

ระบบนำร่องรถยนต์ด้วยจีพีเอส  
GPS CAR NAVIGATOR



โดย  
นางสาว ภัทราภรณ์ แซ่ชื่อ  
นางสาว ลิขิต ตั้งขันธ์ทอง

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 50412  
วัน,เดือน,ปี 13 พ.ค. 2547

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

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบนำร่องรถยนต์ด้วยจีพีเอส

## GPS CAR NAVIGATOR

โดย

นางสาว ภัทราภรณ์ แซ่จิว รหัส 42010254

นางสาว สิชล ตั้งขันธ์ทอง รหัส 42010378



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มนต์ สัจจวิทย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานเรื่อง

ระบบนำร่องรถยนต์ด้วย จีพีเอส  
GPS CAR NAVIGATOR

จัดทำโดย

1. นางสาว ภัทราภรณ์ แซ่ชื่อ รหัสประจำตัว 42010254
2. นางสาว สิชล สังข์ทอง รหัสประจำตัว 42010378



รายงานฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ )

วันที่ ๖ / ๐๔ / ๒๕๕๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบนำร่องรถยนต์ด้วยจีพีเอส

นางสาว กัทธาภรณ์ แซ่ซื่อ

นางสาว สิชล สังข์ทอง

รศ.ดร.มนัส สัจวารศิลป์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2545

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ซึ่งมุ่งเน้นให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบ สร้างวงจร เครื่องมือ หรือสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นการกล่าวถึงความ เป็นมาของระบบการหาตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม (Global Positioning System) หรือเรียกอีกอย่าง หนึ่งว่า GPS นอกจากนี้ยังกล่าวถึงแนวความคิดเริ่มต้นเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ พื้นฐานของการ กำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม การกำหนดระบบอ้างอิงของโลกที่เรียกว่า จีโอเดติกคาคัม รูปแบบ ของการให้บริการจีพีเอส ที่มีทั้งแบบความแม่นยำสูงและแบบมาตรฐาน สัญญาณที่รับส่งระหว่าง ดาวเทียมกับเครื่องรับ พร้อมทั้งการนำสัญญาณที่ได้มาแปลงเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งจริง ของเครื่องรับ ในท้ายที่สุดจะเป็นการกล่าวถึงการนำข้อมูลที่ได้จากเอาต์พุทของเครื่องรับที่มี รูปแบบ (Format) ต่าง ๆ ที่เรียกว่า โปรโตคอล NMEA 0183 มาทำการประมวลผลเพื่อนำไป ประยุกต์ใช้เป็นระบบนำร่องรถยนต์

สำหรับเหตุผลในการทำโครงการนี้ คือ เนื่องจากเห็นว่าเครื่องรับจีพีเอสเริ่มได้รับความ สนใจมากขึ้นในปัจจุบัน เพราะสามารถที่จะระบุตำแหน่งของเครื่องรับเอง (โดยแสดงเป็นค่าละติจูด และ ลองจิจูด) ทำให้สามารถที่จะประยุกต์ใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ ซึ่งรวมทั้งสามารถที่จะ นำไปใช้ในระบบนำร่องต่าง ๆ จึงเห็นว่าโครงการนี้เป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## GPS CAR NAVIGATOR

Miss Pattaraporn Sae Chue

Miss Sichon Sungthong

Assoc.Prof.Dr. Manas Sungwarasin (Advisor)

Education Year 2002

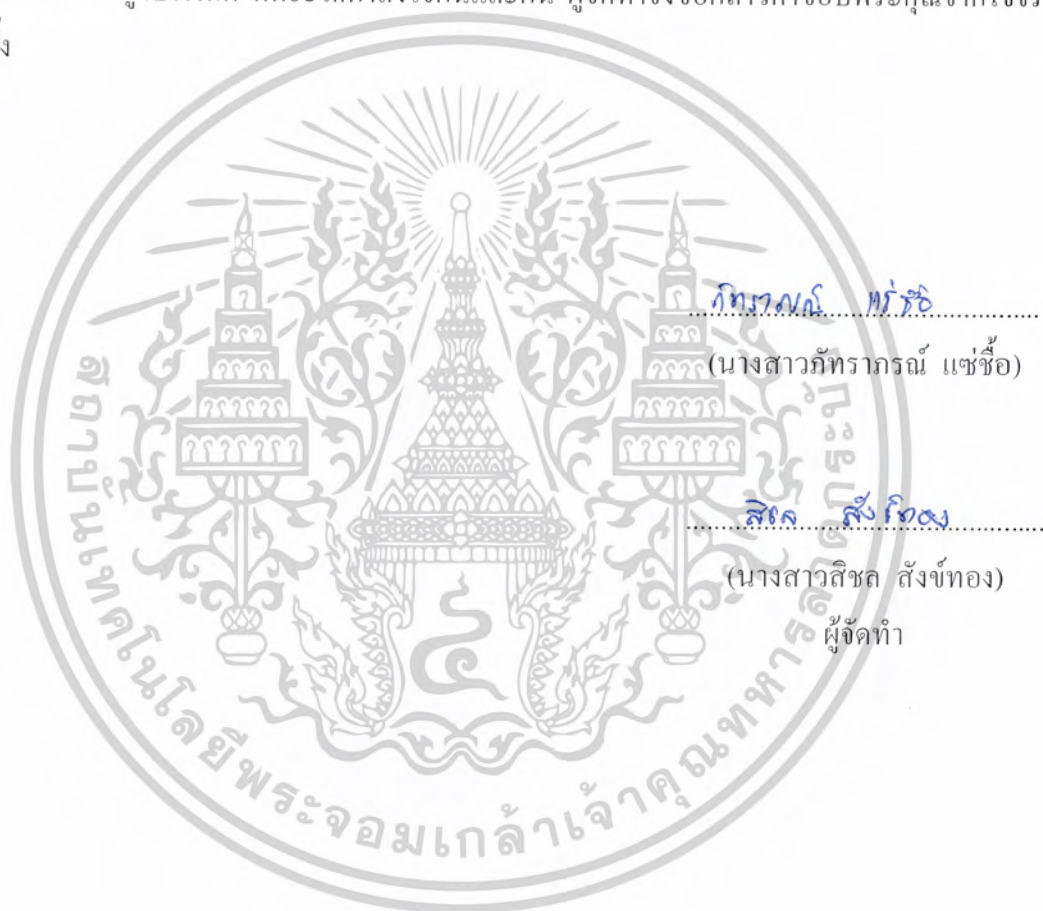
### Abstract

This paper is a report for "Project II". This subject's purpose is students can design, make circuit and use electronics instrument correctly. The report shows about "Global Positioning System" (GPS). There are how we developed system, how it works and how its specific location by using satellite and receiver to tell receiver's location. In the last chapter, the report tell about the standard for communicate between receiver and computer (NMEA), And how its displayed the location on computer by our software, this software can indicate the car's position. It's called "Car Navigator".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือ และอุปการะของบุคคลเหล่านี้ ซึ่งผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่จะกล่าวถึงเป็นอย่างสูง กล่าวคือ อาจารย์มนัส ที่ให้ความช่วยเหลือในหลายๆด้าน ตั้งแต่อุปกรณ์ต่างๆ ห้องทำงานยามดึก และที่ขาดไม่ได้ คือ ผู้เขียนอันอุดมไปด้วยเสบียง อาจารย์ภาคิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน อีกทั้งเพื่อนๆ ภาคทุกคนที่ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี และที่ขาดไม่ได้ คือ คู่โปรเจกต์ ที่คอยให้กำลังใจกันและกัน ผู้จัดทำจึงขอกล่าวคำขอบพระคุณจากใจจริงอีกครั้ง



กิตติกรรม .....  
 (นางสาวกิตติภรณ์ แซ่จื้อ)

.....  
 (นางสาวสิขิต สังข์ทอง)

สิขิต .....  
 ผู้จัดทำ

.....

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ระบบนำร่อง (Navigation System)	1
1.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุ (Radionavigation System)	2
บทที่ 2	7
2.1 ความเป็นมาของระบบ GPS	7
2.2 ภาพรวมของระบบ GPS	8
2.3 การเข้ารหัสอย่างละเอียดและความสามารถเลือกทำได้ (precise code and selective availability)	8
บทที่ 3 พื้นฐานของการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม	13
3.1 แนวความคิดเบื้องต้นในการระบุพิกัดของจีพีเอส	13
บทที่ 4 จีไอดาตาคาดัม	19
4.1 การอ้างอิงโดยเอลิปซอยด์ (Reference Ellipsoids)	19
4.2 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก (Earth Surface Model)	20
4.3 ระบบพิกัดอ้างอิง (Global Coordinate System)	21
4.5 สรุปความเข้าใจหลักการที่ผ่านมา	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 5 การให้บริการของจีพีเอสและสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส	26
5.1 การให้บริการของระบบจีพีเอส	26
5.2 ผลของการใส่ SA เพื่อลดความแม่นยำลง	27
5.3 สัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส	27
5.4 ความถี่ที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก	28
5.5 รหัสที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก	29
บทที่ 6 การหาตำแหน่งและเวลาจากจีพีเอส	33
6.1 การแยกรหัสในเครื่องรับ ( Code Phase Tracking )	33
บทที่ 7 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร	39
7.1 รูปแบบประโยคมาตรฐานพอสังเขป	40
7.2 รูปแบบประโยคของเครื่องรับแต่ละรุ่น	44
7.3 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในการติดต่อสื่อสาร	45
บทที่ 8 แนวคิดและการออกแบบโปรแกรม	46
8.1 แนวคิดเบื้องต้น	46
8.2 แผนภาพการทำงาน	49
8.3 องค์ประกอบโดยรวมของระบบ และทฤษฎีของ Hardware ต่าง ๆ	51
บทที่ 9 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	80
9.1 ผลการทดลอง	80
9.2 สรุปผลการทดลอง	83
ภาคผนวก ก. Source Code	1-A
ภาคผนวก ข. Data Sheet	2-A
บรรณานุกรม	IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	แสดงการนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุแบบแอกทีฟ และแบบพาสซีฟ	2
รูปที่ 1.2	แสดงระบบโอเมกา	4
รูปที่ 1.3	ระบบทรานสิต	5
รูปที่ 2.1	แสดงวงโคจรของจีพีเอส (a) และ กลอนนาส (b)	10
รูปที่ 2.2	แสดงการทดลองวัดพิกัดคงที่ของระบบกลอนนาส	10
รูปที่ 2.3	แสดงการเปรียบเทียบระบบจีพีเอส กับ กลอนนาส	11
รูปที่ 3.1	แสดงการหาความยาวของ Y เมื่อทราบความยาวของ X, Z และมุมต่าง ๆ	13
รูปที่ 3.2	การหาพิกัดในระบบจีพีเอส	14
รูปที่ 3.3	ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมมีรัศมี 22,000 กิโลเมตร	14
รูปที่ 3.4	แสดงการตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม	15
รูปที่ 3.5	แสดงการตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม	15
รูปที่ 3.6	แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B	16
รูปที่ 3.7	แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป	17
รูปที่ 3.8	แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A, B และ C ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป	17
รูปที่ 3.9	แสดงจุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม A, B และ C	18
รูปที่ 4.1	ตัวแปรของเอลลิปซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ WGS-84	19
รูปที่ 4.2	แสดงรูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก	20
รูปที่ 4.3	แสดงระดับของจีออยด์	21
รูปที่ 4.4	แสดงการกำหนดเส้น ไพรม์ เมอริเดียน และเส้นอีควีเตอร์	22
รูปที่ 4.5	แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง	22
รูปที่ 4.6	แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง	23
รูปที่ 4.7	แสดงระบบ ECEF X, Y, Z	23
รูปที่ 4.8	แสดงการเปรียบเทียบความสูงเหนือเอลลิปซอยด์และจีออยด์	24
รูปที่ 4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในแบบต่าง ๆ	25
รูปที่ 5.1	แสดงความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงไปมาโดยผลของ SA	27
รูปที่ 5.2	แสดงแนวความคิดในการหาระยะห่างจากดาวเทียมกับเครื่องรับ	28
รูปที่ 5.3	การผสมสัญญาณแบบไบนารี ไบเฟส มอดูเลชัน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากควเทียมจีพีเอส	30
รูปที่ 5.5 แสดงโครงสร้างของการส่งข้อมูลของจีพีเอส	30
รูปที่ 5.6 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อย	31
รูปที่ 6.1 แสดงการกำหนดรหัส C/A	33
รูปที่ 6.2 แสดงรหัส PRN บางส่วน	34
รูปที่ 6.3 แสดงการไม่สัมพันธ์กันของรหัส PRN ที่สร้างขึ้นกับที่ได้จากควเทียม	34
รูปที่ 6.4 แสดงรหัสบางส่วนที่เข้ากันได้	34
รูปที่ 6.5 แสดงความเข้ากันได้ทั้ง PRN	35
รูปที่ 6.6 แสดงระยะทางแบบซูโด	35
รูปที่ 6.7 แสดงสมการคำนวณระยะทางแบบซูโด	36
รูปที่ 6.8 การหาค่าพิกัด XYZ	37
รูปที่ 6.9 แสดงการเปลี่ยนจากพิกัด ECEF XYZ พิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geodatic Coordinate)	38
รูปที่ 8.1 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิง	47
รูปที่ 8.2 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนพื้นโลก	48
รูปที่ 8.3 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนแผนที่ในคอมพิวเตอร์	48
รูปที่ 8.4 ภาพโดยรวมของระบบ	51
รูปที่ 8.5 แผงวงจรในส่วนของวงจรถอดรหัส	52
รูปที่ 8.6 วงจรบันทึกเสียงและเล่นเสียง	53
รูปที่ 8.7 ขาต่างๆของไอซี ISD-2590	54
รูปที่ 8.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของ ISD-2590	57
รูปที่ 8.9 Timing diagram ไอซี ISD 2590	60
รูปที่ 8.10 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	63
รูปที่ 8.11 ขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	64
รูปที่ 8.12 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51	66
รูปที่ 8.13 โครงสร้างพอร์ตทั้ง 4 ของ MCS-51	67
รูปที่ 8.14 การต่อพอร์ตเข้ากับระบบบัสภายในของ MCS-51	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 8.15 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน	69
รูปที่ 8.16 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	69
รูปที่ 8.17 บิตต่างๆ ของข้อมูลที่ส่งแบบอนุกรม	70
รูปที่ 9.1 แผนที่ยกก่อนทำการสเกล	81
รูปที่ 9.2 แผนที่ยกหลังทำการสเกลให้ใกล้เคียงมากขึ้น	82
รูปที่ 9.3 แสดง source code ที่ใช้ในโปรแกรม	82
รูปที่ 9.4 แสดงรูปแบบของโปรแกรมที่สร้างขึ้น	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ระบบนำร่อง (Navigation system)

ระบบนำร่อง (Navigation system) สามารถนิยามได้ว่า คือระบบที่สามารถนำยานพาหนะ จากที่หนึ่งซึ่งรู้ตำแหน่งแน่นอนแล้วไปยังอีกที่หนึ่งโดยกำหนดเส้นทางการเดินทางให้ จาก ความหมายนี้เมื่อมีการนำทางหรือนำร่องเกิดขึ้น ระบบนำร่องนอกจากจะบอกเราว่าขณะนี้เราอยู่ที่ใด แล้ว ยังจะต้องบอกเราด้วยว่าเราจะไปจากจุดที่เราอยู่ไปยังที่หมายได้อย่างไร ระบบนำร่องสามารถ แบ่งอย่างกว้าง ๆ ออกได้ 5 วิธีการดังนี้

**1.1.1 Piloting** เป็นระบบการนำทางที่มีมาแต่โบราณ การกำหนดเส้นทางต่าง ๆ เป็นการ อาศัยการสังเกตจากสภาพทางภูมิศาสตร์เป็นหลัก เช่น หมูบ้าน ภูเขาแม่น้ำ ต้นไม้ใหญ่ ๆ เป็นต้น ผู้เดินทางจะอาศัยสภาพทางภูมิศาสตร์เหล่านี้มาเป็นตัวกำหนดว่าจะเดินทางไปในทิศทางใด ดังนั้น ถ้าสภาพทางภูมิศาสตร์เปลี่ยนแปลงไปปัญหาจะเกิดขึ้นกับการนำทางทันที

**1.1.2 Dead reckoning** เป็นระบบการนำทางที่อาศัยการวัดความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปจาก เดิม แต่ทำการวัดต่อเนื่องกัน ไปเรื่อย ๆ แล้วนำผลที่ได้มาผนวกเข้ากับแผนการเดินทางที่ทราบอยู่ แล้ว ระบบนี้เริ่มเป็นที่รู้จักกันในปี 1927

**1.1.3 Celestial navigation** เป็นระบบการนำทางโดยอาศัยการหาดำแหน่งบนพื้น โลกเทียบกับเทวดบนฟากฟ้าอันได้แก่ กลุ่มดาวหรือดวงจันทร์ เป็นต้น

**1.1.4** เป็นระบบการนำทางโดยอาศัยการหาดำแหน่งบนพื้น โลก จากเครื่องมือหลายอย่าง ประกอบกัน เช่น มิเตอร์วัดความเร็ว เข็มทิศ ไจโรสโคป เป็นต้น ระบบนี้มักถูกใช้ร่วมกับระบบนำ ร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุเพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น

**1.1.5 Electronic or radionavigation** เป็นระบบการนำทางที่อาศัยการคำนวณหาระยะทาง บนพื้น โลกจากเครื่องมือที่ใช้วัดเวลาที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางจากแหล่งกำเนิดมาถึงเครื่องรับ การนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุนี้ จะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบแอคทีฟ (Active radionavigation) และ แบบพาสซีฟ (Passive radionavigation)

- ระบบแอคทีฟ สามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นระบบสองทิศทาง ตัวอย่างในรูปที่ 1.1 กระทำโดยเครื่องบินส่งสัญญาณในรูปของพัลส์ความถี่  $f_1$  ไปยังสถานีส่งที่ไกลออกไป เมื่อสถานี ส่งรับสัญญาณในรูปของพัลส์ที่ได้มันจะส่งกลับไปยังเครื่องบินในความถี่ที่ต่างจากเดิมในที่นี้คือ  $f_2$  ดังนั้น เมื่อเครื่องรับสัญญาณในเครื่องบินนำสัญญาณ  $f_2$  ที่รับได้มาเปรียบเทียบกับเวลาจริงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันจะได้เวลาที่ต่างกันออกไปเป็น  $dt$  ดังนั้นระยะห่างระหว่างเครื่องบินกับสถานีส่งจะมีค่าเท่ากับ  $(dv/2)*c$  เมื่อ  $c$  เป็นความเร็วของแสง

- ระบบแพสซีฟ ถือเป็นระบบทิศทางเดียว ทำโดยเครื่องบินรับสัญญาณในรูปของพัลส์ ความถี่  $f_1$  จากสถานีส่งที่ไกลออกไป เมื่อเครื่องบินนำสัญญาณ  $f_1$  ที่รับได้มาเปรียบเทียบกับเวลาจริงในปัจจุบันจะได้เวลาที่ต่างกันออกไปเป็น  $dt$  ดังนั้น ระยะห่างระหว่างเครื่องบินกับสถานีส่งจะมีค่าเท่ากับ  $dt*c$  ระบบนี้จะเป็นพื้นฐานการนำร่อง จีพีเอส (GPS:Global Positioning System) ที่จะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 1.1 แสดงการนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุแบบแอคทีฟ และแบบพาสซีฟ

## 1.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุ (Radionavigation system)

### 1.2.1 ระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนพื้นโลก

ระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนพื้นโลกมักแยกออกเป็นสองระบบด้วยกัน คือ ระบบหาทิศทางคลื่นวิทยุ (Radio direction finding (RDF) system) กับระบบไฮเพอร์โบติก (Hyperbolic system)

ระบบหาทิศทางของคลื่นวิทยุ สามารถอธิบายได้ง่าย ๆ คือ ผู้ใช้งานปรับเครื่องรับให้ตรงกับสถานีส่งวิทยุที่รู้จักที่อยู่ก่อนแล้ว จากนั้น ใช้สายอากาศหาทิศทางของสถานีส่ง จะทำให้ได้ค่าเบริ่ง (bearing) ออกมา ทำกระบวนการนี้ซ้ำโดยใช้สถานีส่งอื่น ๆ จากนั้นใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้าช่วยก็จะทำให้ทราบตำแหน่งของผู้ใช้งาน

ระบบไฮเพอร์โบติกจะทำความเข้าใจยากขึ้นเล็กน้อย ระบบนี้จะใช้พิกัดที่ถูกส่งออกมาจากสถานีส่งวิทยุหลายสถานี แต่ละจุดของทุก ๆ จุดที่แตกต่างกันระหว่างสัญญาณวิทยุจากสถานีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันจะจัดวางตัวกันอยู่ในรูปของไฮเปอร์โบลาร์หลาย ๆ เส้น และเส้นที่ประกอบมาจากจุดหลาย ๆ จุดเหล่านี้จะถูกสร้างไว้บนแผนที่ที่ผู้ใช้มีอยู่ ผู้ใช้ต้องใช้เครื่องรับฟังสัญญาณวิทยุเพื่อหาว่าขณะนี้ตำแหน่งของตนเองอยู่ที่เส้น ไฮเปอร์โบลิกเส้นไหนออกมาเมื่อเทียบกับสถานีใหม่ที่ตนเองรับฟังอยู่ ถ้าเส้นไฮเปอร์โบลิกสองเส้นนี้ตัดกัน จุดนั้นคือพิกัดที่ตนเองอยู่ นอกจากนี้ยังมีการนำเฟสของสัญญาณวิทยุมาทำการคำนวณเพื่อกำหนดพิกัดให้แม่นยำขึ้น ตัวอย่างของระบบต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่

-เดคคา (DECCA) เป็นระบบนำร่องแบบระบบไฮเปอร์โบลิกที่ใช้ความถี่ต่ำ (low-frequency) ลักษณะการใช้งานจะเป็นการเปรียบเทียบเฟส(phase) ของคลื่นวิทยุที่รับได้จากหลายๆ สถานี บริเวณใช้งานอยู่ทางยุโรปตะวันตก บางส่วนของแคนาดา อ่าวเปอร์เซีย และท่าเรือเบงกอล

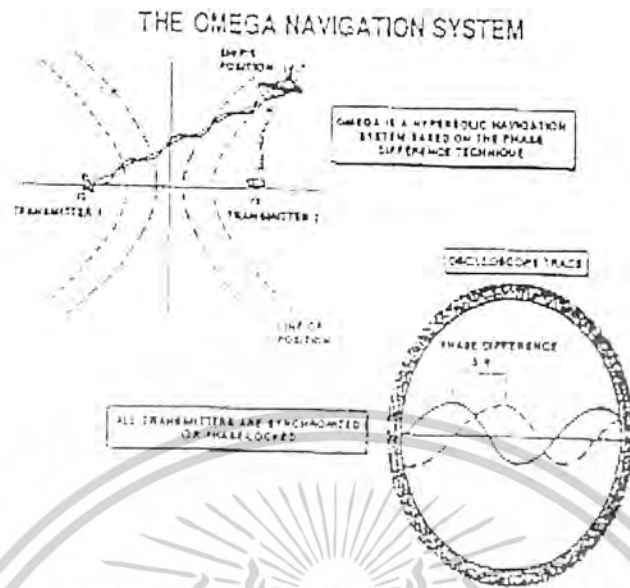
-จี (Gee) เป็นระบบของประเทศอังกฤษ คล้าย ๆ กับระบบโรแลน แต่ใช้คลื่น VHF ข้อจำกัดของระบบนี้คือรัศมีการทำงานอยู่ในช่วงที่สายตามองเห็น (line-of-sight)

-โรแลน-เอ (ROLAND-A) เป็นระบบที่พัฒนามาตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่สอง โดย MIT คำว่า ROLAND มาจาก Long-Range-Navigation สร้างมาเพื่อใช้เป็นระบบนำร่องที่มีความแม่นยำให้กับกองทัพเรือและอากาศ ใช้คลื่นวิทยุในย่านความถี่ 1850-1950 Hz รัศมีการไกลประมาณ 600 ไมล์

-โรแลน-ซี (ROLAND-C) ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1950 ปัจจุบันยังคงใช้งานอยู่อย่างกว้างขวางและได้ขยายระบบออกไปครอบคลุมพื้นที่หลาย ๆ ประเทศ การทำงานของระบบเป็นแบบพัลส์ไฮเปอร์-โบลิก ใช้ความถี่อยู่ในช่วง 90KHz-110KHz

-โอเมกา (OMEGA) เป็นระบบที่เก่ากว่าโรแลน-ซี แต่ยังคงใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โครงสร้างของระบบเป็นดังรูปที่ 1.2ระบบโอเมกาเป็นระบบนำร่องโดยใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่ต่ำมาก (very low frequency:VLF) กระจายคลื่นออกมาจากสถานีส่งอย่างต่อเนื่อง และเป็นระบบแพสซีฟ เครื่องรับในเรือจะรับคลื่นความถี่จากสถานีส่งสองแห่ง แล้วหาค่าเฟสที่ต่างกันออกไป จะทำให้ทราบระยะทางได้ ในปัจจุบันนี้ระบบโอเมกาส่งความถี่ออกอากาศจำนวน 4 ความถี่ด้วยกัน คือ 10.2,11.05,11-1/3 และ 13.6 กิโลเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงระบบโอเมกา

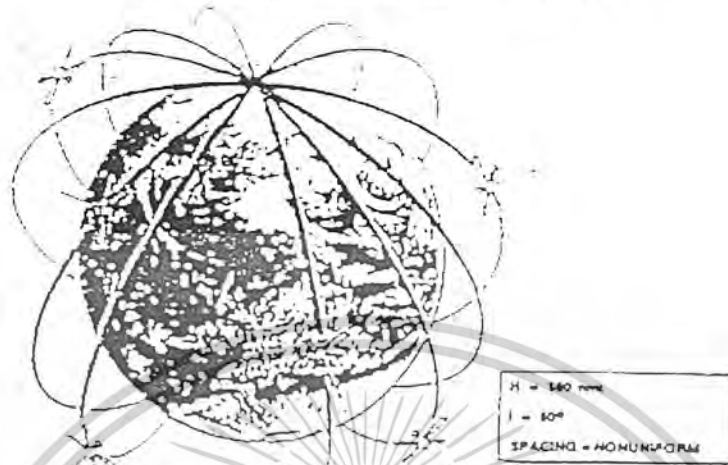
### 1.2.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนอวกาศ

ข้อเสียของของระบบนำร่องที่มีสถานีส่งอยู่บนผิวโลกก็คือ บริเวณที่ใช้งานจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะที่ทำให้การใช้นั้นมีขีดจำกัด เพื่อให้การใช้นั้นครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น จึงได้พัฒนาระบบให้มีสถานีส่งเป็นดาวเทียมโคจรอยู่เหนือผิวโลกด้วยระยะห่างที่คงที่ค่าหนึ่ง

-ทรานสิต (TRANSIT: SATNAV) ถือเป็นระบบแรกที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งมีรูปแบบวงโคจรดังรูปที่ 1.3 ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาโดย John Hopkins Applied Physics Laboratory เพื่อใช้เป็นระบบนำร่องของเรือเดินทะเล ผู้ใช้งานสามารถหาตำแหน่งของตัวเองได้โดยใช้หลักการครอปเพลเตอร์ (droptler) ของสัญญาณวิทยุที่เลื่อนออกไป (shift) สัญญาณวิทยุนี้จะถูกส่งออกมาจากดาวเทียม ความแม่นยำอยู่ในระดับความผิดพลาดประมาณ 200-300 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE TRANSIT SATELLITES ARE LAUNCHED  
INTO POLAR "BIRDCAGE" ORBITS



รูปที่ 1.3 ระบบทรานสิต

จากการใช้งานระบบทรานสิตพบว่ายังมีข้อจำกัดอยู่มากเช่น การให้บริการยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ณ จุด ๆ หนึ่ง จะเห็นดาวเทียมดวงหนึ่ง ๆ อยู่ประมาณ 10-15 นาที เท่านั้น ทำให้การนำร่องไม่ต่อเนื่องกันไปอย่างตลอดเวลา เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่อยู่บนผิวโลกการระบุพิกัดผิดพลาดมากยิ่งขึ้น และระบบนี้ยังให้การนำร่องแบบสองมิติเท่านั้น

- ไทม์ตัน (TIMATION) ระบบถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1972 โดย Naval Research Laboratory (NRL) จุดมุ่งหมายเพื่อทำหน้าที่รองรับการกำหนดพิกัดโดยการใช้เวลาและความถี่ (Time and Frequency Transfer) ดาวเทียมดวงแรกถูกบรรจุไว้ด้วยตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ผลึกควอตซ์ (Quartz crystal oscillator) ที่มีความแม่นยำมาก ต่อมาได้ส่งดวงที่สองขึ้นไปและใช้นาฬิกาเชิงอะตอม (Atomic clock) บรรจุไว้แทน ความเที่ยมดวงที่สามถือเป็นดวงที่ใช้จำลองการทำงานและเทคโนโลยีของ GPS ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

-ระบบนาฬิกาดาวจีพีเอส (NAVSTAR GPS : NAVigation-Satellite Timing And Ranging Global Positioning System) ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของ U.S. Department of Defense (DoD) ระบบ นาฬิกาดาว จีพีเอส ถือได้ว่าเป็นระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากกลุ่มดาวเทียมโคจรอยู่เหนือพื้นโลกที่ใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งสัญญาณออกมาเพื่อให้กองกำลังนั้นจะอยู่ที่ใดบนพื้นโลก หรือ ใกล้เคียงพื้นผิวโลก จะหยุดนิ่งอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ก็ตาม ในปัจจุบันนี้ทางด้านพลเรือนได้ทีการใช้ระบบนำร่องโดยอาศัยดาวเทียมนาฬิกาดาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จีพีเอส กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะระบบนำร่องที่ติดตั้งในรถยนต์เพื่อแสดงพิกัดตัวเองบนแผนที่ เป็นเรื่องที่หลาย ๆ ประเทศทุ่มเงินทำการพัฒนาเพื่อนำมาใช้งานกันในเชิงพาณิชย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### 2.1 ความเป็นมาของระบบ GPS

ดาวเทียมด้าน GPS ถูกปล่อยสู่อวกาศครั้งแรกในปี 1983 ใช้เป็นเพียงระบบนำร่องในขั้นต้นให้กับเครื่องบินเมื่อกลุ่มดาวเทียม GPS มีการขยายตัวมากขึ้น พื้นที่ครอบคลุมก็มากขึ้นและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องสำหรับการตรวจสอบแบบ 2 มิติ (ละติจูด, ลองจิจูด และระดับความสูง) ซึ่งระบบสมบูรณ์จริงๆ จะต้องใช้กลุ่มดาวเทียมปฏิบัติงานถึง 21 ดวง และดาวเทียมสำรองบนวงโคจรอีก 3 ดวง

### 2.2 ภาพรวมของระบบ GPS

ดังที่กล่าวแล้วว่า ระบบ GPS นี้อาศัยกลุ่มดาวเทียม 21 ดวงและดาวเทียมสำรองอีก 3 ดวง ในระนาบของการโคจรทั้งหมด 6 ระนาบ ซึ่งจะสามารถใช้ในการนำร่องทั้งทางภาคพื้นดิน ในทะเล และในอากาศ ระบบ

GPS จะทำการปรับค่าตัวเลขบอกตำแหน่งของวัตถุใน 3 มิติ อย่างสม่ำเสมอ (ละติจูด, ลองจิจูด และระดับความสูง) และทำการวัดอัตราเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ได้ในเวลาใดเวลาหนึ่ง

ระบบ GPS นี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

#### 1. Space Segment

จะประกอบไปด้วยดาวเทียมที่อยู่ห่างจากโลกประมาณ 11,000 ไมล์ สำหรับประสานงานกับดาวเทียม 4 ดวง หรือมากกว่าที่สามารถถูกเห็นได้อย่างพร้อมกันจากบริเวณใด ๆ บนพื้นผิวโลกขึ้นไป ดาวเทียมจะต้องลอยตัวอยู่สูงเพียงพอที่สัญญาณจากระบบบนภาคพื้นดินไม่สามารถรบกวนได้ เช่น ระบบบนภาคพื้นดิน LORAN-C และ OMEGA

