดียวกัน เราจะอาศัยแนวคิดนี้ในการกำหนดพิกัดบนพื้นผิวดลกของระบบจีพีเอสได้ ดังรูปที่ 3.21

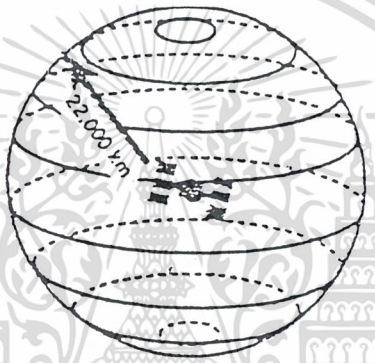



รูปที่ 3.21 การหาพิกัดในระบบจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

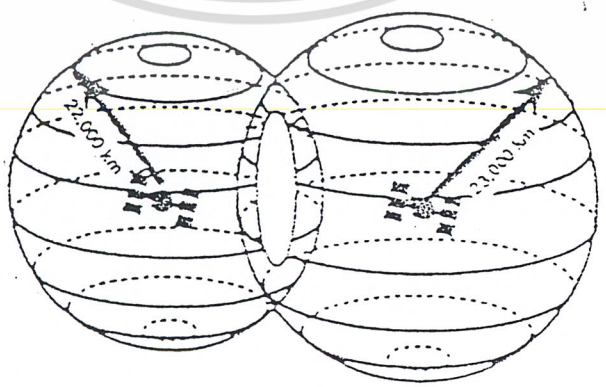
จากรูปที่ 3.21 ถือว่าจุด C เป็นเส้นศูนย์กลางของโลก สายอากาศ ( Antenna ) อยู่ที่พื้นผิวดลกดาวเทียมลอยอยู่เหนือผิวโลก เครื่องรับที่ต่ออยู่กับสายอากาศสามารถวัดได้ว่า ดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศเท่าใด ( P ) และดาวเทียมส่งข้อมูลมาบอกเครื่องรับว่า ตัวมันห่างจากจุด C เท่าใด ตัวเครื่องรับก็จะหาไว้ว่าตำแหน่งของสายอากาศอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์เข้าช่วยคือ $R = r - P$ ( เป็นเวคเตอร์ )

ประเด็นต่อมาคือ เครื่องรับมีหลักการในการวัดระยะห่างระหว่างตัวมันกับดาวเทียมอย่างไรในช่วงแรกขอสมมุติว่า ดาวเทียมดวงแรกโคจรอยู่เหนือพื้นโลก 22,000 กิโลเมตร ดังรูปที่ 3.3




รูปที่ 3.22 ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมมีรัศมี 22,000 กิโลเมตร

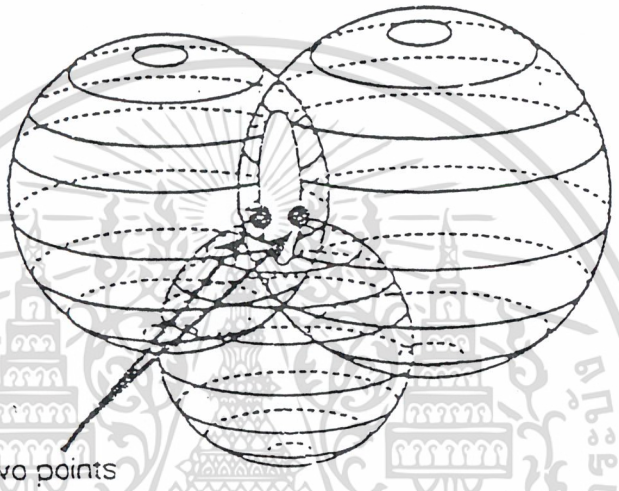
จากรูปที่ 3.22 จะเห็นว่าเครื่องรับที่อยู่บนพื้นผิวโลก อาจจะอยู่ที่บริเวณไดก็ได้บนพื้นผิวทรงกลมที่สร้างขึ้นมาล้อมรอบดาวเทียม เพราะเราไม่รู้ว่าที่จุดใดของทรงกลมแตะอยู่กับพื้นผิวโลก รู้แต่เพียงว่าจะมีอยู่จุดหนึ่งเท่านั้นที่สัมผัสกับพื้นผิวโลก ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงหนึ่งโคจรอยู่เหนือพื้นดิน 23,000 กิโลเมตร เราก็จะสามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสองมีการตัดกันผลที่ได้จะเป็นวงกลมเล็ก ๆ เกิดขึ้น เครื่องรับน่าจะอยู่ที่ไดที่หนึ่งในวงกลมนี้ ซึ่งยังคงเป็นพื้นที่กว้างเกินไป




รูปที่ 3.23 แสดงการตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าดาวเทียมอีกดวงเป็นดวงที่สามโคจรอยู่เหนือพื้นผิวโลก 24,000 กิโลเมตร ก็สามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสามมีการตัดกันผลที่ได้จะเป็นจุดสองจุดที่ขอบวงกลมเล็ก ๆ เครื่องรับน่าจะอยู่จุดใดจุดหนึ่งในสองจุดนี้ แต่จะมีจุดเดียวเท่านั้นที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎี ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยอาศัยคณิตศาสตร์เข้าช่วย

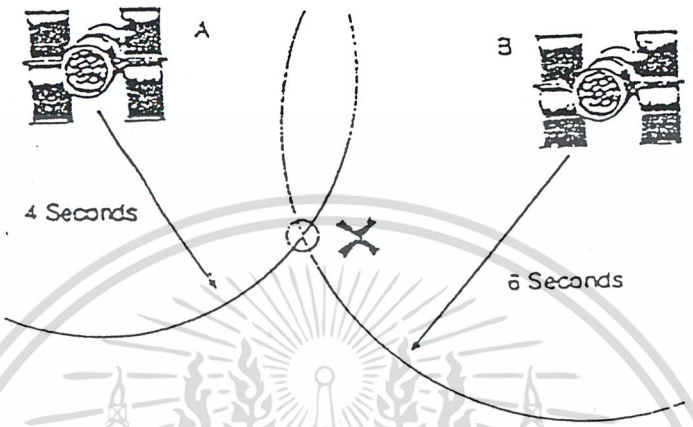



รูปที่ 3.24 แสดงการตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม

ประเด็นถัดมาลองมาดูว่า ตัวเครื่องรับสัญญาณจะรู้ว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศของเครื่องรับเป็นระยะทางเท่าใด อย่างไร โดยหลักการแล้ว ถือว่าคลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง ดังนั้นถ้าสมมติว่า ดาวเทียมส่งข้อมูล ABC ออกมาจากดาวเทียมเมื่อเวลา 8.00 นาฬิกา แล้วเครื่องรับรับข้อมูล ABC ได้เวลา 8.01 นาฬิกา แสดงว่าข้อมูลใช้เวลาเดินทางจากดาวเทียมมายังสายอากาศใช้เวลา 1 นาที เมื่อนำค่านี้คูณด้วยความเร็วของแสง ก็จะทำให้ได้ระยะทางออกมาเช่นเดียวกัน

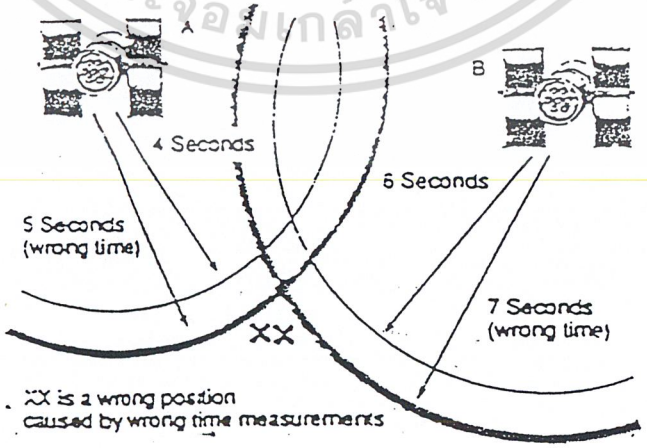
ดังนั้นแทนที่เราจะบอกเป็นระยะทางว่าดาวเทียมโคจรอยู่สูงจากผิวโลกเท่าไหร่เราอาจบอกเป็นเวลาแทนได้ เช่น ดาวเทียมสองดวงอยู่ห่างจากสายอากาศ 4 และ 6 วินาที เพื่อให้ง่ายขึ้นจะมองทรงกลมที่สมมุติขึ้นมารอบดาวเทียมแค่สองมิติเป็นวงกลมล้อมรอบดาวเทียม A และ B และลองสมมติว่าเกิดจุดตัดกันออกมาที่จุด X ดังรูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.25 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B

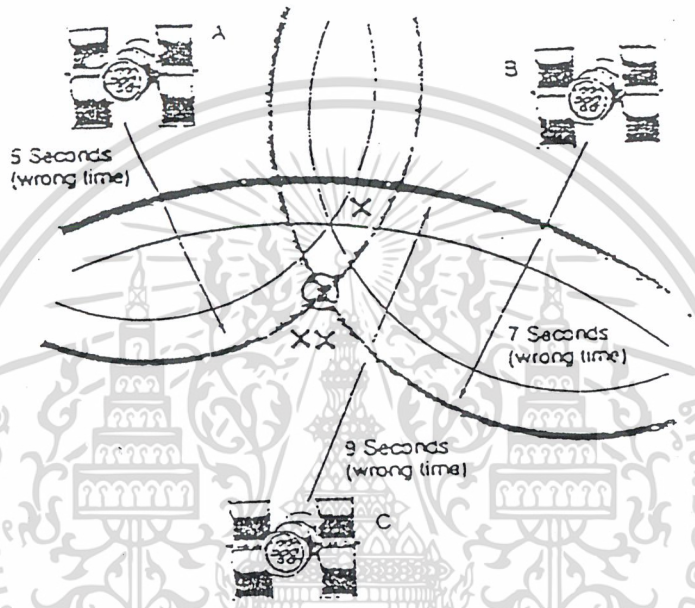
แต่ถ้าเวลาที่วัดได้เกิดการผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็น จะด้วยสาเหตุใดก็ตาม เช่น ดาวเทียม A จาก 4 วินาทีเป็น 5 วินาที และดาวเทียม B จาก 6 วินาทีเป็น 7 วินาที ผลที่เกิดขึ้นคือ แทนที่จะเกิดจุดตัดขึ้นที่จุด X กลับเกิดขึ้นที่จุด XX ดังรูปที่ 3.26




รูปที่ 3.26 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B ในกรณีที่เวลาเกิดผิดพลาดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

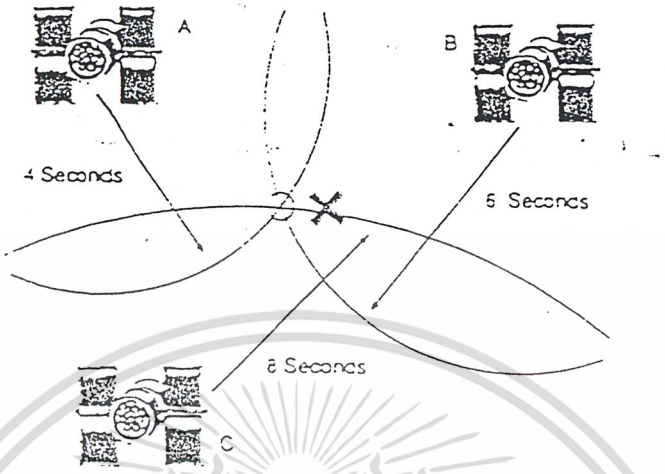
แม้ว่าจะใช้ดาวเทียมดวงที่สาม ( ดาวเทียม C ) เข้าช่วย เพื่อหาตำแหน่งที่แน่นอนดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นถ้าเวลาผิดพลาดไปก็จะเกิดจุดตัดที่ผิดพลาดขึ้นมาด้วยเล่นกัน ดังรูปที่ 3.27




รูปที่ 3.27 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A,B และ C ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

จากรูปที่ 3.27 จะเห็นว่าจุดที่ถูกต้องตามที่ต้องการในครั้งแรกก็คือจุด X ซึ่งจะเป็นจุดตัดจุดเดียวเท่านั้น ไมโครโปรเซสเซอร์ในเครื่องรับจะเริ่มทำการปรับค่าความผิดพลาดของเวลาของดาวเทียมแต่ละดวง การทำเช่นนี้จำต้องอาศัยดาวเทียมอีกดวงหนึ่งเข้าช่วยเพื่อทำการปรับตั้ง เวลาในเครื่องรับให้แม่นยำขึ้น จากนั้นจึงทำการขยับเวลาที่ทำการวัดได้จากดาวเทียมแต่ละดวงเพื่อทำการลดค่าผิดพลาดให้น้อยลง เมื่อทำการปรับได้อย่างถูกต้องแล้วก็จะทำให้ได้จุดตัดออกมาดังรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.28 แสดงจุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม A,B และ C

จากที่อธิบายมาข้างต้นจะเห็นว่า ความแม่นยำของเวลาเป็นหัวใจของระบบทีเดียว ดังนั้น บนดาวเทียม จีพีเอส จึงมีนาฬิกาเชิงอะตอมที่มีความแม่นยำสูงบรรจุอยู่ถึงสี่เครื่อง นาฬิกาเหล่านี้จะถูกปรับตั้งให้มีความแม่นยำอยู่ตลอดเวลาโดยสถานีควบคุมภาคพื้นดิน

จากแนวความคิดที่กล่าวมานี้ ถ้าเครื่องรับสัญญาณอยู่บนพื้นโลกจะทำให้เครื่องรับทราบว่าตัวมันห่างจากดาวเทียมเท่าได เสมือนกับได้ระยะทางด้านหนึ่งของสามเหลี่ยมแล้ว คือ ด้าน P ด้านที่สามของสามเหลี่ยมคือ r เครื่องรับจะทราบได้โดยดาวเทียมจะส่งข้อมูลมาบอกว่ามันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าได ดังนั้น เครื่องรับจะคำนวณได้ว่า ตัวมันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าได

ปัญหาต่อมาก็คือ ตำแหน่งที่บอกออกมานั้นเราจะรู้ได้อย่างไรว่ามันคือที่ไหนบนโลกนี้ ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดระบบอ้างอิงให้มัน การกำหนดได ๆ ก็ตามให้เปรียบเทียมกับระบบอ้างอิงที่กำหนดขึ้นนี้ ในบทต่อไปจะกล่าวถึงระบบอ้างอิงที่ใช้ในระบบจีพีเอส

## 3.8 จีโอเดติค ดาตัม

เนื่องจากพิกัดที่ได้จากเครื่อง จีพีเอส มักอยู่ในรูปของ ละติจูด ลองติดจูด หรือค่าตัวแปร XYZ การกำหนดค่าดาตัมผิด จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นเป็นอย่างมาก