#### 2. Control Segment

จะประกอบไปด้วย สถานีควบคุมหลัก (Master control Monitor) , 5 สถานีแจ้งผล (Monitor-Station) และ 3 เสาอากาศภาคพื้นดิน (Ground antennas) ซึ่งจะถูกจัดวางอยู่ทั่วโลก สถานีแจ้งผลจะใช้เครื่องรับ GPS ในการติดตามดาวเทียมทั้งหมดที่สามารถมองเห็นได้ และรวบรวมข้อมูลของระยะทางจากการถ่ายทอดของดาวเทียม โดยสถานีแจ้งผลจะส่งข้อมูลที่รวบรวมได้จากดาวเทียมไปยังสถานีควบคุมหลัก ซึ่งจะคำนวณ วงโคจรของดาวเทียมอย่างแม่นยำ ข้อมูลจะถูกจัดเป็นรูปแบบเข้ากับข้อมูลนำร่อง (navigation messages) ที่ถูกปรับเปลี่ยนไปสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังดาวเทียมแต่ละดวงโดยผ่านเสาอากาศภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. User Segment

จะประกอบด้วย เครื่องรับ ส่วนประมวลผลและงานสายอากาศ ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ทางภาคพื้นดิน ในทะเลหรืออากาศ สามารถที่จะรับการถ่ายทอดของกลุ่มดาวเทียม GPS และคำนวณตำแหน่ง , ความเร็ว และเวลาได้อย่างแม่นยำ

#### 2.3 การเข้ารหัสอย่างละเอียดและความสามารถเลือกหาได้

(precise code and selective availability)

ระบบการนำร่อง ( navigation system ) ซึ่งใช้เครื่องรับแบบอย่างเดียวกันที่เป็นแบบพาสซีฟ(passive radionavigation)จะถูกนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการปฏิบัติงานที่เป็นความลับ เช่น เครื่องบินโจรสลัด , จรวด เป็นต้น นอกจากนี้เพื่อเป็นการป้องกันการใช้งาน GPS ในทางที่ไม่ถูกต้อง จึงต้องมีการเข้ารหัสป้องกัน ซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ P-Code และ C/A Code

การเข้ารหัสแบบ P-Code (pre-cise) เป็นการเข้ารหัสที่ใช้ได้เฉพาะผู้ที่ป็นรัฐบาลสหรัฐเท่านั้น ส่วนการเข้ารหัสแบบ C/A Code (coarse-acquisition) เป็นการเข้ารหัสที่พอหาได้เพื่อป้องกันการใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไป

การเข้ารหัสแบบ P-Code ต้องใช้เครื่องรับทางทหารที่มีลักษณะเฉพาะพิเศษสำหรับการรับรวมทั้งมีรหัสผ่าน (password) มีความแม่นยำในระยะ 17.8 เมตร หรือน้อยกว่า 50 ฟุต ภายใต้สภาวะการณ์ปกติ ส่วนสัญญาณที่เข้ารหัสแบบ C/A Code ซึ่งพอหาใช้งานได้ทั่วไปนั้นซึ่งจะให้ข้อมูลของตำแหน่งที่มีความแม่นยำภายในระยะ 30 เมตร หรือประมาณ 100 ฟุต เนื่องจากความเที่ยงตรงของการบอกตำแหน่งสำหรับผู้ใช้งานทั่วไปค่อนข้างมากเกือบเท่ากับทางทหาร ดังนั้นทางสหรัฐจึงได้มีการออกแบบระบบที่จะลดความเที่ยงตรงของการเข้ารหัสแบบ C/A Code ลง ซึ่งเรียกว่า ความสามารถเลือกหาได้ (selective availability หรือ S/A) ซึ่งได้เพิ่มโอกาสการผิดพลาดไปเป็นที่ระยะ 100 เมตร หรือ ประมาณ 330 ฟุต แทนของเดิม

#### กลอนนาส

กลอนนาส (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema , GLONASS) เป็นระบบนำร่องของรัสเซียที่มีสถานีส่งสัญญาณ โคจรอยู่เหนือพื้นโลก เช่นเดียวกับระบบจีพีเอส การจัดวางระบบมีลักษณะคล้าย ๆ กัน คือ มีทั้งส่วนที่อยู่ในอวกาศ ส่วนที่เป็นสถานีควบคุมบนพื้นโลก และ ส่วนผู้ใช้

สำหรับตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างระบบจีพีเอส และกลอนนาส

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจีพีเอสกับกลอนนาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	จีพีเอส	กลอนนาส
<b>รูปแบบวงโคจร</b>		
จำนวนดาวเทียม	24	24
จำนวนระนาบของวงโคจร	6	3
มุมเอียงวงโคจร (องศา)	55	56.8
รัศมีวงโคจร (กิโลเมตร)	26,560	25,510
วงรอบ (ชั่วโมง:นาที)	11:58	11:16
<b>คุณสมบัติของสัญญาณ</b>		
คลื่นพาห้ (เมกกะเฮิรต)	L1: 1575.42	
L2:(1602+0.5625n)		L2:1227.60
L2:(1246+0.4375n)		n = 1,2,...,24
รหัส	CDMA	FDMA
	C/A code on L1	C/A code on L1
	P code on L1,L2	P code on L1,L2
ความถี่ของรหัส	C/A code:1.023	C/A code:0.511
	P code:10.23	P code:5.11
<b>มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง</b>		
ระบบพิกัด	WGS-84	SGS-85(PZ-90)
ระบบเวลา	UTC(USNO)	UTC(SU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยอาศัยตัวเลข URE (User Range Error) มาระบุค่าความผิดพลาด (ตัวเลข URE) ได้มาจากการถอดรอกที่สองของผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ที่ไม่ขึ้นต่อกัน เช่น ความผิดพลาดของค่า ephemeris ความไม่แน่นอนในการโคจรของดาวเทียม ความผิดพลาดทางด้านเวลา ความผิดพลาดในการบวกรวมในเครื่องรับ และค่า S/A (ของระบบจีพีเอส) จะประมาณได้ว่า

ระบบจีพีเอสที่ไม่ใส่ S/A                      URE = 7      เมตร

ระบบจีพีเอสที่ใส่ S/A                            URE = 25     เมตร

ระบบกลอนนาส                                    URE = 10     เมตร

สำหรับการใช้งานของพลเรือนที่ไม่มีระบบจีพีเอสเพื่อเรนเชิลเข้าช่วย (stand alone) ระบบกลอนนาสเป็นระบบที่น่าสนใจทีเดียว

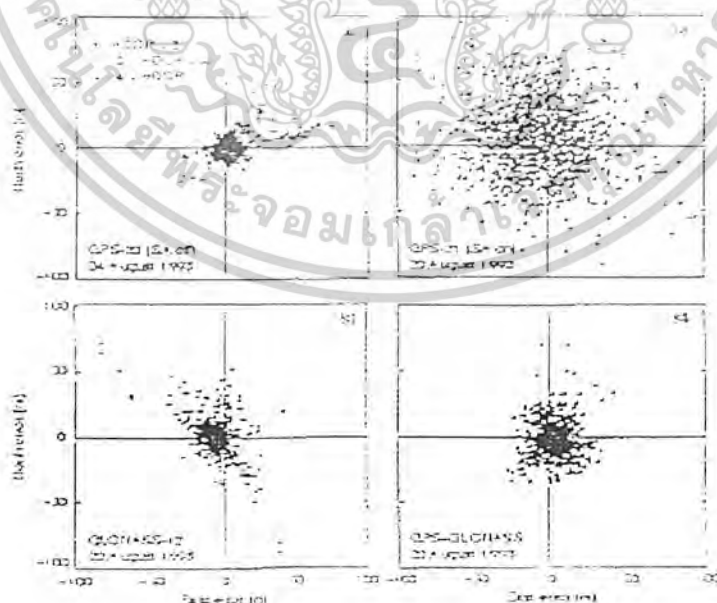
ในปัจจุบันนี้ ได้มีการพัฒนาเครื่องรับให้สามารถใช้งานทั้งสองระบบร่วมกัน ขอให้พิจารณาจากรูปที่ 2.3

รูป (a) เป็นการกระจายของความผิดพลาดในการวัดพิทักในระบบจีพีเอสเมื่อไม่ใช้ S/A

รูป (b) เป็นการกระจายของความผิดพลาดในการวัดพิทักในระบบจีพีเอสเมื่อใช้ S/A

รูป (c) เป็นการกระจายของความผิดพลาดในการวัดพิทักในระบบกลอนนาส

ดังนั้นเมื่อเทียบรูป (a) กับ (c) แล้วระบบจีพีเอสจะให้ความแม่นยำใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเทียบระหว่างรูป(b) กับ (c) แล้วจะพบว่าระบบกลอนนาสให้ความแม่นยำกว่า



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบจีพีเอส กับ กลอนนาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้ากล่าวถึงเสถียรภาพของระบบแล้ว ระบบจีพีเอสทั้งนี้เนื่องจากในปีที่ผ่านมาพบว่าระบบกลอนนาสยังคงมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการส่งสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงระบบพิกัดบางครั้งสัญญาณขาดหายไป เป็นต้น

ดังนั้นการใช้ระบบกลอนนาสเพียงอย่างเดียวจึงถือว่าการเสี่ยงเกินไปและเมื่อนำทั้งสองระบบมาใช้งานร่วมกันในลักษณะที่พลเรือนใช้งาน โดยทั่วไปผลการทดลองที่ได้จะเป็นดังรูป (d)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### พื้นฐานของการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม

ในหัวข้อนี้เป็นการอธิบายถึงพื้นฐานการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม เพื่อให้เข้าใจถึงระบบที่ใช้กันว่า มีขีดจำกัดอย่างไร และจำเป็นต้องรู้อะไรบ้าง เพื่อที่จะได้ทำความเข้าใจระบบจีพีเอสได้ดียิ่งขึ้น

#### 3.1 แนวความคิดเบื้องต้นในการระบุพิกัดของจีพีเอส

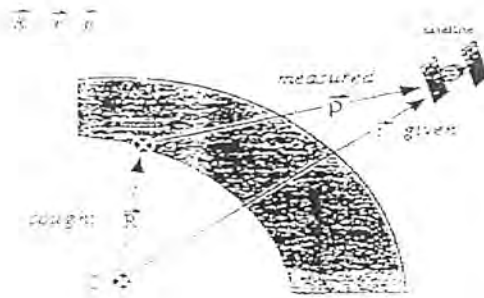
ในวิชาเรขาคณิตพื้นฐานที่เคยศึกษามาเกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยม ทำให้ทราบว่า ถ้ารู้เส้นรอบรูปสามเหลี่ยม และมุมภายในรูปสามเหลี่ยม จะสามารถหาเส้นที่สามได้อย่างถูกต้อง ดังอย่างเช่น สมมติว่ามีรูปสามเหลี่ยมทางเรขาคณิตอย่างง่ายดังรูป 5.1 โดยอาศัยความรู้เบื้องต้นจะเขียนได้ว่า  $Y^2 = Z^2 - X^2$  หรือกล่าวได้ง่ายๆ ว่า ถ้ารู้ความยาวของ  $Z$  และ  $X$  และมุมต่าง ๆ แล้วจะหาค่าความยาวของ  $Y$  ได้



รูปที่ 3.1 แสดงการหาความยาวของ  $Y$  เมื่อทราบความยาวของ  $X, Y$  และมุมต่าง ๆ

ทำนองเดียวกัน จะอาศัยแนวคิดนี้ในการกำหนดพิกัดบนพื้นผิวโลกของระบบจีพีเอสได้  
ดังรูป 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การหาพิกัดในระบบจีพีเอส

จากรูปที่ 3.2 ถือว่าจุด C เป็นศูนย์กลางของโลก สายอากาศ (antenna) อยู่ที่พื้นผิวโลก ดาวเทียมลอยอยู่เหนือพื้นผิวโลก เครื่องรับที่ติดอยู่กับสายอากาศสามารถวัดได้ว่า ดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศเท่าใด (P) และดาวเทียมส่งข้อมูลมาบอกเครื่องรับว่า ตัวมันห่างจากจุด C เท่าใด (r) ตัวเครื่องรับก็จะหาได้ว่าตำแหน่งของสายอากาศอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย คือ  $R = r - P$  (เป็นเวกเตอร์)

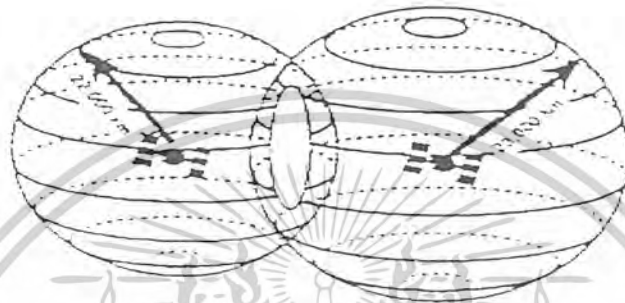
ประเด็นต่อมาก็คือ เครื่องรับมีหลักการในการวัดระยะห่างระหว่างตัวมันกับดาวเทียมอย่างไร ในช่วงแรกของสมมติว่า ดาวเทียมดวงแรกโคจรอยู่เหนือพื้นโลก 22,000 กิโลเมตร ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมมีรัศมี 22,000 กิโลเมตร

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าเครื่องรับที่อยู่บนพื้นผิวโลก อาจจะอยู่ที่บริเวณใดก็ได้บนพื้นผิว ทรงกลมที่สร้างขึ้นมาล้อมรอบดาวเทียม เพราะเราไม่รู้ว่าที่จุดใดของทรงกลมและอยู่กับพื้นผิวโลก รู้แต่เพียงว่าจะมีอยู่จุดหนึ่งเท่านั้นที่สัมผัสกับพื้นผิวโลก ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงหนึ่งโคจรอยู่เหนือพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คืน 23,000 กิโลเมตร เราก็จะสามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสองมีการตัดกัน ผลที่ได้จะเป็นวงกลมเล็ก ๆ เกิดขึ้น เครื่องรับน่าจะอยู่ที่ใดที่หนึ่งในวงกลมนี้ ซึ่งยังคงเป็นพื้นที่ที่กว้างเกินไป



รูปที่ 3.4 แสดงการตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม

ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงเป็นดวงที่สาม โคจรอยู่เหนือพื้นโลก 24,000 กิโลเมตร ก็สามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสามมีการตัดกันผลที่ได้จะเป็นจุดสองจุดที่ขอบของวงกลมเล็ก ๆ เครื่องรับน่าจะอยู่จุดใดจุดหนึ่งในสองจุดนี้ แต่จะมีจุดเดียวเท่านั้นที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎี (ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยอาศัยคณิตศาสตร์เข้าช่วย)



รูปที่ 3.5 แสดงการตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

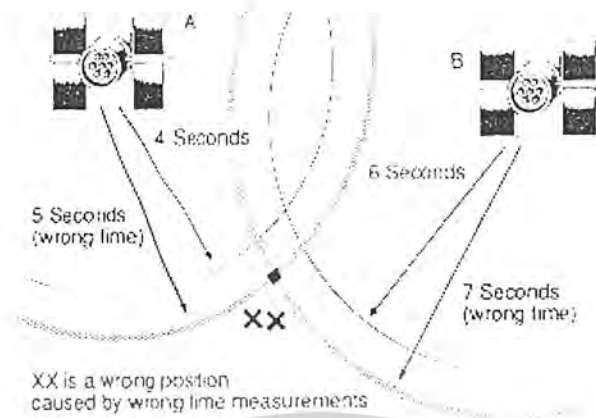
ประเด็นถัดมาลองมาคิดว่า ตัวเครื่องรับสัญญาณจะรู้ว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศของเครื่องรับเป็นระยะทางเท่าใดได้ อย่างไร โดยหลักการแล้ว ถ้าวัดคลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับด้วยความเร็วเท่ากับแสง ดังนั้นถ้าสมมติว่า ดาวเทียมส่งข้อมูล ABC ออกมาจากดาวเทียมเมื่อเวลา 08.00 นาฬิกา แล้วเครื่องรับรับข้อมูลได้เวลา 08.01 นาฬิกา แสดงว่าข้อมูลใช้เวลาเดินทางจากดาวเทียมมายังสายอากาศใช้เวลา 1 นาที เมื่อนำค่านี้คูณด้วยความเร็วของแสง ก็จะทำให้ได้ระยะทางออกมาเช่นเดียวกัน

ดังนั้นแทนที่เราจะบอกเป็นระยะทางว่าดาวเทียมโคจรอยู่สูงจากพื้นผิวโลกกี่กิโลเมตร เราอาจบอกเป็นเวลาก็ได้ เช่น ดาวเทียมสองดวงอยู่ห่างจากสายอากาศ 4 และ 6 วินาที เพื่อให้ง่ายขึ้นจะมองทรงกลมที่สมมติขึ้นมาคือรอบดาวเทียมแค่สองมิติเป็นวงกลมล้อมรอบดาวเทียม A และ B และสมมติว่าเกิดจุดตัดกันออกมาที่จุด X ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B

แต่ถ้าเวลาที่วัดได้เกิดการผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็น จะด้วยสาเหตุใดก็ตาม เช่น ดาวเทียม จาก A 4 วินาทีเป็น 5 วินาที และดาวเทียม B จาก 6 วินาทีเป็น 7 วินาที ผลที่เกิดขึ้นก็คือ แทนที่จะเกิดจุดตัดกันที่จุด X กลับเกิดที่จุด XXX ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงการตัดกันของดาวเทียม A และ B ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

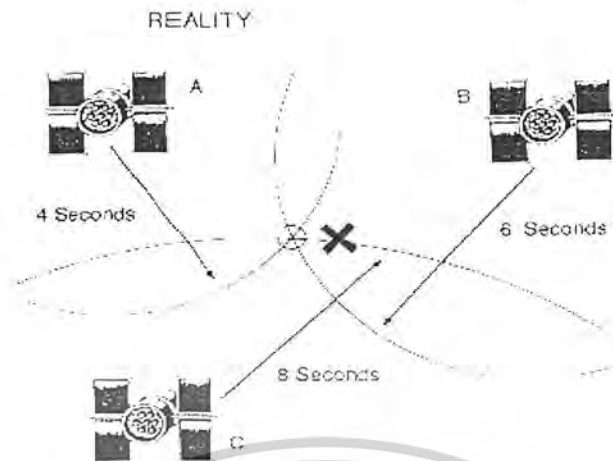
แม้ว่าจะใช้ดาวเทียมดวงที่สาม (ดาวเทียม C) เข้าช่วย เพื่อหาค่าตำแหน่งที่แน่นอนดังกล่าวมาแล้วในตอนต้น ถ้าเวลาผิดพลาดไปก็จะเกิดจุดตัดที่ผิดพลาดขึ้นมาเช่นกัน ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A, B และ C ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าจุดที่ถูกต้องตามที่ต้องการในครั้งแรกก็คือจุด X ซึ่งจะเป็นจุดตัดจุดเดียวเท่านั้น ไมโครโปรเซสเซอร์ในเครื่องรับจะเริ่มทำการปรับค่าความผิดพลาดของเวลาของดาวเทียมแต่ละดวง การทำเช่นนี้จำเป็นต้องอาศัยดาวเทียมอีกดวงหนึ่งเข้าช่วยเพื่อทำการปรับตั้ง เวลาในเครื่องรับให้แม่นยำขึ้น จากนั้นจึงทำการขยับเวลาที่ทำการวัดได้จากดาวเทียมแต่ละดวงเพื่อทำการลดค่าผิดพลาดให้น้อยลง เมื่อทำการปรับปรุงได้อย่างถูกต้องแล้วก็จะทำให้ได้จุดตัดออกมาอย่างถูกต้องดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงจุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม A,B และ C

จากการที่ได้อธิบายมาข้างต้นจะเห็นว่า ความแม่นยำของเวลาเป็นหัวใจของระบบที่เคียวคิงนั้นบนดาวเทียมจีพีเอส จึงมีนาฬิกาเชิงอะตอมที่มีความแม่นยำสูงบรรจุอยู่ที่เครื่อง นาฬิกาเหล่านี้จะถูกปรับตั้งให้มีความแม่นยำอยู่ตลอดเวลาโดยสถานีควบคุมภาคพื้นดิน

จากแนวความคิดที่กล่าวมานี้ ถ้าเครื่องรับสัญญาณอยู่บนพื้นโลกจะทำให้เครื่องรับทราบว่ามีตัวมันห่างจากดาวเทียมเท่าใด เหมือนกับได้ระยะทางด้านหนึ่งของสามเหลี่ยมแล้ว คือ ด้านที่สองของสามเหลี่ยม คือ เครื่องรับจะทราบได้โดยดาวเทียมจะส่งข้อมูลมาบอกว่ามันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด ดังนั้น เครื่องรับจะคำนวณได้ว่า ตัวมันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด

ปัญหาต่อมา ก็คือ ตำแหน่งที่บอกออกมานั้นเราจะรู้ได้อย่างไรว่ามันคือที่ไหนบนโลกนี้ ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดระบบอ้างอิงให้มัน การกำหนดใดๆ ก็ตามให้เปรียบเทียบกับระบบอ้างอิงที่กำหนดขึ้นนี้ ในบทความต่อไปจะกล่าวถึงระบบอ้างอิงที่ใช้ในระบบจีพีเอส

## บทที่ 4

### จีโอดีติก ดาต้า

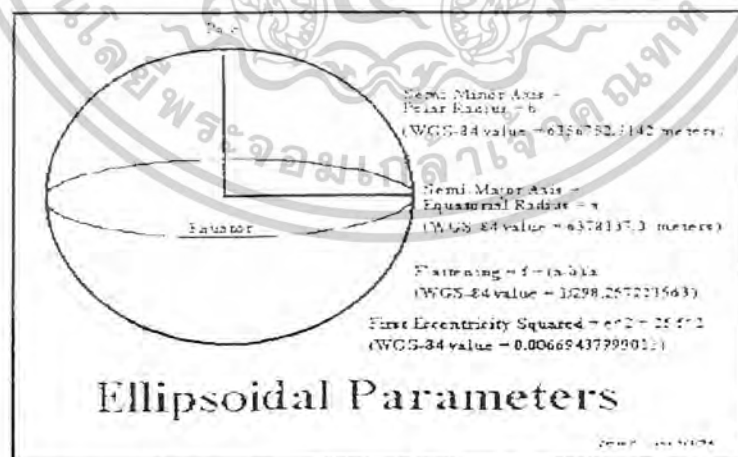
เนื่องจากพิกัดที่ได้จากเครื่องจีพีเอส มักอยู่ในรูปของ ละติจูด,ลองจิจูด หรือค่าตัวแปร XYZ การกำหนดค่าดาต้าพิด จะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นอย่างมาก

จีโอดีติก ดาต้า คือ การกำหนดระดับอ้างอิงที่ใช้อธิบายขนาดและรูปร่างของโลก ว่าควรมีลักษณะอย่างไร ในสมัยโบราณถือว่าโลกแบน ดังนั้นระนาบอ้างอิงจึงเป็นเพลนระนาบ ต่อมาพบว่า โลกเป็นทรงกลม ระบบอ้างอิงจึงเปลี่ยนเป็นทรงกลมตามไปด้วย จนภายหลังพบว่ารูปร่างของโลกใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเป็น แบบเอลลิปซอยด์ (ellipsoid) และใช้มาจนถึงปัจจุบันนี้

เมื่อผนวกเข้ากับการกำหนดระบบพิกัดอ้างอิงก็จะทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกได้อย่างแม่นยำ

#### 4.1 การอ้างอิงโดยเอลลิปซอยด์ (Reference Ellipsoids )

รูปแบบจำลองแบบเอลลิปซอยด์ (ellipsoid) ถือว่าพื้นผิวโลกราบเรียบและมีโครงสร้างเกือบเป็นทรงกลม( บ้างกลางคล้ายผลส้ม แต่เพื่อความสะดวกจะวาดเป็นวงกลมแทน) การอ้างอิงใดๆ บนพื้นผิวจะทำผ่านสองแกนคือ Semi-Major Axis คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังเส้นอีควาเตอร์ และ Semi-Minor Axis ซึ่งก็คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังขั้ว



รูปที่ 4.1 ตัวแปรของเอลลิปซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

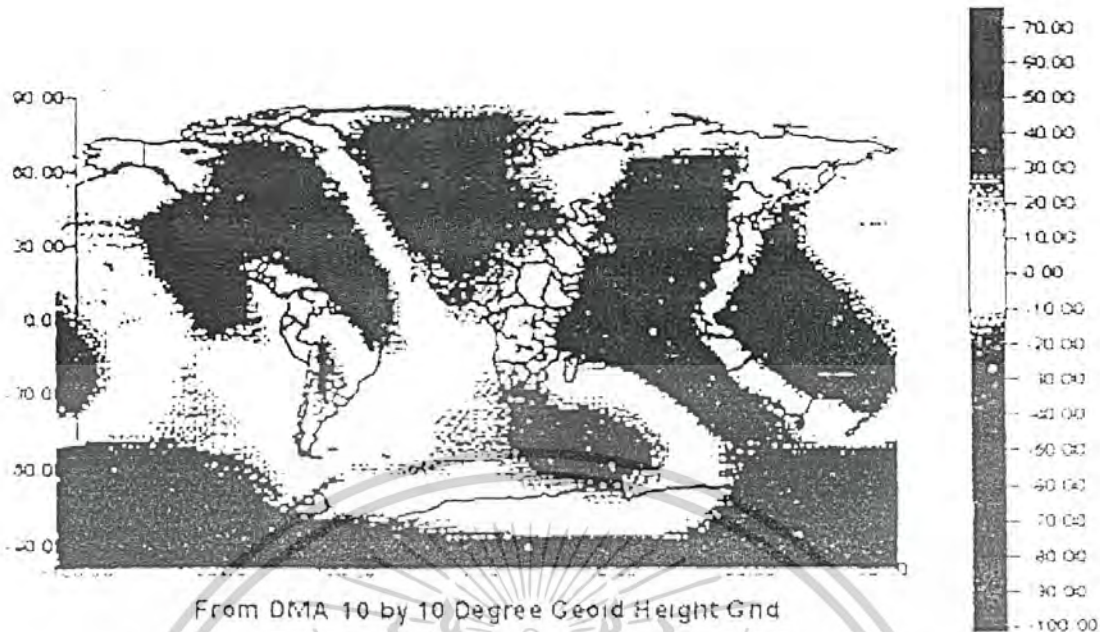
#### 4.2 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก (Earth Surface Model)

รูปแบบจำลองพื้นผิวโลกที่ถูกต้องมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบนำร่อง การสำรวจ และการทำแผนที่ แต่เนื่องจากพื้นผิวโลกมีความสูงต่ำไม่เท่ากัน นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมตลอดเวลา ดังนั้นรูปแบบจำลองจึงมีหลายแบบด้วยกัน รูปแบบจำลองสภาพทางภูมิประเทศ และระดับน้ำทะเลมีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผิวโลก ในขณะที่รูปแบบจำลองทางด้านแรงโน้มถ่วงและจีโออยด์ (Geoid) มีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วง และระดับน้ำทะเลเฉพาะส่วนของพื้นโลก รูปแบบจำลองต่าง ๆ เหล่านี้ถูกสร้างเปรียบเทียบหรืออ้างอิงร่วมกับเอลลิปซอยด์



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก

การจำลองพื้นผิวแบบโทโปกราฟฟิก (Topographic Surface) ของโลกจะแสดงพื้นผิวจริงของแผ่นดินและทะเล ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ส่วนการจำลองพื้นผิวแบบจีโออยด์นั้นจะเป็นการจำลองพื้นผิวที่แสดงค่าสนามแรงโน้มถ่วงของโลกที่ตัดเทียบระดับความสูงของน้ำทะเลเฉลี่ย (mean sea level) จีโออยด์จะเป็นพื้นผิวอ้างอิงหลักในการกำหนดความสูง ตัวอย่างดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงระดับของจีโออยด์

### 4.3 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้งานทั่วไป (Global Coordinate System)

เมื่อเรามีรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโลกแล้ว ต่อไปจะต้องกำหนดพิกัดอ้างอิงขึ้นมาเพื่อใช้กำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก มีฉะนั้นเราจะไม่ทราบว่เราอยู่ที่ใดบนโลก ทำนองเดียวกัน ถ้าระนาบอ้างอิงแตกต่างกันออกไป พิกัดที่ได้จะแตกต่างกันออกไปด้วย ระบบที่ใช้ในการอ้างอิงมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละประเทศจะใช้แตกต่างกันออกไป ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเกี่ยวข้องกับระบบ

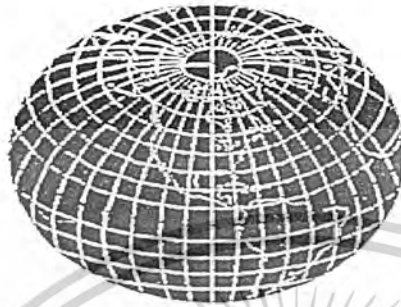
จีพีเอสเท่านั้น

#### 4.3.1 Latitude , Longitude , Height

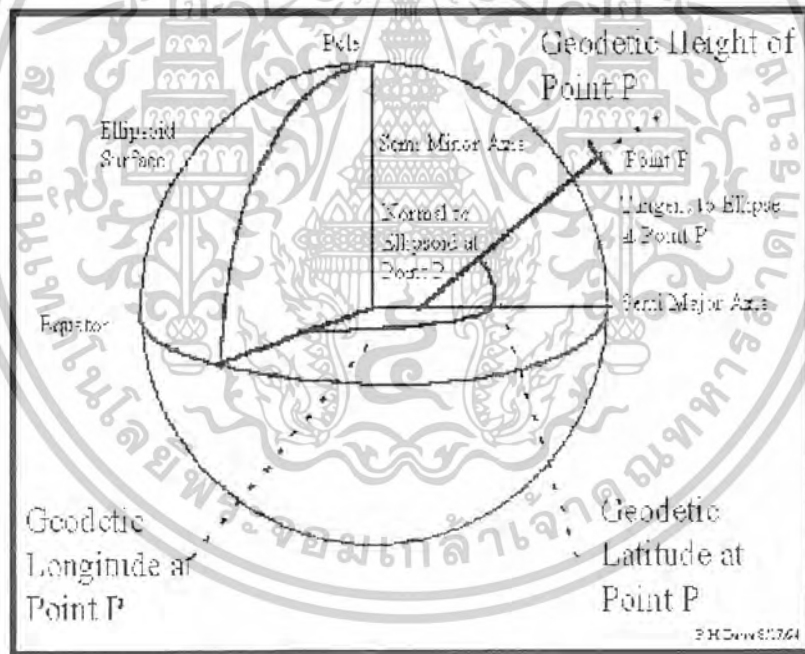
ถือเป็นระบบพิกัดที่ใช้ร่วมกันมากที่สุดในโลก โดยกำหนดให้ระนาบอ้างอิง (Reference - plane) ได้มาจาก ระนาบอีควาเตอร์ และ ไพรม์ เมอริเดียน (Prime Meridian ) ที่วางตั้งฉากกันดังรูป 4.4 สามารถจินตนาการได้ว่าโลกเสมือนผลแดงโมที่วางอยู่ กับพื้นแล้วหันทางด้านขั้วของแดงโมขึ้นฟ้า จากนั้นให้นึกต่อว่า ที่กึ่งกลางลูกแดงโมมีเส้น ๆ หนึ่ง ลากยาวรอบลูกแดงโมโดยลากขนานกับพื้นที่แดงโมวางอยู่ เส้นนี้คือ เส้นอีควาเตอร์ ถ้าใช้มีดผ่าแดงโมตามแนวเส้นนี้ แล้วยกแดงโมครึ่งบนออก สิ่งที่มองเห็นคือเนื้อแดงโมที่เป็นพื้นผิววงกลมแบนราบ นั่นคือ ระนาบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีควเอเตอร์ นั้นเอง ทำนองเดียวกัน ถ้าเราผ่าแต่งโมโนทิศทางตั้งฉากกับระนาบของอีควเอเตอร์  
ระนาบที่ได้เรียกเป็นระนาบของ 'ไพรม์ เมอริเดียน



รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดเส้นไพรม์ เมอริเดียนและเส้นอีควเอเตอร์การกำหนดว่าจุด P มีค่าเป็นเท่าใดให้ดูจากตัวอย่างดังรูปที่ 4.5

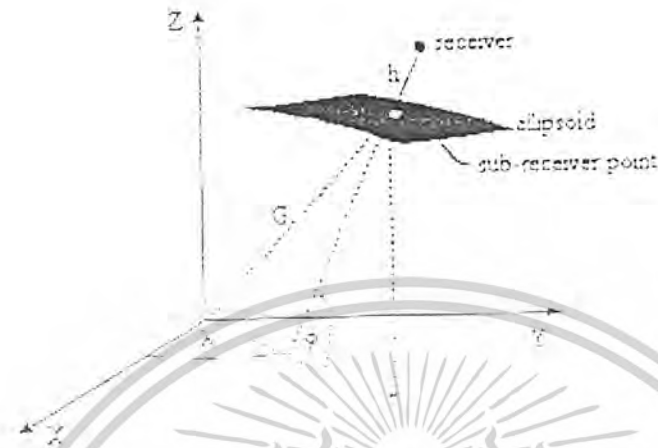


รูปที่ 4.5 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง

จากรูปที่แสดงไว้ สมมติว่าเครื่องรับสัญญาณอยู่ที่จุด P เมื่อลากเส้นมาตั้งฉากกับเส้นสัมผัสกับพื้นผิวเอลิปซอยด์ (sub-receiver point ในรูปที่ 4.6) แล้วต่อเส้นนี้ไปตัดกับระนาบอีควเอเตอร์ มุมที่เกิดจากเส้นที่ลากมากับระนาบอีควเอเตอร์ เรียกว่า Geodesic Latitude และ ถ้าถือว่าเส้นที่ลากมาจากจุด P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

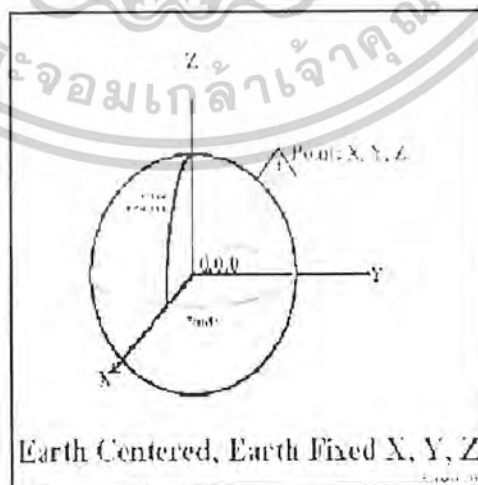
เป็นระนาบ ๆ หนึ่งที่ตั้งฉากกับระนาบอีควาเตอร์ มุมที่ระนาบ ๆ นี้กระทำกับระนาบอ้างอิงไพรม์ เมอริเดียน เรียก Geodetic Longitude ส่วนความยาวของเส้น  $h$  เรียก Geodetic Height



รูปที่ 4.6 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองจิจูด และ ความสูง

#### 4.3.2 Earth Centered , Earth Fixed X,Y,Z

ระบบนี้เป็นการกำหนดพิกัดแบบสามมิติเช่นกัน โดยถือว่าจุดศูนย์กลางมวลของโลกเป็นจุดศูนย์กลางของเอลลิปโซอิด จากจุดนี้แกน Z จะชี้มายังขั้วโลกเหนือ (ตามแนวแกนหมุนของโลก) แกน X จะชี้มายังจุดตัดกันของเส้นไพรม์ เมอริเดียน กับ เส้นอีควาเตอร์และแกน Y จะตั้งฉากกับแกน X ดังนั้น แต่ละจุดที่กำหนดขึ้นมาจะต้องมีองค์ประกอบของค่า X,Y,Z อยู่ด้วยเสมอ ระบบนี้จะใช้อ้างอิงในระบบจีทีเอสเป็นหลัก แล้วจึงทำการคำนวณจากค่า X,Y,Z มาเป็นค่า Latitude , Longitude , Height ในภายหลัง



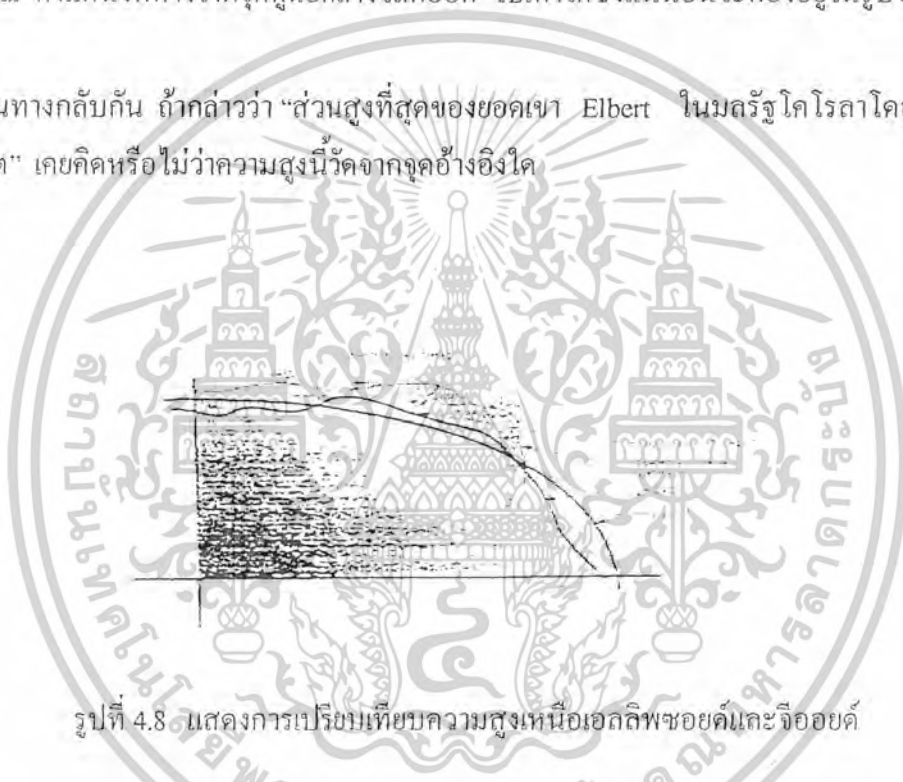
รูปที่ 4.7 แสดงระบบ ECEF X,Y,Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ข้อลัษนของควมสูง

สมมติว่า มีเครื่องมือที่สามารถบอกตำแหน่ง ละติจูด ลองจิจูด ความสูง ออกมาได้ ค่าละติจูด ลองจิจูด ที่ได้เป็นค่าที่มีนิยามแน่นอนไม่สับสน แต่ค่าความสูงจะมีความสับสนได้ง่าย โดยทั่วไปตามความคิดของผู้ใช้งานจะคิดว่าเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง(mean sea level) แต่จากรูปที่ผ่านมาในระบบละติจูด ลองจิจูด จะหมายถึงความสูงจากพื้นผิวเอลิปซอยด์ซึ่งเป็นรูปแบบการจำลองมาจากคณิตศาสตร์ ส่วนในระบบ ECEF XYZ จะหมายถึงความสูงของเครื่องรับ ณ ตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางโลกออกไปเท่าใดซึ่งแน่นอนจะต้องอยู่ในรูปของ XYZ

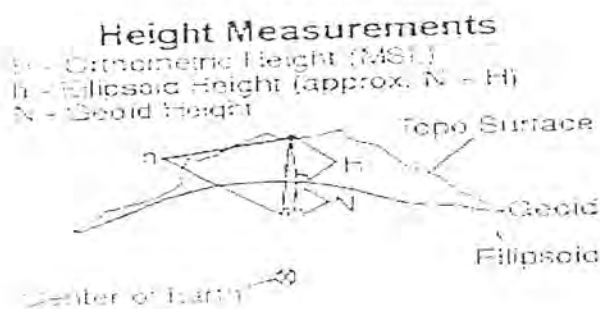
ในทางกลับกัน ถ้ากล่าวว่า “ตัวสูงที่สุดของยอดเขา Elbert ในมลรัฐโคโรลาโดสูง 14,433 ฟิต” เคยคิดหรือไม่ว่าความสูงนี้วัดจากจุดอ้างอิงใด



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบความสูงเหนือเอลิปซอยด์และจีโออยด์

จากรูปที่ 4.8 เส้น orthometric height คือ เส้นความสูงที่นับจากเส้นจีโออยด์ ส่วนเส้น ellipsoidal height ก็คือเส้นความสูงที่วัดจากเอลิปซอยด์ ซึ่งก็คือ geodetic height นั่นเอง ถ้าระบุความสูงออกมาลอยๆ ผู้ใช้มักคิดว่าเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ย หรือ กล่าวง่าย ๆ ว่าเป็น orthometric height แต่ความสูงจากเครื่องจีพีเอสจะเป็น ellipsoidal height หรืออยู่ในรูปของ XYZ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในแบบต่าง ๆ

จากรูป 4.9 จะเขียนได้ว่า

$$H = h - N$$

เมื่อ H คือ orthometric height

h คือ ellipsoidal height

N คือ geoid height

Good height คือ ผลต่างของ orthometric height กับ ellipsoidal height ที่จุด ๆ หนึ่ง ดังนั้นการใช้จีพีสว่าความสูงต้องระวังให้ดีว่า ความสูงที่ได้นั้นเป็นแบบใด

#### 4.5 สรุปความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการที่ผ่านมา

จากที่ผ่านมา เครื่องรับจะทำการวัดระยะทางจากดาวเทียมถึงตัวมันได้ โดยอาศัย เวลา \* ความเร็วแสง การวัดระยะทางในลักษณะนี้ ระยะทางที่ได้เรียก พูโดเร인지 (Pseudo-range) จากนั้นเครื่องรับจะรับข้อมูลที่ส่งจากดาวเทียม ที่เรียกว่า อีเฟมมาริส (Ephemeris) ข้อมูลนี้จะบอกให้ทราบว่าดาวเทียมมีวงโคจรอย่างไร ทำให้เครื่องรับทราบว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด คอมพิวเตอร์ในเครื่องรับจะคำนวณได้ว่า ตำแหน่งของมันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าไร โดยอาศัยรูปจำลองทางคณิตศาสตร์เอลลิป-ซอยด์ พิถีดอ้างอิง และคาดัม จะทำให้เครื่องรับสามารถคำนวณตำแหน่งในระบบ ECEF XYZ หรือค่าละติจูด ลองจิจูด ความสูง ออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การให้บริการของจีพีเอสและสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

ระบบจีพีเอสถูกสร้างมาจากหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา จุดมุ่งหมายหลักคือให้บริการแก่หน่วยงานทางทหาร ต่อมาได้เปิดให้พลเรือนใช้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย แต่ได้แยกบริการออกเป็นสองกลุ่ม

#### 5.1 การให้บริการของระบบจีพีเอส

การแบ่งกลุ่มการให้บริการใช้ความแม่นยำมาเป็นตัวกำหนด ในปัจจุบันนี้ได้แบ่งการให้บริการแยกออกเป็นสองประเภทคือ

##### 5.1.1 การให้บริการที่มีความแม่นยำสูง ( Precision Position Code , PPS )

สำหรับใช้ในกิจการทหาร หรือ พลเรือนที่ได้รับอนุมัติใช้งานเท่านั้น ความแม่นยำที่คาดว่าจะได้รับคือ

- ความแม่นยำทางด้านแนวนอน 17.8 เมตร
- ความแม่นยำทางด้านแนวตั้ง 27.7 เมตร
- ความแม่นยำของเวลา 100 นาโนวินาที

สาเหตุที่พลเรือนทั่วไปไม่สามารถใช้บริการที่มีความแม่นยำสูงได้เนื่องจากผู้ควบคุมระบบ ( DoD ) ได้เข้ารหัสข้อมูลเอาไว้ทำให้เครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสที่มีขายในท้องตลาดทั่วไปไม่สามารถทำการถอดรหัสสัญญาณต่างๆ ที่รับได้อย่างถูกต้องจึงทำให้การคำนวณต่างๆ ผิดพลาดจนเชื่อถือไม่ได้

##### 5.1.2 การให้บริการตามรูปแบบมาตรฐาน ( Standard Position Service , SPS )

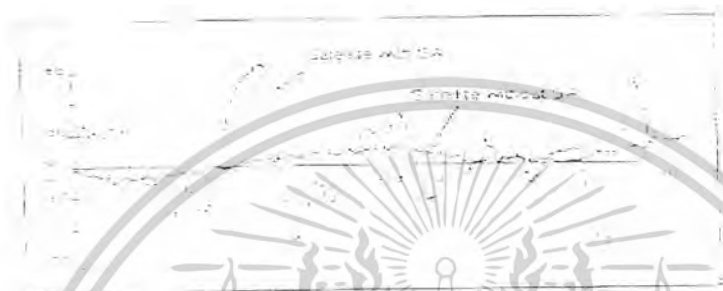
ใช้สำหรับกิจการทางด้านพลเรือน โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและใช้งานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ความแม่นยำถูกทำให้ลดลงโดยกระบวนการ ที่เรียกว่า Selective Availability ภายใต้การควบคุมของ DoD ความแม่นยำที่คาดว่าจะได้รับคือ

- ความแม่นยำทางด้านแนวนอน 100 เมตร
- ความแม่นยำทางด้านแนวตั้ง 156 เมตร
- ความแม่นยำของเวลา 167 นาโนวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ผลของการใส่ SA เพื่อลดความแม่นยำลง

การใส่ SA เป็นการลดความแม่นยำในการทำงานทางด้านพลเรือนลง โดยทำให้ข้อมูลที่ส่งออกมาจากดาวเทียมเปลี่ยนแปลงไปมาในลักษณะที่ไม่แน่นอน ดังรูป 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงไปมาโดยผลของ SA

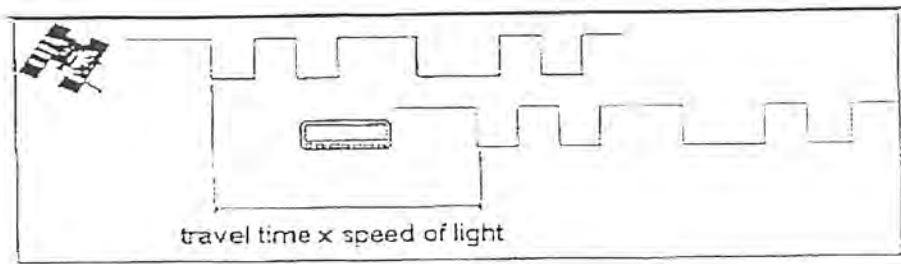
ในปัจจุบันนี้ได้พยายามมีการผลักดันให้ยกเลิกการลดค่าความผิดพลาดลงจากเดิม โดยให้เหตุผลว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถใช้เทคนิคดีเฟนเซอร์นซ์จัดออกไปได้เกือบหมด นอกจากนี้ระบบกลอนนาสซึ่งเป็นระบบนำร่องของรัสเซียให้ความผิดพลาดเพียง 50 เมตร เท่านั้น

## 5.3 สัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

จากที่ผ่านมายังตั้งกันว่า ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับจะหารจากความแตกต่างของเวลาที่ดาวเทียมส่งมากับเวลาที่เครื่องรับได้คูณด้วยความเร็วแสง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสัญญาณต่างๆ ที่ส่งออกจากดาวเทียมมาให้เครื่องรับบนพื้นโลก

จากรูปที่ 5.2 ดาวเทียมจะส่งรหัสออกมาในรูปแบบของสัญญาณ เมื่อเครื่องรับได้รับรหัสนี้จะทราบว่ารหัสนี้ใช้เวลาในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนานเท่าใดและเป็นรหัสที่ส่งมาจากดาวเทียมดวงใด เมื่อนำเวลานี้มาคูณด้วยความเร็วแสงก็จะทำให้คำนวณหาระยะทางระหว่างเวลาดาวเทียมกับเครื่องรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงแนวความคิดในการหาระยะห่างจากดาวเทียมกับเครื่องรับ

ด้วยเหตุนี้ความแม่นยำในการกำหนดพิกัดของระบบจีพีเอสจะขึ้นอยู่กับฐานเวลา เป็นสำคัญฐานเวลาที่อยู่บนดาวเทียมจีพีเอสได้มาจากนาฬิกาเชิงอะตอม ตัวอย่างเช่น BLOCK II จะมีนาฬิกาเชิงอะตอม แบบรูบิเดียมสองเครื่อง และ แบบซีเซียมสองเครื่อง ทำให้ความผิดพลาดต่อวัน น้อยมาก หรือกล่าวง่ายๆ ว่านาฬิกาจะเดินพลาดไป 1 วินาที เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 160,000 ปี

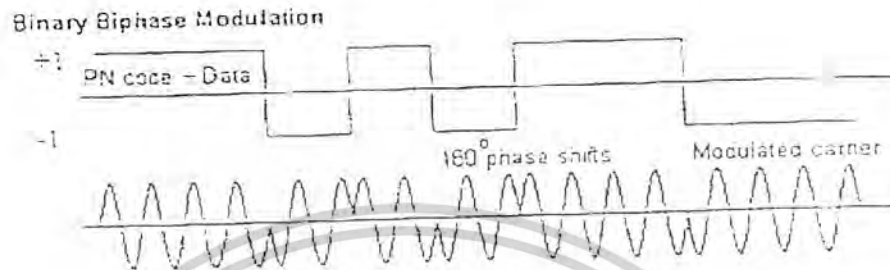
#### 5.4 ความถี่ที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังโลก

ดาวเทียมจีพีเอสจะใช้สัญญาณจากนาฬิกาเชิงอะตอมสร้างความถี่พื้นฐานที่ในแบนด์ L เป็น 10.23 เมกกะเฮิร์ต แล้วสร้างคลื่นพาห้ในแบนด์ L1 และ L2 โดยการคูณความถี่พื้นฐานด้วย 154 และ 120 ดังนั้นความถี่ของคลื่นพาห้ในแบนด์ L1 จะเท่ากับ 1576.42 เมกกะเฮิร์ต ความถี่ของคลื่นพาห้ในแบนด์ L2 จะเท่ากับ 1227.60 เมกกะเฮิร์ต รหัสต่างๆ จะถูกกำหนดขึ้นจากความถี่พื้นฐานทั้งสิ้น แสดงได้ดังนี้

องค์ประกอบ	ความถี่ ( MHz )	
ความถี่พื้นฐาน	$f_0$	= 10.23
คลื่นพาห้ L1	152 $f_0$	= 1576.42
คลื่นพาห้ L2	120 $f_0$	= 1227.60
พี – โค้ด ( P-code )	$f_0$	= 10.23
ซี/เอส – โค้ด ( C/A – code )	$f_0/10$	= 1.023
ข้อมูลในการนำร่อง	$f_0/204.600$	= 0.00005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดหรือรหัสทั้งสอง (C/A และ P) ถูกกำหนดอยู่ในรูปสัญญาณพัลส์ สัญญาณพัลส์เหล่านี้จะถูกผสมกับคลื่นพาส์ในลักษณะของไบนารี ไบเฟส มอดูเลชัน (Binary Biphase- Modulation) ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การผสมสัญญาณแบบไบนารี ไบเฟส มอดูเลชัน

## 5.5 รหัสที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก

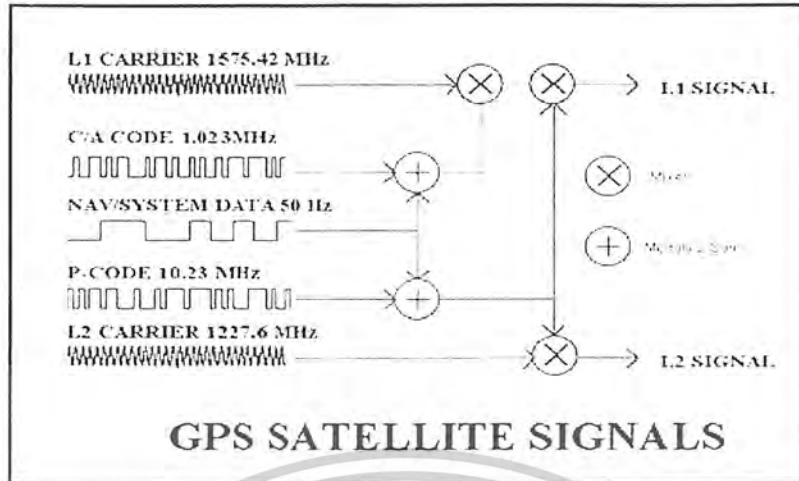
รหัสที่ผสมมาที่คลื่นพาส์สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

**5.5.1 C/A – code (Coarse Acquisition)** ถูกผสมออกมาที่คลื่นพาส์ในแบนด์ L1 เท่านั้น รหัสซูด แรนดอม นอยส์ (Pseudo Random Noise, PRN) ขนาด 1 เมกกะเฮิร์ต ชุดหนึ่งที่ซ้ำๆกัน รหัสที่คล้ายกันนี้จะถูกส่งมาทางแบนด์ L1 ในลักษณะของการกระจายสเปกตรัม (Spread spectrum) ตลอดช่วงแบนด์วิดท์ 1 เมกกะเฮิร์ต รหัส C/A จะซ้ำเดิมทุกๆ 1023 บิต ดาวเทียมแต่ละดวงจะมารหัส PRN ของรหัส C/A ที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นรหัส PRN มาเป็นตัวแยกดาวเทียมแต่ละดวง

**5.5.2 P-code (Precise)** จะถูกผสมออกมาที่คลื่นพาส์ทั้งในแบนด์ L1 และ L2 รหัส P คือ PRN ขนาด 10 เมกกะเฮิร์ต ชุดหนึ่งที่มีความยาวมากๆ (7 วัน) สัญญาณนี้จะทำให้เครื่องรับสับสนในการคำนวณค่าต่างๆ สำหรับผู้ได้รับอนุมัติให้ใช้สัญญาณนี้จะต้องมีชิพพิเศษที่เรียกว่า AOC (Auxiliary Output Chip) ต่อเข้ากับเครื่องรับจึงจะใช้งานได้ถูกต้อง

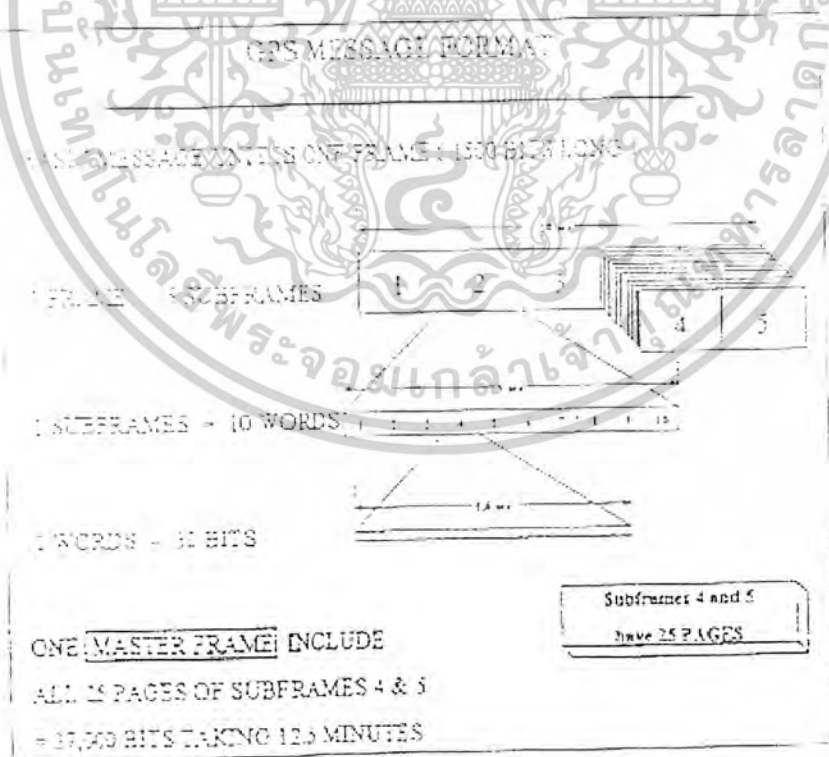
**5.5.3 ข้อมูลนำร่อง (Navigation Message)** ข้อมูลนำร่องเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตเป็นบิตของข้อมูลที่ใช้ออก วงจรของดาวเทียม ข้อมูลการแก้ไขเวลา และตัวแปรอื่นๆ ของระบบ ข้อมูลนำร่องจะถูกนำมาผสมสัญญาณของรหัส C/A เพื่อส่งออกมาทางแบนด์ L1 และผสมสัญญาณของรหัส P เพื่อส่งออกมาทางแบนด์ L2 การผสมสัญญาณของข้อมูลนำร่องเข้ากับ C/A หรือ P โค้ด จะเป็นแบบการบวกแบบมอดุโล 2 (Modulo-2 addition) ดังรูปที่ 5.4 ผลที่ได้จึงนำไปผสมสัญญาณต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมจีพีเอส

โดยข้อมูลนำร่องที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังเครื่องรับ จะถูกแบ่งออกเป็นเฟรม ( Frame ) ดังรูป 5.5 จะเห็นว่าหนึ่งเฟรมมีความยาวบิตข้อมูลเท่ากับ 1500 บิต ดังนั้นแต่ละเฟรมใช้เวลาทั้งสิ้น 1500 / 50 หรือ 30 วินาที ในหนึ่งเฟรมยังแบ่งออกเป็นเฟรมย่อย (subframe ) ได้ 5 เฟรมย่อย ใช้ชื่อเป็นเฟรมย่อยที่ 1 ถึง 5 แต่ละเฟรมย่อยแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 เวิร์ด โดยหนึ่งเวิร์ดประกอบด้วยบิตข้อมูล 30 บิต



รูปที่ 5.5 แสดงโครงสร้างของการส่งข้อมูลของจีพีเอส

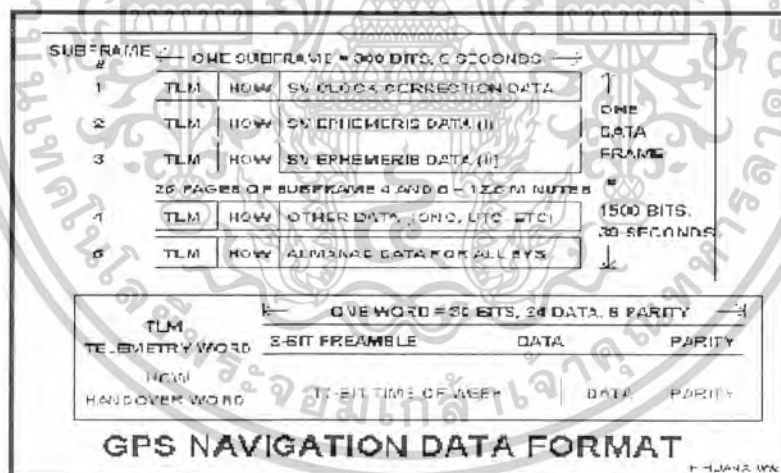
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อยที่ส่งมาใช้ระบุรายละเอียดที่แตกต่างกัน แต่ละเฟรมย่อยเริ่มด้วยเวิร์ดพิเศษคือ TLM ( Telemetry Word ) และ HOW ( Hand-over Word )

เวิร์ด TML ประกอบด้วยข้อมูล 8 แรกที่มีรูปแบบคงที่ใช้เป็นรูปแบบในการซิงโครไนซ์ และข้อมูลอีก 14 บิต สำหรับแสดงสถานะในการอัปเดตข้อมูลขึ้นสู่ดาวเทียม ข้อมูลในการทำการตรวจสอบการทำงานและข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

เวิร์ด HOW ใช้เก็บค่าๆ หนึ่งเรียกว่า Z-count ซึ่งจะเปลี่ยนไปทุกๆ 6 วินาที Z-count เป็นจำนวนที่แสดงจำนวนนับทีละ 1.5 วินาที โดยเริ่มนับ 0 ตั้งแต่เที่ยงคืนของวันเสาร์เป็นต้นไปจนครบหนึ่งสัปดาห์ ( ตามระบบเวลาของจีพีเอส ) คำนับสูงสุดคือ 403200 (  $403200 * 1.5 = 604800$  วินาที = 168 ชั่วโมง = 7 วัน ) คำนับจะถูกนำไปใช้คำนวณหาและแทรกตาม P-code ตัวเลขอีกตัวหนึ่งใน HOW จะถูกนำมาคูณ 4 เพื่อหาจุดเริ่มต้นของเฟรมย่อยถัดไป นอกจากนี้ HOW ยังมีหมายเลขแต่ละเฟรมย่อยเก็บอยู่ รวมถึงแฟล็กแสดงสถานะต่างๆ

- เฟรมย่อยที่ 1 ประกอบด้วย สัมประสิทธิ์ในการแก้ค่าเวลาที่ผิดพลาด อายุของข้อมูลและแฟล็กต่างๆ
- เฟรมย่อยที่ 2 และ 3 ประกอบด้วยข้อมูลที่ แสดงถึงวง โคจรของดาวเทียม ( ephemeris )



รูปที่ 5.6 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อย

- เฟรมย่อยที่ 4 แสดงค่าของรูปแบบจำลองของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ข้อมูลของ UTC ( Coordinated Universal Timer ) แฟล็กแสดงถึงการเข้ารหัส P-code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เฟรมย่อยที่ 5 แสดงรายละเอียดคร่าวๆ ของตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงโดยอาศัย  
 สัญญาณนี้จะทำให้เครื่องรับเองทราบว่ามีความถี่ของดาวเทียมดวงใดบ้างที่มองเห็น เมื่อแทรกได้ดวงใดดวงหนึ่ง  
 แล้วการแทรกดวงอื่นๆจะทำได้ง่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การหาตำแหน่งและเวลาจากจีพีเอส

#### 6.1 การแยกรหัสในเครื่องรับ (Code Phase Tracking)

การแยกรหัส PRN หรือ C/A เครื่องรับจีพีเอสจะสร้างรหัส C/A จำลองแบบขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้รับจากดาวเทียม ตัวสร้างรหัสจำลองขึ้นมาอาจเป็นวงจรทางฮาร์ดแวร์ จำพวกรีจิสเตอร์เลื่อนบิตหรือทำการคำนวณรหัสทั้งกลุ่มเอาไว้ในหน่วยความจำของเครื่องรับก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่ผู้ออกแบบว่าจะเลือกใช้แบบใด

ตัวสร้างรหัส C/A ภายในเครื่องจีพีเอสจะสร้างรหัส C/A ที่แตกต่างออกไปโดยอาศัยการเลือกแท็ป รีจิสเตอร์เลื่อนบิตจะทำการเลื่อนชิฟออกตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมอยู่ รหัส C/A ที่กำหนดในปัจจุบันเป็นคัมรูป 8.1 จะเห็นว่าดาวเทียมแต่ละดวงจะมีรหัส C/A เฉพาะตัวไม่ซ้ำกัน

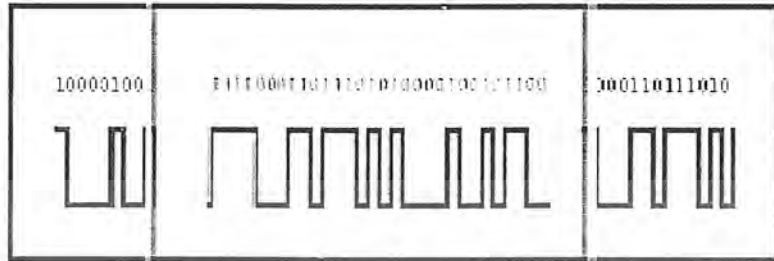
PRN	รหัส	รหัส
1	2 & 6	1100100000
2	3 & 7	1110010000
3	4 & 8	1111001000
4	5 & 9	1111100100
5	6 & 10	1100101001
6	7 & 11	1100101011
7	8 & 12	1001011001
8	9 & 13	1100101100
9	10 & 14	1110010111
10	11 & 15	1101000100
11	12 & 16	1110100010
12	13 & 17	1111010000
13	14 & 18	1111110100
14	15 & 19	1111111010
15	16 & 20	1111111101
16	17 & 21	1111111110
17	18 & 22	1001101110
18	23 & 23	1100110111
19	3 & 5	1110011011
20	4 & 7	1111001101
21	5 & 8	1111100110
22	6 & 9	1111110011
23	7 & 10	1000110011
24	8 & 11	1111000110
25	9 & 12	1111100011
26	10 & 13	1111110001
27	11 & 14	1111111000
28	12 & 15	1111111100
29	13 & 16	1001010111
30	14 & 17	1100101011
31	15 & 18	1110010101
32	16 & 19	1111001010

รูปที่ 6.1 การแสดงกำหนดรหัส C/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



และเมื่อรหัสเหมือนกันทุกส่วน ทำให้เครื่องรับทราบได้ว่ากำลังข้อมูลจากดาวเทียมดวงใด



Full Correlation (Code Phase Lock) of Receiver and Satellite PRN Codes

รูปที่ 6.5 แสดงความเข้ากันได้ทั้ง PRN

#### 6.1.1 การนำร่องโดยใช้การวัดระยะทางแบบซูด ( Pseudo – Range Navigation )

ระยะทางแบบซูด หมายถึง ระยะทางจากสายอากาศของเครื่องรับไปยังดาวเทียม เป็นการวัดที่ได้จากการคำนวณเอาจากเวลาที่สัญญาณเดินทางจากดาวเทียมมาถึงสายอากาศแล้วคูณด้วยความเร็วแสง ดังนั้นระยะทางที่ได้จะเป็นการรวมเอาค่าต่างๆ อันได้แก่ ค่าที่ใช้ไปอัล-ค่าที่ไม่ทราบค่าแน่นอน เช่น การหน่วงเวลาของชั้นบรรยากาศ เป็นต้น เอาไว้ด้วยตัวอย่าระยะทางแบบซูด คือ

รูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 แสดงระยะทางแบบซูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาระยะทางซูด ตัวเครื่องรับจะทำการเปรียบเทียบจากรหัส PRN ที่ได้จากดาวเทียมกับรหัส PRN ที่สร้างขึ้นภายในตัวเครื่องรับว่ามีเวลาต่างกันอยู่เท่าใด ซึ่งจะเป็นเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับ เมื่อคูณค่านี้ด้วยความเร็วแสงจะได้ระยะทางออกมา ระยะทางที่คำนวณได้นี้เป็นผลรวมระหว่าง ระยะทางจากสายอากาศของดาวเทียมจีพีเอสมาถึงเครื่องรับ , การไบอัสเวลาที่ดาวเทียม , การไบอัสเวลาที่เครื่องรับของผู้ใช้ , การหน่วงเวลาเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และสัญญาณรบกวนของเครื่องรับ

ในการคำนวณหาระยะทางแบบซูดนั้นใช้ดาวเทียม 3 ดวง จากรูป 6.7 จากสมการ Position - Equation จะเห็นว่า ตัวแปรของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณนั้นจะมี 3 ตัวแปร เมื่อรวมกับ Clock bias ด้วยจะกลายเป็น 4 ตัวแปร ดังนั้นจึงต้องใช้ดาวเทียม 4 ดวงมาคำนวณ



รูปที่ 6.7 แสดงสมการคำนวณระยะทางแบบซูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวอย่างการหาค่าของ Pseudo-range navigation เป็นดังรูปที่ 6.8

GPS Pseudorange Navigation Example - Peter H. Dana - 4/24/98

Satellite (SV) coordinates in ECEF XYZ from Ephemeris Parameters and SV Time

SVx<sub>0</sub> := 15524471.175    SVy<sub>0</sub> := -16649826.222    SVz<sub>0</sub> := 13512272.387    SV 15  
 SVx<sub>1</sub> := -2304058.534    SVy<sub>1</sub> := -23287906.465    SVz<sub>1</sub> := 11917038.105    SV 27  
 SVx<sub>2</sub> := 16680243.357    SVy<sub>2</sub> := -3069625.551    SVz<sub>2</sub> := 20378551.047    SV 31  
 SVx<sub>3</sub> := -14799931.395    SVy<sub>3</sub> := -21425358.24    SVz<sub>3</sub> := 6069947.224    SV 7

Satellite Pseudoranges in meters (from C/A code epochs in milliseconds)

P<sub>0</sub> := 89491.971    P<sub>1</sub> := 133930.500    P<sub>2</sub> := 283098.754    P<sub>3</sub> := 205961.742 Range + Receiver Clock Bias

Receiver Position Estimate in ECEF XYZ

Rx := -730000    Ry := -5440000    Rz := 3230000

For Each of 4 SVs    i := 0..3

Ranges from Receiver Position Estimate to SVs (R) and Array of Observed - Predicted Ranges

$$R_i := \sqrt{(SVx_i - Rx)^2 + (SVy_i - Ry)^2 + (SVz_i - Rz)^2} \quad L_i := \text{mod} \left[ \left( \frac{R_i}{299792.458} \right) - P_i \right]$$

Compute Directional Derivatives for XYZ and Time

$$Dx_i := \frac{SVx_i - Rx}{R_i} \quad Dy_i := \frac{SVy_i - Ry}{R_i} \quad Dz_i := \frac{SVz_i - Rz}{R_i} \quad Dt_i := -1$$

Solve for Correction to Receiver Position Estimate

$$A := \begin{bmatrix} Dx_0 & Dy_0 & Dz_0 & Dt_0 \\ Dx_1 & Dy_1 & Dz_1 & Dt_1 \\ Dx_2 & Dy_2 & Dz_2 & Dt_2 \\ Dx_3 & Dy_3 & Dz_3 & Dt_3 \end{bmatrix} \quad dR := (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \quad dR = \begin{bmatrix} -3186.496 \\ -3791.932 \\ 1193.286 \\ 12345.997 \end{bmatrix}$$

Apply Corrections to Receiver XYZ and Compute Receiver Clock Bias Estimate

Rx := Rx + dR<sub>0</sub>    Ry := Ry + dR<sub>1</sub>    Rz := Rz + dR<sub>2</sub>    Time := dR<sub>3</sub>  
 Rx = -733186.496    Ry = -5443791.932    Rz = 3231193.286    Time = 12345.997

รูปที่ 6.8

จากตัวอย่างข้างต้นได้คำตอบเป็นพิกัด XYZ ซึ่งสามารถแปลงเป็นพิกัด ละติจูด ลองจิจูด และความสูงได้จากสมการดังรูปที่ 6.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Coordinate Conversion

#### Geodetic Latitude, Longitude, and Height to ECEF, X, Y, Z

$$X = (N + h) \cos \phi \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cos \phi \sin \lambda$$

$$Z = [N(1 - e^2) + h] \sin \phi$$

where:

$\phi, \lambda, h$  = geodetic latitude, longitude, and height above ellipsoid

$X, Y, Z$  = Earth Centered Earth Fixed Cartesian Coordinates

and:

$$N(\phi) = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi} = \text{radius of curvature in prime vertical}$$

$a$  = semi-major earth axis (ellipsoid equatorial radius)

$b$  = semi-minor earth axis (ellipsoid polar radius)

$$f = \frac{a - b}{a} = \text{flattening}$$

$$e^2 = 2f - f^2 = \text{eccentricity squared}$$

Peter H. Dana 8/3/96

รูปที่ 6.9 แสดงการเปลี่ยนจากพิกัด ECEF XYZ พิกัดทางภูมิศาสตร์ ( Geodetic Coordinate )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้นทำให้เราทราบว่าจีพีเอสมีหลักการอย่างไรบ้างในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส , ทราบว่าผลที่ได้จากการประมวลนั้นแสดงออกมาในรูป ละติจูด ลองจิจูด ความสูง เวลา ฯลฯ

โครงการการประยุกต์ใช้งานจีพีเอสนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการทำโครงการ จากการศึกษาพบว่าเครื่องรับจีพีเอสบางรุ่นนั้นสามารถที่จะนำข้อมูลต่างๆ ติดต่อระหว่างเครื่องรับด้วยกันและยังสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลเอง หรือ ประยุกต์เข้ากับโปรแกรมเฉพาะเพื่อใช้งานในด้านอื่นๆ นอกจากการแสดงผลค่าละติจูด ลองจิจูด ความสูง เพียงอย่างเดียว เช่น การทำ Car Navigation - การหาความเร็วและความเร่งจากการใช้ข้อมูลของเครื่องรับจีพีเอส , การทำแผนที่ เป็นต้น

แต่การที่จะติดต่อระหว่างเครื่องรับจีพีเอสกับคอมพิวเตอร์ได้นั้น ทั้งเครื่องรับจีพีเอส และคอมพิวเตอร์นั้นต้องพูดภาษาเดียวกัน เข้าใจภาษาที่ใช้ติดต่อกันจึงสามารถติดต่อกันได้ ถ้าไม่เข้าใจก็ไม่สามารถติดต่อกันได้

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาภาษามาตรฐานสำหรับการติดต่อสื่อสารในระบบนำร่อง ผลที่ได้คือ NMEA 0180 โดย NMEA ย่อมาจาก National Marine Electronics Association เป็นหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานนี้ขึ้น NMEA 0180 ได้กำหนดรูปแบบในการส่งข้อมูลละติจูด ลองจิจูด กำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลและข้อมูลอื่นๆ ในการนำร่อง ต่อมาได้มีการแก้ไข NMEA 0180 ใหม่ให้มีประโยชน์และใช้ได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น นั่นคือมาตรฐาน NMEA 0183 ซึ่งใช้ได้กับอุปกรณ์ทั้งหมดในปัจจุบันนี้

มาตรฐาน NMEA 0183 เป็นชื่อเรียกสำหรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลในรูปแบบ “ ประโยค ” ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบซึ่งจะกล่าวต่อไป

พารามิเตอร์ของ NMEA 0183

- ในการส่งข้อมูล 1 ไบต์ จะประกอบด้วย 7 บิต ASC II ใน 8 บิตโดยบิตสำคัญมากที่สุด ( บิตที่ 7 ) จะถูกกำหนดให้เป็น 0
- มีหนึ่งบิตเริ่ม ( start bit ) และหนึ่งบิตสิ้นสุด ( stop bit )
- ไม่มีพาริตีบิต
- มี Bayd rate : 4800 bps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษาของ NMEA 0183 ถึงแม้จะมีมากแต่ก็ไม่ยากที่จะเข้าใจ โดยแต่ละประโยคจะเริ่มต้นด้วย “ S ” และสิ้นสุดด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่ < CR > < LF > ในแต่ละประโยคมีความยาวได้มากที่สุด 80 ตัวอักษร ระหว่างเริ่มต้นและสิ้นสุดของประโยคเป็นข้อมูล แต่ละข้อมูลจะถูกแยกจะถูกแยกจากกันด้วยเครื่องหมาย “ , ” ข้อมูลชุดแรกของทุกๆ ประโยค (Field 0) เริ่มด้วย 2 ตัวอักษรที่แสดงถึงอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลมา ( talker ) ตามด้วย 3 ตัวอักษรที่แสดงว่าใช้รูปแบบประโยคใดแต่ตามด้วยข้อมูลที่ต่างกันไปตามรูปแบบประโยค

ตัวอย่างของ 2 ตัวอักษรที่แสดงถึง อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลมา

LC	Loran-C
GP	GPS
TR	Transit SATNAV
AP	Autopilot
HC	Magnetic heading compass
RA	Radar

## 7.1 รูปแบบประโยคมาตรฐานพอสั่งขป

GLL – Geographic Position , latitude / Longitude

แสดงตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด และเวลา

S - -GLL , III.II , a , yyy.yy , b , hhmmss.ss

III.II = ตำแหน่งละติจูด (Latitude of position )

a = N or S

yyy.yy = ตำแหน่งลองจิจูด (Longitude of position )

b = E or W

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC ( UTC of position )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### GGA - Global positioning System Fix Data

แสดงเวลา ตำแหน่งและข้อมูลคงที่ต่างๆ สำหรับเครื่องรับจีพีเอส

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

- hhmms.ss = ตำแหน่งของ UTC ( UTC of position )
- lll.ll = ตำแหน่งละติจูด (Latitude of position )
- a = N or S
- b = E or W
- x = ชี้ออกคุณภาพของ GPS ( 0 = no fix , 1 = GPS fix , 2 = Dif.GPS fix )
- xx = จำนวนของความเที่ยมที่ใช้
- x.x = ความเที่ยงตรงในแนวนอน ( horizontal dilution of precision )
- x.x = ระยะความสูงของสายอากาศเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง
- M = หน่วยความสูงของสายอากาศ , เมตร
- x.x = Geoidal separation
- M = หน่วยของ Geoidal separation , เมตร
- x.x = อายุของข้อมูลจีพีเอสเรซลิฟิเอส , วินาที
- xxxx = แอดเดรสของจีพีเอสเรซลิฟิเอส

### STN - Multiple Data ID

ประโยคนี้อาจส่งก่อนประโยคอื่นๆ ที่เครื่องรับต้องการเพื่อกำหนดแหล่งที่ถูกต้องของข้อมูลในระบบ

\$ - - STN , xx

xx = เลขแอดเดรสของเครื่องที่ส่งข้อมูลมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TRF - TRANSIT Fiz Data**

แสดงเวลา , วัน , ตำแหน่ง และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินทาง

S--TRF , hhmmss.ss , xxxxxx , III.II , a , yyy.yy , b , x.x , x.x , x.x , x.x , x.x

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC ( UTC of position )

xxxxxx = Date : dd/mm/yy

III.II = ตำแหน่งละติจูด (Latitude of position )

a = N or S

yyy.yy = ตำแหน่งลองจิจูด (Longitude of position )

b = E or W

x.x = มุมเงย ( Elevation angle )

x.x = จำนวนของการย้าย ( Number of iterations )

x.x = Number of Doppler intervals

x.x = ระยะทางที่ทันสมัย ( Update distance )

x.x = แอคเตอร์ของดาวเทียม

**VRW - Dual Ground / water speed**

แสดงข้อมูลความเร็วของคลื่นและความเร็วพื้นฐาน

S--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 = Transvers ground speed , knots

A = Status : ground speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ZDA – Time & Date**

แสดงเวลา UTC , วัน , เดือน , ปี และเวลาที่ท้องถิ่นในแต่ละเขต

\$ - - ZDA , hhhmss.ss , x.x , x.x , xxxx . xx , x.x

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC ( UTC of position )

xx = วัน , 01 ถึง 31

xx = เดือน , 10 ถึง 12

xxxx = ปี

xx = เวลาเขตท้องถิ่น , นาที

**VTG – Track Made Good and Ground Speed**

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 , M = Speed , knots

x.x , K = Speed , KM / hr

รูปแบบของประโยคที่ได้กล่าวมานี้เป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมมาประยุกต์ใช้มีเพียง GGA , GLL , ZDA เป็นต้น ในเครื่องรับแต่ละยี่ห้อ แต่ละรุ่น ก็มีเอาท์พุทเป็นรูปแบบประโยคที่แตกต่างกันออกไปซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

**ตัวอย่างรูปแบบประโยคของ NMEA 0183**

Field # : 0 1 2 3 4

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยคจะเริ่มต้นด้วย \$ 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 ลิปดาเหนือ , 74 องศา 9.43 ลิปดาตะวันตก ” และสิ้นสุดประโยคด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่

## 7.2 รูปแบบประโยคของเครื่องรับแต่ละรุ่น

เครื่องรับ	เอาต์พุต
Eagle Explorer Ver 1.1,1.2,1.3 And Eagle AccuNav	APB , GLL , RMC , RMB
Eagle Explorer Ver 1.4	APB , GGA , GLL , GSA , GSV , RMC
Gramin – 45 ( XL ) and Gramin GPS – II Plus	BOD , GGA , GLL , GSA , GSV , RMC , RMB , RTE , WPL
Gramin – 12 XL Ver 3.02	GGA , GSA , GSV , RMC , RMB , RTE , WPL
Lowrance Global Map Sport	APB , GGA , GLL , GSA , GSV , RMC
Magellan 4000	APA , GLL , BEC , GGA , APB , VTG

จากข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถทราบว่าเครื่องรับที่มีอยู่นั้นให้อาต์พุทอะไรบ้าง ทำให้สามารถเลือกประโยคที่เหมาะสมกับที่ต้องการนำไปประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

เมื่อมีเครื่องรับจีพีเอสอยู่แล้วต้องการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ต้องใช้สายอนุกรม RS - 232 ในเครื่องรับบางรุ่นบางยี่ห้อจะต้องใช้สายเฉพาะของเครื่องรับนั้นๆ 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

การทำการติดต่อโดยรับข้อมูลจากเครื่องรับมายังคอมพิวเตอร์ทำได้โดย

- 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 )
- สายกราวด์ของ NMEA ต่อกับสายกราวด์ของ RS - 232 (ขาที่ 5 ของ RS - 232 แบบ 9 ขา หรือ ขาที่ 7 ของ RS - 232 แบบ 25 ขา)

การทำการติดต่อโดยส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องรับ

- 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 )
- สายกราวด์ของ NMEA ต่อกับสายกราวด์ของ 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 อยู่ในสถานะแรงดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### แนวความคิดและการออกแบบโปรแกรม (Concept and Design )

#### 8.1 แนวคิดเบื้องต้น ( Basic concept )

##### 8.1.1 คุณสมบัติของระบบนำทาง

ระบบนำร่องที่เราต้องการจะสร้างขึ้นนี้จะต้องประกอบไปด้วย

- 1) การแสดงผลจากการประมวลผลของระบบคอมพิวเตอร์หนึ่ง โดยผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์
- 2) ตำแหน่งของผู้ใช้ ( User ) หรือเครื่องรับ ( Receiver ) จะต้องแสดงบนแผนที่ ( Map )

ที่ถูกเก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์

- 3) ในการใช้งาน ( Operating ) แผนที่ที่ใช้แบ่งการทำงานได้เป็น 3 แบบ คือ

3.1 ถูกยึดติด ( Fixed ) อยู่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วตัวชี้ตำแหน่ง ( Pointer ) ของผู้ใช้ ( User ) หรือเครื่องรับ ( Receiver ) บนคอมพิวเตอร์จะต้องเคลื่อนที่ไปบนแผนที่

3.2 สามารถที่จะเลื่อน ( Slide ) แผนที่ตัวเองไปตามทิศทางใดก็ได้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของผู้ใช้ ที่สำคัญตัวชี้ตำแหน่ง ( Pointer ) ต้องมีการยึด ( Fixed ) จุดที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนแผนที่

- 3.3 ทั้งแผนที่และตัวชี้ตำแหน่งสามารถเลื่อน ไปพร้อม ๆ กันได้

หมายเหตุ โครงการนี้ ทางผู้จัดทำได้ออกแบบการทำงานเป็นดังในข้อ 3.1

4) ในการใช้งานจริง ตัวชี้ตำแหน่งจะต้องแสดงตำแหน่งบนแผนที่ ณ จุดที่มีความถูกต้องมากที่สุดเท่าที่ความสามารถของเครื่องจะทำได้ โดยไม่ให้เกิดความผิดพลาดจากการเขียน โปรแกรม โดยเด็ดขาด

##### 8.1.2 แนวคิดในการออกแบบ

การออกแบบระบบนำร่องโดยใช้จีพีเอสนั้น สิ่งที่เราทราบในตอนแรก ก็คือ ค่าพิกัดของตำแหน่ง ณ จุดที่เครื่องรับ GPS อยู่ โดยจะถูกแสดงออกมาในรูปของค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูด ในหน่วยองศาลิปดา เท่านั้น ซึ่งไม่สามารถทราบได้เลยว่าอยู่ ณ ตำแหน่งใดของแผนที่ภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นตำแหน่งจริง ๆ ที่อยู่บนโลก ดังนั้น การที่เราจะรู้ได้และแสดงถึงตำแหน่ง ณ จุดนั้นบนแผนที่ภูมิศาสตร์ เราจึงต้องมีการออกแบบโปรแกรมที่เหมาะสมและสามารถทำงานร่วมกับเครื่องรับ GPS

ที่มีอยู่ได้ เพื่อให้เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด สิ่งหนึ่งที่เราต้องกระทำ คือ

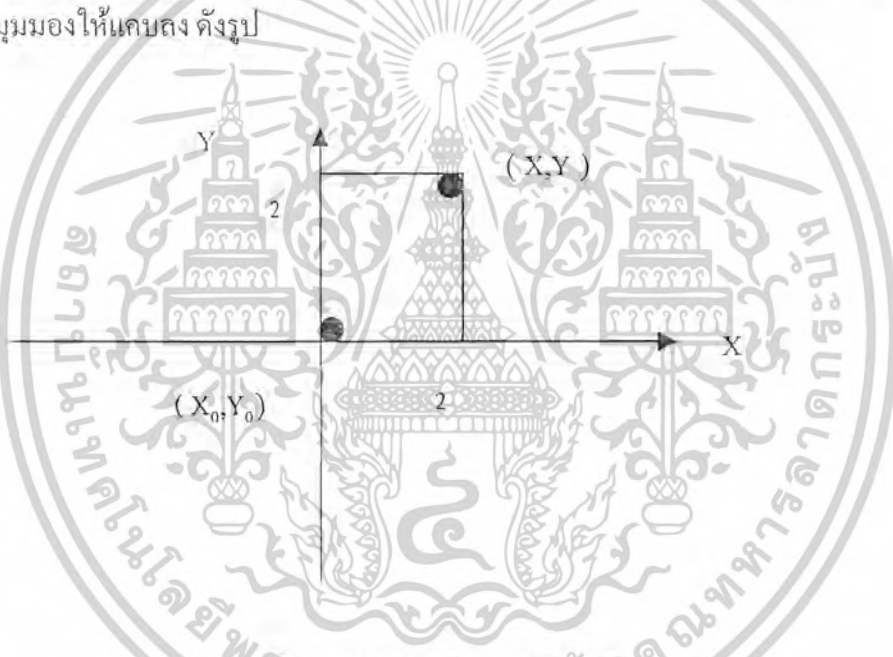
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีอยู่ได้ เพื่อให้เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด สิ่งหนึ่งที่เราต้องกระทำ คือ การเขียนโปรแกรมให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจกระบวนการคิดของผู้ออกแบบ และสามารถปฏิบัติตามได้ แต่มีบางสิ่งที่คอมพิวเตอร์ไม่สามารถเข้าใจการอ่านค่าของแผนที่ได้โดยง่ายดังเช่นมนุษย์ ดังนั้น เราจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงบางสิ่งเพื่อให้คอมพิวเตอร์เข้าใจ คือ การเปลี่ยนแปลงหน่วยอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ คือ องศา/ลิปดา ไปเป็นหน่วยที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจในตัวเองได้ คือ หน่วย Pixel ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

### หลักการคิด

1. ตี้งแรก เมื่อเรามีจุดอยู่หนึ่งจุดที่เรารู้ค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูด แต่เราจะรู้ได้อย่างไรว่าเราอยู่ตรงไหน เทียบกับสิ่งใด โดยจะเห็นได้ว่าการที่เราพูดถึงจุดใดจุดหนึ่งบนโลก ( หรือบนแผนที่) เราจะต้องมีการอ้างอิงถึงจุดใดจุดหนึ่งอย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อใช้เป็นจุดเทียบกับจุดที่เราต้องการจะรู้ เพื่อเป็นการลดความมอมงให้แคบลง ดังรูป



รูปที่ 8.1 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิง

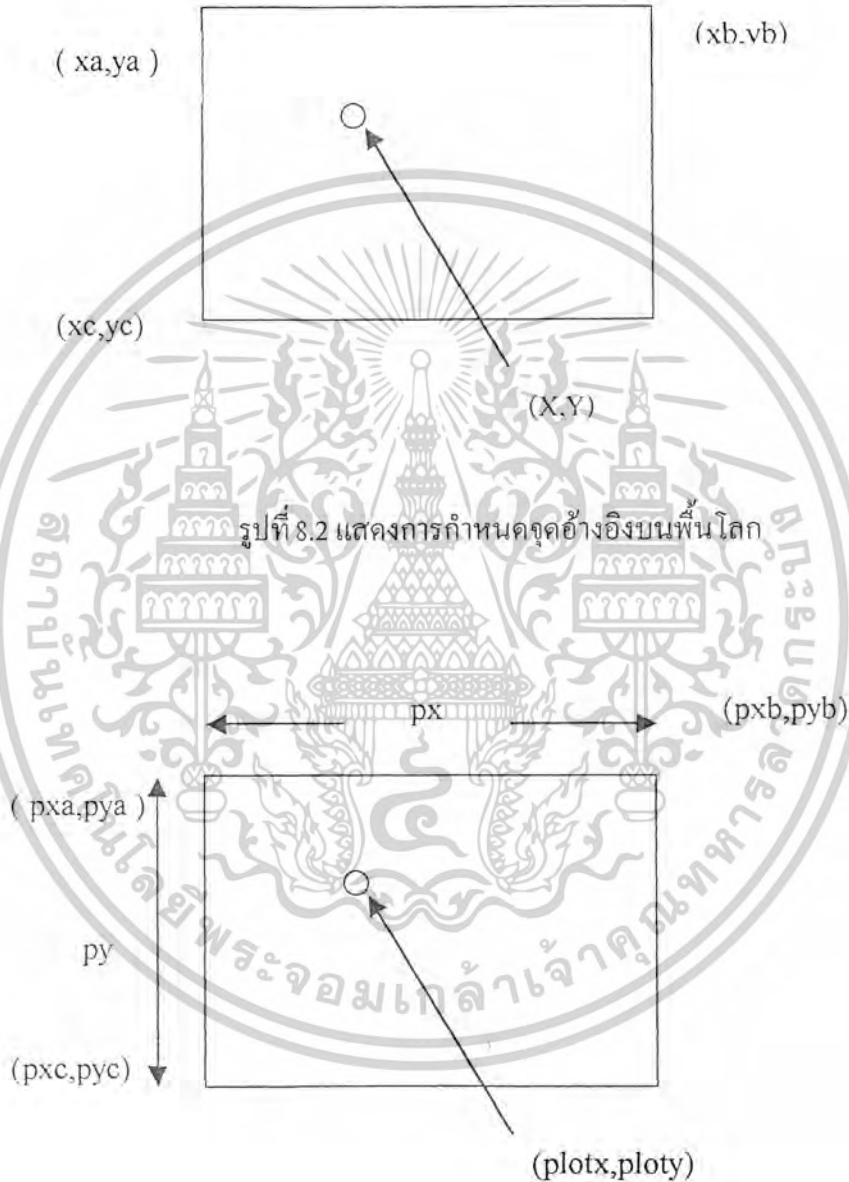
จากรูปที่ 8.1 จะเห็นว่าจุด  $(X, Y)$  เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง  $(X_0, Y_0)$  จะมีระยะห่างระหว่างจุดตามแนวแกน X เท่ากับ 2 หน่วยในแนวบวก และตามแนวแกน Y เท่ากับ 2 หน่วย ในแนวบวก ซึ่งถ้าไม่มีจุดอ้างอิงเราจะไม่รู้เลยว่าอยู่ตำแหน่งไหน

2. อย่างที่กล่าวไปแล้วในตอนต้นว่า คอมพิวเตอร์ไม่สามารถรับรู้และปฏิบัติตามคำสั่งได้โดยตรงเมื่อมีการรับข้อมูลในรูปพิกัดละติจูด/ลองจิจูด ในหน่วย องศา/ลิปดา ดังนั้น เราจึงต้องมีการเปลี่ยนหน่วยเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและปฏิบัติตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะแสดงถึงตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องรับ GPS อยู่ บนแผนที่ซึ่งถูกเก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์ มีหลักการดังนี้ คือ

2.1 เริ่มจากการกำหนดจุดตรึง (Fix point ) ขึ้นมา 3 จุด เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิง ซึ่งแต่ละจุดใน 3 จุดนี้ จะต้องอยู่บนโลกจริง ๆ ซึ่งถูกระบุในหน่วย องศา/ลิปดา กับจุดที่อยู่บนแผนที่ซึ่งถูกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์แล้ว ซึ่งถูกระบุในหน่วย Pixel ดังรูป



รูปที่ 8.3 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนแผนที่ในคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้

$x_a, y_a$  คือ ค่า Longitude และ ค่า Latitude ที่จุดอ้างอิง A  
 $x_b, y_b$  คือ ค่า Longitude และ ค่า Latitude ที่จุดอ้างอิง B  
 $x_c, y_c$  คือ ค่า Longitude และ ค่า Latitude e ที่จุดอ้างอิง C  
 $x, y$  คือ ค่า Longitude และ ค่า Latitude ณ ตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องรับอยู่

$p_x, p_y$  คือ ค่าของ Pixel ในแนวแกน X และ Y ที่จุดอ้างอิง A  
 $p_x, p_y$  คือ ค่าของ Pixel ในแนวแกน X และ Y ที่จุดอ้างอิง B  
 $p_x, p_y$  คือ ค่าของ Pixel ในแนวแกน X และ Y ที่จุดอ้างอิง C  
 $plot_x, plot_y$  คือ ค่าของ Pixel ในแนวแกน X และ Y ณ ตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องรับอยู่

2.2 สมการที่ใช้ในการแปลงหน่วยของพิกัด จากองศา/ลิปดา ไปเป็นค่า Pixel มีดังนี้ คือ

$p_x = |p_x - p_x|$ ; ผลต่างของค่า Pixel ระหว่างจุด A และ B

$p_y = |p_y - p_y|$ ; ผลต่างของค่า Pixel ระหว่างจุด A และ C

$plot_x = p_x + \frac{|x - x_a| * p_x}{|x_a - x_b|}$

$plot_y = p_y + \frac{|y - y_a| * p_y}{|y_a - y_c|}$

เมื่อ  $plot_x, plot_y$  คือ ค่าพิกัดตำแหน่งที่จะต้องนำไป plot ลงบนแผนที่บนคอมพิวเตอร์

## 8.2 แผนภาพการทำงาน

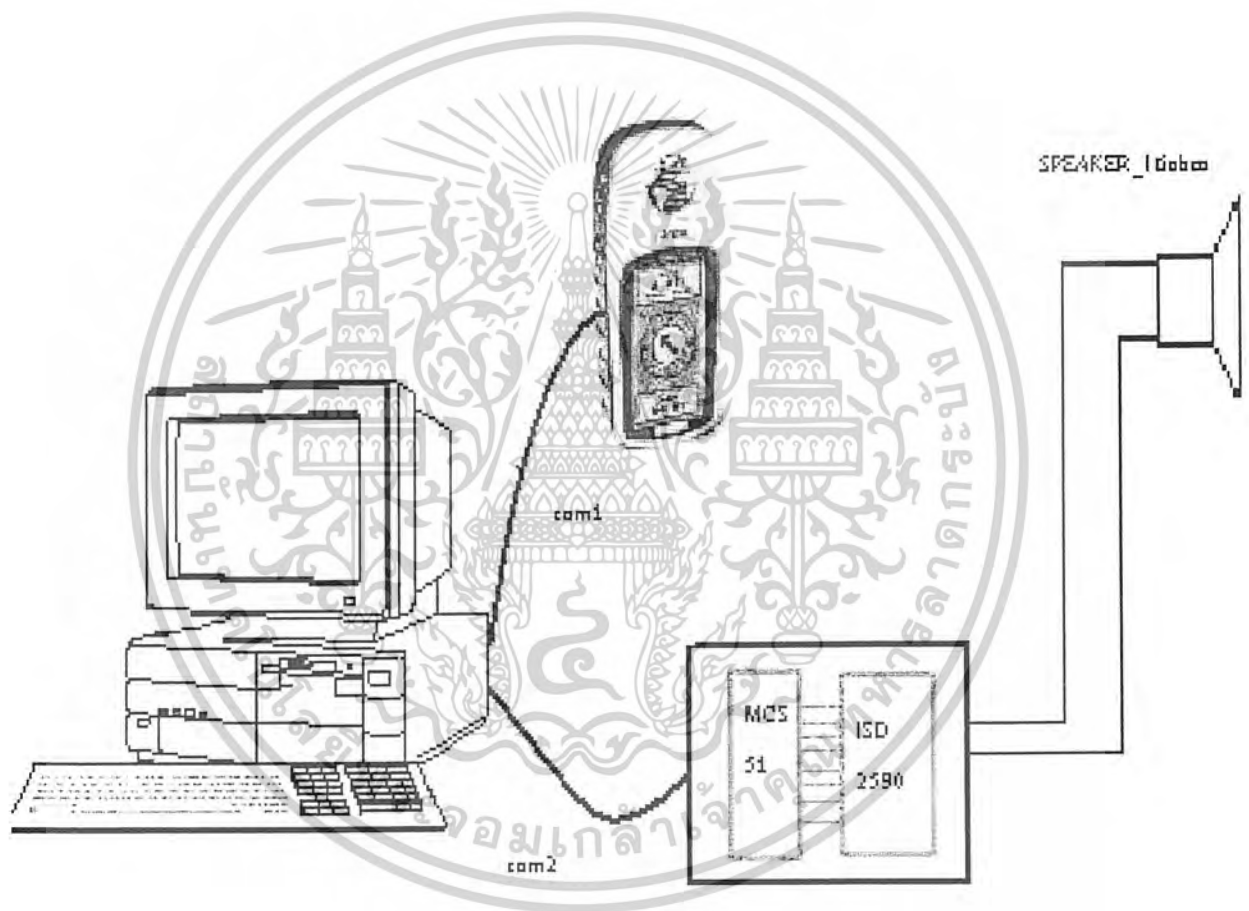
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.3 องค์ประกอบโดยรวมของระบบ ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์
- 2) วงจรอิเล็กทรอนิกส์
- 3) จีพีเอสโมดูล
- 4) โปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 8.4 ภาพโดยรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