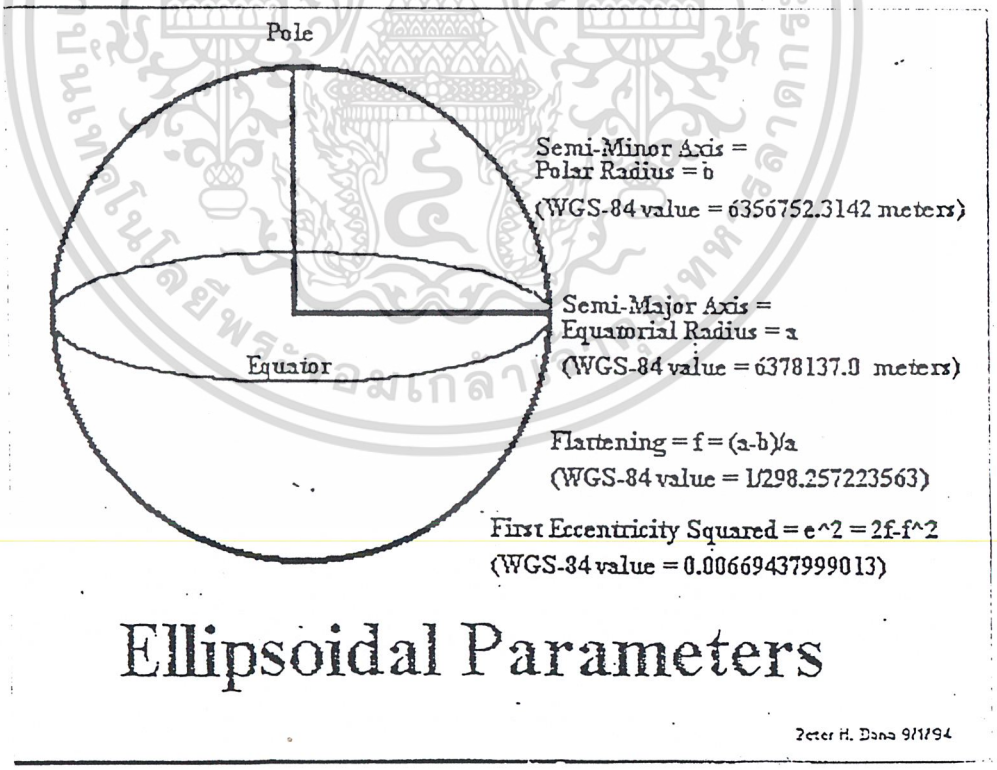
จีโอเดติค ดาตัม คือการกำหนดระบบอ้างอิงที่ใช้อธิบายขนาดและรูปร่างของโลก ว่าควรมีลักษณะอย่างไร ในสมัยโบราณถือว่าโลกแบนดังนั้นระนาบอ้างอิงจึงเป็นเพลนระนา ต่อมาพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลกกลม ระบบอ้างอิงถูกเปลี่ยนเป็นทรงกลมตามไปด้วย จนภายหลังพบว่ารูปร่างของโลกที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุดเป็นแบบ เอลลิพซอยด์ ( Ellipsiod ) และใช้มาจนถึงปัจจุบันนี้ เมื่อผนวกเข้ากับระบบการกำหนดพิกัดอ้างอิงก็จะทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกได้อย่างแม่นยำ

3.8.1 การอ้างอิงโดยเอลลิพซอยด์ ( Ellipsoids Reference )

รูปแบบจำลองแบบเอลลิพซอยด์ ถือว่าพื้นผิวโลกราบเรียบและมีโครงสร้างเกือบเป็นทรงกลม การอ้างอิงใด ๆ บนพื้นผิวจะทำผ่านสองแกนคือ Semi – Major Axis คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังเส้นอีเควเตอร์ และ Semi Minor Axis คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังขั้ว

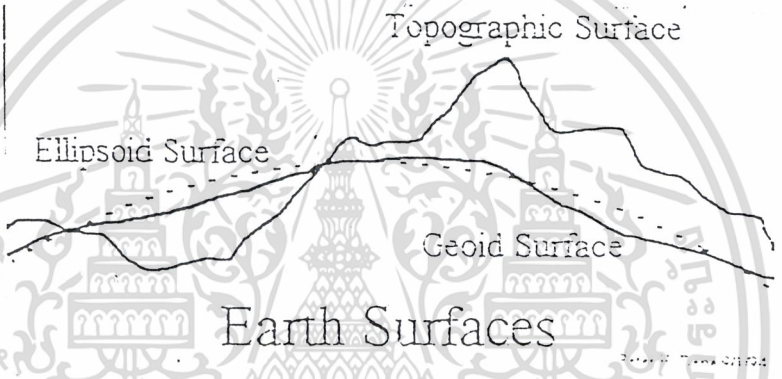



รูปที่ 3.29 ตัวแปรของเอลลิพซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ WGS – 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

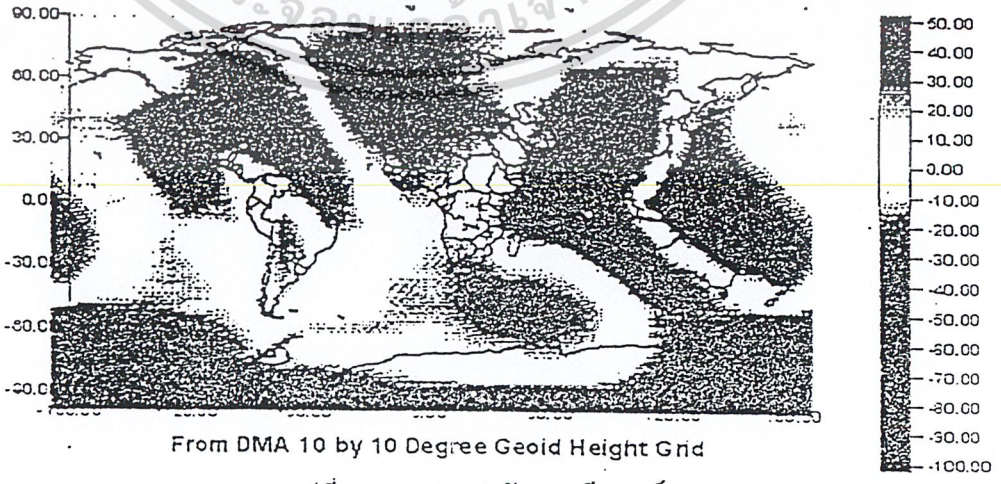
3.8.2 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก ( Earth Surface Model )

รูปแบบจำลองผิวโลกที่ถูกต้องมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับ ระบบนำร่อง การสำรวจ และการทำแผนที่ แต่เนื่องจากผิวโลกมีความสูงต่ำไม่เท่ากัน นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมตลอดเวลา ดังนั้นรูปแบบจำลองจึงมีหลายแบบด้วยกัน รูปแบบจำลองสภาพทางภูมิประเทศและระดับน้ำทะเลมีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผิวโลก ในขณะที่รูปแบบจำลองทางด้านแรงโน้มถ่วง และจีออยด์ ( Geoid ) มีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงและระดับน้ำทะเลเฉพาะส่วนของพื้นโลก รูปแบบจำลองต่าง ๆ เหล่านี้ถูกสร้างเปรียบเทียบหรืออ้างอิงร่วมกับเอลลิพซอยด์




รูปที่ 3.30 แสดงรูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก

การจำลองพื้นผิวแบบโทโพกราฟฟิค ( Topographic Surface ) ของโลกจะแสดงพื้นผิวจริงของแผ่นดินและทะเลในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ส่วนการจำลองพื้นผิวแบบจีออยด์นั้นจะเป็นการจำลองพื้นผิวที่แสดงค่าสนามแรงโน้มถ่วงของโลกที่ทัดเทียมระดับความสูงของน้ำทะเลเฉลี่ย ( Mean sea level ) จีออยด์จะเป็นพื้นผิวอ้างอิงหลักในการกำหนดความสูง ตัวอย่างดังรูป 3.31




รูปที่ 3.31 แสดงระดับของจีออยด์

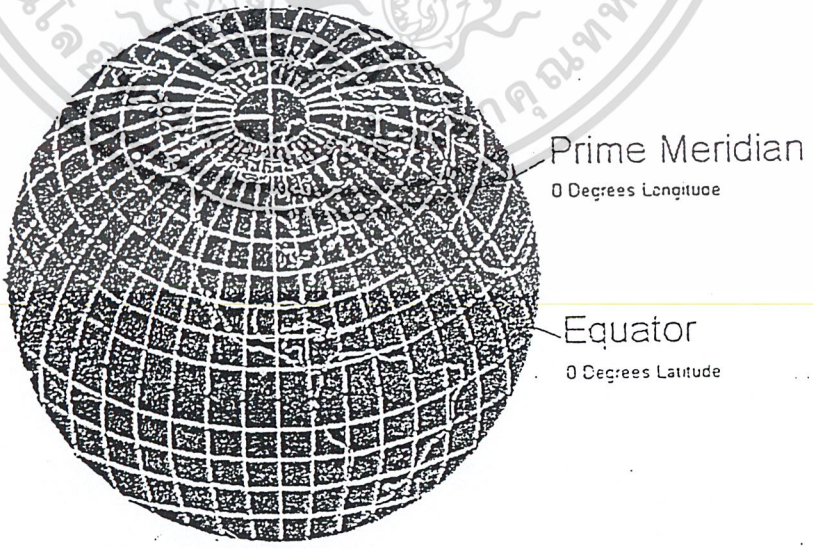
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.3 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้งานทั่วไป ( Global Coordinate System )

เมื่อเรามีรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโลกแล้ว ต่อไปจะต้องกำหนดพิกัดอ้างอิงขึ้นมาเพื่อกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก มิฉะนั้นเราจะไม่ทราบว่า เราอยู่ที่ไดบนโลก ทำนองเดียวกันถ้าระนาบอ้างอิงแตกต่างกันไป พิกัดที่ได้จะแตกต่างกันออกไปด้วย ระบบที่ใช้ในการอ้างอิงมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละประเทศจะใช้แตกต่างกันออกไป ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเกี่ยวข้องกับระบบจีพีเอสเท่านั้น

3.8.3.1 Latitude, Longtitude, Height

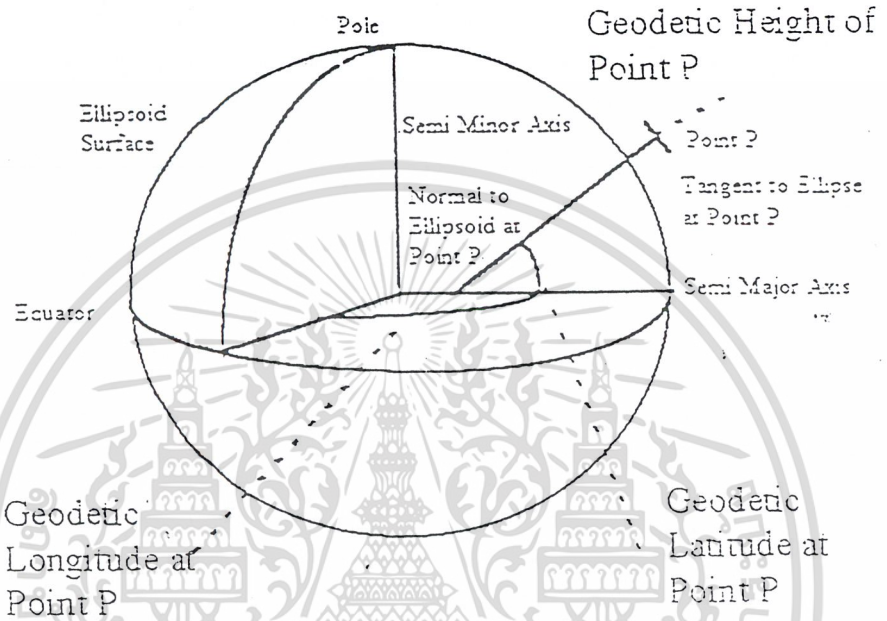
ถือเป็นระบบพิกัดที่ใช้ร่วมกันมากที่สุดในโลก โดยกำหนดให้ระนาบอ้างอิง ( Reference Plane ) ได้มาจาก ระนาบอีเควเตอร์ และไพรม์ เมอริเดียน ( Prime Meridian ) ที่วางตั้งฉากกันดังรูป 3.32 สามารถ จินตนาการได้ว่าเสมือนผลแตงโมที่วางอยู่ กับพื้นแล้วหันทางด้านขั้วของแตงโมขึ้นฟ้าจากนั้นให้นึกต่อว่า ที่กึ่งกลางลูกแตงโมมีเส้น ๆ หนึ่ง ลากยาวรอบรูปแตงโมโดยลากขนานกับพื้นที่แตงโมวางอยู่ เส้นนี้คือ เส้นอีเควเตอร์ ถ้าใช้มีดผ่าแตงโมตามแนวเส้นนี้ แล้วยกแตกโมครึ่งบนออก สิ่งที่มองเห็นคือเนื้อแตงโมที่เป็นผิววงกลมแบนราบ นั่นก็คือระนาบของอีเควเตอร์นั่นเอง ทำนองเดียวกันถ้าเราผ่าแตงโมในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของอิเควเตอร์ ระนาบที่ได้เรียกเป็นระนาบของ ไพรม์ เมอริเดียน




รูปที่ 3.32 แสดงถึงกำหนดเส้นไพรม์ เมอริเดียนและเส้นอีเควเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

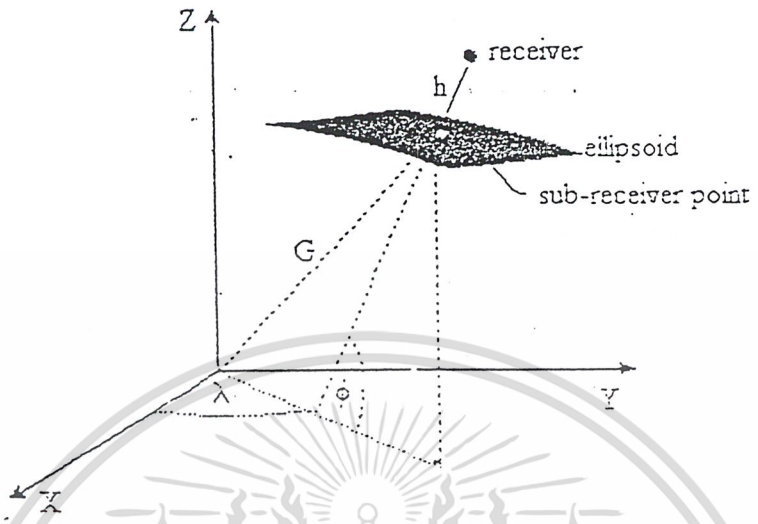
การกำหนดว่าจุด P มีค่าเป็นเท่าไดให้ดูจากตัวอย่างดังรูปที่ 3.33