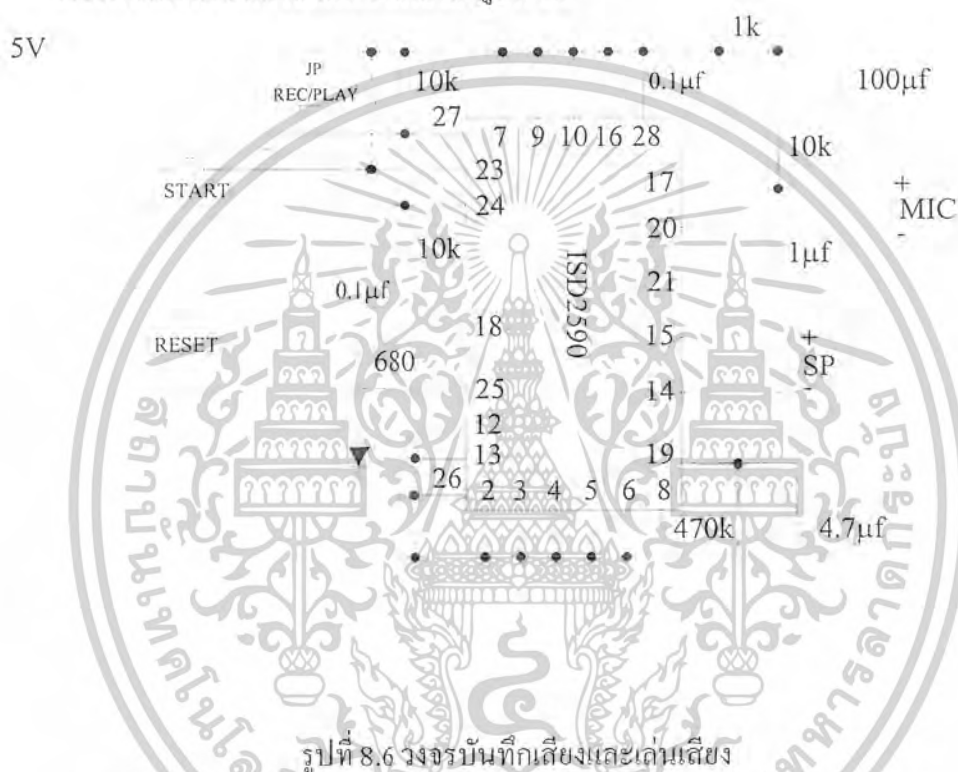


## การออกแบบส่วนอิเล็กทรอนิกส์

### 8.3.1 ระบบบันทึกเสียง

ระบบการบันทึกเสียงใช้การบันทึกเสียงบนไอซีบันทึกเสียงระบบดิจิทัล โดยใช้ไอซีตระกูล ISD25xx เบอร์ 2590 ซึ่งสามารถอัดเสียงและเล่นเสียงได้นาน 90 วินาที และเล่นเสียงใช้การเลื่อนการชี้ตำแหน่งบนไอซี โดยอาศัยสัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

วงจรบันทึกเสียงและเล่นเสียง แสดงดังรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 วงจรบันทึกเสียงและเล่นเสียง

### 8.3.2 ISD-2590

ไอซีเบอร์ ISD-2590 เป็นไอซี 28 ขาที่ใช้เทคโนโลยี Direct Analog Storage ทำให้สามารถบันทึกเสียงเก็บไว้ในชิพได้โดยตรง ไม่ต้องใช้การคัดแปลงแบบ A/D หรือ D/A การบันทึกเสียงทำได้นานถึง 90 วินาที โดยข้อมูลที่เก็บจะอยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก (Analog) และข้อมูลสามารถเก็บไว้ในชิพได้ถาวรแม้ไม่มีไฟเลี้ยงไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลักษณะโครงสร้างภายนอกของ ISD-2590

ISD2560/75/90/120			
A0/M0	1 <input checked="" type="checkbox"/>	26	VCCD
A1/M1	2 <input type="checkbox"/>	27	PR2
A2/M2	3 <input type="checkbox"/>	26	XCLK
A3/M3	4 <input type="checkbox"/>	25	COM
A4/M4	5 <input type="checkbox"/>	24	PD
A6/M6	6 <input type="checkbox"/>	23	CE
A6/M6	7 <input type="checkbox"/>	22	OVF
A7	8 <input type="checkbox"/>	21	ANA OUT
A8	9 <input type="checkbox"/>	20	ANA IN
A9	10 <input type="checkbox"/>	19	AGC
AUX IN	11 <input type="checkbox"/>	8	MIC RP
VSSD	12 <input type="checkbox"/>	7	MIC
VSSA	13 <input type="checkbox"/>	6	VCCA
SP+	14 <input type="checkbox"/>	5	SP-

รูปที่ 8.7 ขาต่างๆของไอซี ISD-2590

หน้าที่และการใช้งานของขาต่างๆ ของไอซีมีดังนี้

**Address Mode/Mode Input (A0-A9/M0-M6)** ขา 1-10/ขา 1-7 เป็นขาแอดเดรส หรือโหมดอินพุต (Mode Input) อย่างใดอย่างหนึ่งขึ้นอยู่กับค่าที่กำหนดค่าแอดเดรสเริ่มต้น หากว่าค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่าของ MSB ของแอดเดรส (A8, A9) เป็น "0" ขาเหล่านี้จะทำงานเป็นขาแอดเดรส แต่ถ้าหากว่าขาของทั้งคู่เป็น "1" ขา 1-7 จะทำหน้าที่เป็นขาโหมดอินพุต (M0-M6) การทำงานของไอซีจะเป็นไปตามโหมดของงานที่ถูกเลือกเข้าไปซึ่งโหมดของการทำงานนี้จะถูกกำหนดไว้ให้เลือกใช้งานตามต้องการ

**Auxiliary Input (AUX IN)** ขา 11 เป็นขารับสัญญาณอินพุตจากภายนอกเข้ามาทำการมัลติเพล็กซ์กับสัญญาณที่เป็นอินพุตของวงจรขยายภายในไอซี เอาท์พุทที่ได้จะขับออกสู่ขาเอาท์พุทลำโพง (SP+, SP-) โดยขั้นตอนการทำงานนี้จะเกิดขึ้นเมื่อขา CE มีสถานะเป็น 1 วงรอบของการเล่นกลับก็จะสิ้นสุดลง

**Ground Input (V<sub>SSA</sub>, V<sub>SSD</sub>)** ขา 12 และ 13 โดยคุณสมบัติของไอซีจะแยกกันระหว่างกราวด์ของสัญญาณอนาล็อกและกราวด์ของสัญญาณดิจิทัล ขากราวด์ทั้งสองนี้จะถูกต่อและปิดไว้ภายในตัวถังบรรจุของไอซี การใช้งานขากราวด์ทั้งสองนี้จะเลือกต่อกับกราวด์ของแหล่งจ่ายในส่วนที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำเพื่อไม่ให้เกิดค่าแรงดันที่แตกต่างกันระหว่างกราวด์ทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Speaker Output (SP+, SP-)** ขา 14 และ 15 เป็นขาเอาต์พุตที่ต่อกับลำโพง ซึ่งภายใน ไอซีจะมี วงจรขับสัญญาณความแตกต่างออกสู่ลำโพงโดยมีความสามารถในการขับลำโพงเอาต์พุตได้ 50 mW ที่ลำโพงความต้านทาน  $16 \Omega$  ขาเอาต์พุตนี้ห้ามต่อลงกราวด์และห้ามต่อขนานกัน โดยตรงเด็ดขาด

**Voltage Input ( $V_{CCA}$ ,  $V_{CCD}$ )** ขา 16 และ 28 เป็นขารับแรงดันไฟเลี้ยงที่จะต้องแยกกันต่างหาก ระหว่างขารับแรงดันของวงจรถอดและวงจรถัดที่ประกอบอยู่ในตัวไอซีแล้ว ขารับแรงดันต้องการแรงดันไฟเลี้ยง +5V และต้องเป็นแรงดันไฟเลี้ยงที่มีสัญญาณรบกวนต่ำมาก

**Microphone Input (MIC)** ขา 17 เป็นขารับสัญญาณอินพุตจากไมโครโฟนแล้วส่งผ่านสัญญาณเข้าสู่วงจรปรีแอมป์ (Pre-Amplifier) ที่ประกอบอยู่ในตัวไอซี ภายในประกอบด้วยวงจรควบคุมอัตราการขยายอัตโนมัติ (AGC) โดยวงจรมีจะทำหน้าที่ควบคุมอัตราการขยายอยู่ในช่วง  $-15$  ถึง  $+24$  dB ไมโครโฟนภายนอกจะถูกคัปปลิง (Coupling) ผ่านตัวเก็บประจุภายนอกในลักษณะอนุกรมกับขา 17 ค่าความจุของตัวเก็บประจุคัปปลิงจะกำหนดค่าโดยคำนึงถึงค่าความต้านทาน  $10 \text{ k}\Omega$  ที่ต่ออยู่ภายในกับขา 17 ของไอซีเพื่อทำหน้าที่คัทออฟ (Cut Off) ที่ความถี่ต่ำ

**Microphone Reference Input (MIC REF)** ขา 18 ขานี้จะต่อกับกราวด์อนาล็อก ( $V_{CCA}$ ) โดยมีตัวเก็บประจุต่ออนุกรมอยู่ก่อนเพื่อทำหน้าที่ขจัดสัญญาณรบกวนอินพุตขา 17 เพื่อให้เกิดการชดเชยทางด้านสัญญาณรบกวนให้มีค่าดีกว่า 10dB

**Automatic Gain Control Input (AGC)** ขา 19 เป็นขาอินพุตเพื่อควบคุมการปรับอัตราการขยายของปรีแอมป์ไมโครโฟนทางด้านไดนามิก (Dynamic) เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับระดับสัญญาณที่มีย่านของสัญญาณอินพุตจากไมโครโฟนและเพื่อให้ระดับสัญญาณที่บันทึกมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ขานี้จะต้องต่อร่วมกับอุปกรณ์ RC เพื่อกำหนดค่าเวลาคงที่โดยมีความต้านทานภายใน  $5 \text{ k}\Omega$  และจะต่อร่วมกับตัวเก็บประจุภายในอีกตัวหนึ่งผ่าน ลงอนาล็อก ค่าที่เหมาะสมกำหนดไว้ที่ความต้านทาน  $470 \text{ k}\Omega$  และตัวเก็บประจุ  $4.7 \mu\text{F}$

**Analog Input (ANA IN)** ขา 20 จะรับสัญญาณที่ผ่านวงจรปรีแอมป์ออกมาทางขา 21 โดยผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิงภายนอก คัปปลิงสัญญาณเข้าที่ขานี้เพื่อผ่านสัญญาณเข้าไปทำการบันทึกไว้ในตัวไอซีได้ ตัวต้านทานภายในมีค่า  $3 \text{ k}\Omega$  ซึ่งเป็นอินพุตอิมพีแดนซ์ เพื่อที่จะทำให้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter)

**Analog Output (ANA OUT)** ขา 21 เป็นขาเอาต์พุตจากวงจรปรีแอมป์ขยายสัญญาณจากไมโครโฟนที่ได้ผ่านการควบคุมอัตราการขยายจากวงจร AGC ภายในแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Overflow Output (OVF) ขา 22** สัญญาณพัลส์ (Pulse) จะปรากฏออกมาจากขาเอาต์พุตนี้เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดการเล่นกลับหรือหน่วยความจำภายในตัวไอซีได้ถูกอ่านออกมาหมดแล้วและจะแสดงสถานะหยุดเล่นกลับ พัลส์เอาต์พุตจากขา OVF นี้จะจ่ายให้กับขา CE อินพุตจนกว่าขา PD จะได้รับพัลส์เพื่อทำหน้าที่รีเซ็ต และเริ่มวงรอบการเล่นกลับใหม่อีกครั้ง พัลส์ที่ขา OVF นี้สามารถใช้ในการเริ่มต้นการทำงานของ ISD-2590 ตัวต่อไปได้เมื่อถูกต่อคาสเคด (Cascade) กันอยู่หลายตัว

**Chip Enable Input (CE) ขา 23** ต้องได้รับสัญญาณพัลส์ 0 เพื่อทำไอซีอยู่ในสภาวะพร้อมทำงานของการเล่นกลับ หรือการบันทึก โดยที่ขาแอดเดรสอินพุตและขา P/R อินพุตจะถูก Latch จากพัลส์ขอบขาลงของพัลส์ที่ขา CE

**Power Down Input (PD) ขา 24** ในขณะที่ไม่มีการบันทึกหรือเล่นกลับที่ขา PD จะต้องมีสถานะเป็น 1 เพื่อเป็นการรักษาระดับความสิ้นเปลืองกำลังงานให้อยู่ในระดับต่ำมาก ๆ

**End of Message / Run Output (EOM) ขา 25** เป็นส่วนของอุปกรณ์ Non Volatile ภายในที่จะใช้กำหนดหรือระบุการสิ้นสุดของการเก็บข้อมูลที่ทำการบันทึกขา EOM นี้จะให้เอาต์พุตออกมาเป็นพัลส์ 0 เมื่อข้อมูลที่บันทึกไว้ถูกเล่นกลับออกมาหมดแล้ว

**External Clock Input (XCLK) ขา 26** เป็นขารับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเพื่อกำหนดค่าความถี่สัญญาณนาฬิกา แต่โดยปกติได้ระบุไว้ว่าสัญญาณนาฬิกาถูกกำหนดอยู่ภายในแล้ว ซึ่งจะไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ภายนอกหรือย่านแรงดันไฟเลี้ยงไม่ว่า การใช้งานปกติจะต่อขา 25 นี้เข้ากับกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

**Playback / Record Input (P/R) ขา 27** เมื่อขาอินพุตควบคุมการเล่นกลับและบันทึกได้รับพัลส์ 1 จะเป็นวงรอบของการเล่นกลับ และถ้าเป็นพัลส์ 0 จะเป็นการเลือกวงรอบการบันทึก ถ้าหากได้รับพัลส์ที่ขาลงของขา CE จะเป็นการ Latch อินพุตที่ขา P/R

#### คุณสมบัติเด่นของ ISD-2590

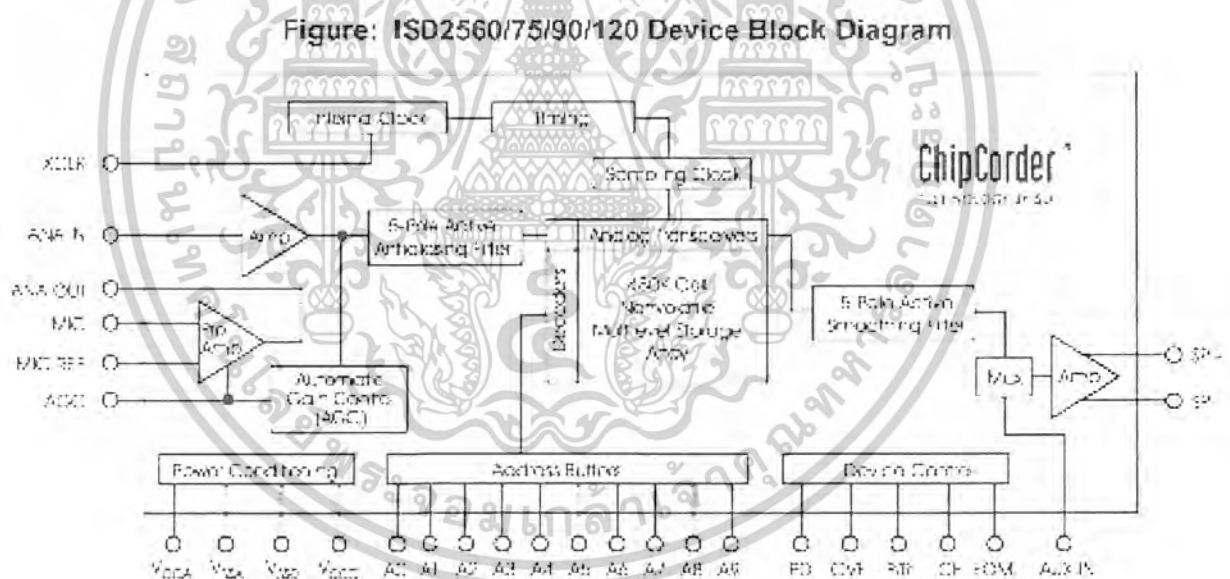
- ใช้ไอซีเพียงตัวเดียวก็สามารถบันทึกและเล่นกลับเสียงต่างๆ ได้
- ไม่ต้องมีอุปกรณ์ประเภทไอซีอื่นๆ ประกอบรวมภายนอก
- ไม่ต้องพัฒนาระบบอื่นขึ้นมาเสริมเพื่อให้ใช้งานได้
- มีประสิทธิภาพในการบันทึกและเล่นกลับ โดยมิให้เสียงได้เหมือนต้นกำเนิดเสียง
- สามารถควบคุมการบันทึกและเล่นกลับด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
- สามารถต่อคาสเคดกันเพื่อเพิ่มหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลให้มากขึ้นได้
- หยุดการทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อไม่มีการบันทึกหรือเล่นกลับ
- สามารถเก็บความจำได้นาน 100 ปีโดยต้องมีแบตเตอรี่สำรอง
- สามารถบันทึกซ้ำได้ 100,000 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถโปรแกรมควบคุมการเล่นกลับเพียงอย่างเดียวเพื่อพัฒนารูปแบบการใช้งาน

### โครงสร้างภายในของ ISD-2590

จากคุณสมบัติต่างๆ ที่รวมอยู่ในไอซีตัวเดียวจึงทำให้ง่ายต่อการใช้งานตั้งแต่วงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟนจนถึงหน่วยจัดเก็บข้อมูลที่ทำการบันทึกและขับออกถ้าโพงก็ถูกรวมไว้ในไอซีเพียงตัวเดียว ในโหมดการบันทึกจะจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ไว้ในหน่วยความจำที่เป็นเซลล์แบบไม่ต้องการแรงดันสำรองเพื่อรักษาข้อมูลไม่ให้สูญหาย (Non-volatile memory cells) สัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปแบบของสัญญาณอนาลอกจะถูกบันทึกไว้ในหน่วยจัดเก็บความจำโดยตรงโดยอาศัยเทคโนโลยี DAST (Direct Analog Storage Technology) และการจัดเก็บความจำก็จะจัดเก็บในลักษณะที่เป็นสัญญาณอนาลอกเช่นเดิม จึงทำให้การเล่นกลับสามารถให้สัญญาณเสียงที่เหมือนกับต้นกำเนิดเสียงมาก เพราะไม่มีกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างภายในได้ดังรูป 8.8



รูปที่ 8.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของ ISD-2590

การบันทึกเสียงใน ISD-2590 จะเกิดขึ้นได้เมื่อสัญญาณที่เข้ามาจะต้องตรงตามเงื่อนไข ซึ่งการทำสัญญาณให้ตรงตามเงื่อนไขจะต้องผ่านหลายขั้นตอนด้วยกัน ขั้นตอนแรกคือการขยายสัญญาณอินพุตให้มีขนาดมากพอสำหรับวงจรบันทึกข้อมูล ซึ่งกระบวนการนี้จะถูกกระทำโดยส่วนปริแอมป์และวงจรควบคุมอัตราขยาย AGC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริแอมป์เป็นส่วนที่ต่อกับไมโครโฟน โดยมีตัวเก็บประจุ (DC Blocking Capacitor) ทำหน้าที่แยกองค์ประกอบทางดีซี (DC Component) ออกจากสัญญาณเอซี (AC Signal) ที่มีระดับต่ำมากๆ ประมาณ 2-20 mV

วงจรควบคุมอัตราขยาย จะทำหน้าที่ควบคุมระดับของสัญญาณที่ออกมาจากปริแอมป์ และจะส่งค่าแรงดันที่ถูกควบคุมอัตราขยายแล้วไปยังวงจรปริแอมป์ อัตราขยายของปริแอมป์จะถูกปรับอย่างอัตโนมัติเพื่อที่จะคงขนาดของสัญญาณให้เหมาะสมเพียงพอที่จะส่งไปในส่วน of วงจรกรองสัญญาณ

วงจรกรองความถี่ (5-Pole Active Antialiasing Filter) จะทำหน้าที่ปรับสัญญาณให้เหมาะสมและลดทอนส่วนที่ไม่สำคัญออกไปจึงได้เฉพาะเสียงที่มีคุณภาพดีในการบันทึกเป็นลำดับไป

สัญญาณที่ผ่านการปรับจนเหมาะสมแล้วจะถูกเขียนลงอย่างต่อเนื่องลงในหน่วยความจำอนาล็อกในการรวมสัญญาณ

การเล่นกลับสัญญาณอนาล็อก แรงดันที่ถูกบันทึกไว้จะถูกอ่านออกมาจากหน่วยความจำอย่างต่อเนื่องและจะมีส่วนที่ทำการแยกสัญญาณให้กลับมาอยู่ในสภาพเดิม โดยสัญญาณอนาล็อกที่ได้จะถูกส่งผ่านลำโพงออกมาได้ ลำโพงความต้านทาน 16 โอห์มกำลังขับประมาณ 12.5 mV RMS (25 mW Peak) ก็เพียงพอแล้วที่จะได้ยินอย่างชัดเจนในห้องขนาดธรรมดา กรณีที่ใช้ ISD-2590 ต่อคาสเคดกันหลายๆ ตัวเราสามารถใส่ลำโพงตัวเดียวกันได้โดยผ่านขา AUX IN

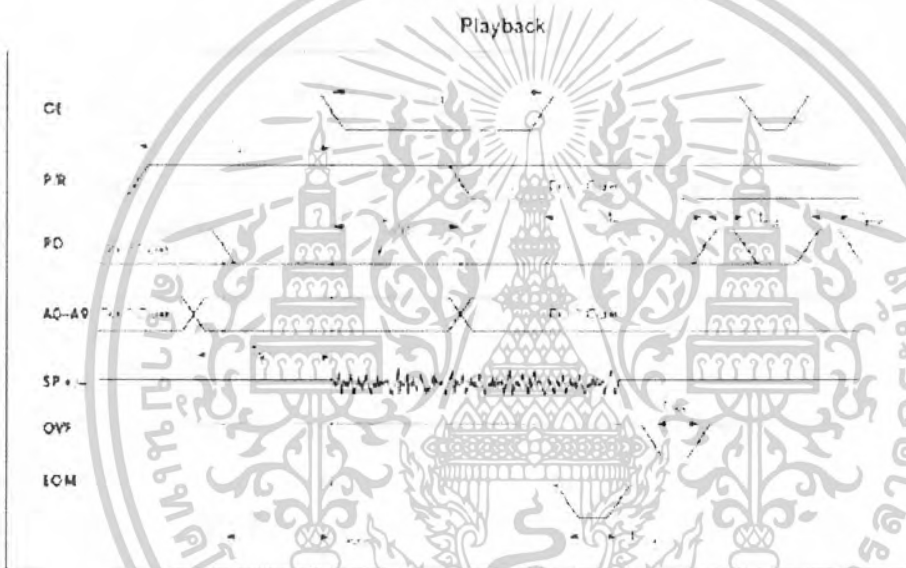
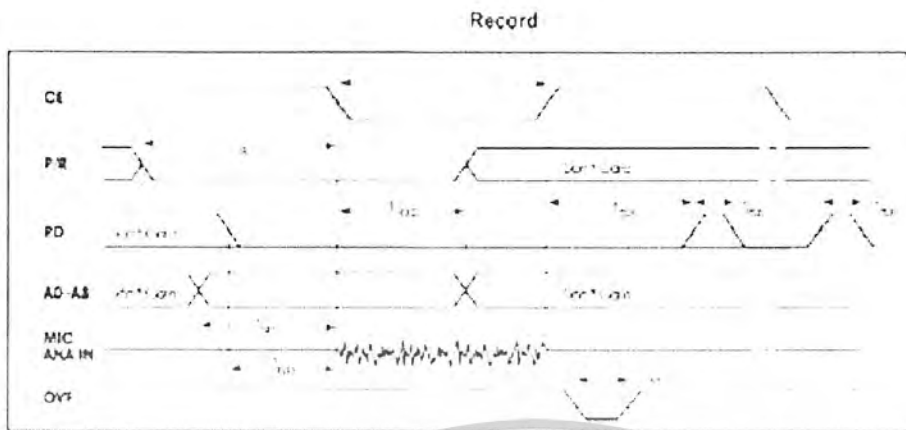
ไอซีเบอร์ ISD-2590 เป็นไอซีบันทึกเสียงที่สามารถจะทำบันทึกเสียงได้เป็นเวลานาน 90 วินาทีให้เป็นข้อความเดียวหรือจะเป็นคำพูดที่เป็นคำๆ เก็บไว้ในตำแหน่งต่างๆ ภายในชิพ ซึ่งสามารถที่จะอัดเก็บได้ 600 คำในขั้นตอนในการอัดนั้นจะเริ่มให้ขา P/R มีค่าเป็นลอจิก 0 PD มีค่าเป็นลอจิก 1 และ CE มีค่าเป็นลอจิก 0 ตลอดในช่วงเวลาการอัด จากนั้นขั้นตอนในการเล่นเสียงจะต้องเริ่มให้ขา P/R เป็นลอจิก 1 PD มีค่าเป็นลอจิก 1 และ CE มีค่าเป็นลอจิก 0 ในการนำชิพมาใช้งานในโครงการนี้จะนำมาใช้ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของชิพนี้ ที่ขา CE, PD และขาแอดเดรส (A0-A9) ให้มีการค้นเสียงที่เก็บไว้ออกมาตามแอดเดรสที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ ISD-2590

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แรงดันอินพุตต่ำ 0	$V_L$	0.8	Volt
แรงดันอินพุตสูง 1	$V_H$	2	Volt
แรงดันเอาต์พุตด้านต่ำ 0	$V_{OL}$	0.4	Volt
แรงดันเอาต์พุตด้านสูง 1	$V_{OH1}$	$V_{CC}-0.4$	Volt
แรงดันเอาต์พุตด้านสูงที่ขา OVF	$V_{OH1}$	2.4	Volt
แรงดันเอาต์พุตด้านสูงที่ขา EOM	$V_{OH2}$	$V_{CC}-1.0$	Volt
กระแสของแรงดันไฟเลี้ยงที่ $V_{CC} = 5\text{ V}$	$I_{CC}$	25	MA
กระแสขณะสแตนด์บายที่ $V_{CC} = 5\text{ V}$	$I_{SB}$	1-10	$\mu\text{A}$
กระแสรั่วไหลทางอินพุต	$I_L$	-1, +1	$\mu\text{A}$
อิมพีแดนซ์ของโหลดเอาต์พุต	$R_{EXT}$	16	$\Omega$
ความต้านทานอินพุตของปริแอมป์ไมโครโฟน	$R_{MIC}$	10	k $\Omega$
ความต้านทานอินพุตของขาอินพุตภายนอก	$R_{AUX}$	10	k $\Omega$
ความต้านทานอินพุตของขาอินพุตนาฬิกา	$R_{ANAIN}$	3	k $\Omega$
อัตราขยายของปริแอมป์ 1	$A_{PRE1}$	24	dB
อัตราขยายของปริแอมป์ 2	$A_{PRE2}$	5	dB
อัตราขยายของขา AUX (สัญญาณภายนอก)	$A_{AUX}$	1	-
อัตราขยายของภาคขยายเอาต์พุตลำโพง	$A_{ARP}$	22	dB
ความต้านทานเอาต์พุตของขา AGC	$R_{AGC}$	5	k $\Omega$
แรงดันไฟเลี้ยงตัวไอซีทั้งหมด	$V_{CC}$	5-7	Volt
อุณหภูมิขณะทำงาน	$T_s$	-65 - 150	$^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.9 Timing diagram ไอซี ISD 2590

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.2 ค่าของคาบเวลาต่างๆใน Timing diagram

สัญลักษณ์	ค่าของ	Min	Type	Max	หน่วย
$F_s$	Sampling Frequency		5.3		kHz
$F_{CF}$	Filter pass band		2.3		kHz
$T_{REC}$	Record Duration	87.1	90.0	93.0	sec
$T_{PLAY}$	Playback Duration	87.1	90.0	93.0	sec
$T_{CE}$	CE pulse width		100		nsec
$T_{SET}$	Control/Address Setup time		300		nsec
$T_{HOLD}$	Control/Address Hold time		0		nsec
$T_{PUD}$	Power up delay	36.2	37.5	40.8	msec
$T_{PDR}$	PD Pulse width record		37.5		msec
$T_{PDP}$	PD Pulse width play		18.75		msec
$T_{PDS}$	PD Pulse width static		100		nsec
$T_{PDH}$	Power down hold		0		nsec
$T_{EOM}$	EOM pulse width		18.75		msec
$T_{OVF}$	Overflow pulse width		6.5		usec
THD	Total Harmonic Distortion		1	2	%
$P_{OUT}$	Speaker output power		12.2	50	mW
$V_{OUT}$	Voltage Across Speaker Pin			2.5	Vpp
$V_{IN1}$	MIC input voltage			20	mV
$V_{IN2}$	ANA IN input voltage			50	mV
$V_{IN3}$	Aux input voltage			1.25	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (Microcontroller MCS-51)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของมัน โดยบางเบอร์จะมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 byte บางเบอร์มี 256 byte เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดและลักษณะของขาต่างๆ จะศึกษาได้จากคู่มือของมันโดยตรง

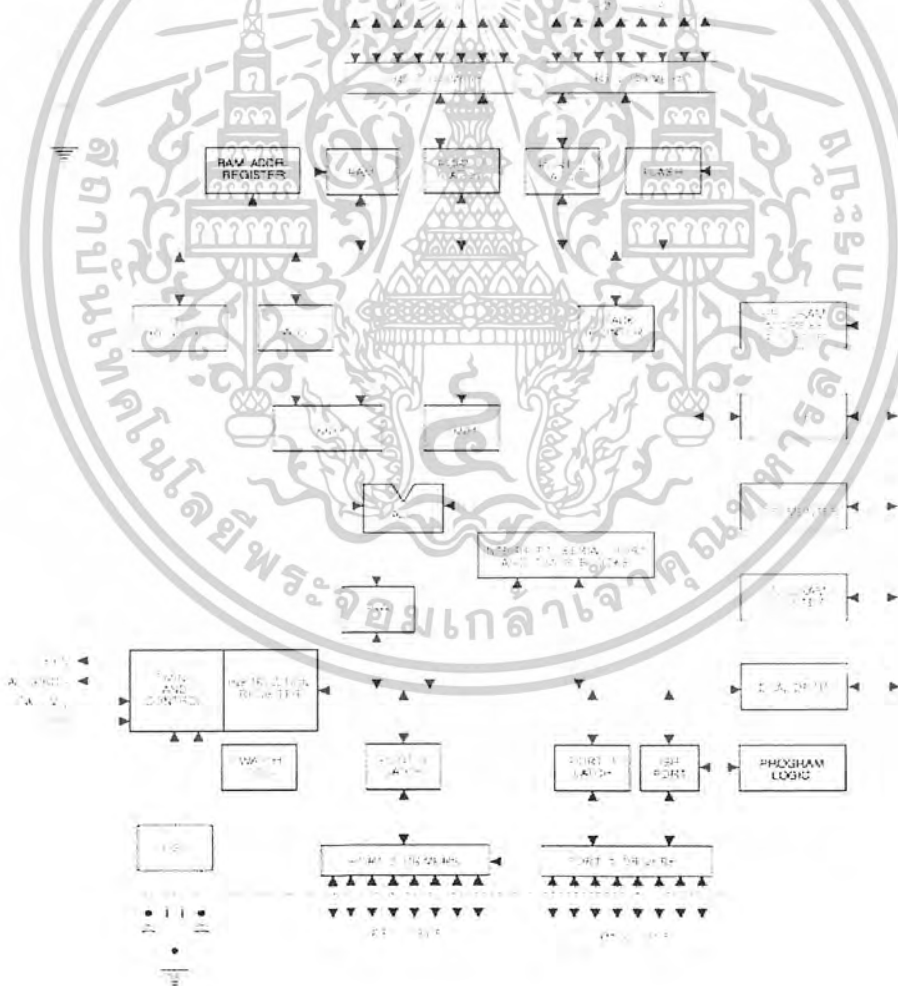
คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

- มีหน่วยความจำ ROM 4 K bytes
- มีหน่วยความจำ RAM 128 K bytes
- มี I/O Port ขนาด 8 bit 4 port
- มี Timer 16 bit 2 ตัว
- สามารถ Interrupt ได้ 5 แหล่ง
- มีวงจร Oscillator และวงจรมหาพีคานบัพ
- มีพอร์ตอนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง
- ีหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 K
- ีหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 K
- สามารถประมวลผลทีละบิตได้
- สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 2<sup>10</sup> ตำแหน่ง
- หนึ่งวัฏจักรคำสั่งใช้เวลาประมาณ 1 ไมโครวินาทีขณะทำงานด้วย Clock 12 MHz

ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และลักษณะต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 8.3 และไดอะแกรมโครงสร้างภายในแสดงในรูปที่ 8.10

ตารางที่ 8.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ต่างๆ

เบอร์	หน่วยความจำโปรแกรมบนชิพ	หน่วยความจำข้อมูลบนชิพ	TIMERS
8051	4 K ROM	128 bytes	2
8031	-	128 bytes	2
8751	4 K ROM	128 bytes	2
8052	8 K ROM	256 bytes	3
8032	-	256 bytes	3
8752	8 K ROM	256 bytes	3



รูปที่ 8.10 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โครงสร้างเป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขา โดยขาต่างๆ จะใช้เป็นขาพอร์ต Input, Output, ขาสัญญาณควบคุม, ขาค่าแห่งหน่วยความจำ และขาข้อมูล ดังรูปที่ 8.11