รูปที่ 3.33 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองติจูด และ ความสูง

จากรูปที่แสดงไว้ สมมุติว่าเครื่องรับสัญญาณอยู่ที่จุด P เมื่อลากเส้นมาตั้งฉากกับเส้นสัมผัสกับพื้นผิวเอลลิพซอยด์ ( sub-receiver point ในรูปที่ 3.34 ) แล้วต่อเส้นนี้ไปตัดระนาบอีเควเตอร์มุมที่เกิดจากเส้นที่ลากมากับระนาบอีเควเตอร์เรียกว่า Geodetic Latitude และ ถ้าถือว่าเส้นที่ลากมาจากจุด P เป็นระนาบ ๆ หนึ่งที่ตั้งฉากกับระนาบอีเควเตอร์ มุมที่ระนาบ ๆ นี้กระทำกับระนาบอ้างไพรม์เมอริเดียน เรียก Geodetic Longtitude ส่วนความยาวของเส้น h เรียก Geodetic Height

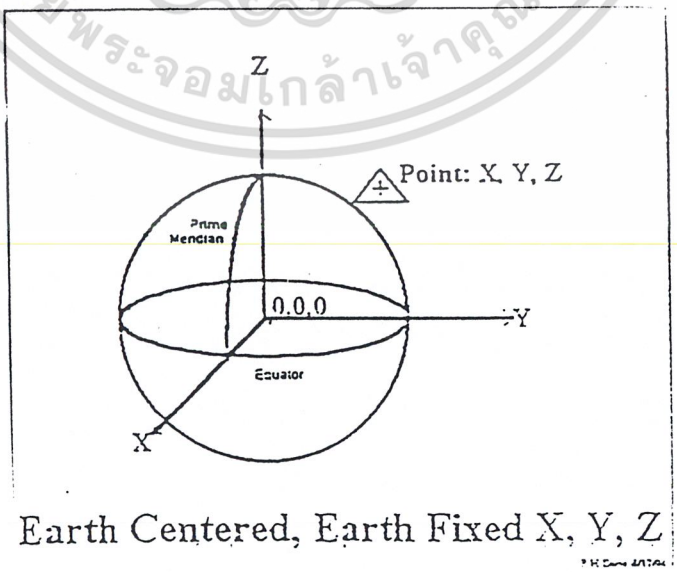
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.34 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองติจูด และความสูง

3.8.3.2 Earth Centered, Earth Fixed X,Y,Z

ระบบนี้เป็นการกำหนดพิกัดแบบสามมิติเช่นกัน โดยถือว่าจุดศูนย์กลางของโลกเป็นจุดศูนย์กลางของเอลลิพซอยด์ จากจุดนี้แกน Z จะชี้มายังขั้วโลกเหนือ ( ตามแนวแกนหมุนของโลก ) แกน X จะชี้มายังจุดตัดกันของเส้นไพรม์ เมอริเดียน กับ เส้นอีเควเตอร์ และแกน Y จะตั้งฉากกับแกน X ดังนั้นแต่ละจุดที่กำหนดขึ้นมาจะต้องมีองค์ประกอบของค่า X,Y,Z อยู่ด้วยเสมอ ระบบนี้จะใช้อ้างอิงในระบบจีพีเอส เป็นหลัก แล้วจึงทำการคำนวณจากค่า X,Y,Z มาเป็นค่า Latitude, Longtitude, Height ในภายหลัง




รูปที่ 3.35 แสดงระบบ ECEF X, Y, Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นทำให้เราทราบว่า จีพีเอส มีหลักการอย่างไรบ้างในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับ จีพีเอส ทราบว่าผลที่ได้ากการประมวลผลนั้นแสดงออกมาในรูป ละติจูด ลองติจูด ความสูง เวลา และอื่น ๆ

โครงงานการประยุกต์ใช้งาน จีพีเอส นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการทำโครงงาน จากการพบว่าเครื่องรับ จีพีเอส บางรุ่นนั้นสามารถที่จะนำข้อมูลต่าง ๆ ติดต่อระหว่างเครื่องรับด้วยกันและยังสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย ทำให้สามารถแสดงผลค่าละติดจูด ลองติจูด ความสูง เพียงอย่างเดียวเช่น การทำ Xar Navigation, การหาความเร็วและความเร่งจากการใช้ข้อมูลของเครื่องรับจีพีเอส การทำแผนที่ เป็นต้น

แต่การที่จะติดต่อระหว่างเครื่องรับ จีพีเอส กับคอมพิวเตอร์ได้นั้น ทั้งเครื่องรับ จีพีเอส และคอมพิวเตอร์นั้นต้อง ใช้ Protocal เดียวกัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนา Protocal มาตรฐานสำหรับการติดต่อสื่อสารในระบบนำร่อง ผลที่วัดได้คือ NMEA 0180 โดย NMEA ย่อมาจาก National Marine Electronics Association เป็นหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานนี้ขึ้นโดยได้กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูล ละติจูด ลองติจูด กำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูล และข้อมูลอื่น ๆ ในการนำร่อง ต่อมาได้มีการแก้ไข NMEA 0180 ใหม่ ให้มีประโยชน์และใช้ได้อย่างกว้างขวางขึ้น นั่นก็คือ มาตรฐาน NMEA 0183 ที่ได้ใช้กับอุปรณ์ทั้งหมดในปัจจุบันนี้

มาตรฐาน NMEA 0183 เป็นชื่อเรียกสำหรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลในรูปแบบ Statement ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบซึ่งจะกล่าวต่อไป

พารามิเตอร์ของ NMEA 0183

- ในการส่งข้อมูล 1 byte จะประกอบไปด้วย 7 บิท ASCII ใน 8 บิท โดย MSB จะเป็น 0
- มี start bit และ stop bit
- ไม่มี parity bit
- มี Baud rate = 4800 bps

ภาษาของ NMEA 0183 ถึงแม้จะมีมากแต่ก็ยากที่จะเข้าใจ โดยแต่ละประโยคจะเริ่มต้นด้วย S และสิ้นสุดด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่ <CR> <LF> ในแต่ละประโยคมีความยาวได้มากที่สุด 80 ตัวอักษร ระหว่างเริ่มต้นและสิ้นสุดของประโยคเป็นข้อมูล ( field of date ) แต่ละข้อมูลจะถูกแยกจากกันด้วยเครื่องหมาย “,”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลชุดแรกของทุก ๆ ประโยค ( field 0 ) เริ่มด้วย 2 ตัวอักษรที่แสดงถึงอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลมา ( talker ) ตามด้วย 3 ตัวอักษรที่แสดงว่าใช้รูปแบบประโยคและตามด้วยข้อมูลที่ต่างกันไปตามรูปแบบประโยค

ตัวอย่างของ 2 ตัวอักษรที่แสดงถึง อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลมา

LC Loran-C

GP GPS

TR Transit SATNAV

AP Autopilot

HC Magnetic Heading Compass

RA Rader

3.9.1 รูปแบบประโยคตามมาตรฐานพอสังเขป

GLL - Geographic Position , Latitude/Longtitude

แสดงตำแหน่งของละติจูด ลองติจูด และเวลา

$-GLL,lll.ll,a,yyy-yy,b,hhmmss.ss

lll.ll = ตำแหน่งละติจูด latitude of position

a = N or S

yyy.yy = ตำแหน่งลองติจูด Longtitude of position

b = E or W

hhmmss= ตำแหน่งของ UTC ( UTC of position )

GGA - Global Position System Fix Data

แสดงเวลา ตำแหน่งและข้อมุลคงที่ต่าง ๆ สำหรับเครื่องรับจีพีเอส

$-GGA,hhmmss.ss.lll.ll,a,yyy-yy,b,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx

lll.ll = ตำแหน่งละติจูด latitude of position

a = N or S

yyy.yy = ตำแหน่งลองติจูด Longtitude of position

b = E or W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hhmmss= ตำแหน่งของ UTC ( UTC of position )

x = ชี้บ่งบอกคุณภาพของ GPS ( 0 = no fix, 1 = GPS fix, 2 = Dif.GPS fix )

xx = จำนวนของดาวเทียมที่ใช้

x.x = ความเที่ยงตรงในแนวนอน

x.x = ระยะความสูงของสายอากาศเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

M = หน่วยความสูงของสายอากาศ ( เมตร )

x.x = Geoidal separation

M = หน่วยของ Geoidal separation

x.x = อายุของข้อมูลดิฟเฟอเรนเชียล จีพีเอส ( วินาที )

xxxx = address ของดิฟเฟอเรนเชียล จีพีเอส

STN - Multiple Data ID

ประโยคจะถูกส่งก่อนประโยคอื่น ๆ ที่เครื่องรับต้องการเพื่อกำหนดแหล่งที่ถูกต้องของข้อมูลในระบบ

$-STN , xx

xx = address ของเครื่องที่ส่งข้อมูลมา

TRF - TRANSIT Fix Data

แสดงเวลา, วัน, ตำแหน่ง และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินทาง

$-TRF , hhmmss.ss, xxxxxx, lll.ll, a, yyy.yy, b, x.x, x.x, x.x, x.x, x.x

lll.ll = ตำแหน่งละติจูด latitude of position

a = N or S

yyy.yy = ตำแหน่งลองติจูด Longtitude of position

b = E or W

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC ( UTC of position )

xxxxxx = Date : dd/mm/yy

x.x = มุมเงย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x.x = จำนวนของการย้ำ

x.x = Number of Doppler intervals

x.x = ระยะทางที่ทันสมัย ( Update distance )

x.x = address ของดาวเทียม

VRW - Dual Ground / water speed

แสดงข้อมูลความเร็วของคลื่น และความเร็วพื้นฐาน

$-VBM ,x.x, x.x, A, x.x, x.x, A

x.x = longitudinal water speed ( knots )

x.x = Transvers water speed ( knots )

A = Status: Water speed

x.x = Longitudinal ground speed ( knots )

x.x = Transverse ground speed ( knots )

A = status: ground speed

ZDA - Time & Date

แสดงเวลา UTC , วัน, เดือน, ปี และเวลาท้องถิ่นในแต่ละเขต

$-ZDA, hhmmss.ss, xx, xx, xxxx, xx, xx

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC

xx = วัน,01 ถึง 31

xx = เดือน, 01 ถึง 12

xxxx = ปี

xx = เวลาเขตท้องถิ่น, 00 ถึง +/- 13 ชั่วโมง

xx = เวลาเขตท้องถิ่น, นาที

VTG - Trac Made Good and Ground Speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงเส้นทางที่เป็นจริงและความเร็วที่สัมพันธ์กับพื้น

$-VTG, x.x, T, x.x, M, x.x, N, x.x, K

x.x, T = Track ( degrees True )

x.x, M = Track ( degrees Magnetic )

x.x, N = speed ( knots )

x.x, K = speed ( Km/hr )

รูปแบบของประโยคที่ได้กล่าวมานี้เป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้มีเพียง GGA, GLL, ZDA เป็นต้น ในเครื่องรับแต่ละยี่ห้อ แต่ละรุ่นก็มี output เป็นรูปแบบประโยคที่แตกต่างกันออกไปซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ตัวอย่างรูปแบบประโยคของ NMEA 0183

field #: 0 1 2 3 4

sentence: $ GPGLL, 4001.74, N, 07409.43, W <CR> <LF>

ประโยคเริ่มต้นด้วย $ ตามด้วย 2 ตัวอักษรที่แสดงถึงเครื่องที่ส่งข้อมูลในที่นี้คือ จีพีเอส ( GP ) และตามด้วยรหัสรูปแบบของประโยค GLL ที่แสดงตำแหน่งละติจูด ลองติจูด

ใน Field 1 แสดงละติจูด

Field 2 แสดงว่าเหนือหรือใต้

Field 3 แสดงลองติจูด

Field 4 แสดงว่าตะวันออกหรือตะวันตก

จากตัวอย่างสามารถอ่านได้ว่า " จีพีเอสแสดงตำแหน่งในละติจูด / ลองติจูด: 40 องศา 1.74 ลิปดา เหนือ, 74 องศา 9.43 ลิปดา ตะวันตก " และสิ้นสุดประโยคด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่

รูปแบบประโยคของเครื่องรับแต่ละกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| เครื่องรับ | เอาท์พุท |
|---|---|
| Eagle Explorer Ver 1.1, 1.2 ,1.3 | APB, GLL, RMC, RMB |
| And Eagle AccuNav | |
| Eagle Explorer Ver1.4 | APB, GGA, GLL, GSA, GSV, RMC |
| Garmin- 45 ( XL ) and Garmin GPS-II Plus | BOD, GGA, GLL, GSA, GSV, RMC,RMB, RTE, WPL |
| Garmin- 12XL Ver3.02 | GGA, GSA, GSV, RMC, RMB, RTE, WPL |
| Lowrance Global Map sport | APB, GGA, GLL, GSA, GSV, RMC |
| Magelian 4000 | APA, GLL, BWC, GGA, APB, VTG |

จากข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถทราบว่าเครื่องรับที่มีอยู่นั้นให้ output อะไรบ้าง ทำให้สามารถเลือกประโยคให้เหมาะสมกับที่ต้องการนำไปประยุกต์ใช้

3.9.2 อุปกรณ์ที่ใช้ปรกอบในการติดต่อสื่อสาร

เมื่อมีเครื่องรับ GPS อยู่แล้วต้องการตดต่อกับ computer ต้องใช้สายอนุกรม RS-232 ในเครื่องรับบางรุ่น บางยี่ห้อ จะต้องใช้สายเฉพาะของเครื่องรับนั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการออกแบบเครื่องรับที่แตกต่างกันเรียกว่าสาย DB-9

ลักษณะของ DB-9

pin 1 nc

pin 2 Rx receive data

pin 3 Tx transmit data

pin 4 DTR data terminal ready

pin 5 GND signal ground

pin 6 nc

pin 7 nc

pin 8 nc

pin 9 RI ring indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำการติดต่อโดยรับข้อมูลจากเครื่องรับมายัง computer ทำได้โดย

- สายสัญญาณ NMEA ต่อกับ RS-232 สาย " receive data " ( ขาที่ 2 ของ RS-232 แบบ 9 ขา หรือ ขาที่ 3 ของ RS-232 แบบ 25 ขา )
- สาย ground ของ NMEA ต่อกับสายกราวน์ของ RS-232 ( ขาที่ 5 ของ RS-232 แบบ 9 ขา หรือขา ที่ 7 ของ RS-232 แบบ 25 ขา

การทำการติดต่อโดยการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องรับ

- สายสัญญาณ NMEA ต่อกับ RS-232 สาย " transmit data " ( ขาที่ 3 ของ RS-232 แบบ 9 ขา หรือ ขาที่ 2 ของ RS-232 แบบ 25 ขา )
- สาย ground NMEA ต่อกับสาย ground ของ RS-232 ( ขาที่ 5 ของ RS-232 แบบ 9 ขา หรือ ขาที่ 7 ของ RS-232 แบบ 25 ขา )
- อาจนำสาย RS-232 " data set ready " ( DSR ขาที่ 3 ของ RS-232 แบบ 9 ขา ) เชื่อมกับ "data terminal ready" ( DTR ขาที่ 4 ของ RS-232 แบบ 9 ขา หรือ ขาที่ 20 ของ RS-232 แบบ 25 ขา ) เพื่อให้ DSR อยู่ในสถานะแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ทฤษฎี

## 4.1 เข็มทิศ อิเล็กทรอนิกส์ ( The Vector 2X Compass Module )

เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์นี้เป็น เข็มทิศ 2 แกน ที่ราคาถูกโดยใช้เทคโนโลยีของการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า Vector 2X นี้มีความถูกต้องแม่นยำสูง,ใช้พลังงานต่ำและราคาถูกในขนาดที่เล็กกะทัดรัด

### 4.1.1 ข้อมูลทั่วไปของ Vector 2X

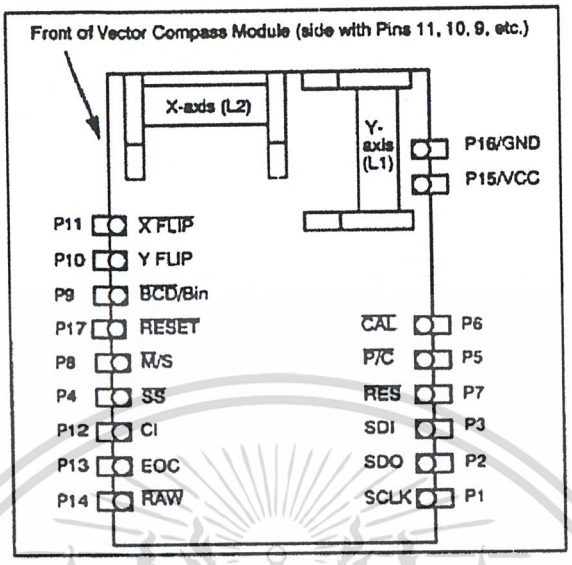
- ความแม่นยำ 2 องศา และความแน่วแน่ 1 องศา
- ขนาดเล็กกะทัดรัด 1.50x1.30x0.39 ลูกบาศก์นิ้ว 0.3 ปอนด์
- ใช้กำลังไฟต่ำ เพียง 5 Volts กระแสน้อยกว่า 10 mA
- แรงดันไฟฟ้าด้านinput รวมทุกport -0.3 ถึง $V_{dd}$ + 0.3 V
- แรงดันไฟฟ้าด้านoutput รวมทุกport -0.3 ถึง $V_{dd}$ +0.3 V
- Port output สามารถจ่ายและรับได้ 5 mA

### 4.1.2 ลักษณะต่างๆของ Vector 2X

#### 4.1.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

รูปที่ 1 และ ตารางที่ 1 แสดงตำแหน่งขาต่างๆของ vector 2X ซึ่งใช้ port ขนานในการสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆโดยข้อมูลทาง output สามารถเลือกได้ว่าจะให้ออกมาเป็น BCD หรือ Binary และ ข้อมูล output แบบขนาน(SDO)เป็น tri-stated เมื่อไม่ได้เลือกใน Slave Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 1 Vector 2X Board Layout

| PIN | NAME | DESCRIPTION | INPUT / OUTPUT |
|---|---|---|---|
| P1 | SCLK | Serial Clock Input ; ข้อมูลขึ้นกับขอบขาขึ้น | INPUT / OUTPUT |
| P2 | SDO | Serial Data Output | OUTPUT |
| P3 | SDI | Serial Data Input | ไม่ต่อ |
| P4 | SS | Slave Select ; Active Low | INPUT |
| P5 | P/C | Poll/Continuous ; Active when Low | INPUT |
| P6 | CAL | Calibrate Select ; Active when Low | INPUT |
| P7 | RES | Resolution ; Low resolution when Low | INPUT |
| P8 | M/S | Master/Slave Select ; Mater when Low | INPUT |
| P9 | BCD/Bin | BCD/Bin Select ; BCD when Low | INPUT |
| P10 | Y FLIP | Flip Y-axis direction ; Low = Normal | INPUT |
| P11 | X FLIP | Flip X-axis direction ; High = Normal | INPUT |
| P12 | CI | Calibrateindicator signal ; Active High | OUTPUT |
| P13 | EOC | End of Conversion signal ; เสร็จที่ขอบ | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | ขาขึ้น | OUTPUT |
|---|---|---|---|
| P14 | RAW | RAW data mode Select ; Active Low | INPUT |
| P15 | VCC | 5 Volt power input | |
| P16 | GND | Power Supply Ground | |
| P17 | RESET | RESET ; Active Low | INPUT |

ตารางที่ 1 Function ของ Vector 2X

ขา X FLIP และ Y FILP ใช้ในการกลับค่าทิศทางในแนวแกน X และ Y เป็น 180 องศา โดย X FLIP กลับทิศทางเหนือ-ใต้ ส่วน Y FLIP กลับทิศทาง ตะวันออก-ตะวันตก ในmodeปกติ X FLIP = 1 และ Y FLIP = 0

ขา RES ปกติจะลง ground นอกเสียจากว่า output มีความแม่นยำจะสูงกว่า ซึ่งอยู่ใน Raw mode หรือในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กอ่อน ใน Master Mode และ Slave Mode โดยความแม่นยำสูงสุดทาง output 2.5 Hz และ ความแม่นยำต่ำสุดคือ 5 Hz

ขา P/C,CAL,RESET,SS จะต้องอยู่ในสภาวะ High เมื่อเปิดเครื่อง โดย 4 port นี้ มีความมาต้านทาน pull up ภายในอยู่ 100 kohm และ จะต้องต่อเข้ากับ port 2 ทิศทาง และVector 2X สามารถรีเซ็ตได้โดยใช้ขา RESET

Vector 2X ใน sleep mode จะใช้กระแสไฟฟ้าต่ำมาก น้อยกว่า 1mA ใน sleep mode และน้อยกว่า 10mA ใน mode ใช้งาน

#### 4.1.2.2 Mode ต่างๆ ของ Vector 2X

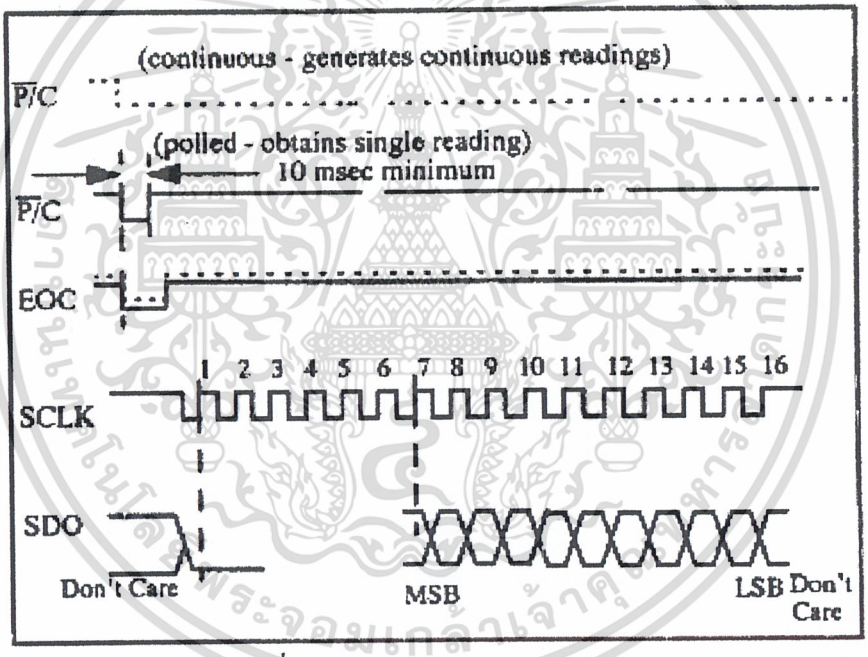
Vector 2X สามารถใช้ได้ 3 mode: Master mode , Slave mode และ RAW mode โดยอธิบายได้ดังนี้

**A). Master mode**

ใน mode นี้ Vector 2X จะส่ง สัญญาณนาฬิกาที่มีข้อมูลแบบขนาน โดยจะอนุญาติให้ Vector 2X ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ เช่น serial-to-parallel shift register โดยไม่ต้องใช้ processor เมื่อ ใช้งานใน Master mode ขา EOC จะมีขอบขาขึ้นเพื่อบ่งบอกว่าข้อมูล 16 bit ได้ถูกส่งแล้ว และ SDO จะไม่เป็น tri-state ใน mode นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2 แสดง diagram เวลา เมื่อ Vector 2X ถ้าจะใช้งานใน Master mode ขา M/S จะต้องมีสภาวะ ต่ำ เพื่อให้เป็น Master mode และขา SS ไม่ได้ถูกต่อ ขา P/C ต้องการข้อมูลจาก Vector 2X และ ขา EOC ใช้จำกัดขอบเขตข้อมูล โดยป้อน pulse ให้ขา P/C มีสภาวะ ต่ำอย่างน้อย 10 msec ให้เข็มทิศอ่านข้อมูล 1 ครั้ง ขา EOC นั้นเป็นขอบเขตของข้อมูลที่อ่านมาได้ โดยข้อมูลโดยประมาณมีความแม่นยำต่ำสุด 5 Hz สูงสุด 2.5 Hz ขา SCLK เป็น output ให้ Vector 2X ใน Master mode เป็น pulse 16 bit ขนาด 4 kHz ถ้า P/C มีสภาวะ ต่ำ ก็จะมีการอ่านข้อมูลใหม่อีกรอบ โดย 6 bit แรก จากขา SDO จะเป็น ศูนย์ ในทุก Bin และ BCD mode แต่ bit ต่อมา 1 bit ต่อจากนั้นจะเป็นศูนย์ ที่ Bin mode




รูปที่ 2 Vector 2X ใน Master mode

**B). Slave mode**

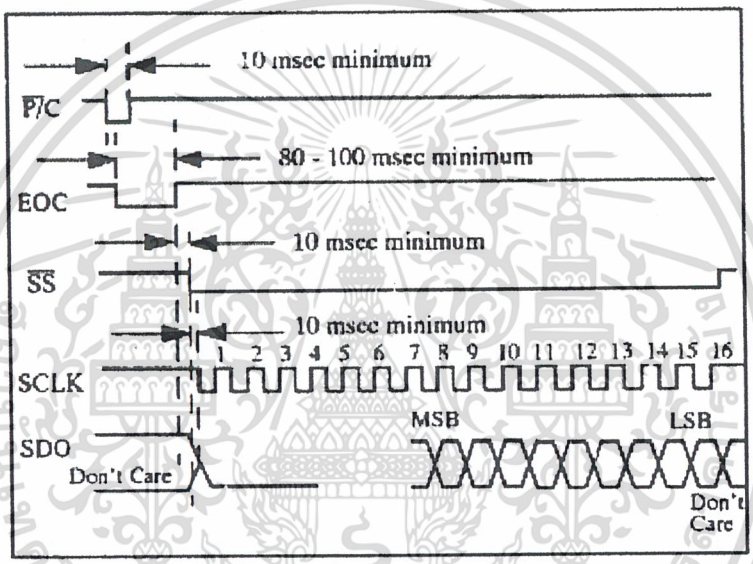
Vector 2X ใน Slave mode สามารถทำได้โดย ให้ขา M/S เปิดวงจรหรือ อยู่ในสภาวะ สูง ใน Slave mode นี้สามารถนำไปต่อ port ขนาน กับอุปกรณ์ตัวอื่นได้ ขา SDO เป็น tri-state จนกระทั่งเมื่อต้องการข้อมูลจะทำให้ ขา SS เป็นสภาวะ ต่ำในระหว่างที่มีการอ่านข้อมูล ขา EOC อยู่ในสภาวะขอบขาขึ้นเพื่อแจ้งว่า Vector 2X ได้ทำการคำนวณเสร็จเรียบร้อยแล้ว

จากรูปที่ 3 เป็นdiagram เวลาของ Vector 2X ใน Slave mode โดยขา SCLK เป็น input ซึ่งต้องใช้ processor เพื่อนำข้อมูลออกที่ขา SDO โดยความถี่สูงสุดที่เป็นไปได้ 1 MHz โดย clock 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bit จะต้องป้อนเข้าที่ขา SCLK เพื่อที่จะได้ข้อมูลออกมา แต่ข้อมูลยังคงอยู่ใน Vector 2X เมื่อขา P/C ในสภาวะ ต่ำ ใน Slave mode

output ออกมา 1 ครั้งจนกว่าจะมี clk มาอีก ความกว้างของ pulse ที่ขา P/C 10 msec เวลาระหว่างขอบขึ้นของขา EOC และ ขอบขาลงของขา SS ควรจะมากกว่า 10 msec ข้อมูล output จะขึ้นกับขอบขาลงของขา SCLK และขอบขาขึ้นของแต่ละ pulse จากขา SCLK โดย FSB จะเป็น ศูนย์ ที่ Bin mode

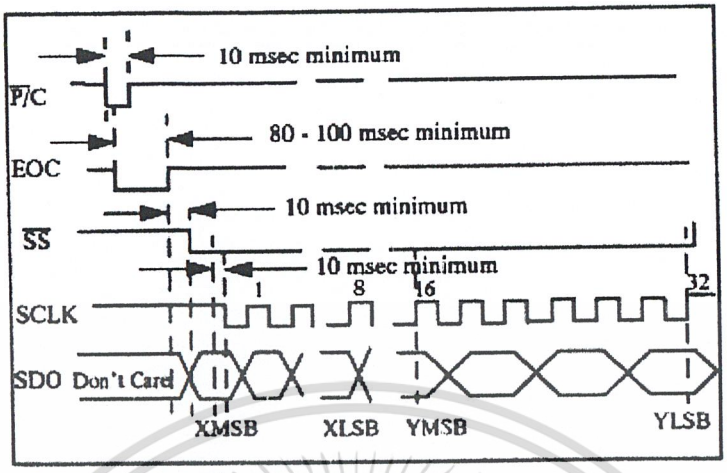



รูปที่ 3 Vector 2X ใน Slave mode

4.3 **RAW mode**

ข้อมูลแบบ RAW มีได้ใน Slave mode แต่ไม่มีใน Master mode ขา SCLK เป็น input ของ RAW mode ในรูปที่ 4 แสดง diagram เวลา ของ RAW mode ขา M/S จะต้องเปิดวงจร หรือไม่ก็อยู่ในสภาวะ สูง และ ขา RAW จะต้องอยู่ในสภาวะ ต่ำข้อมูลที่ได้จะอยู่ใน Bin mode เท่านั้น มีอยู่ด้วยกัน 4 byte ( 32 bit ) output ที่ได้เป็นตัวเลข 16 bit โดยที่ 2 byte แรกจะได้เลข binary ของ X-axis และ 2 byte ต่อมา ได้เลข binary ของ Y-axis ค่าทั้ง16 bit สำหรับ X-axis และ Y-axis ไม่ได้มาจาก สเกลแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4 Vector 2X ใน RAW mode