รูปที่ 8.11 ขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้

- 1) PORT 0 ได้แก่ ขาที่ 32 – 39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็น Input และ Output ได้ นอกจากนี้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus อีกด้วย
- 2) PORT 1 ได้แก่ ขาที่ 1 – 8 เป็น Port 8 bit สามารถอ้างทีละบิตได้ คือ P1.0, P1.1, ..., etc
- 3) PORT 2 ได้แก่ ขาที่ 21 – 28 จะใช้งาน 2 หน้าที คือ ใช้เป็น Port 8 bit กับใช้เป็นขา Address 8 bit ในการอ้างหน่วยความจำภายนอก
- 4) PORT 3 ได้แก่ ขาที่ 10 – 17 จะใช้งาน 2 หน้าที คือ ใช้เป็น Input / Output Port และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆ ดังแสดงในตาราง 8.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.4 บิตและหน้าที่ต่างๆ ของ Port 3

BIT	ชื่อ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	RXD	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.1	TXD	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.2	INT <sub>0</sub>	Interrupt ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	INT <sub>1</sub>	Interrupt ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T <sub>0</sub>	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 0
P3.5	T <sub>1</sub>	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	WR	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

5) PSEN = Program Store Enable ขา PSEN เป็นขาที่ส่งสัญญาณออก คือ ขา 29 ขานี้ จะทำงานเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่านโค้ดโปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น EPROM ขา PSEN จะต่อกับขา Output Enable (OE) ของ EPROM

6) ALE = Address Latch Enable เนื่องจาก Port 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่งและขาข้อมูล MCS-51 จะมีขา ALE ได้แก่ ขา 30 ขานี้ จะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของ Port 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้นจะต้องมีอุปกรณ์มาต่อกับ Port 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus ออกมาก่อนทาง Port 0 จากนั้นจึงจะส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอกให้เก็บค่า Address Bus ไว้เพื่อใช้ Port 0 เป็น Data Bus ต่อไป

7) EA = External Access ขา AE ได้แก่ ขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก "1" จะใช้กับเบอร์ 8051 หรือ 8052 เพื่อบอกว่าให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก "0" จะบอกให้ว่า MCS-51 ทำโปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (ถ้าขา AE เป็น "0" ขา PSEN จะทำงาน) ถ้าหากเป็นเบอร์ 8031 หรือ 8032 ขา AE จะเป็น "0" เสมอ เพราะไม่มีโปรแกรมหน่วยความจำภายในและให้ขา AE เป็น "0" ซึ่งจะ Disabled ROM ภายในและจะอ่านโปรแกรมจาก EPROM ภายนอกแทน

8) RST = Reset ขา RST ได้แก่ ขาที่ 9 จะใช้ในการ Reset MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก "1" อย่างน้อย 2 Machine Cycle จึงจะทำการ Reset ระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### โครงสร้างหน่วยความจำ

หน่วยความจำสำหรับ MCS-51 จะมี 2 ชนิดคือ หน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรม (ROM) กับ หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลในการประมวลผล (RAM) MCS-51 บางเบอร์ เช่น 8051 หรือ 8052 จะมี หน่วยความจำโปรแกรมภายในชิพและ MCS-51 ทุกเบอร์สามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรม ภายนอกได้มากที่สุด 64 K และอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้มากที่สุด 64 K สำหรับ หน่วยความจำ RAM ภายในจะประกอบไปด้วยพื้นที่ใช้งานทั่วไป, รีจิสเตอร์เบงค์, พื้นที่ใช้งานระดับ บิต และรีจิสเตอร์แบบฟังก์ชันพิเศษ เราอาจเขียนไคอะแกรมของหน่วยความจำของ 8031 ได้ดังรูปที่ 8.12 โดยในรูปจะบอกด้วยว่าขาใดจะทำงาน



รูปที่ 8.12 การจัดหน่วยความจำของ MCS-51

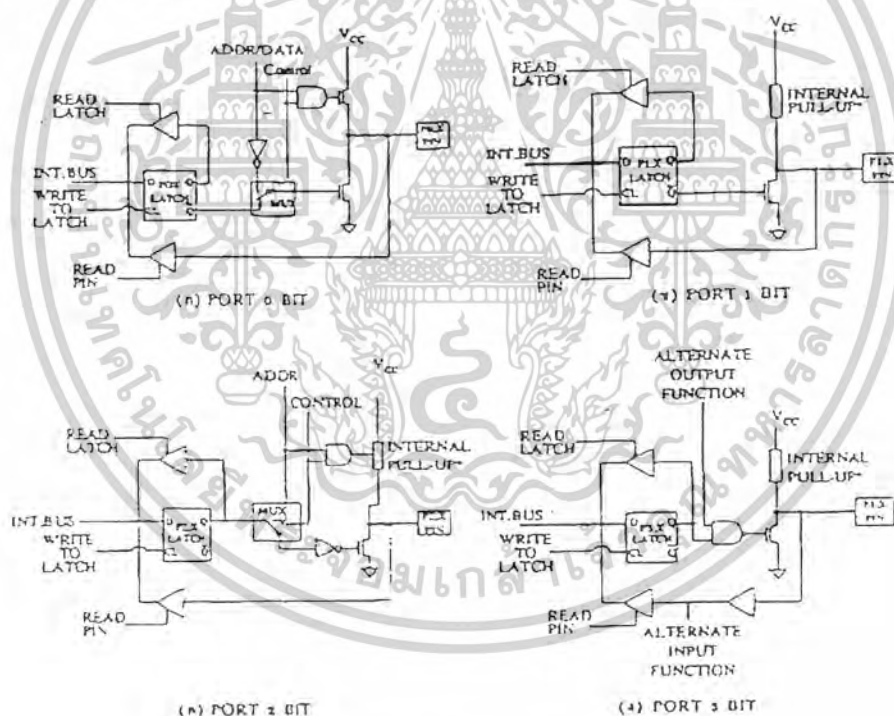
ใน 8031 จะมีหน่วยความจำภายในตั้งแต่ตำแหน่ง 00H ถึง FFH และสามารถอ้าง หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 K ถ้าอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมขา PSEN จะ ทำงาน นอกจากนี้ 8031 ยังสามารถอ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 K ตำแหน่ง โดยการติดต่อ กับหน่วยความจำนี้ ขา RD และ WR จะทำงาน สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในนั้น

จะแบ่งออกได้ดังนี้

- 1) ชุดรีจิสเตอร์ 4 ชุด แต่ละชุดเรียกว่ารีจิสเตอร์เบงค์ ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 1FH โดยแต่ละชุดจะประกอบด้วยรีจิสเตอร์  $R_0$  ถึง  $R_7$
- 2) หน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH
- 3) หน่วยความจำใช้งานทั่วไป ตำแหน่ง 30H ถึง 7FH
- 4) รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ ตำแหน่ง 80H ถึง FFH

### โครงสร้างของอินพุต / เอาท์พุตพอร์ต (Input / Output Port)

ขาของพอร์ตจะแสดงโครงสร้างภายในได้ดังรูป 8.13 โดยจะมีโครงสร้างเป็น Field-Effect Transistor ต่ออยู่กับภายนอก และมีความต้านทานต่อ Pull-Up อยู่สำหรับ Port 1, 2, 3 แต่ถ้าเป็น Port 0 จะไม่มีตัวต้านทาน Pull-Up ภายใน เพราะต้องใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus

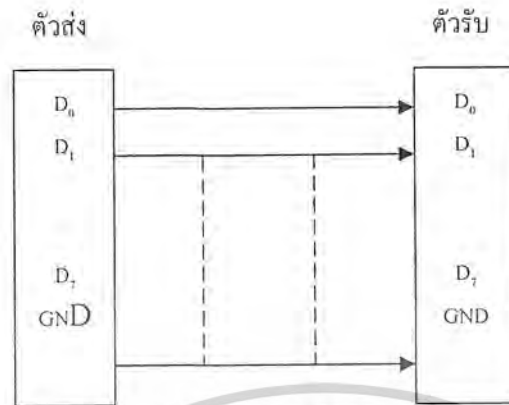


รูปที่ 8.13 โครงสร้างพอร์ตทั้ง 4 ของ MCS-51

พอร์ตนี้สามารถใช้เป็น Input และ Output ต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ ในการอ่านข้อมูลจากพอร์ตจะอ่านได้ 2 แบบคือ Read Latch และ Read Pin โดย Read Latch หมายถึง การอ่านข้อมูลที่ถูก Latch เอาไว้เข้าสู่บัสภายในของ MCS-51 เช่น การทำคำสั่ง CPL P1.5 แต่ถ้าเป็นการ Read Pin จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



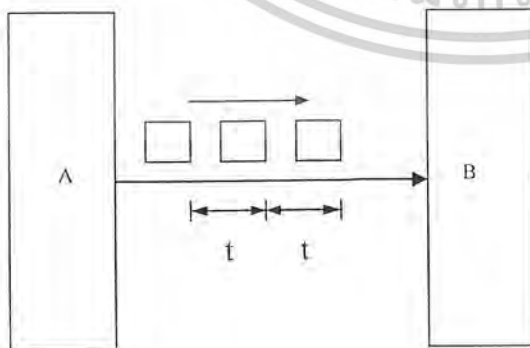


รูปที่ 8.15 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม คือ การรับส่งข้อมูลที่ละบิตจนครบ 1 ไบต์ ถ้าต้องการส่งข้อมูล 1 ไบต์คือ  $D_0-D_7$  อาจส่งบิต  $D_0$  ออกไปก่อนแล้วตามด้วย  $D_1$  ไปเรื่อยๆจนถึง  $D_7$  การส่งข้อมูลทั้งสองแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันคือการรับส่งข้อมูลแบบขนานสามารถส่งข้อมูลได้เร็วคือส่งทีเดียวจะได้ข้อมูลครบ 1 ไบต์ แต่ถ้าต้องส่งเป็นระยะไกลๆ จะสิ้นเปลืองสายสัญญาณมาก ถ้าเป็นการส่งแบบอนุกรมเมื่อต้องการส่งข้อมูลเป็นระยะไกลๆ จะช่วยประหยัดสายสัญญาณเนื่องจากจะใช้สายอย่างน้อยเพียง 2 เส้น คือสายสัญญาณกับสายกราวด์ แต่การรับส่งข้อมูลจะใช้เวลานานเนื่องจากการส่งทีละบิต

#### การรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Input / Output)

การรับส่งข้อมูลแบบนี้ไม่ว่าจะเป็นการส่งแบบอนุกรมหรือขนาน ข้อมูลแต่ละไบต์ที่ถูกส่งออกไปจะมีช่วงเวลาห่างกันแน่นอน เช่น การส่งข้อมูลจาก A ไป B ดังรูปที่ 2.10 Data 1 จะห่างจาก Data 2 เป็นเวลา  $t$  และ Data 3 จะห่างจาก Data 2 เป็นเวลา  $t$  เช่นกัน ระบบนี้เหมาะกับงานที่ไม่มีความยุ่งยากมาก



รูปที่ 8.16 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Input / Output)

การรับส่งข้อมูลแบบนี้ ข้อมูลที่ส่งออกไปจะไม่มีเวลาที่แน่นอน ซึ่งขึ้นอยู่กับความพร้อมของผู้ส่งและผู้รับ โดยจะมีสายสัญญาณตรวจสอบความพร้อมของระบบทั้งสองว่าพร้อมที่จะติดต่อกันหรือไม่ โดยสัญญาณที่เพิ่มขึ้นมาจากระบบแบบซิงโครนัส เรียกว่า สายสเตตัส (Status Line)

#### รูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ต้องการจะส่งข้อมูลแบบอนุกรม ตัวไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลออกไปทางพอร์ตซึ่งเป็นพอร์ตแบบขนานก่อน จากนั้นจะมีอุปกรณ์มาต่อที่พอร์ตเพื่อแปลงข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรมอีกทีหนึ่ง (Parallel – to – serial conversion) ตัวแปลงข้อมูลนี้อาจพิจารณาได้ง่ายๆ ว่าเป็น Shift Register เมื่อข้อมูลที่ส่งอยู่ใน Shift Register แล้วสัญญาณนาฬิกาจะเป็นตัวกระตุ้นให้ส่งข้อมูลบิตต่อออกไปในเวลาแรก จากนั้นจะส่งบิตต่อไปตามออกมา

สำหรับตัวรับข้อมูลแบบอนุกรม เมื่อตัวรับรับข้อมูลจะเป็นการรับเข้ามาใน Shift Register แล้วส่งข้อมูลให้ไมโครคอมพิวเตอร์แบบขนานอีกทีหนึ่ง (Serial – to – parallel) ระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันจะมีตัวแปลง Parallel – to – serial และ Serial – to – parallel อยู่ในชิพไอซี เรียกว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) การส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นจะต้องมีการเพิ่มเติมข้อมูลบางอย่างเข้าไปเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำงานได้ถูกต้องมากขึ้น โดยมีการเติมค่าบิตต่างๆ ลงไป

Stop	P	D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	Start
------	---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-------

รูปที่ 8.17 บิตต่างๆ ของข้อมูลที่ส่งแบบอนุกรม

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอนุกรมด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8.17 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรม เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา Data จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา Data มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อนซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี (parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือบิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา Data มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต, 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตรารวดนี้ว่า อัตราบอดหรือบอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bps)

อัตรารวดในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอดหรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่าตั้งแต่ 110 ถึง 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอดคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่าข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบบิตพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิตและบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9,600 บิตต่อวินาทีก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ พาริตีหรือพาริตีคู่แสดงถึงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมบิตพาริตีว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิตมีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องมีลอจิกเป็น “0” แต่ถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคี่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องมีลอจิกเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตีเป็นคี่

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม) ซึ่งทางภาครับต้องกำหนดการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตีคี่หรือคู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบพาริตีที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตีด้วย ถ้ากำหนดพาริตีไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ให้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีเป็น None นั้นทั้งภาครับและส่งจะไม่มี การตรวจสอบพาริตี

### 8.3.3 MCS-51 กับการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

#### พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึง วงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือ ขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RXD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลขาออกหรือ TXD โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัส ปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้วโดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณการสื่อสารดังกล่าว

#### รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัวดังนี้

##### 1. รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial data buffer register)

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ในพื้นที่รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษหรือ SFR มีขนาด 8 บิตแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmitter buffer register) และรับข้อมูล (receiver buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TXD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RXD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

##### 2. รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial port Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตมีแอดเดรสอยู่ที่ 98H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดการทำงานดังนี้

SM0-SM1 (Serial port Mode bit 0-1) : ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ดังมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SM2 : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโพรเซสเซอร์ (multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ถ้าบิตนี้เป็น “1” บิต RI จะไม่แอกทีฟ ถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น “0” (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ที่บิต RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิต RI จะไม่แอกทีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

REN (Enable serial reception) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น “1”

TB8 : ใช้ในการเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงานโหมด 2 และ 3 พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RB8 : ใช้ในการเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น “0” ข้อมูลที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด (stop bit) สำหรับในการทำงานโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งาน บิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TI (Transmitter Interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่นบิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RI (Receive Interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

### โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเลือกการทำงานได้ถึง 4 โหมดคือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิฟต์รีจิสเตอร์
2. โหมด 1 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 8 บิตสามารถเลือกอัตราบอดได้
3. โหมด 2 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่
4. โหมด 3 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิตสามารถเลือกอัตราบอดได้

การเลือกโหมดทำได้ด้วยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทำงานในโหมด 0 ของวงจรถอดอนุกรม

ข้อมูลอนุกรมจะผ่านเข้าและออกทางขา RXD ส่วนขา TXD ทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูล ในโหมดนี้มีจำนวนข้อมูล 8 บิตโดยทำการรับและส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อนอัตราในการรับส่งข้อมูลหรืออัตราบอดถูกกำหนดไว้คงที่ที่  $1/12$  ของความถี่สัญญาณนาฬิกา

เริ่มต้นการส่งข้อมูลด้วยการเขียนข้อมูลที่ต้องการส่งมายังรีจิสเตอร์ SBUF สัญญาณเขียนข้อมูล SBUF แอکتีฟเป็น “1” ที่สถานะ 6 เฟส (S6P2) ของเมกซ์ซินไซเคิลส่งมายังวงจรถอดอนุกรมการส่ง (TX Control) ทำให้วงจรถอดอนุกรมเริ่มต้นส่งข้อมูล สัญญาณ Send จะแอکتีฟเป็น “1” ตลอดการส่งข้อมูล

ข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF จะถูกเลื่อนออกที่ขา P3.0 หรือขา RXD ครั้งละบิตตามจังหวะสัญญาณนาฬิกาที่ส่งออกมาทางขา P3.1 หรือ TXD โดยสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูลจะมีขอบขาลงของสัญญาณที่สถานะ 3 เฟสและมีขอบขงขึ้นของสัญญาณที่สถานะ 6 เฟส 1 ของแต่ละเมกซ์ซินไซเคิลในกระบวนการส่งข้อมูลจนกระทั่งเมื่อส่งข้อมูลครบ 8 บิตแล้ว บิต TI ในรีจิสเตอร์ SCON จะเกิดการเซตเป็นการแจ้งให้ทราบว่าส่งข้อมูลครบแล้วหากเกิดการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอนเอเบิลไว้ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูลสัญญาณ Send จะกลายเป็น “0” จนกว่าจะเริ่มต้นกระบวนการรับข้อมูลใหม่

ในกระบวนการรับข้อมูลเริ่มต้นด้วยการเซต REN ให้เป็น “1” และเคลียร์บิต R1 ในรีจิสเตอร์ SCON ก่อนที่สถานะ 6 เฟส 2 ของเมกซ์ซินไซเคิลถัดไป วงจรถอดอนุกรมการรับ (RX Control) จะทำการเขียนข้อมูล 1111110 ไปยังรีจิสเตอร์สำหรับรับข้อมูลและทำการแอکتีฟสัญญาณ Receive ให้เป็น “1” ในสัญญาณนาฬิกาถัดไป

เมื่อสัญญาณ Receive แอکتีฟก็จะเกิดการส่งสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูลขึ้นผ่านทางขา P3.1 หรือ TXD เพื่อทำการกำหนดจังหวะการรับข้อมูลครั้งละบิต โดยสัญญาณนาฬิกานี้จะเกิดในช่วงสถานะ 3 เฟส 1 ถึงสถานะ 6 เฟส 1 ของแต่ละเมกซ์ซินไซเคิล การรับข้อมูลเข้ามาทางขา P3.0 หรือ RXD จะเกิดขึ้นที่สถานะ 5 เฟส 2 ในเมกซ์ซินไซเคิลเดียวกับสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูลจนกระทั่งรับข้อมูลครบทั้ง 8 บิต บิต RI จะได้รับการเซตเพื่อแจ้งการเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูล หากเกิดการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอนเอเบิลไว้ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูลสัญญาณ Receive จะกลายเป็น “0” จนกว่าจะเริ่มต้นกระบวนการรับข้อมูลใหม่

การทำงานในโหมดนี้ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการเชื่อมต่อกับไอซีรีจิสเตอร์ภายนอกเพื่อทำการขยายจำนวนพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุต แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้งานมากนัก เนื่องจากในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เองมีพอร์ตอยู่ค่อนข้างมากและติดต่อกับพอร์ตเหล่านั้นได้ง่ายและเร็วกว่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทำงานในโหมด 1 ของวงจรถอดอนุกรม

ในโหมดนี้ใช้ในการส่งข้อมูลรวม 10 บิตโดยส่งข้อมูลออกทางขา P3.1 หรือ TXD และรับข้อมูลเข้าทางขา P3.0 หรือ RXD ข้อมูลทั้ง 10 บิตประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (มีค่าเป็น “0”) 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิตโดยการรับหรือส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อนและบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย (มีค่าเป็น “1”) ในการรับข้อมูลบิตหยุดจะถูกเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราบอดในโหมดนี้ได้รับการกำหนดโดยอัตราการเกิดโอเวอร์โพล์ของไทม์เมอร์ 1 ใน AT89C51 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx สามารถเลือกใช้อัตราการเกิดโอเวอร์โพล์ของไทม์เมอร์ 1 หรือไทม์เมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดได้

กระบวนการส่งข้อมูลเริ่มต้นด้วยการแอกทีฟสัญญาณเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ส่งมายังวงจรถควบคุมการส่ง (TX Control) จากนั้นวงจรถควบคุมจะทำการแอกทีฟสัญญาณ Send ที่สถานะ 1 เฟส 1 ของเมกซ์ซินไซเคิลถัดมา โดยสัญญาณ Send จะเป็น “0” ตลอดการส่งข้อมูล เมื่อสัญญาณ Send แอกทีฟจะทำการส่งบิตเริ่มต้นก่อนเป็นบิตแรกโดยมีคาบเวลาของบิตเริ่มต้นเท่ากับ 1 เมกซ์ซินไซเคิล จากนั้นตามมาด้วยการส่งบิตข้อมูล 8 บิตเรียงลำดับจากบิต LSB โดยข้อมูลที่ทำการส่งถูกเรียกออกมาจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับการส่งข้อมูล ในทุกๆบิตข้อมูลที่ทำการส่งออกไปจะเกิดสัญญาณพัลส์ Shift ขึ้นเพื่อให้เรียกข้อมูลในแต่ละบิตจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ การกำหนดจังหวะการส่งข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการส่ง (TX clock) เป็นตัวกำหนด โดยสัญญาณนาฬิกานี้ได้มาจากการหารสัญญาณ TCLK จากไทม์เมอร์ 1 ด้วย 16 หลังจากการส่งบิตข้อมูลก็จะทำการส่งบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย 1 บิต ดังนั้นการส่งข้อมูลจะใช้สัญญาณนาฬิกาทั้งหมด 10 ตุก เมื่อทำการส่งข้อมูลครบเรียบร้อยแล้วต้องทำการเคลียร์บิต TI ก่อนเป็นอันดับแรกเพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้

ด้านการรับข้อมูล จะทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจาก “1” เป็น “0” ที่ขา RXD โดยใช้อัตราการสุ่มเท่ากับ 1/16 เท่าของอัตราบอด เมื่อตรวจจับพบไทม์เมอร์ / เคาท์เตอร์ที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดจะรีเซ็ตและทำการเขียนข้อมูล 1FFH ไปยังรีจิสเตอร์ ข้อมูลจะเริ่มเดินทางเข้าสู่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา RXD ในการตีความว่าบิตที่เข้ามาเป็น “0” หรือ “1” จะต้องใช้ผลการสุ่มค่อนข้างมาก โดยบิตของข้อมูลที่เข้ามาได้รับการแบ่งออกเป็น 16 สถานะ การสุ่มข้อมูลจะทำการสุ่มสถานะที่ 7, 8 และ 9 หาก 2 ใน 3 ของการสุ่มพบว่าข้อมูลเป็นลอจิกใดจะตีความข้อมูลในบิตนั้นเป็นตามเสียงข้างมาก ยกตัวอย่าง สุ่มพบลอจิก “1” 2 ใน 3 ครั้งจะตีความว่าบิตของข้อมูลที่รับนั้นเป็น “1”

ลำดับของการรับข้อมูลมีลักษณะเดียวกับการส่งข้อมูลคือ เริ่มด้วยบิตเริ่มต้นก่อน ตามด้วยบิตข้อมูลและบิตปิดท้าย ในทุกๆ การรับข้อมูลได้ 1 บิตจะมีพัลส์ Shift เกิดขึ้นเพื่อทำการเลื่อนข้อมูลเข้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรีจิสเตอร์บัพเฟอร์การรับข้อมูล การกำหนดจังหวะการรับข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการรับข้อมูล (RX clock) หลังจากสัญญาณนาฬิกาสุดท้ายอันหมายถึงสามารถรับข้อมูลได้ครบแล้ว วงจรควบคุมการรับข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลจากรีจิสเตอร์บัพเฟอร์ไปยังรีจิสเตอร์ SBUF และบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON ด้วย หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ หลังจากบริการอินเตอร์รัปต์หรือรับข้อมูลเรียบร้อยแล้วต้องทำการเคลียร์บิต RI ก่อน เพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้

การทำงานในโหมดนี้ได้รับความนิยมสูงสุด เนื่องจากมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและสามารถทำการรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### การทำงานในโหมด 2 และ 3 ของวงจรพอร์ตอนุกรม

ในทั้งสองโหมดนี้จะใช้รูปแบบข้อมูลรวม 11 บิตประกอบด้วยบิตเริ่มต้นมีค่าเป็น “0” จำนวน 1 บิต, บิตข้อมูล 8 บิต โดยทำการรับและส่งบิต LSB ก่อน, บิตข้อมูลบิตที่ 9 และบิตปิดท้ายมีค่าเป็น “1” จำนวน 1 บิต ในการส่งข้อมูล ข้อมูลบิตที่ 9 จะได้รับการเก็บไว้ในบิต TB8 ในรีจิสเตอร์ SCON และในการรับข้อมูล ข้อมูลบิตที่ 9 จะนำไปเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราบอดในโหมด 2 จะคงที่โดยเลือกได้ 2 ค่าคือ 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สำหรับในโหมด 3 อัตราบอดสามารถปรับได้เหมือนกับโหมด 1

การทำงานโดยรวมจะคล้ายกับการทำงานในโหมด 1 ส่วนที่แตกต่างกันคือจำนวนบิตของข้อมูลที่ในโหมด 2 และ 3 จะมีเพิ่มขึ้นมาอีก 1 บิต โดยส่วนใหญ่จะใช้เป็นบิตตรวจสอบพาริตี

### อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โหมด 0

อัตราบอดของโหมดนี้มีค่าคงที่ โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

อัตราบอดในโหมด 0 = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา/12 หน่วยเป็นบิตต่อวินาที

โหมด 1 และ 3

เนื่องจากทั้งสองโหมดนี้สามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้ 2 แหล่งคือ จากอัตราโอเวอร์โพลวของไทม์เมอร์ 1 และ 2 สำหรับอัตราบอดเมื่อใช้การโอเวอร์โพลวของไทม์เมอร์ 1 จะต้องใช้ค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON มาพิจารณาประกอบด้วย สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าของบิต SMOD}} / 32) \times \text{อัตราโอเวอร์โพลวของไทม์เมอร์ 1}$$

ถ้าหากในไทม์เมอร์ 1 ไม่ได้เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

$$\text{อัตราบอด} = (2^{\text{ค่าในรีจิสเตอร์ SMOD}} / 32) \times (\text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา} / \{12 \times [256 - (\text{TH1})]\})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ใช้ไทม์เมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดโดยกำหนดให้ไทม์เมอร์ 2 ทำงานในโหมด กำหนดอัตราบอด (baud rate generator) สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = อัตราโอเวอร์โพลวของไทม์เมอร์ 2 / 16 หน่วยเป็นบิตต่อวินาที

ถ้าหากกำหนดให้ไทม์เมอร์ 2 ทำงานในโหมดปกติ สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = ความถี่สัญญาณนาฬิกา / (32 x (65536 - (RCAP2H, RCAP2L)))

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

## โหมด 2

ในโหมดนี้อัตราบอดจะขึ้นอยู่กับค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ถ้า SMOD เป็น "0" อัตราบอดจะเท่ากับ 1/64 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา ในกรณีที่ SMOD เป็น "1" อัตราบอดจะเท่ากับ 1/32 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สามารถแสดงเป็นสูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

อัตราบอด =  $(2^{\text{ค่าของบิต SMOD}} / 64) \times \text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา}$

การกำหนดค่าของไทม์เมอร์เพื่อเลือกอัตราบอด

ในการใช้งานพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สิ่งที่ต้องให้ความสนใจมากที่สุดประการหนึ่งคือ อัตราการถ่ายทอดข้อมูลหรืออัตราบอด ซึ่งการกำหนดอัตราบอดนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเป็นหลัก สำหรับโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมที่สามารถเลือกอัตราบอดได้อย่างอิสระคือโหมด 1 และ 3 โดยกำหนดได้จากอัตราการเกิดโอเวอร์โพลวของไทม์เมอร์ 1 ถ้าหากไทม์เมอร์ 1 มีการเกิดโอเวอร์โพลวในอัตราที่สูงมากเท่าใดอัตราบอดก็จะมีค่าสูงมากขึ้นตาม นั่นหมายความว่า อัตราในการถ่ายทอดข้อมูลจะสูงมากสามารถถ่ายทอดข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

ในการใช้ไทม์เมอร์ 1 เพื่อกำหนดอัตราบอดในโหมด 1 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมจะต้องกำหนดให้ไทม์เมอร์ 1 ทำงานในโหมด 2 หรือ โหมด 8 บิตแบบตั้งค่าการนับอัตโนมัติและกำหนดค่ารีโหลดให้แก่รีจิสเตอร์ TH1 จึงเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดให้แก่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เริ่มต้นด้วยการเคลียร์บิต SMOD ซึ่งเป็นบิต 7 ของรีจิสเตอร์ PCON ให้เป็น "0" ค่าของการรีโหลดให้แก่ TH1 สามารถคำนวณได้จาก

$TH1 = 256 - ((\text{ค่าความถี่ของคริสตอล} / 384) / \text{อัตราบอด})$

แต่ถ้าบิต SMOD เกิดการเซตจะเกิดการเอ็นเอเบิลการทวีคูณของอัตราบอด ดังนั้นการกำหนดค่าให้แก่ TH1 จึงต้องคำนวณจาก

$TH1 = 256 - ((\text{ค่าความถี่ของคริสตอล} / 192) / \text{อัตราบอด})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่าง ถ้าหากในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ใช้คริสตอล 11.0592 MHz ต้องการกำหนดอัตราบอดของพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ไว้ที่ 19,200 บิตต่อวินาที ในกรณีที่ไม่เอนเอเบิลการทวีคูณของอัตราบอดค่ารีโพลดของไมโครคอนโทรลเลอร์จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} TH1 &= 256 - ((\text{ค่าความถี่ของคริสตอล}/384)/\text{อัตราบอด}) \\ &= 256 - ((11059200/384)/19200) \\ &= 256 - (28800/19200) \\ &= 256 - 1.5 = 254.5 \end{aligned}$$

เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าที่ไม่ใช่จำนวนเต็ม ถ้าหากกำหนดค่าของ TH1 เป็น 254 เมื่อทำการแทนค่าเพื่อคำนวณหาอัตราบอด จะได้อัตราบอดเท่ากับ 14,400 บิตต่อวินาที และถ้าหากกำหนดค่าของ TH1 เป็น 255 อัตราบอดจะมีค่าเป็น 28,800 บิตต่อวินาที ดังนั้นจะเห็นว่าค่าของ TH1 ที่ไม่เป็นจำนวนเต็มจะไม่สามารถทำให้เกิดอัตราบอดตามที่ต้องการได้

ทางแก้ไข คือ ให้ทำการเอนเอเบิลการทวีคูณของอัตราบอด โดยการเซตบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ให้เป็น “1” จากนั้นแทนค่าลงในสมการหาค่า TH1 เมื่อมีการเซตบิต SMOD ได้ผลดังนี้

$$\begin{aligned} TH1 &= 256 - ((\text{ค่าความถี่ของคริสตอล}/192)/\text{อัตราบอด}) \\ &= 256 - ((11059200/192)/19200) \\ &= 256 - (57600/19200) \\ &= 256 - 3 = 253 \end{aligned}$$

นำค่า TH1 ที่ได้จากการแทนค่าคำนวณหาอัตราบอดจะได้เท่ากับ 19,200 บิตต่อวินาที สามารถสรุปขั้นตอนในการเลือกอัตราบอดโดยการกำหนดค่าของไทม์เมอร์ 1 ได้ดังนี้

1. กำหนดให้พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำงานในโหมด 1 หรือ 3
2. กำหนดให้ไทม์เมอร์ 1 ทำงานในโหมด 2 หรือ โหมด 8 บิตตั้งค่าอัด โนมัลติ
3. กำหนดข้อมูลให้แก่ TH1 เท่ากับ 253 เพื่อให้สามารถกำหนดอัตราบอดได้ 19,200 บิตต่อวินาทีตามที่ต้องการ
4. ทำการเซตบิต SMOD ซึ่งเป็นบิต 7 ของรีจิสเตอร์ PCON เพื่อเอนเอเบิลการทวีคูณของอัตราบอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

การใช้งานวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มักนิยมใช้ในการติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีระดับตั้งแต่  $\pm 3$  ถึง  $\pm 12V$  ในขณะที่ระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อยู่ในระดับ TTL ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณ

ไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณนี้ต้องทำการแปลงข้อมูลส่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จากระดับ TTL ไปเป็นระดับของ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลรับจากคอมพิวเตอร์จากระดับของ RS-232 เป็นระดับ TTL เพื่อให้สามารถถ่ายทอดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้อย่างสมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 9

### สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 9.1 ผลการทดลอง

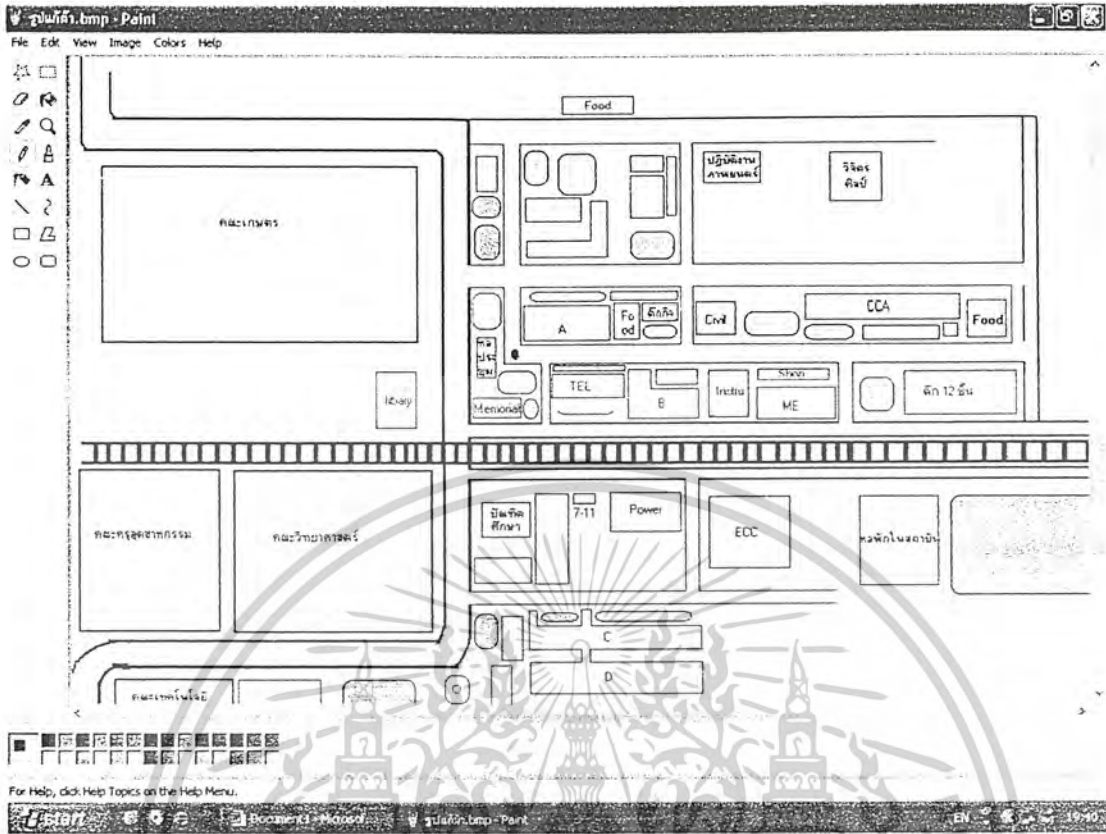
##### 9.1.1 พิกัดที่ได้จากเครื่องรับ GPS

ตำแหน่ง	Latitude	Longitude
1	1343.522	10046.697
2	1343.524	10046.736
3	1343.524	10046.759
4	1343.525	10046.788
5	1343.522	10046.817
6	1343.504	10046.818
7	1343.485	10046.818
8	1343.473	10046.820
9	1343.435	10046.820
10	1343.416	10046.822
11	1343.381	10046.822
12	1343.375	10046.772
13	1343.374	10046.731
14	1343.371	10046.684
15	1343.372	10046.633
16	1343.375	10046.587
17	1343.446	10046.684
18	1343.466	10046.677
19	1343.465	10046.640
20	1343.461	10046.520
21	1343.514	10046.513
22	1343.517	10046.544
23	1343.515	10046.594
24	1343.518	10046.625

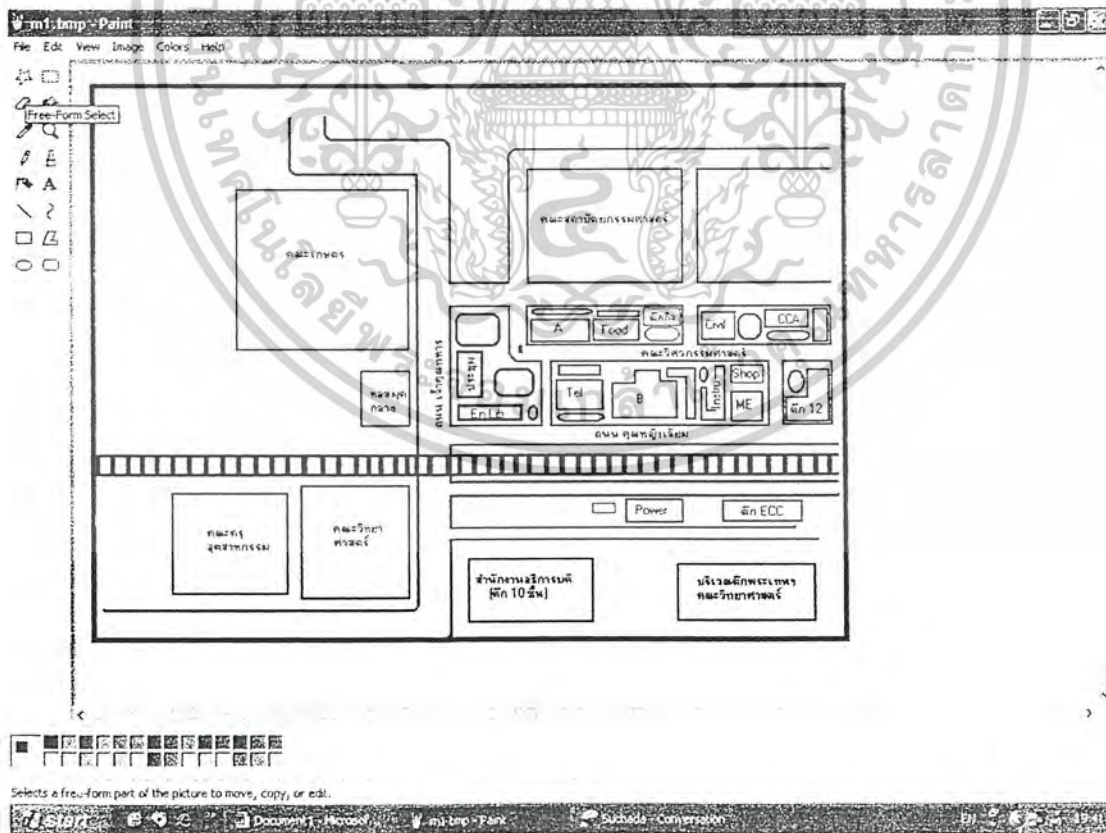
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง	Latitude	Longitude
25	1343.519	10046.661
26	1343.522	10046.685
27	1343.479	10046.876
28	1343.514	10046.884
29	1343.551	10046.941
30	1343.611	10046.881
31	1343.674	10046.901
32	1343.728	10047.011
33	1343.727	10047.054
34	1343.718	10047.138
35	1343.381	10046.927
36	1343.378	10047.014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

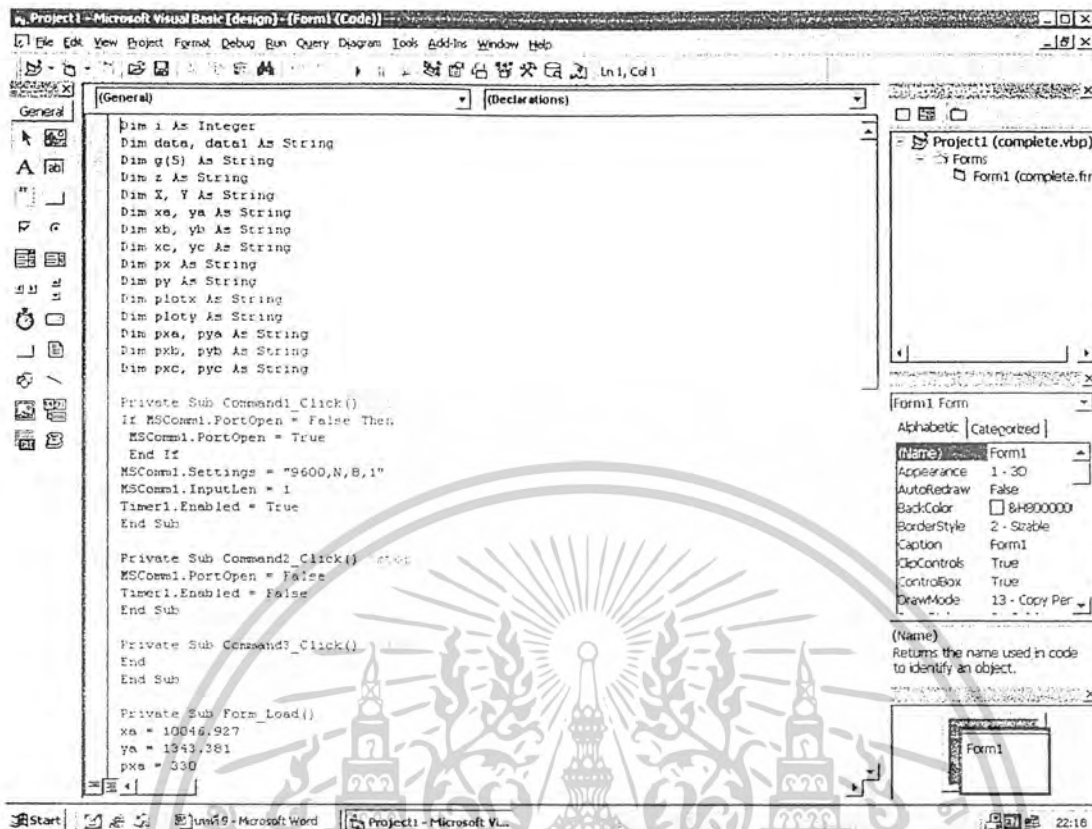


รูปที่ 9.1 แผนที่ก่อนทำการสเกล

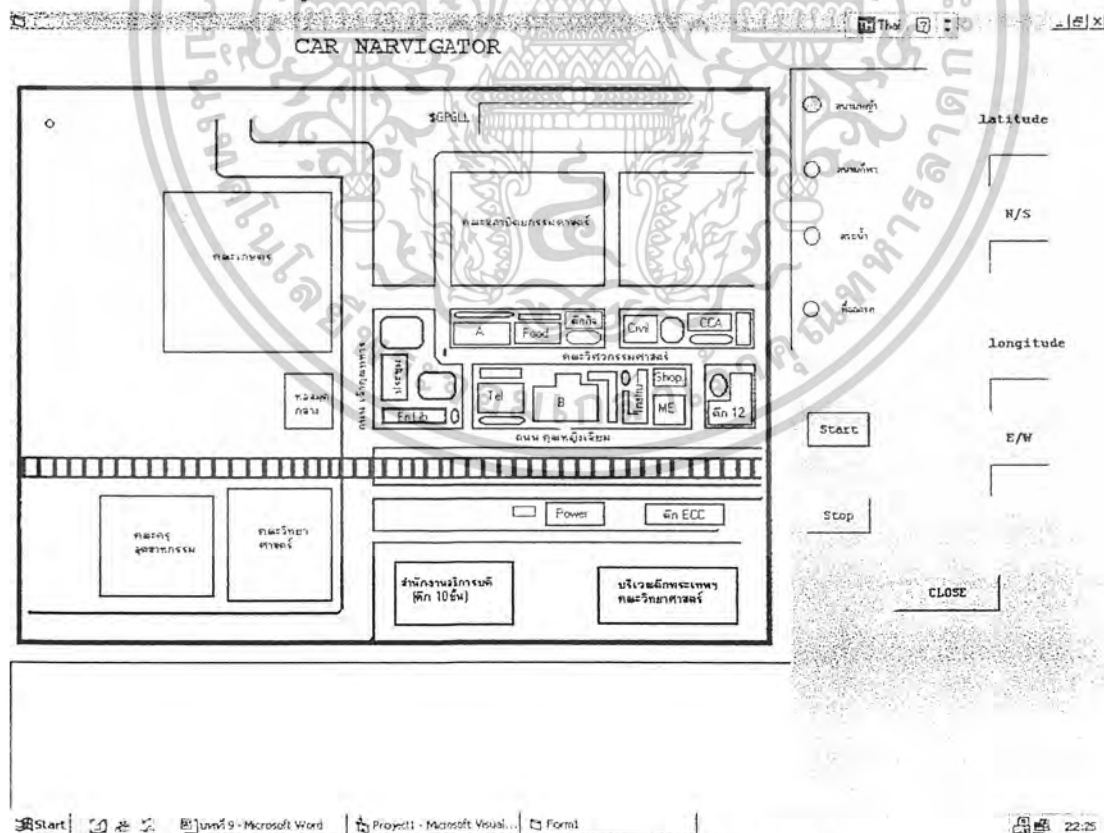


รูปที่ 9.2 แผนที่หลังทำการสเกลให้ใกล้เคียงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.3 แสดง source code ที่ใช้ในโปรแกรม



รูปที่ 9.4 แสดงรูปแบบของโปรแกรมที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9.2 สรุปผลการทดลอง

1. เมื่อทำการทดสอบระหว่างเครื่องรับ GPS ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ และ โปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นซึ่งเป็นซอฟต์แวร์พบว่า พบว่าจากรูปที่ 9.1 ซึ่งเคยถูกใช้ในครั้งแรกเกิดความผิดพลาดขึ้นมา ซึ่งมีสาเหตุอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของแผนที่รวมกับความผิดพลาดอันเนื่องมาจากเครื่องรับจีพีเอสเองอีกด้วย จึง ได้ทำการปรับปรุงแผนที่ให้มีความสอดคล้องกับภูมิศาสตร์จริงมากขึ้น ดังรูปที่ 9.2

2. จากการทดลอง ได้พบว่าค่าพิกัด ละติจูด / ลองจิจูด ของจุดอ้างอิงมีค่าไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงไปโดยไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอน สาเหตุก็เป็นเพราะค่า Selective Available ที่ได้ถูกปรับในเครื่องรับ GPS แต่ละตัว โดยผู้ผลิต ซึ่ง ได้ก้าวไว้แล้วในภาคทฤษฎีก่อนหน้านี้ ด้วยเหตุนี้เอง ข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องรับ GPS จึงมีความแม่นยำลดลงไป

3. เราสามารถติดต่อ GPS กับคอมพิวเตอร์ได้ด้วยโปรโตคอลที่มีชื่อ เรียกว่า NMEA 0183 ซึ่งมีอยู่แล้วในเครื่องรับ GPS ซึ่ง NMEA 0183 เป็น โปรโตคอลที่มีรูปแบบเป็นประโยค โดยในแต่ละตัวของอักษรของ โปรโตคอลนี้ มีรหัสเป็นเลขฐานสองจำนวน 8 บิต หรือรหัสแอสกีนั่นเอง นอกจากนี้ NMEA 0183 ยังมีโปรโตคอลให้เลือกใช้ด้วยกันหลายแบบโดยขึ้นกับเครื่องรับแต่ละรุ่น ซึ่งในที่นี้เราเลือกใช้แบบ GLL เพราะเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการใช้งาน และเหมาะสมกับเครื่องรับที่มี ( Garmin 12 )

จากการศึกษาการทำงานของ GPS ทำให้เราทราบว่าเอาข้อมูลที่ได้จากจีพีเอสจะระบุตำแหน่งอยู่ในรูปของ ละติจูด ลองจิจูด ดังนั้นเราสามารถที่จะนำผลที่ได้ไปสร้างเป็นระบบนำร่องสำหรับรถยนต์ ( Car Navigator ) เพื่อระบุตำแหน่งปัจจุบันบนแผนที่ซึ่งเราเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งนี้เรายังสามารถประยุกต์เป็นการบันทึกเส้นทางจากจุดเริ่มต้น เพื่อใช้ในการเดินทางย้อนกลับได้ด้วย ทั้งนี้ขึ้นกับซอฟต์แวร์ที่จะเขียนขึ้นมาควบคุมนั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EOM BIT P1.2

PD BIT P1.1

CE BIT P1.0

FLAG BIT 20H

ORG 0000H

AJMP MAIN

ORG 0023H

AJMP SERIES\_INT

ORG 0030H

MAIN: MOV IE,#090H

MOV SCON,#050H

MOV TMOD,#021H

MOV TH1,#0FDH

MOV TL1,#0FDH

SETB TR1

SETB PD

SETB CE

CLR FLAG

LOOP: JNB FLAG,\$

AJMP LOOP

SERIES\_INT: CLR REN

MOV P0,SBUF

CLR PD

ACALL DELAY\_50ms

CLR CE

ACALL DELAY\_3s

SETB CE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB PD
CLR RI
SETB REN
RETI

DELAY_50ms: MOV R7,#50
DELAY_50ms_1: MOV R6,#0E6H
DELAY_50ms_2: NOP
NOP
DJNZ R6,DELAY_50ms_2
DJNZ R7,DELAY_50ms_1
RET

DELAY_100ms: MOV R7,#100
DELAY_100ms_1: MOV R6,#0E6H
DELAY_100ms_2: NOP
NOP
DJNZ R6,DELAY_100ms_2
DJNZ R7,DELAY_100ms_1
RET

DELAY_3s: MOV R5,#30
DELAY_3s_1: ACALL DELAY_100ms
DJNZ R5,DELAY_3s_1
RET

end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Dim i As Integer
Dim data, data1 As String
Dim g(5) As String
Dim z As String
Dim X, Y As String
Dim xa, ya As String
Dim xb, yb As String
Dim xc, yc As String
Dim px As String
Dim py As String
Dim plotx As String
Dim ploty As String
Dim pxa, pya As String
Dim pxb, pyb As String
Dim pxc, pyc As String

```

```

Private Sub Command1_Click() 'start
If MSComm1.PortOpen = False Then
MSComm1.PortOpen = True
End If
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
MSComm1.InputLen = 1
Timer1.Enabled = True
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click() 'stop
MSComm1.PortOpen = False
Timer1.Enabled = False
End Sub

```

```

Private Sub Command3_Click() 'close

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End

End Sub

Private Sub Form\_Load()

xa = 10046.927

ya = 1343.381

pxa = 330

pya = 89

xb = 10046.52

yb = 1343.381

pxb = 700

pyb = 89

xc = 10046.927

yc = 1343.611

pxc = 330

pyc = 394

End Sub

Private Sub Timer1\_Timer()

Me.Caption = "non"

Text5.Text = ""

Text4.Text = ""

Text3.Text = ""

Text2.Text = ""

Text1.Text = ""

For i = 1 To 5 Step 1

g(i) = MSComm1.Input

Next i

data = g(1) + g(2) + g(3) + g(4) + g(5)

Do While data <> "GPGLL" 'checking sentence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

g(1) = g(2)
g(2) = g(3)
g(3) = g(4)
g(4) = g(5)
g(5) = MSComm1.Input
text6.Text = text6.Text + g(5)
data = g(1) + g(2) + g(3) + g(4) + g(5)

```

Loop

```
For i = 1 To 23 Step 1 'checking sentence again
```

```
z = MSComm1.Input
```

```
Text5.Text = Text5.Text + z
```

```
Next i
```

```
text6.Text = text6.Text + Text5.Text
```

```
data1 = Text5.Text
```

```
If ((Mid(data1, 11, 1) = "N") Or (Mid(data1, 11, 1) = "S")) And ((Right(data1, 1) = "E") Or (Right(data1, 1) = "W")) Then
```

```
Text4.Text = Right(data1, 1) 'E/W
```

```
Text3.Text = Mid(data1, 13, 9) 'long
```

```
Text1.Text = Mid(data1, 2, 8) 'lat
```

```
Text2.Text = Mid(data1, 11, 1) 'N/S
```

```
X = Text3.Text 'long
```

```
Y = Text1.Text 'lat
```

```
px = Abs(pxb - pxa)
```

```
py = Abs(pyc - pya)
```

```
plotx = pxa + (((Abs(X - xa)) * px) / Abs(xa - xb)) 'pixel x
```

```
ploty = pya + (((Abs(ya - Y)) * py) / Abs(ya - yc)) 'pixel y
```

```
Picture2.Move plotx, ploty, 11, 11 'set pointer
```

```
MSComm1.PortOpen = False
```

```
X = Mid(X, 1, 8)
```

```
Y = Mid(Y, 1, 7)
```

```
If (X = "10046.69") And (Y = "1343.52") Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MSComm1.CommPort = 5
MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = Chr(100)
Me.Caption = " โภ โขยอุคม"
MSComm1.PortOpen = False
Elseif (X = "10046.73") And (Y = "1343.52") Then
    MSComm1.CommPort = 5
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = Chr(40)
    Me.Caption = " คีถ B"
    MSComm1.PortOpen = False
Elseif (X = "10046.75") And (Y = "1343.52") Then
    MSComm1.CommPort = 5
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = Chr(120)
    Me.Caption = " ทีชอครถ"
    MSComm1.PortOpen = False
Elseif (X = "10046.78") And (Y = "1343.52") Then
    MSComm1.CommPort = 5
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = Chr(20)
    Me.Caption = " คีถ A"
    MSComm1.PortOpen = False
Elseif (X = "10046.67") And (Y = "1343.46") Then
    MSComm1.CommPort = 5
    MSComm1.PortOpen = True
    MSComm1.Output = Chr(160)
    Me.Caption = " Instru"
    MSComm1.PortOpen = False
Elseif (X = "10046.66") And (Y = "1343.51") Then
    MSComm1.CommPort = 5

```