**4.1.3 รูปแบบของ output จาก Vector 2X**

Vector 2X เป็น อุปกรณ์ใช้สื่อสารในลักษณะ port ขนานโดย output สามารถออกมาได้เป็น 3 รูปแบบคือ

1 ) BCD ( Binary coded decimal )

2 ) Binary เลขฐาน 2

3 ) RAW output

โดยที่ 6 bit แรกเป็น 0 สำหรับ mode BCD และ 7 bit แรกเป็น 0 สำหรับ mode Bin หลังจากนั้น bit ต่อมาเรียก most significant bit (MSB) ส่วน bit สุดท้ายเรียก least significant bit (LSB)

ตัวอย่าง 359 องศา

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BCD bit เป็น | 000000 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 แปลงค่าได้เป็น |
| | | 200 | 100 | 80 | 40 | 20 | 10 | 8 | 4 | 2 | 1 |
| | | MSB | | | | | | | | LSB | |
| และ | | 200 | +100 | | +40 | | +10 | +8 | | +1 | = 359 องศา |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Binary bit เป็น | 000000 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | 256 | 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | |
| | MSB | | | | | | LSB | | | |
| และ | 256 | | +64 | +32 | | +4 | +2 | +1 | = | 359 องศา |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง

## การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง

โดยความสามารถพื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์แล้วไม่สามารถนำไปขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูงโดยตรงได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านความสามารถในการจ่ายกระแส ดังนั้นถ้าต้องการนำเอาต์พุตของไมโครโปรเซสเซอร์ไปขับอุปกรณ์ภายนอกจะต้องมีวงจรบัฟเฟอร์ทำหน้าที่จ่ายกระแสให้เพียงพอแก่ความต้องการของอุปกรณ์เอาต์พุตนั้น อย่างไรก็ตามในส่วนของวงจรบัฟเฟอร์นั้นก็มีขีดความสามารถในการจ่ายกระแสได้ระดับหนึ่งเท่านั้น กรณีที่ต้องการจ่ายพลังงานสูงจะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสสูงโดยเฉพาะ เรียกอุปกรณ์เหล่านี้ว่า อุปกรณ์ขับ หรือ ไดรเวอร์ (driver) ซึ่งในที่นี้นำมาอธิบายทั้งสิ้น 3 รูปแบบคือ ใช้ทรานซิสเตอร์ขับ ใช้ไอซีขับ และ ใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสงหรือออปโต้คัปเปอร์ (opto-coupler) สำหรับโหลดที่ต้องการกระแสสูงมากๆ ทำให้ต้องมีการแยกระบบกราวด์ของระบบไมโครโปรเซสเซอร์ออกจากวงจรเอาต์พุต เพื่อลดสัญญาณรบกวนและเพื่อป้องกันการย้อนกลับของแรงดันและกระแสสูงที่อาจเข้ามาทำความเสียหายแก่ไมโครโปรเซสเซอร์

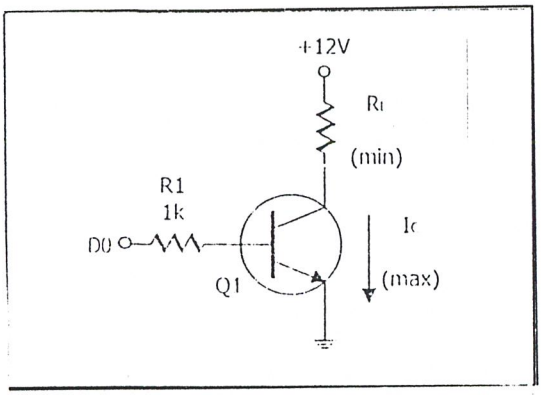
## การใช้ทรานซิสเตอร์ขับ

มีด้วยกัน 3 รูปแบบคือ ใช้ขับแบบเดี่ยว แบบคาสเคด และ แบบดาร์ลิงตัน

### การใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบเดี่ยว

การขับโดยวิธีนี้เหมาะสมกับโหลดที่มีความต้องการกระแสปานกลาง ตั้งแต่ 30-200 mA เช่น รีเลย์ กำลังต่ำไปจนถึงปานกลางที่มีค่าความต้านทานของขดลวดภายในรีเลย์ไม่ต่ำกว่า 100 $\Omega$ หลอดไฟกำลังต่ำ และ มอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็ก ดังรูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



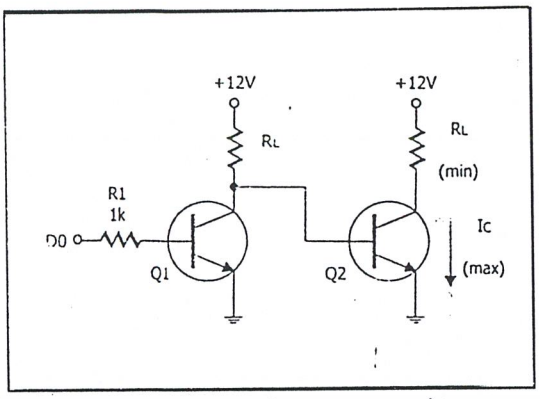

รูปที่ 5.1 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียว

ในรูปที่ 5.1 เป็นการต่อทรานซิสเตอร์เข้ากับขาพอร์ต Data bit D0 โดยมีตัวต้านทาน $R_1$ ทำหน้าที่จำกัดกระแสที่ไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ $Q_1$ ซึ่งจะทำงานก็ต่อเมื่อ D0 มีสถานะเป็น 1 เมื่อ $Q_1$ ทำงาน ก็จะเกิดกระแสไหลผ่าน $R_L$ ซึ่งเป็นโหลดต่ออยู่ทางเอาต์พุตที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ $Q_1$ กระแสโหลดสูงสุด ( $I_{Lmax}$ ) มีค่าเท่ากับ $V_{cc}/ R_L$ แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่ควรที่จะออกแบบให้ทรานซิสเตอร์ทำงานถึงพิกัดสูงสุด ย่านปลอดภัยของทรานซิสเตอร์ควรอยู่ไม่เกินครึ่งหนึ่งของอัตราการทนได้สูงสุด

**การใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบคาสเคด**

เนื่องจากข้อจำกัดของทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กทำให้ไม่สามารถขับโหลดที่ต้องการกระแสสูงได้จึงต้องใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีอัตราทนกระแสคอลเล็กเตอร์ที่สูงขึ้นมาใช้ขับ แต่ทรานซิสเตอร์ที่สามารถขับโหลดกำลังปานกลางไปจนถึงกำลังสูง จะมีความเร็วในการทำงานช้ากว่าทรานซิสเตอร์กำลังต่ำ ในระบบที่ต้องการความเร็วในการทำงานมากเมื่อต้องการขับโหลดกำลังปานกลางหรือสูงจึงต้องใช้การขับแบบคาสเคด ดังแสดงวงจรในรูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

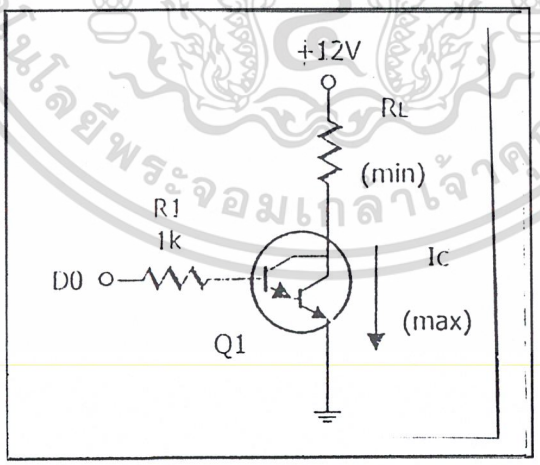



รูปที่ 5.2 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันแบบคาสเคด

จากวงจรเมื่อทรานซิสเตอร์ $Q_1$ ทำงานด้วยการป้อนลอจิก 1 ออกทางพอร์ต Data bit D0 จะเกิดกระแสไหลผ่าน $R_{L1}$ เข้าไปยังทรานซิสเตอร์ $Q_2$ เพื่อกระตุ้นให้ $Q_2$ ทำงาน เกิดกระแสไหลผ่านโหลด $R_{L2}$ ทำให้สามารถนำไปใช้ขับอุปกรณ์กำลังปานกลางได้

**การใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันขับโหลดกระแสสูง**

จากการใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันแบบคาสเคดเพื่อเพิ่มความสามารถในการขับกระแสให้สูงขึ้น นำมาสู่การใช้ทรานซิส เตอร์อีกแบบหนึ่งที่บรรจุทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อกันแบบดาร์ลังตันภายใต้ตัวถังเดียวกัน ทำให้สามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูงและมีความเร็วในการทำงานสูงด้วยโดยใช้อุปกรณ์เพียงตัวเดียวส่งผลให้ขนาดของวงจรเล็กลง ดังแสดงวงจรตามรูปที่ 5.3




รูปที่ 5.3 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน

จากวงจรทรานซิสเตอร์ $Q_1$ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันสามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูง ด้วยการต่อเข้ากับเอาต์พุตของไมโครโปรเซสเซอร์โดยผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแสเพียง

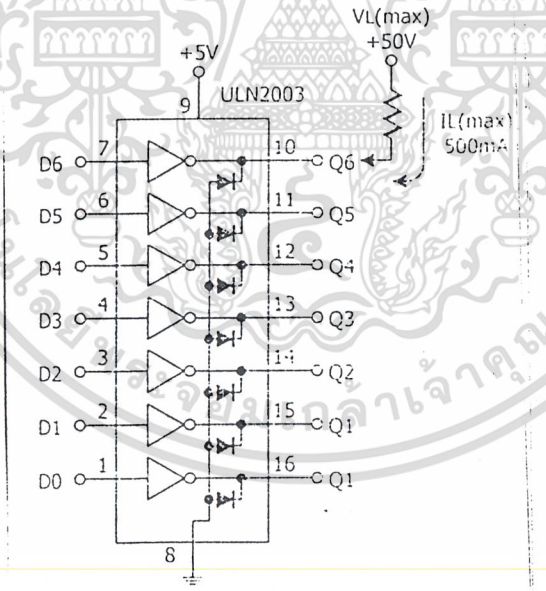
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเดียวและไม่ต้องต่อทรานซิสเตอร์แบบคาสเคด ทำให้มีความ เร็วในการทำงานสูง ตลอดจนยังสามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูงพอสมควร

**การใช้ไอซีขับ**

ไอซีที่ใช้ในการขับโหลดกระแสสูงมักจะมีวงจรทางเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด ทำให้สามารถใช้กับแรงดันไม่ต่ำกว่า 30 V ขึ้นอยู่กับไอซีในแต่ละเบอร์ สำหรับไอซีขับหรือไอซีไดรเวอร์ที่ยกมาอธิบายคือเบอร์ ULN2003 เป็นไอซีอินเวอร์ทเตอร์ภายในบรรจุอินเวอร์ทเตอร์เกต 7 ตัว สำหรับรายระเอียดของ ULN2003 มีดังนี้

ULN2003 มีรูปแบบการจัดขาและวางวงจรภายในแสดงดังรูปที่ 4-4 ภายใน ULN2003 บรรจุอินเวอร์ทเตอร์เกตแบบคอลเล็กเตอร์เปิด 7 ตัว สามารถใช้กับแรงดันได้สูงสุด +50 V กระแสเอาต์พุตสูงสุดในแต่ละขาเท่ากับ 500 mA ทั้งนี้ขึ้นอยู่กันความสามารถในการจ่ายกระแสของแหล่งจ่ายไฟด้วย นอกจากนั้นยังต่อไดโอดป้องกันแรงดันย้อนกลับจากอุปกรณ์เอาต์พุตที่มีโครงสร้างเป็นขดลวดไว้ที่ทุกขาเอาต์พุต ทำให้สามารถขับโหลดที่เป็นขดลวดได้ เช่น มอเตอร์




รูปที่ 5.4 การจัดขาของไอซีเบอร์ ULN2003

**การขับโหลดโดยใช้ออปโต้คัปเปอร์**

ในงานที่ต้องใช้พอร์ตเอาต์พุตขับกระแสสูงมากๆ หรือเป็นโหลดทางไฟสลับ หากใช้พอร์ตเอาต์พุตเข้าไปควบคุมโดยตรงอาจส่งผลให้ไมโครโปรเซสเซอร์เสียหายได้ เนื่องจากที่โหลดกำลังไฟฟ้าสูงนั้นเมื่อเริ่มต้นหรือสิ้นสุดการทำงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันและ

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

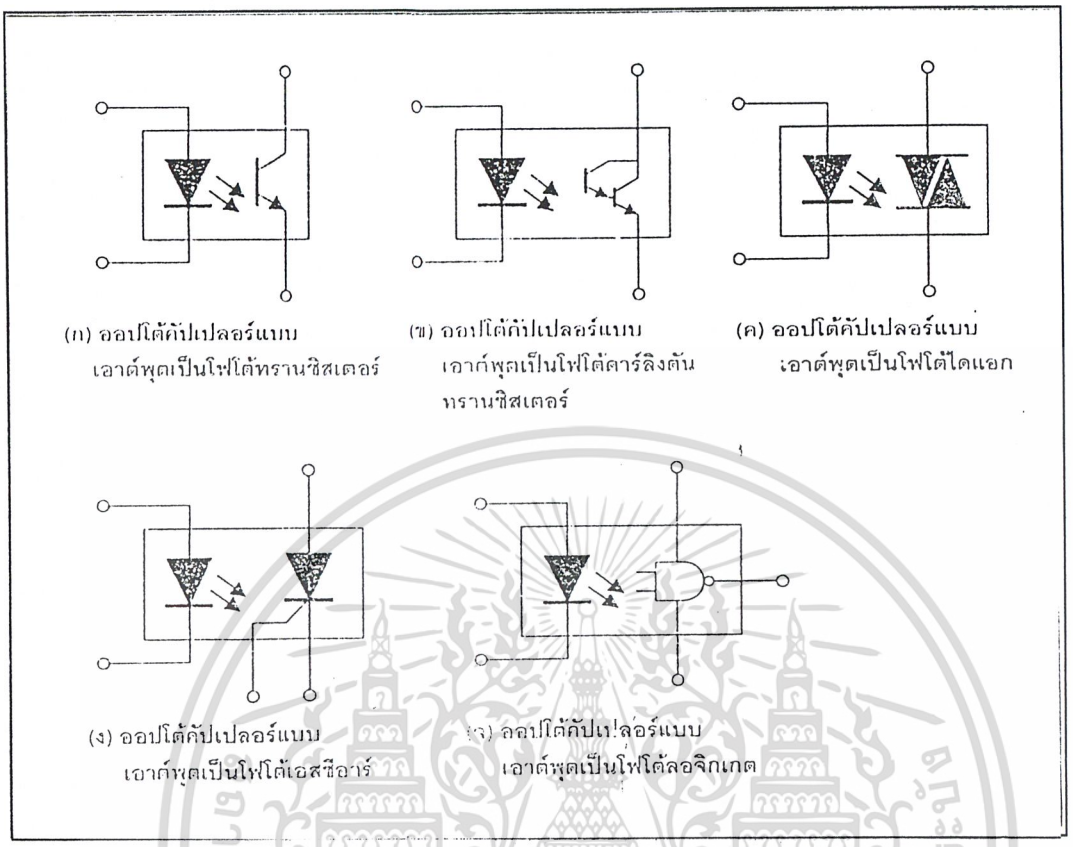
กระแสอย่างมากและรวดเร็ว ซึ่งอาจทำอันตรายต่อวงจรได้ ทำให้การขับโหลดเหล่านี้จึงต้องใช้อุปกรณ์ขับอีกแบบหนึ่งที่สามารถแยกระบบกราวด์ของแต่ละระบบออกจากกันได้ อุปกรณ์ขับตัวนี้คือ อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง หรือ ออปโตคัปเปอร์ (opto-coupler)

ออปโตคัปเปอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีการแบ่งส่วนอินพุตและเอาต์พุตออกจากกันทางไฟฟ้าอย่างสิ้นเชิง การถ่ายทอดสัญญาณระหว่างส่วนอินพุตและเอาต์พุตจะใช้การเชื่อมโยงทางแสงเท่านั้นทำให้กราวด์ของอินพุตและเอาต์พุตไม่เชื่อมต่อกัน ดันนั้นจึงสามารถกำหนดให้ทางอินพุตเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรทางเอาต์พุตเป็นวงจรกระแสสลับได้

ภาคอินพุตของออปโต้คัปเปอร์โดยส่วนใหญ่จะเป็น LED อินฟราเรดส่วนภาคเอาต์พุตจะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานเมื่อมีแสงมาตกกระทบ เช่น โฟโต้ทรานซิสเตอร์ โฟโต้ดาร์ลิงตัน โฟโต้ลอจิก และ โฟโต้ไดแอกหรือโฟโต้ไทริสเตอร์ ดังแสดงสัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปอร์แบบต่างๆ ในรูปที่ 5.5

การทำงานจะเริ่มต้นด้วยการจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้แก่ LED อินฟราเรดภายในออปโต้คัปเปอร์ เมื่อ LED นำกระแส ก็จะกำเนิดแสงอินฟราเรดส่องไปตกกระทบที่ขาเบสของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ ทำให้โฟโต้ทรานซิสเตอร์นำกระแสเกิดกระแสไหลผ่านจากขาคอลเล็กเตอร์ไปยังอิมิเตอร์ โดยแหล่งจ่ายแรงดันทางเอาต์พุตสามารถที่จะใช้แยกกับทางอินพุตได้อย่างอิสระ ไม่ต้องต่อกราวด์ถึงกัน จึงสามารถต่อกับแหล่งกำเนิดแรงดันสูงได้ โดยไม่มีการรบกวนกลับมาทางอินพุต และยังสามารถป้องกันการรบกวนจากอินพุตโดยผ่านทางสายกราวด์ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

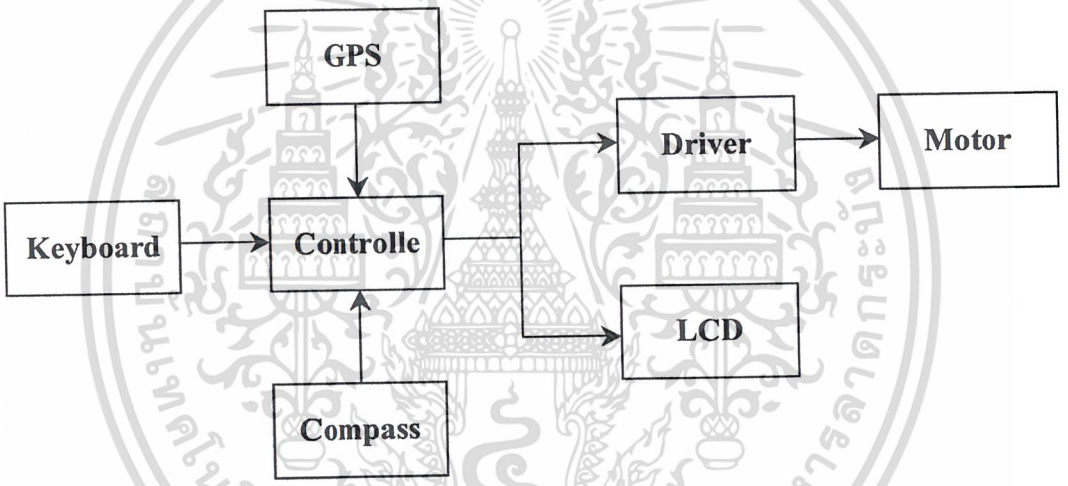



**รูปที่ 5.5 สัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปอร์ในแบบต่าง ๆ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
## การสร้างและการออกแบบ

การสร้างประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วน Hardware และ Software ส่วนของ Hardware จะประกอบด้วตัวรถและส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งตัวรถทำจากอลูมิเนียม ขับเคลื่อนด้วย DC MOTOR และสายพาน การสร้างต้องคำนึงถึงขนาดของมอเตอร์ที่ส่งกำลังขับออกมา ซึ่งได้มีการออกแบบเป็นส่วนๆ ดังนี้

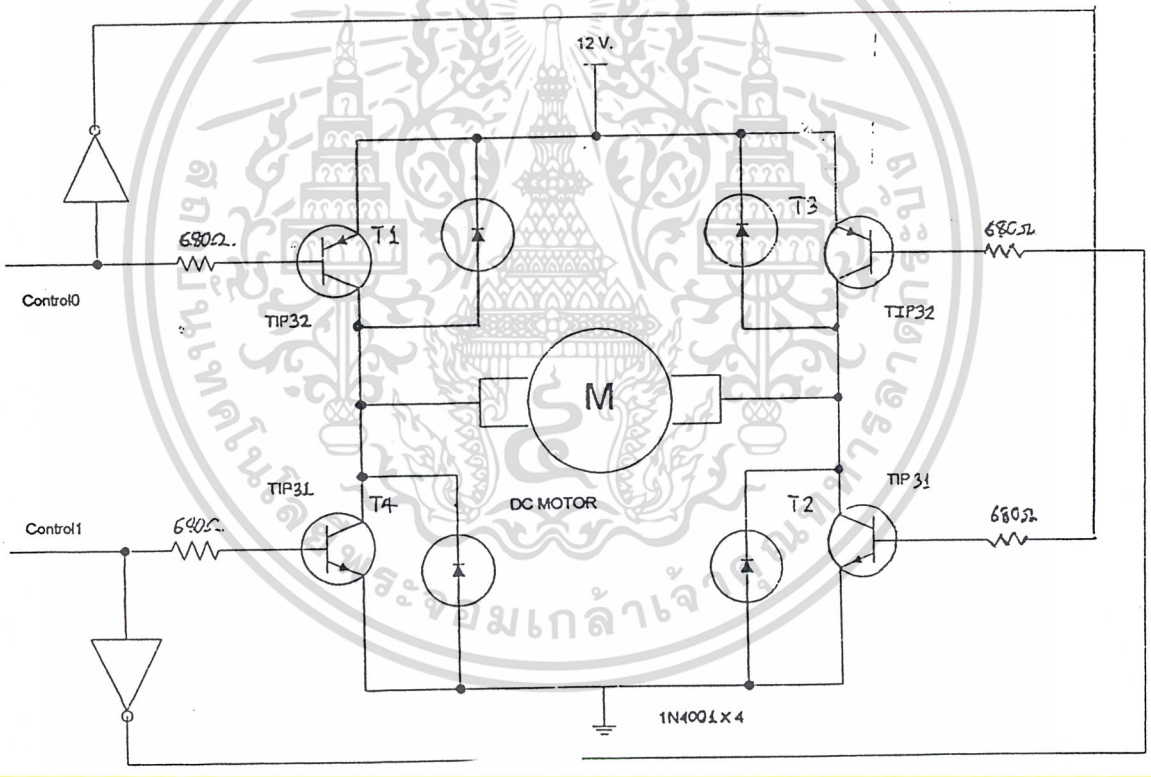



รูปที่ 6.1 แสดง Block Diagram ของรถสำรวจ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วงจรขับกำลังและควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง**

วงจรขับกำลังของมอเตอร์กระแสตรงนั้นมีอยู่หลายแบบ ส่วนแบบที่ใช้ในโครงงานนี้ จะเป็นวงจรขับกำลังแบบ H แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 จากวงจรนี้จะทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ทั้ง 2 ทิศทาง โดยการหมุนในแต่ละทิศทางต้องทำให้ ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นคู่ โดยให้ทรานซิสเตอร์ 1,2 ทำงาน และทรานซิสเตอร์ 3,4 ไม่ทำงาน จะทำให้มอเตอร์หมุนด้านหนึ่ง และถ้าให้ทรานซิสเตอร์ 3,4 ทำงาน และทรานซิสเตอร์ 1,2 ไม่ทำงาน จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับไปในอีกทิศทางหนึ่ง โดยจะต้องห้ามไม่ให้ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวทำงานพร้อมกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรทำให้วงจรเสียหายได้ ไดโอดทั้ง 4 ตัว ต่อไว้เพื่อให้กระแสรั่วไหลที่ค้างอยู่ในมอเตอร์ขณะที่หยุดทำงานสามารถแล้วไหลผ่านได้




รูปที่ 6.3 วงจรขับกำลังและควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**6.1.3.1 การออกแบบวงจรขับกำลังมอเตอร์กระแสตรงแบบ H**

มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 V. 1.625 A.

การเลือกทรานซิสเตอร์ใช้งาน ทรานซิสเตอร์ที่จะนำมาใช้มีลักษณะดังนี้

$|I_{C(max)}|$ มีค่าอย่างน้อย = I * 1.5 = 1.625 * 1.5 = 2.4375 A.

$|V_{CEO}| > V_{CC} * 1.5 = 24 * 1.5 = 36$ V.

เลือกใช้ทรานซิสเตอร์ MJE 2955 , MJE 3055 โดยที่

MJE 2955 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP มี $\beta = 20$

MJE 3055 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มี $\beta = 20$

ไดโอดที่นำมาใช้มีลักษณะคือ

เลือกไดโอดที่มีค่า Breakdown Voltage > $|V_{CEO}| = 36$ V.

จึงเลือกไดโอดเบอร์ 1N4001

ค่าความต้านทานมีลักษณะคือ

ต้องการกระแส 1.6 A.

$I_B = I_C / \beta = 1.6 / 20 = 80$ mA.

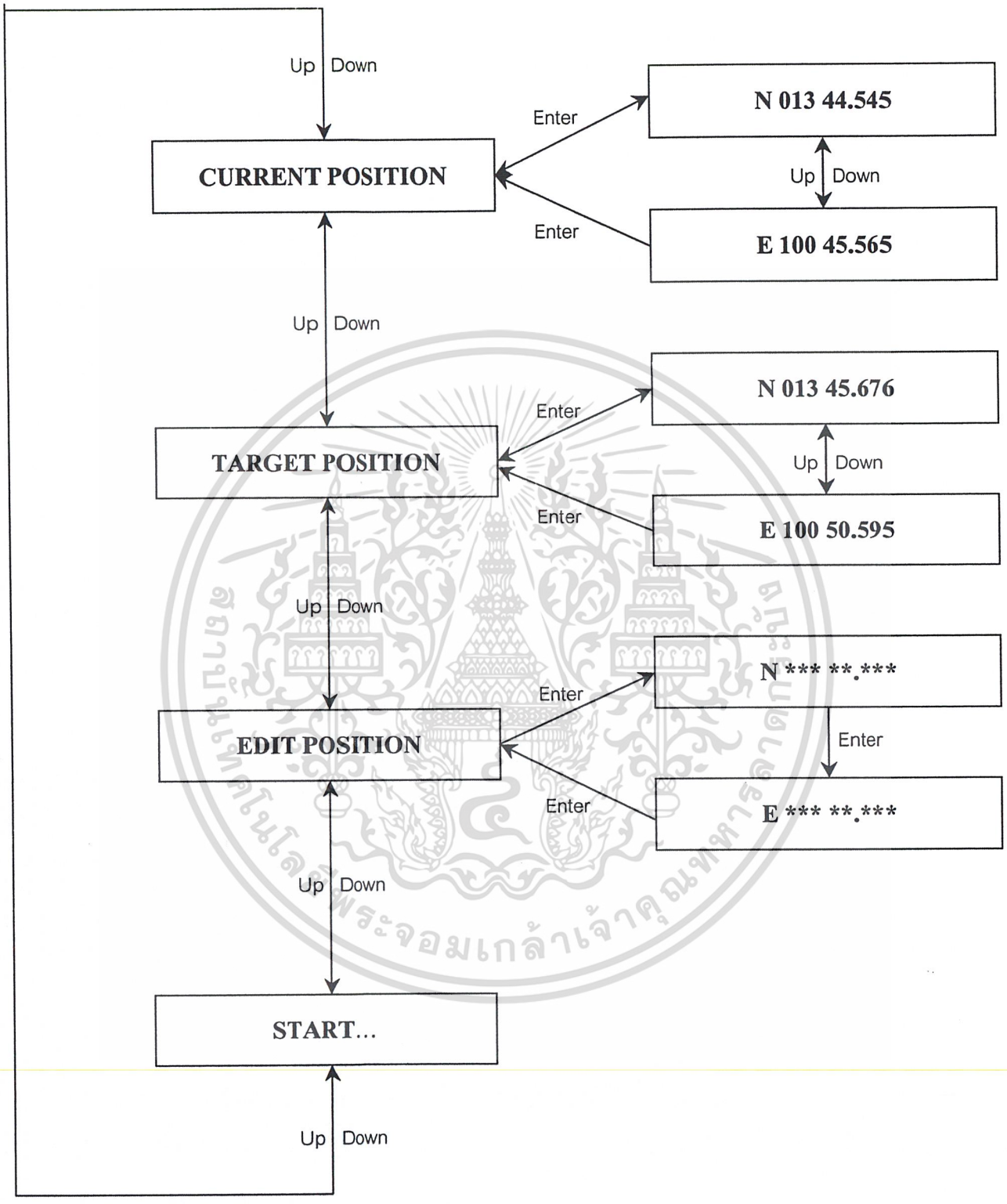
$R = (V_{CC} - V_{BE}) / I_B = (24 - 0.7)/0.080 = 291.25\ \Omega$

เลือกใช้ $R = 300\ \Omega$

จาก Power = $I_B^2 R = (0.08)^2 * 300 = 1.92$ W.

เลือกใช้ R ขนาด 5 W.

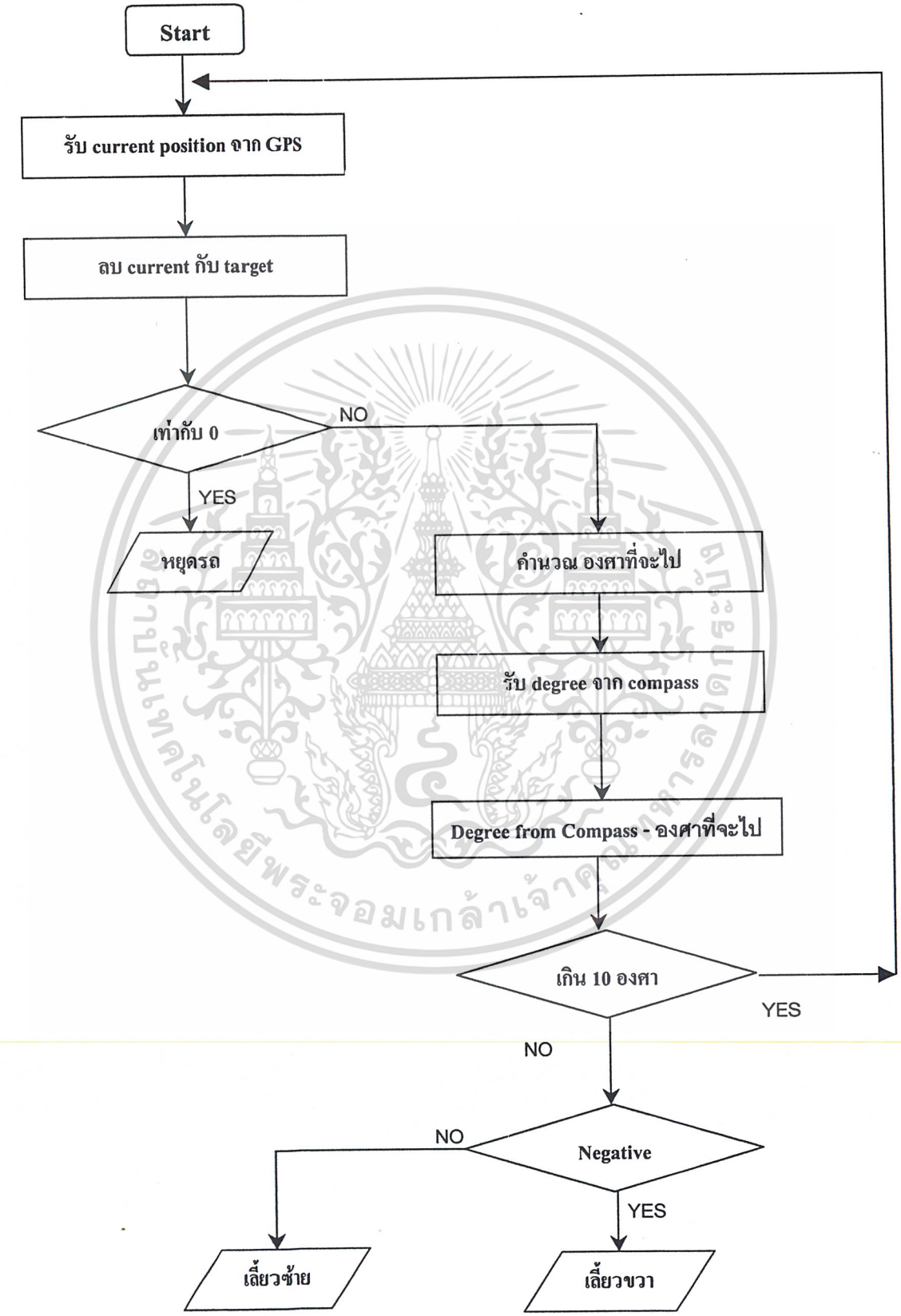
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.3 แสดง Menu-Keyboard ของรถ GPS

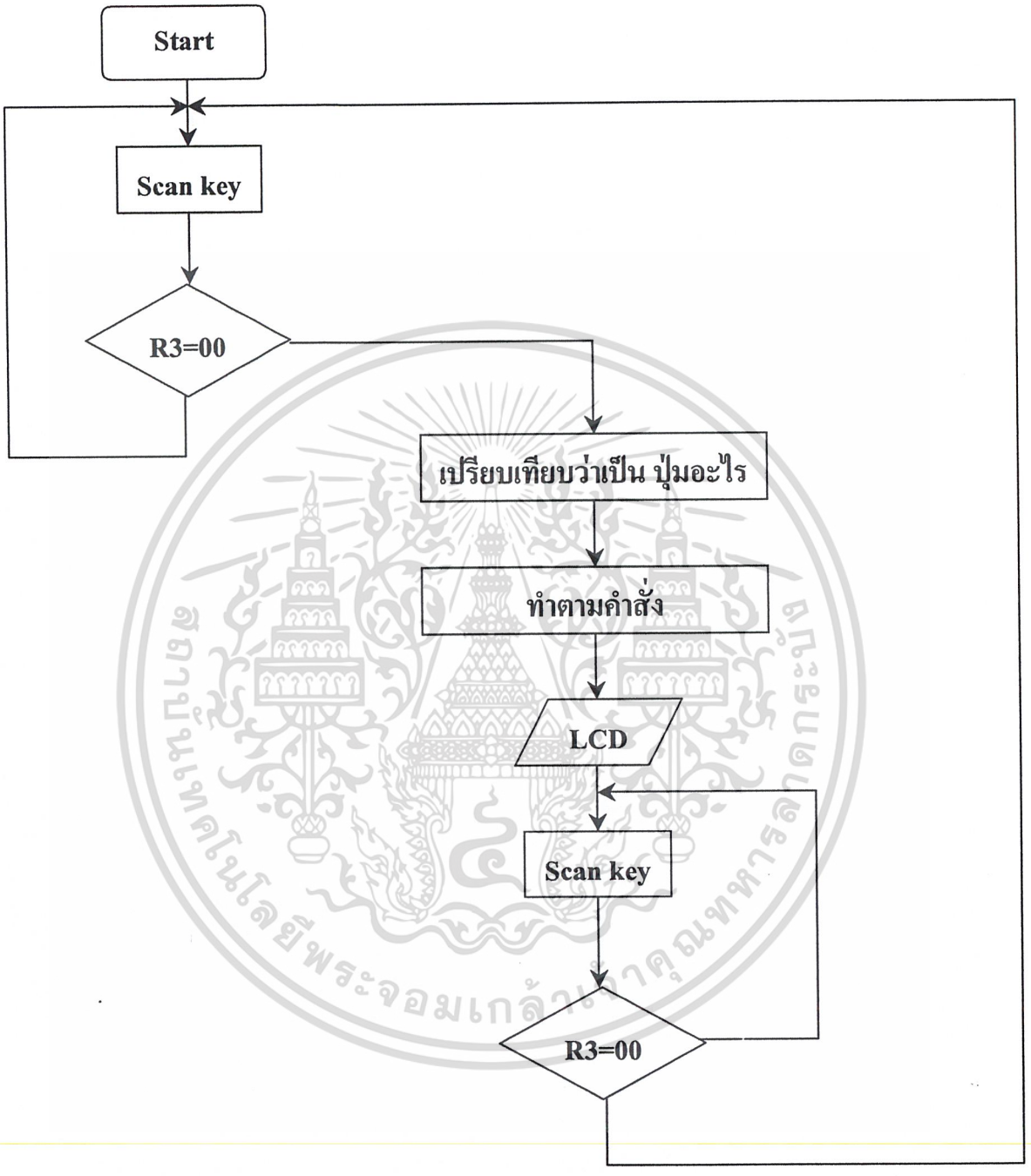
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์



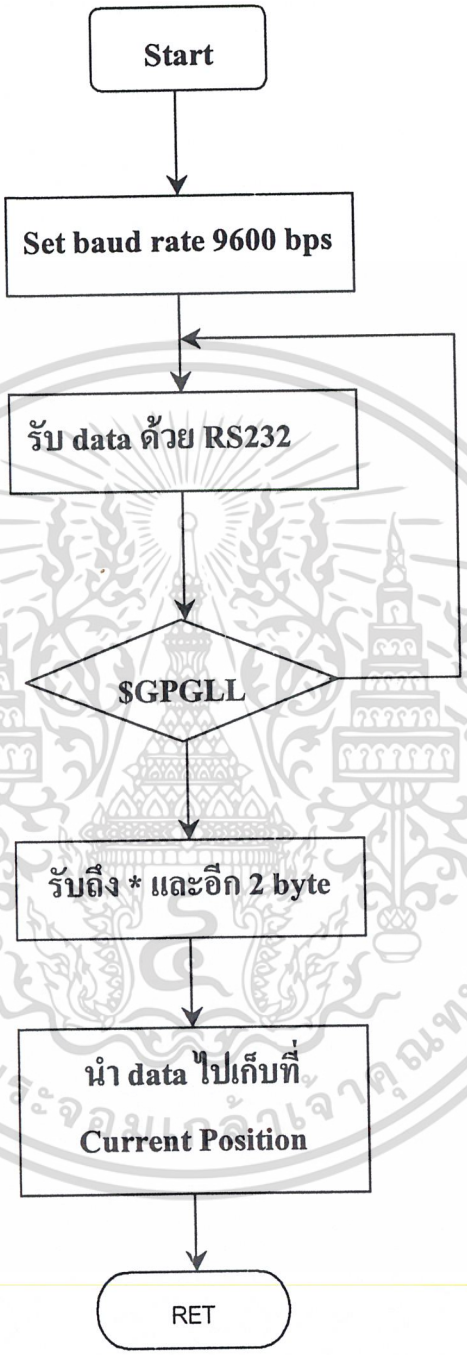

รูปที่ 6.4 Flow Chart แสดงการตัดสินใจของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



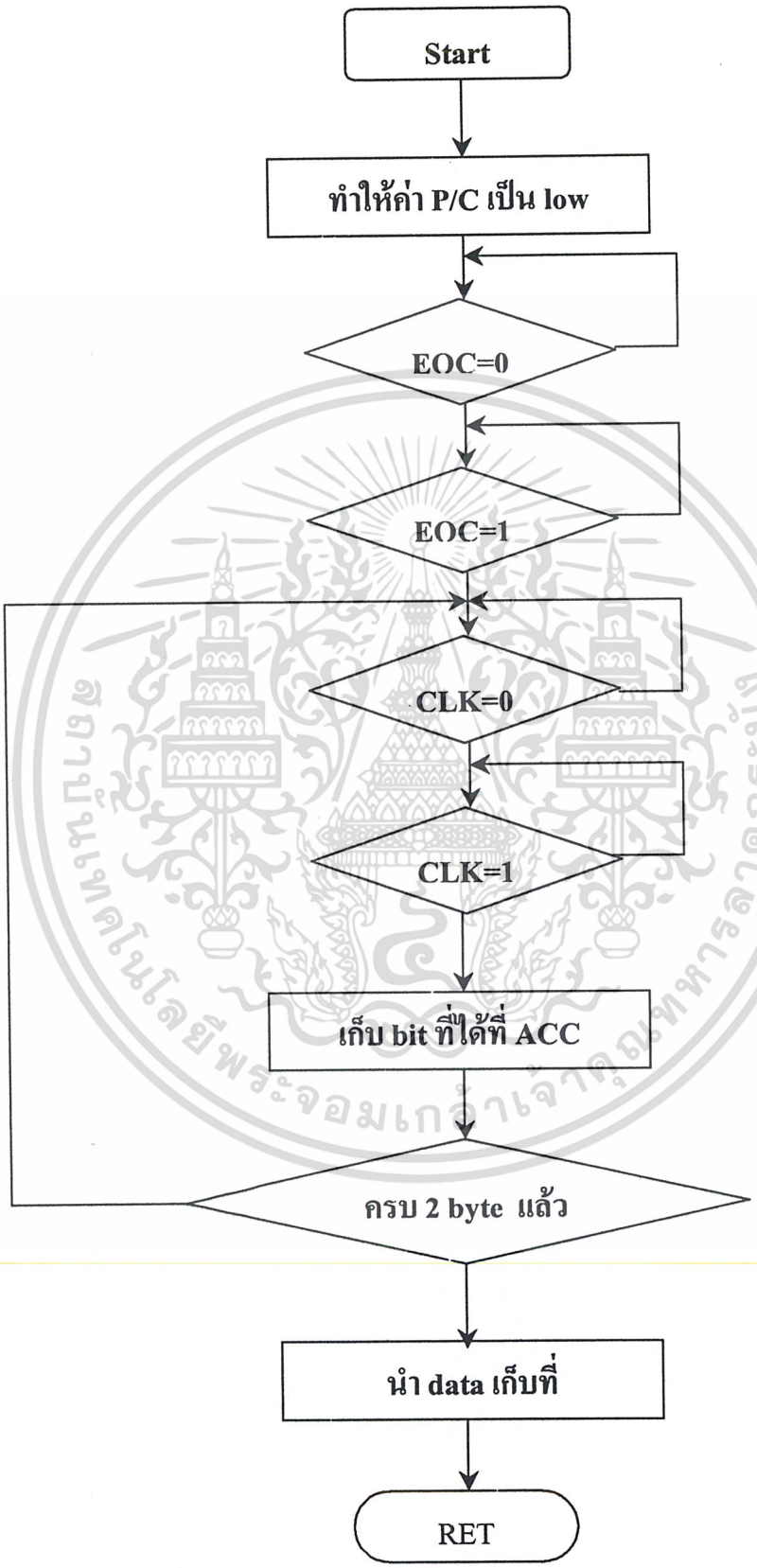

รูปที่ 6.5 Flow Chart แสดงการทำงานของ Keyboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



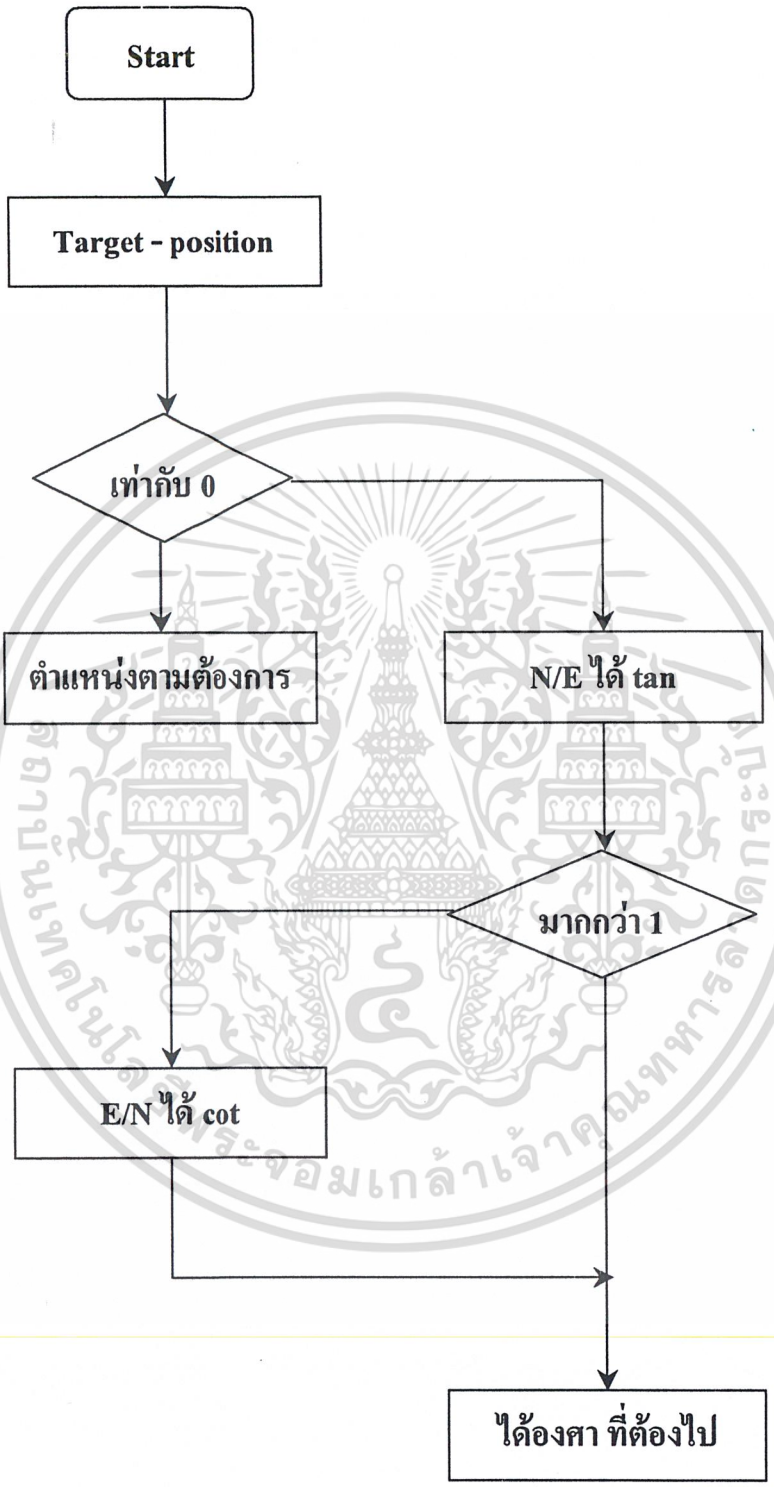

รูปที่ 6.6 Flow Chart แสดง การรับค่า GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.7 Flow Chart แสดงการรับค่า Electronics Compass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.8 Flow Chart แสดงการหาทิศทางที่เดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 7

## การทดลอง

### 1. วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงแบบ H – Bridge

จะเป็นวงจรขับกำลังแบบ H แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 จากวงจรนี้จะทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ทั้ง 2 ทิศทาง โดยการหมุนในแต่ละทิศทางต้องทำให้ ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นคู่ โดยให้ทรานซิสเตอร์ 1,2 ทำงาน และทรานซิสเตอร์ 3,4 ไม่ทำงาน จะทำให้มอเตอร์หมุนด้านหนึ่ง และถ้าให้ทรานซิสเตอร์ 3,4 ทำงาน และทรานซิสเตอร์ 1,2 ไม่ทำงาน จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับไปในอีกทิศทางหนึ่ง โดยจะต้องห้ามไม่ให้ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวทำงานพร้อมกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรทำให้วงจรเสียหายได้ ไดโอดทั้ง 4 ตัว ต่อไว้เพื่อให้กระแสรั่วไหลที่ค้างอยู่ในมอเตอร์ขณะที่หยุดทำงานสามารถแล้วไหลผ่านได้

การทดลองทำโดยการป้อน อินพุท ของวงจรด้วย ลอจิก 2 บิท แล้วสังเกตการทำงานของทรานซิสเตอร์ว่ามีตัวไหนทำงานและตัวไหนหยุดทำงานบ้าง แล้วจะได้ผลการทดลองตามตารางที่ 7.1

| I/P 1 | I/P 2 | Tr 1 | Tr 2 | Tr 3 | Tr 4 | Motor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | Off | On | On | Off | Run |
| 0 | 1 | Off | Off | Off | Off | Stop |
| 1 | 0 | On | On | On | On | Stop |
| 1 | 1 | On | Off | Off | On | Stop |

- It has extremely high current. Can't test for safety

ตารางที่ 7.1 ผลการทดลองวงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

### 2. เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์

เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์นี้เป็น เข็มทิศ 2 แกน โดยใช้เทคโนโลยีของการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า เข็มทิศทำงานใน Master mode โดยเอาท์พุทที่ส่งออกมาเป็น BCD 4 บิท แล้วนำไป Oring กับค่า 30H แล้วได้เป็นค่าองศาเทียบกับทิศเหนือ ทำการทดลองเทียบกับเข็มทิศแบ่งเป็นด้านซ้าย และด้านขวา จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7.2 และ 7.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Event / Degree | L 0 | L 45 | L 90 | L 135 | L 180 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 44 | 90 | 135 | 180 |
| 2 | 0 | 45 | 89 | 135 | 180 |
| 3 | 0 | 46 | 90 | 133 | 181 |

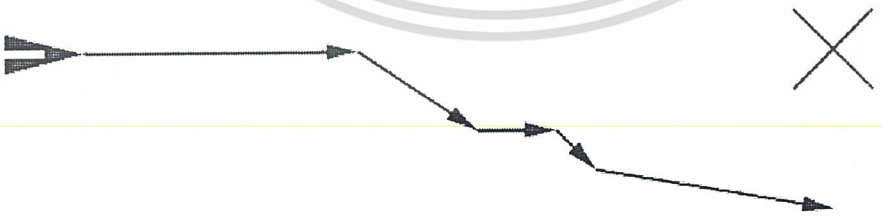
ตารางที่ 7.2 แสดงผลการทดลองเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ทางฝั่งซ้าย

| Event / Degree | R 0 | R 45 | R 90 | R 135 | R 180 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 45 | 92 | 134 | 179 |
| 2 | 0 | 45 | 91 | 135 | 180 |
| 3 | 0 | 43 | 91 | 134 | 178 |

ตารางที่ 7.2 แสดงผลการทดลองเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ทางฝั่งขวา

3. GPS Explorer Car

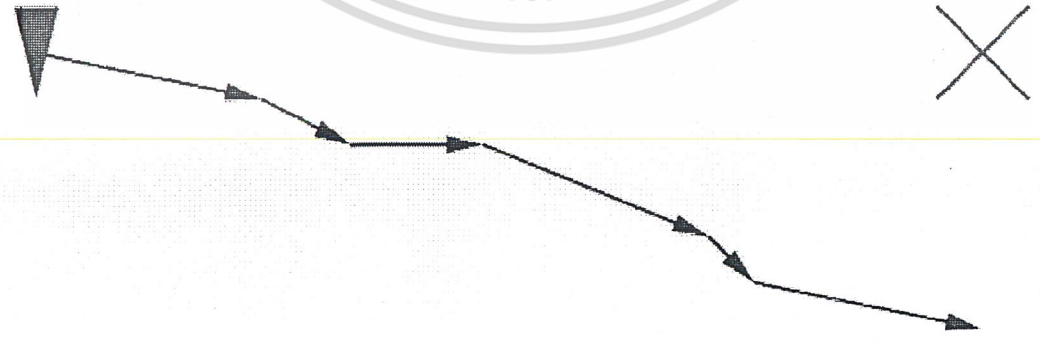
โดยทดลองที่พิกัด N 13.43.472 , E 100.46.497 ทั้งหมด 5 ครั้ง มีแนวทางการเดินดังนี้



รูปที่ 7.1 แสดงเส้นทางการเดินของรถสำรวจ GPS ครั้งที่ 1

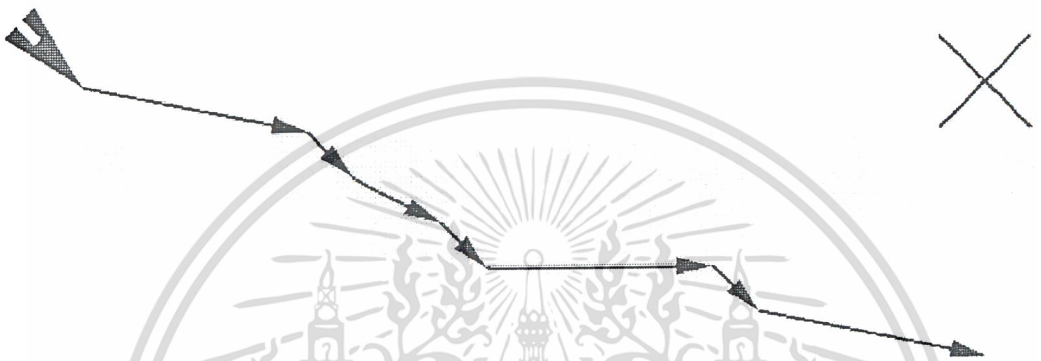
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.2 แสดงเส้นทางการเดินของรถสำรวจ GPS ครั้งที่ 2

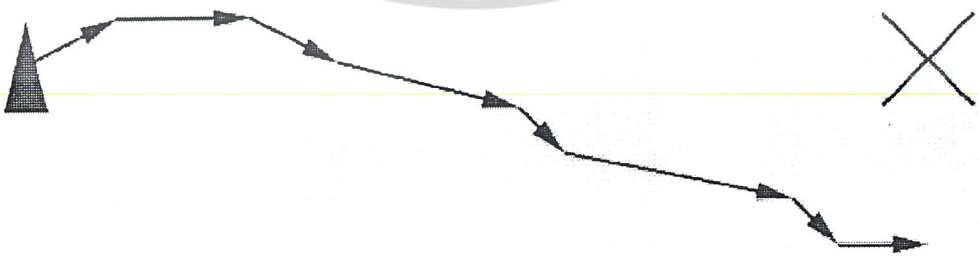


รูปที่ 7.3 แสดงเส้นทางการเดินของรถสำรวจ GPS ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 แสดงเส้นทางการเดินของรถสำรวจ GPS ครั้งที่ 4



**รูปที่ 7.5 แสดงเส้นทางการเดินของรถสำรวจ GPS ครั้งที่ 5**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 8
# สรุปและวิจารณ์

โครงงานรถสำรวจนี้ต้องใช้ความรู้พื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และทางด้าน Mechanic ซึ่งปัญหาทาง Mechanic ในการบังคับตัวรถจะเกิดปัญหาตอนเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา ซึ่งมอเตอร์วิ่งสวนทางกันจึงทำให้เกิดแรงต้านกันระหว่างมอเตอร์จึงต้องทำให้สายพานมีความตึงพอดี ไม่หย่อนเกินไป เพราะถ้าหย่อนเกินไปจะทำให้มอเตอร์ไม่สามารถดึงสายพานได้เต็มที่ ทำให้เกิดการรูดของสายพานขึ้น ถ้าตึงเกินไปจะทำให้มอเตอร์กินกระแสมากเกินไป และยังมีความล้าของสายพานทำให้ต้องมีการตั้งสายพานอย่างสม่ำเสมอ

เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีปัญหาทางด้านการรบกวนของสนามแม่เหล็กของ DC Motor ที่ใช้เป็นระบบขับเคลื่อน ทำให้เข็มทิศเกิดความผิดพลาดขึ้น ทำให้ต้องมีการออกแบบวางตัววงจรเข็มทิศให้อยู่ห่างจาก Motor จนไม่เกิดการรบกวน โดยวางบริเวณมุมของบอร์ด และทำการยกให้สูงขึ้นจากตัว Motor ประมาณ 20 เซนติเมตร

ส่วนตัวรับ GPS บอกตำแหน่งพิกัดละติจูดลองติจูดในเวลาต่างกันแต่อยู่ที่เดิม ตัว GPS จะบอกตำแหน่งละติจูดลองติจูดที่ต่างกัน และตัวรับ GPS ไม่สามารถรับสัญญาณที่ต่ำๆ ได้ เนื่องจากสิ่งก่อสร้างบังสัญญาณ จึงต้องนำตัวรถไปที่โล่งแจ้งเพื่อให้สามารถรับค่าได้

วงจรอิเล็กทรอนิกส์มีหลายส่วนซึ่งมีส่วนที่ขับแรงดันเอาท์พุทกระแสสูงคือมอเตอร์ ซึ่งกินกระแสสูงจึงทำให้เกิด Noise ในระบบรบกวนในส่วนของวงจรดิจิตอลซึ่งทำให้วงจรทำงานผิดปรกติ

มอเตอร์กินกระแสสูงโดยเฉพาะตอนเลี้ยว ซึ่งมอเตอร์หมุนสวนกันจึงทำให้โหลดกระแสเยอะมาก จึงต้องคำนวณวงจร Drive ให้สามารถจ่ายกระแสได้สูงตามความต้องการของมอเตอร์ได้โดยวงจรจะต้องไม่เกิดความเสียหาย

ปัญหาทางด้าน software คือ การคำนวณองศาที่ใช้เปรียบเทียบกับเข็มทิศมีความผิดพลาดถ้าระยะทางที่รถสำรวจเดินทางไปมีมาก จะทำให้เกิดความผิดพลาดสูง เพราะ ระยะทางของละติจูด และ ลองติจูด 1 องศา มีความยาวไม่เท่ากัน ทำให้เราต้องมีการประมาณค่าในการคำนวณเพื่อประโยชน์ที่จะเขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น

สรุป การทำโครงงานนี้จะต้องอาศัยความรู้ที่มีอยู่ มาใช้ในการสร้าง ใช้ความรู้ทางด้าน Mechanic ในการสร้างตัวรถ ควรออกแบบตัวรถให้มีความคล่องตัว ใช้ความรู้ทางด้าน Electronic ในการออกแบบวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้