```

MSComm1.PortOpen = True
MSComm1.Output = Chr(140)
Me.Caption = "โยธา"
MSComm1.PortOpen = False
End If
MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.PortOpen = True
Else
MsgBox "NO SIGNAL PLEASE CHECK AND THEN CLICK START AGAIN", vbCritical + vbOKOnly, "ERROR
!!!"
Timer1.Enabled = False
MSComm1.PortOpen = False
End If
End Sub

```





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

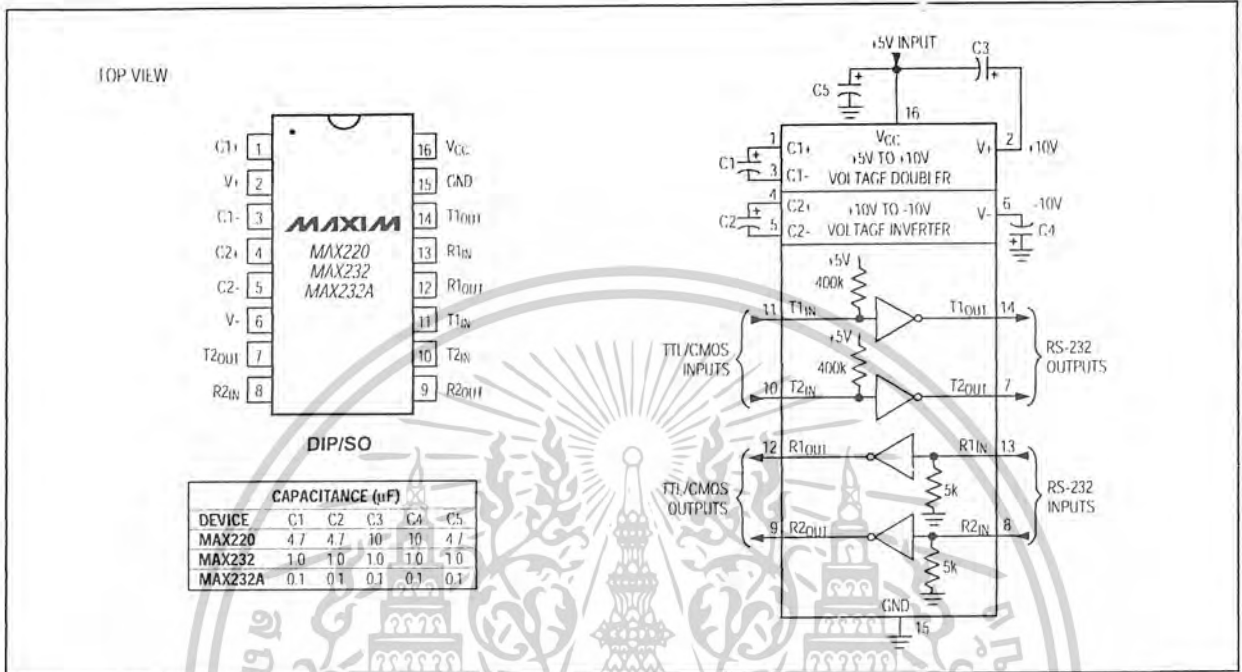


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

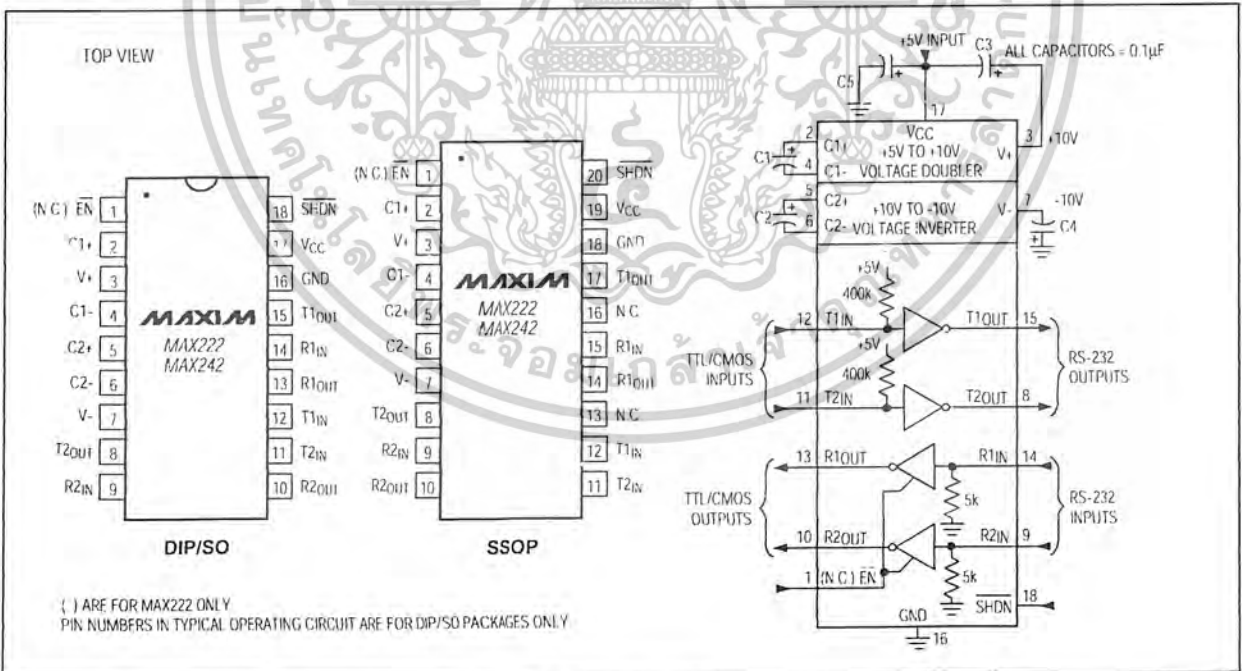


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC78XX/LM78XX/MC78XXA

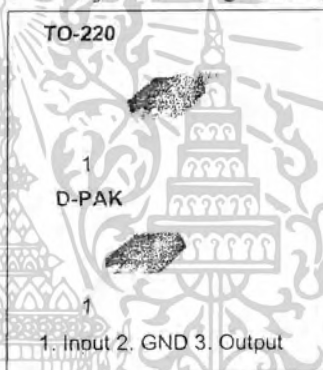
## 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

### Features

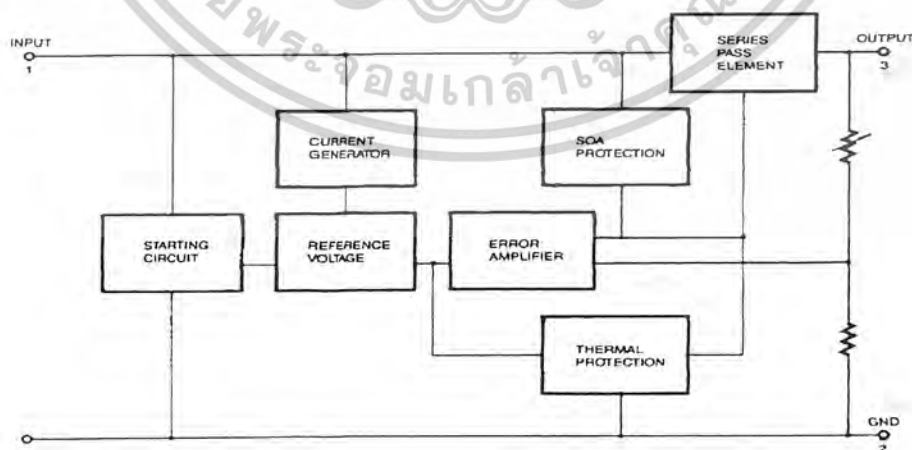
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

### Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



### Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

## Typical Performance Characteristics

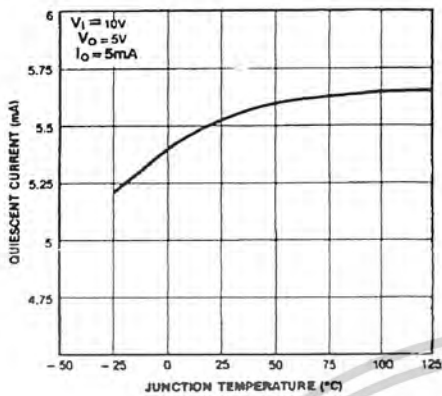


Figure 1. Quiescent Current

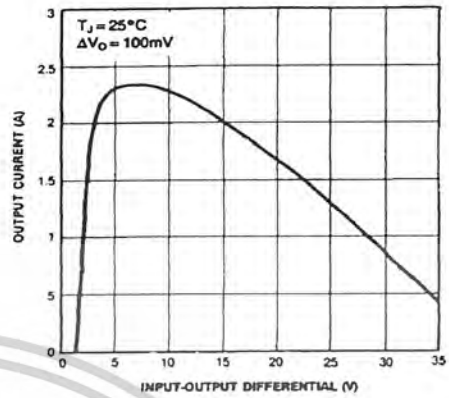


Figure 2. Peak Output Current

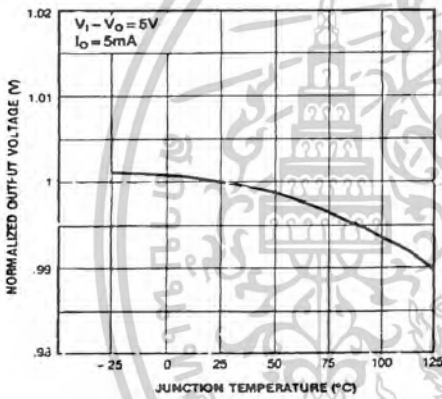


Figure 3. Output Voltage

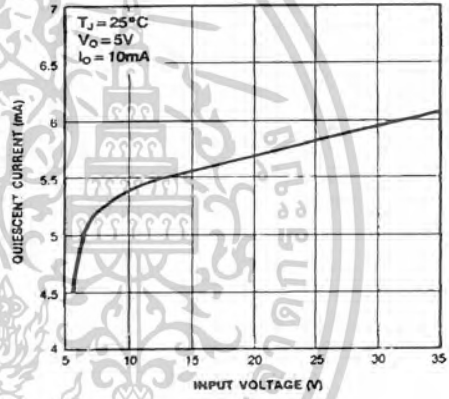


Figure 4. Quiescent Current

## Typical Applications

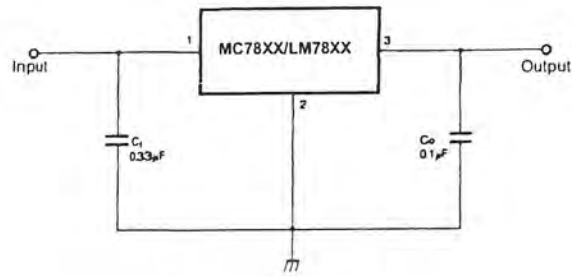


Figure 5. DC Parameters

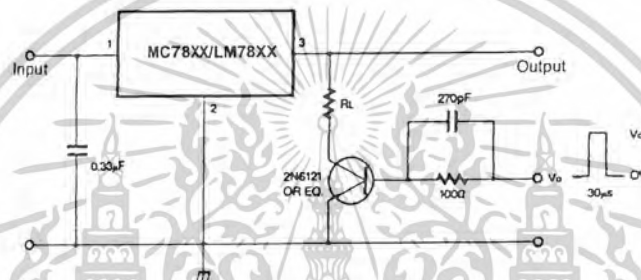


Figure 6. Load Regulation

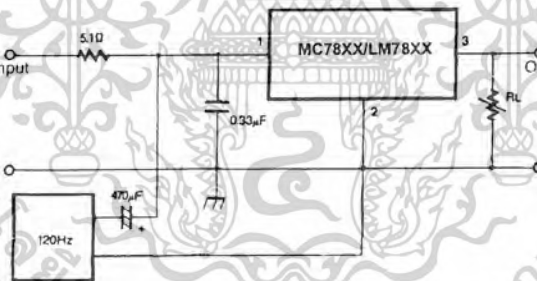


Figure 7. Ripple Rejection

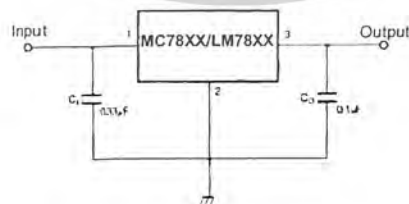


Figure 8. Fixed Output Regulator

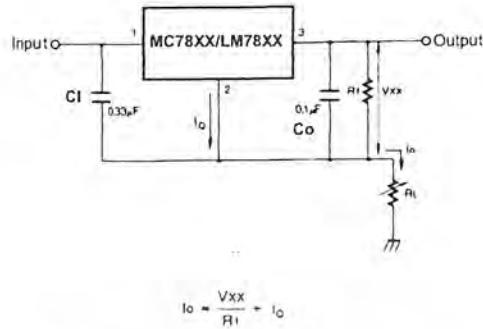


Figure 9. Constant Current Regulator

**Notes:**

- (1) To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the input and the Output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
- (2) C1 is required if regulator is located an appreciable distance from power Supply filter.
- (3) Co improves stability and transient response.

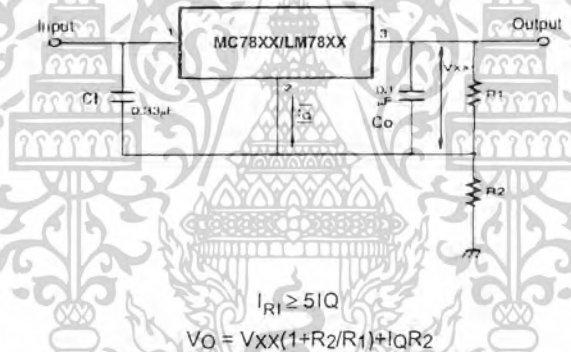


Figure 10. Circuit for Increasing Output Voltage

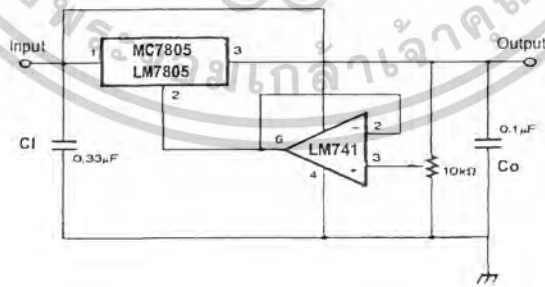


Figure 11. Adjustable Output Regulator (7 to 30V)



# ISD2560/75/90/120 Products

## Single-Chip Voice Record/Playback Devices

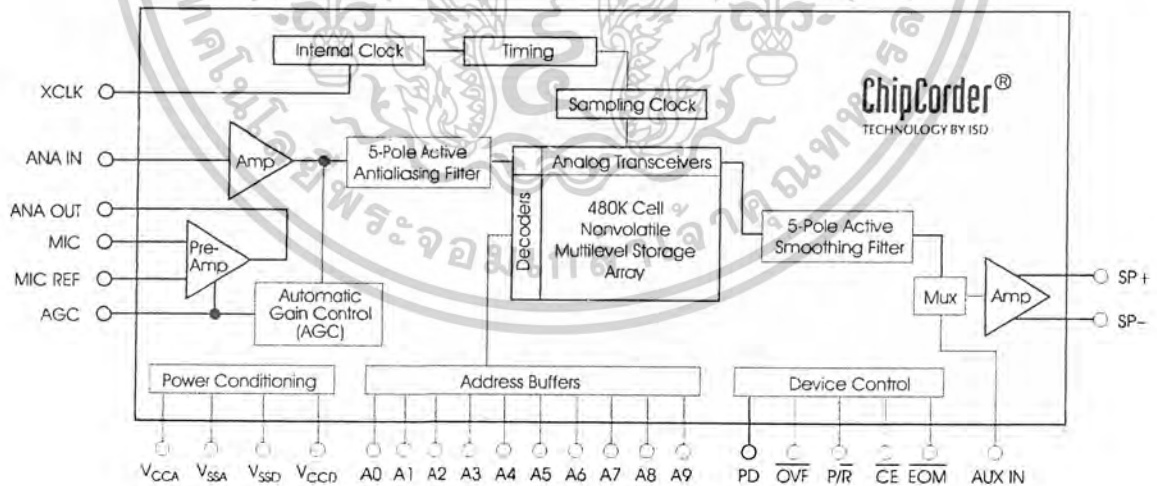
### 60-, 75-, 90-, and 120-Second Durations

### GENERAL DESCRIPTION

Information Storage Devices' ISD2500 ChipCorder® Series provides high-quality, single-chip record/playback solutions for 60- to 120-second messaging applications. The CMOS devices include an on-chip oscillator, microphone preamplifier, automatic gain control, antialiasing filter, smoothing filter, speaker amplifier, and high density multilevel storage array. In addition, the ISD2500 is microcontroller compatible, allowing complex messaging and addressing to be achieved.

Recordings are stored in on-chip nonvolatile memory cells, providing zero-power message storage. This unique, single-chip solution is made possible through ISD's patented multilevel storage technology. Voice and audio signals are stored directly into memory in their natural form, providing high-quality, solid-state voice reproduction.

Figure: ISD2560/75/90/120 Device Block Diagram



**FEATURES**

- Easy-to-use single-chip voice record/playback solution
- High-quality, natural voice/audio reproduction
- Manual switch or microcontroller compatible playback can be edge- or level-activated
- Single-chip durations of 60, 75, 90, and 120 seconds
- Directly cascadable for longer durations
- Automatic Power-Down (Push-Button Mode)
  - Standby current 1  $\mu$ A (typical)
- Zero-power message storage
  - Eliminates battery backup circuits
- Fully addressable to handle multiple messages
- 100-year message retention (typical)
- 100,000 record cycles (typical)
- On-chip clock source
- Programmer support for play-only applications
- Single +5 volt power supply
- Available in die form, DIP, and TSOP packaging
- Industrial temperature (-40°C to +85°C) versions available

**Table: ISD2560/75/90/120 Product Summary**

Part Number	Duration (Seconds)	Input Sample Rate (KHz)	Typical Filter Pass Band (KHz)
ISD2560	60	8.0	3.4
ISD2575	75	6.4	2.7
ISD2590	90	5.3	2.3
ISD25120	120	4.0	1.7

# Table of Contents

## ISD2560/75/90/120 Products

Single-Chip Voice Record/Playback Devices  
60-, 75-, 90-, and 120-Second Durations

DETAILED DESCRIPTION	1
Speech/Sound Quality	1
Duration	1
EEPROM Storage	1
Microcontroller Interface	1
Programming	1
PIN DESCRIPTIONS	2
Voltage Inputs ( $V_{CCA}$ , $V_{CCD}$ )	2
Ground Inputs ( $V_{SSA}$ , $V_{SSD}$ )	2
Power Down Input (PD)	2
Chip Enable Input (CE)	2
Playback/Record Input (P/R)	3
End-Of-Message / RUN Output (EOM)	3
Overflow Output (OVF)	3
Microphone Input (MIC)	3
Microphone Reference Input (MIC REF)	3
Automatic Gain Control Input (AGC)	3
Analog Output (ANA OUT)	3
Analog Input (ANA IN)	4
External Clock Input (XCLK)	4
Speaker Outputs (SP+ / SP-)	4
Auxiliary Input (AUX IN)	4
Address/Mode Inputs (Ax/Mx)	5
OPERATIONAL MODES	5
OPERATIONAL MODES DESCRIPTION	6
M0 — Message Cueing	6
M1 — Delete EOM Markers	6
M2 — Unused	6
M3 — Message Looping	6
M4 — Consecutive Addressing	6
M5 — $\overline{CE}$ -Level Activated	6
M6 — Push-Button Mode	6
$\overline{CE}$ Pin (START/PAUSE)	7
PD Pin (STOP/RESET)	7
EOM Pin (RUN)	7
Good Audio Design Practices	8
ISD1000A COMPATIBILITY	8
Addressing	8
Overflow	8

ISD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Push-Button Mode .....	8
Looping Mode .....	8
TIMING DIAGRAMS .....	9
TYPICAL PARAMETER VARIATION WITH VOLTAGE AND TEMPERATURE (PACKAGED PARTS) .....	13
TYPICAL PARAMETER VARIATION WITH VOLTAGE AND TEMPERATURE (DIE) .....	17
EXPLANATION .....	19
PUSH-BUTTON TIMING DIAGRAMS .....	22
DEVICE PHYSICAL DIMENSIONS .....	23
ORDERING INFORMATION .....	30



## FIGURES, CHARTS, AND TABLES IN THE ISD2560/75/90/120 PRODUCTS DATASHEET

Figure 1:	ISD2560/75/90/120 Device Pinouts	2
Figure 2:	Record	9
Figure 3:	Playback	9
Figure 4:	ISD2560/75/90/120 Application Example—Design Schematic	18
Figure 5:	ISD2560/75/90/120 Application Example—Microcontroller/ISD2500 Interface	20
Figure 6:	ISD2500 Application Example—Push-Button	20
Figure 7:	Push-Button Mode Record	22
Figure 8:	Push-Button Mode Playback	22
Figure 9:	28-Lead 8x13.4mm Plastic Thin Small Outline Package (TSOP) Type I (E)	23
Figure 10:	28-Lead 0.600-Inch Plastic Dual Inline Package (PDIP) (P)	24
Figure 11:	32-Lead 8x20mm Plastic Thin Small Outline Package (TSOP) Type I (T)	26
Figure 12:	ISD2560/75/90/120 Products <i>Current</i> Bonding Physical Layout (Unpackaged Die)	27
Figure 13:	ISD2560/75/90/120 Products <i>Future</i> Bonding Physical Layout (Unpackaged Die)	29
Chart 1:	Record Mode Operating Current ( $I_{CC}$ )	13
Chart 2:	Total Harmonic Distortion	13
Chart 3:	Standby Current ( $I_{SB}$ )	13
Chart 4:	Oscillator Stability	13
Chart 5:	Record Mode Operating Current ( $I_{CC}$ )	17
Chart 6:	Total Harmonic Distortion	17
Chart 7:	Standby Current ( $I_{SB}$ )	17
Chart 8:	Oscillator Stability	17
Table 1:	External Clock Sample Rates	4
Table 2:	Operational Modes Table	5
Table 3:	Alternate Functionality in Pins	6
Table 4:	Absolute Maximum Ratings (Packaged Parts)	10
Table 5:	Operating Conditions (Packaged Parts)	10
Table 6:	DC Parameters (Packaged Parts)	10
Table 7:	AC Parameters (Packaged Parts)	11
Table 8:	Absolute Maximum Ratings (Die)	14
Table 9:	Operating Conditions (Die)	14
Table 10:	DC Parameters (Die)	14
Table 11:	AC Parameters (Die)	15
Table 12:	Application Example—Basic Device Control	18
Table 13:	Application Example—Passive Component Functions	19
Table 14:	Application Example—Push-Button Control	21
Table 15:	Application Example—Passive Component Functions	21
Table 16:	Push-Button Parameters	21
Table 17:	Plastic Thin Small Outline Package (TSOP) Type I (E) Dimensions	23
Table 18:	Plastic Dual Inline Package (PDIP) (P) Dimensions	24
Table 19:	Plastic Thin Small Outline Package (TSOP) Type I (T) Dimensions	26
Table 20:	ISD2560/75/90/120 Products <i>Current</i> PIN/PAD Designations	28
Table 21:	ISD2560/75/90/120 Products <i>Future</i> PIN/PAD Designations	30

## DETAILED DESCRIPTION

### SPEECH/SOUND QUALITY

The ISD2500 series includes devices offered at 4.0, 5.3, 6.4, and 8.0 KHz sampling frequencies, allowing the user a choice of speech quality options. Increasing the duration within a product series decreases the sampling frequency and bandwidth, which affects sound quality. Please refer to the ISD2560/75/90/120 Product Summary table on page *ii* to compare filter pass band and product durations.

The speech samples are stored directly into on-chip nonvolatile memory without the digitization and compression associated with other solutions. Direct analog storage provides a very true, natural sounding reproduction of voice, music, tones, and sound effects not available with most solid-state digital solutions.

### DURATION

To meet end system requirements, the ISD2500 series offers single-chip solutions at 60, 75, 90, and 120 seconds. Parts may also be cascaded together for longer durations.

### EEPROM STORAGE

One of the benefits of ISD's ChipCorder technology is the use of on-chip nonvolatile memory, providing zero-power message storage. The message is retained for up to 100 years typically without power. In addition, the device can be re-recorded typically over 100,000 times.

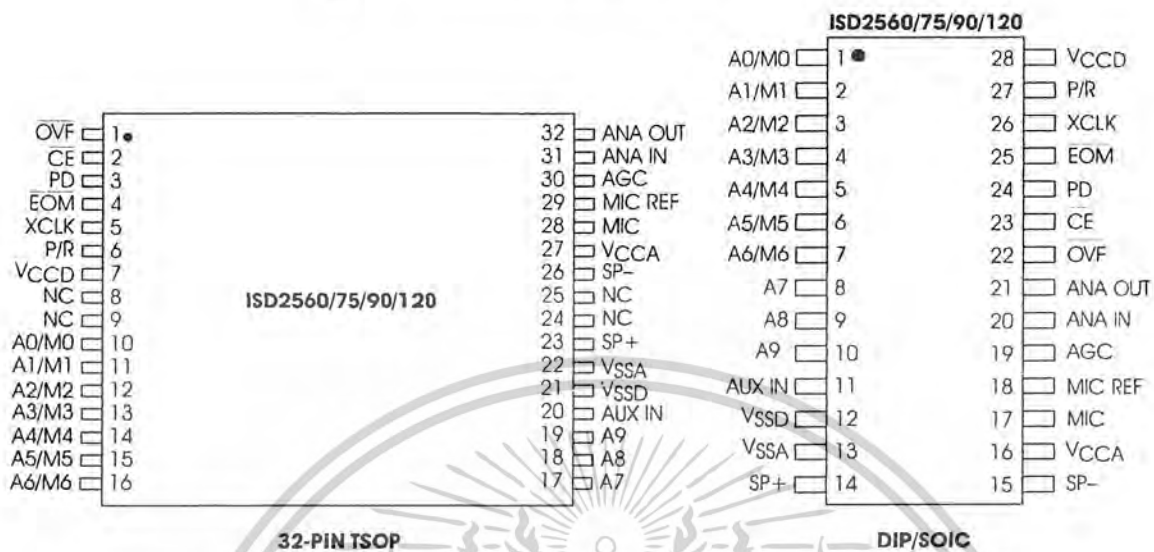
### MICROCONTROLLER INTERFACE

In addition to its simplicity and ease of use, the ISD2500 series includes all the interfaces necessary for microcontroller-driven applications. The address and control lines can be interfaced to a microcontroller and manipulated to perform a variety of tasks, including message assembly, message concatenation, predefined fixed message segmentation, and message management.

### PROGRAMMING

The ISD2500 series is also ideal for playback-only applications, where single or multiple messages are referenced through buttons, switches, or a microcontroller. Once the desired message configuration is created, duplicates can easily be generated via an ISD programmer.

Figure 1: ISD2560/75/90/120 Device Pinouts



**PIN DESCRIPTIONS**

**VOLTAGE INPUTS ( $V_{CCA}$ ,  $V_{CCD}$ )**

To minimize noise, the analog and digital circuits in the ISD2500 series devices use separate power busses. These voltage busses are brought out to separate pins and should be tied together as close to the supply as possible. In addition, these supplies should be decoupled as close to the package as possible.

**GROUND INPUTS ( $V_{SSA}$ ,  $V_{SSD}$ )**

The ISD2500 series of devices utilizes separate analog and digital ground busses. These pins should be connected separately through a low-impedance path to power supply ground.

**POWER DOWN INPUT (PD)**

When not recording or playing back, the PD pin should be pulled HIGH to place the part in a very low power mode (see  $I_{SB}$  specification). When overflow (OVF) pulses LOW for an overflow condition, PD should be brought HIGH to reset the address pointer back to the beginning of the record/playback space. The PD pin has additional functionality in the M6 (Push-Button) Operational Mode described later in the Operational Mode section.

**CHIP ENABLE INPUT (CE)**

The CE pin is taken LOW to enable all playback and record operations. The address inputs and playback/record input (P/R) are latched by the falling edge of CE. CE has additional functionality in the M6 (Push-Button) Operational Mode described later in the Operational Mode section.

**PLAYBACK/RECORD INPUT (P/R)**

The P/R input is latched by the falling edge of the CE pin. A HIGH level selects a playback cycle while a LOW level selects a record cycle. For a record cycle, the address inputs provide the starting address and recording continues until PD or  $\overline{CE}$  is pulled HIGH or an overflow is detected (i.e. the chip is full). When a record cycle is terminated by pulling PD or  $\overline{CE}$  HIGH, an End-Of-Message (EOM) marker is stored at the current address in memory. For a playback cycle, the address inputs provide the starting address and the device will play until an EOM marker is encountered. The device can continue past an EOM marker in an Operational Mode, or if CE is held LOW in address mode. (See page 5 for more Operational Modes).

**END-OF-MESSAGE / RUN OUTPUT (EOM)**

A nonvolatile marker is automatically inserted at the end of each recorded message. It remains there until the message is recorded over. The EOM output pulses LOW for a period of  $T_{EOM}$  at the end of each message.

In addition, the ISD2500 series has an internal  $V_{CC}$  detect circuit to maintain message integrity should  $V_{CC}$  fall below 3.5 V. In this case, EOM goes LOW and the device is fixed in playback-only mode.

When the device is configured in Operational Mode M6 (Push-Button Mode), this pin provides an active-HIGH RUN signal, indicating the device is currently recording or playing. This signal can conveniently drive an LED for a visual indicator of a record or playback operation in process.

**OVERFLOW OUTPUT (OVF)**

This signal pulses LOW at the end of memory space, indicating the device has been filled and the message has overflowed. The OVF output then follows the  $\overline{CE}$  input until a PD pulse has reset the device. This pin can be used to cascade several ISD2500 devices together to increase record/playback durations.

**MICROPHONE INPUT (MIC)**

The microphone input transfers its signal to the on-chip preamplifier. An on-chip Automatic Gain Control (AGC) circuit controls the gain of this preamplifier from -15 to 24 dB. An external microphone should be AC coupled to this pin via a series capacitor. The capacitor value, together with the internal 10 K $\Omega$  resistance on this pin, determines the low-frequency cutoff for the ISD2500 series passband. See Application Information for additional information on low-frequency cutoff calculation.

**MICROPHONE REFERENCE INPUT (MIC REF)**

The MIC REF input is the inverting input to the microphone preamplifier. This provides a noise-canceling or common-mode rejection input to the device when connected to a differential microphone.

**AUTOMATIC GAIN CONTROL INPUT (AGC)**

The AGC dynamically adjusts the gain of the preamplifier to compensate for the wide range of microphone input levels. The AGC allows the full range of whispers to loud sounds to be recorded with minimal distortion. The "attack" time is determined by the time constant of a 5 K $\Omega$  internal resistance and an external capacitor (C2 on the schematic on page 18) connected from the AGC pin to  $V_{SSA}$  analog ground. The "release" time is determined by the time constant of an external resistor (R2) and an external capacitor (C2) connected in parallel between the AGC Pin and  $V_{SSA}$  analog ground. Nominal values of 470 K $\Omega$  and 4.7  $\mu$ F give satisfactory results in most cases.

**ANALOG OUTPUT (ANA OUT)**

This pin provides the preamplifier output to the user. The voltage gain of the preamplifier is determined by the voltage level at the AGC pin.

**ANALOG INPUT (ANA IN)**

The analog input pin transfers its signal to the chip for recording. For microphone inputs, the ANA OUT pin should be connected via an external capacitor to the ANA IN pin. This capacitor value, together with the 3.0 KΩ input impedance of ANA IN, is selected to give additional cutoff at the low-frequency end of the voice passband. If the desired input is derived from a source other than a microphone, the signal can be fed, capacitively coupled, into the ANA IN pin directly.

**EXTERNAL CLOCK INPUT (XCLK)**

The external clock input for the ISD2500 devices has an internal pull-down device. These devices are configured at the factory with an internal sampling clock frequency centered to ±1 percent of specification. The frequency is then maintained to a variation of ±2.25 percent over the entire commercial temperature and operating voltage ranges. The internal clock has a ±5 percent tolerance over the industrial temperature and voltage range. A regulated power supply is recommended for industrial temperature range parts; if greater precision is required, the device can be clocked through the XCLK pin as follows:

**Table 1: External Clock Sample Rates**

Part Number	Sample Rate	Required Clock
ISD2560	8.0 KHz	1024 KHz
ISD2575	6.4 KHz	819.2 KHz
ISD2590	5.3 KHz	682.7 KHz
ISD25120	4.0 KHz	512 KHz

These recommended clock rates should not be varied because the antialiasing and smoothing filters are fixed, and aliasing problems can occur if the sample rate differs from the one recommended. The duty cycle on the input clock is not critical, as the clock is immediately divided by two. **If the XCLK is not used, this input must be connected to ground.**

**SPEAKER OUTPUTS (SP+ /SP-)**

All devices in the ISD2500 series include an on-chip differential speaker driver, capable of driving 50 mW into 16 Ω from AUX IN (12.2 mW from memory).

The speaker outputs are held at V<sub>SSA</sub> levels during record and power down. It is therefore not possible to parallel speaker outputs of multiple ISD2500 devices or the outputs of other speaker drivers.

*NOTE* Connection of speaker outputs in parallel may cause damage to the device.

A single output may be used alone (including a coupling capacitor between the SP pin and the speaker). These outputs may be used individually with the output signal taken from either pin. Using the differential outputs results in a 4 to 1 improvement in output power.

*NOTE* Never ground or drive an unused speaker output.

**AUXILIARY INPUT (AUX IN)**

The Auxiliary Input is multiplexed through to the output amplifier and speaker output pins when CE is HIGH, P/R is HIGH, and playback is currently not active or if the device is in playback overflow. When cascading multiple ISD2500 devices, the AUX IN pin is used to connect a playback signal from a following device to the previous output speaker drivers. For noise considerations, it is suggested that the auxiliary input not be driven when the storage array is active.

## ADDRESS/MODE INPUTS (AX/MX)

The Address/Mode Inputs have two functions depending on the level of the two Most Significant Bits (MSB) of the address (A8 and A9).

If either or both of the two MSBs are LOW, the inputs are all interpreted as address bits and are used as the start address for the current record or playback cycle. The address pins are inputs only and do not output internal address information as the operation progresses. Address inputs are latched by the falling edge of  $\overline{CE}$ .

If both MSBs are HIGH, the Address/Mode Inputs are interpreted as Mode bits according to the Operational Mode table. There are six Operational Modes (M0..M6) available as indicated in the table. It is possible to use multiple Operational Modes simultaneously. Operational Modes are sampled on each falling edge of  $\overline{CE}$ , and thus Operational Modes and direct addressing are mutually exclusive.

## OPERATIONAL MODES

The ISD2500 series is designed with several built-in Operational Modes that provide maximum functionality with minimum additional components. These are described in detail below. The Operational Modes use the address pins on the ISD2500 devices, but are mapped outside the valid address range. When the two Most Significant Bits (MSBs) are HIGH (A8 and A9), the remaining address signals are interpreted as mode bits and not as address bits. Therefore, Operational Modes and direct addressing are not compatible and cannot be used simultaneously.

There are two important considerations for using Operational Modes. First, all operations begin initially at address 0, which is the beginning of the ISD2500 address space. Later operations can begin at other address locations, depending on the Operational Mode(s) chosen. In addition, the address pointer is reset to 0 when the device is changed from record to playback, playback to record (except M6 mode), or when a Power-Down cycle is executed.

Second, Operational Modes are executed when  $\overline{CE}$  goes LOW and the two MSBs are HIGH. This Operational Mode remains in effect until the next LOW-going  $\overline{CE}$  signal, at which point the current address/mode levels are sampled and executed.

Table 2: Operational Modes Table

Mode Control	Function	Typical Use	Jointly Compatible <sup>1</sup>
M0	Message cueing	Fast-forward through messages	M4, M5, M6
M1	Delete EOM markers	Position EOM marker at the end of the last message	M3, M4, M5, M6
M2	Not applicable	Reserved	N/A
M3	Looping	Continuous playback from Address 0	M1, M5, M6
M4	Consecutive addressing	Record/play multiple consecutive messages	M0, M1, M5
M5	$\overline{CE}$ level-activated	Allows message pausing	M0, M1, M3, M4
M6	Push-button control	Simplified device interface	M0, M1, M3

1. Additional Operational Modes can be used simultaneously with the given mode.

**OPERATIONAL MODES DESCRIPTION**

The Operational Modes can be used in conjunction with a microcontroller, or they can be hard-wired to provide the desired system operation.

**M0 — MESSAGE CUEING**

Message Cueing allows the user to skip through messages, without knowing the actual physical addresses of each message. Each  $\overline{CE}$  LOW pulse causes the internal address pointer to skip to the next message. This mode should be used for playback only, and is typically used with the M4 Operational Mode.

**M1 — DELETE EOM MARKERS**

The M1 Operational Mode allows sequentially recorded messages to be combined into a single message with only one  $\overline{EOM}$  marker set at the end of the final message. When this Operational Mode is configured, messages recorded sequentially are played back as one continuous message.

**M2 — UNUSED**

When Operational Modes are selected, the M2 pin should be LOW.

**M3 — MESSAGE LOOPING**

The M3 Operational Mode allows for the automatic, continuously repeated playback of the message located at the beginning of the address space. A message can completely fill the ISD2500 device and will loop from beginning to end without  $\overline{OVF}$  going LOW.

**M4 — CONSECUTIVE ADDRESSING**

During normal operations, the address pointer will reset when a message is played through to an  $\overline{EOM}$  marker. The M4 Operational Mode inhibits the address pointer reset on  $\overline{EOM}$ , allowing messages to be played back consecutively.

**M5 —  $\overline{CE}$ -LEVEL ACTIVATED**

The default mode for ISD2500 devices is for  $\overline{CE}$  to be edge-activated on playback and level-activated on record. The M5 Operational Mode causes the  $\overline{CE}$  pin to be interpreted as level-activated as opposed to edge-activated during playback. This is specifically useful for terminating playback operations using the  $\overline{CE}$  signal.

In this mode,  $\overline{CE}$  LOW begins a playback cycle, at the beginning of the device memory. The playback cycle continues as long as  $\overline{CE}$  is held LOW. When  $\overline{CE}$  goes HIGH, playback will immediately end. A new  $\overline{CE}$  LOW will restart the message from the beginning unless M4 is also HIGH.

**M6 — PUSH-BUTTON MODE**

The ISD2500 series of devices contain a Push-Button Operational Mode. The Push-Button mode is used primarily in very low-cost applications and is designed to minimize external circuitry and components, thereby reducing system cost. In order to configure the device in Push-Button Operational Mode, the two most significant address bits must be HIGH, and the M6 mode pin must also be HIGH. A device in this mode always powers down at the end of each playback or record cycle after  $\overline{CE}$  goes HIGH.

When this Operational Mode is implemented, several of the pins on the device have alternate functionality:

**Table 3: Alternate Functionality in Pins**

Pin Name	Alternate Functionality in Push-Button Mode
$\overline{CE}$	Start/Pause Push-Button (LOW pulse-activated)
PD	Stop/Reset Push-Button (HIGH pulse activated)
$\overline{EOM}$	Active-HIGH Run Indicator

**CE PIN (START/PAUSE)**

In Push-Button Operational Mode,  $\overline{CE}$  acts as a LOW-going pulse-activated START/PAUSE signal. If no operation is currently in progress, a LOW-going pulse on this signal will initiate a playback or a record cycle according to the level on the  $P/\overline{R}$  pin. A subsequent pulse on the  $\overline{CE}$  pin, before an End-Of-Message is reached in playback or an overflow condition occurs, will cause the device to pause. The address counter is not reset, and another  $\overline{CE}$  pulse will cause the device to continue the operation from the place where it was paused.

**PD PIN (STOP/RESET)**

In push-button Operational Mode, PD acts as a HIGH-going pulse-activated STOP/RESET signal. When a playback or record cycle is in progress and a HIGH-going pulse is observed on PD, the current cycle is terminated and the address pointer is reset to address 0, the beginning of the message space.

**EOM PIN (RUN)**

In Push-Button Operational Mode, EOM becomes an active-HIGH RUN signal which can be used to drive an LED or other external device. It is HIGH whenever a record or playback operation is in progress.

**Recording in Push-Button Mode**

1. The PD pin should be LOW, usually using a pull-down resistor.
2. The  $P/\overline{R}$  pin is taken LOW.
3. The  $\overline{CE}$  pin is pulsed LOW. Recording starts, EOM goes HIGH to indicate an operation in progress.
4. The  $\overline{CE}$  pin is pulsed LOW. Recording pauses, EOM goes back LOW. The internal address pointers are not cleared, but an EOM marker is stored in memory to point to the message end. The  $P/\overline{R}$  pin may be taken HIGH at this time. Any subsequent  $\overline{CE}$  would start a playback at address 0.

5. The  $\overline{CE}$  pin is pulsed LOW. Recording starts at the next address after the previous set EOM marker. EOM goes back HIGH.

**NOTE** If the M1 Operational Mode pin is also HIGH, the just previously written EOM bit is erased, and recording starts at that address.)

6. When the recording sequences are finished, the final  $\overline{CE}$  pulse LOW will end the last record cycle, leaving a set EOM marker at the message end. Recording may also be terminated by a HIGH level on PD, which will leave a set EOM marker.

**Playback in Push-Button Mode**

1. The PD pin should be LOW.
2. The  $P/\overline{R}$  pin is taken HIGH.
3. The  $\overline{CE}$  pin is pulsed LOW. Playback starts, EOM goes HIGH to indicate an operation in progress.
4. If the  $\overline{CE}$  pin is pulsed LOW or an EOM marker is encountered during an operation, the part will pause. The internal address pointers are not cleared, and EOM goes back LOW. The  $P/\overline{R}$  pin may be changed at this time. A subsequent record operation would not reset the address pointers and the recording would begin where playback ended.
5.  $\overline{CE}$  is again pulsed LOW. Playback starts where it left off, with EOM going HIGH to indicate an operation in progress.
6. Playback continues as in steps 4 and 5 until PD is pulsed HIGH or overflow occurs.
7. If in overflow, pulling  $\overline{CE}$  LOW will reset the address pointer and start playback from the beginning. After a PD pulse, the part is reset to address 0.

**NOTE** Push-button mode can be used in conjunction with modes M0, M1, and M3.

### GOOD AUDIO DESIGN PRACTICES

ISD products are very high-quality single-chip voice recording and playback systems. To ensure the highest quality voice reproduction, it is important that good audio design practices on layout and power supply decoupling be followed. See the ISD Application Notes in this book for details.

### ISD1000A COMPATIBILITY

The ISD2500 series of devices is designed to provide upward compatibility with the ISD1000A family. When designing with the ISD2500 series, the following differences should be noted.

### ADDRESSING

The ISD2560/75/90/120 devices have 480K storage cells designed to provide 60 seconds of storage at a sampling rate of 8.0 KHz. This is approximately four times the storage of the ISD1000A family. To enable the same addressing resolution, two additional address pins have been added. The address space of each device is divisible into 600 increments with valid addressing from 00 to 257 Hex. Some higher addresses are mapped into the Operational Modes. All other addresses are invalid.

### OVERFLOW

The ISD1000A series combined two functions on the  $\overline{EOM}$  pin: end-of-message indication and overflow. The ISD2500 separates these two functions. Pin 25 (PDIP package) remains as  $\overline{EOM}$ , but outputs only the EOM signal indication. Pin 22 (PDIP package) becomes  $\overline{OVF}$  and pulses LOW only when the device reaches its end of memory, or is "full." This change allows easy message cueing and addressability across device boundaries. This also means that the M2 Operational Mode found in the ISD1000A family is not implemented in the ISD2500 series.

### PUSH-BUTTON MODE

The ISD2500 series includes an additional Operational Mode called Push-Button mode. This provides an alternative interface to the record and playback functions of the part. The  $\overline{CE}$  and PD pins become redefined as edge-activated "push-buttons." A pulse on  $\overline{CE}$  initiates a cycle, and if triggered again, pauses the current cycle without resetting the address pointer (i.e., a Start or Pause function). PD stops any current cycle and resets the address pointer to the beginning of the message space (i.e., a Stop and Reset function). Additionally, the  $\overline{EOM}$  pin functions as an active-HIGH run indicator, and can be used to drive an LED indicating a record or playback operation is in progress. Devices in the Push-Button mode cannot be cascaded.

### LOOPING MODE

The ISD2500 series can loop with a message that completely fills the memory space.

*NOTE* Additional descriptions of ISD2500 device functionality and application examples are provided in the ISD Application Notes in this book.

TIMING DIAGRAMS

Figure 2: Record

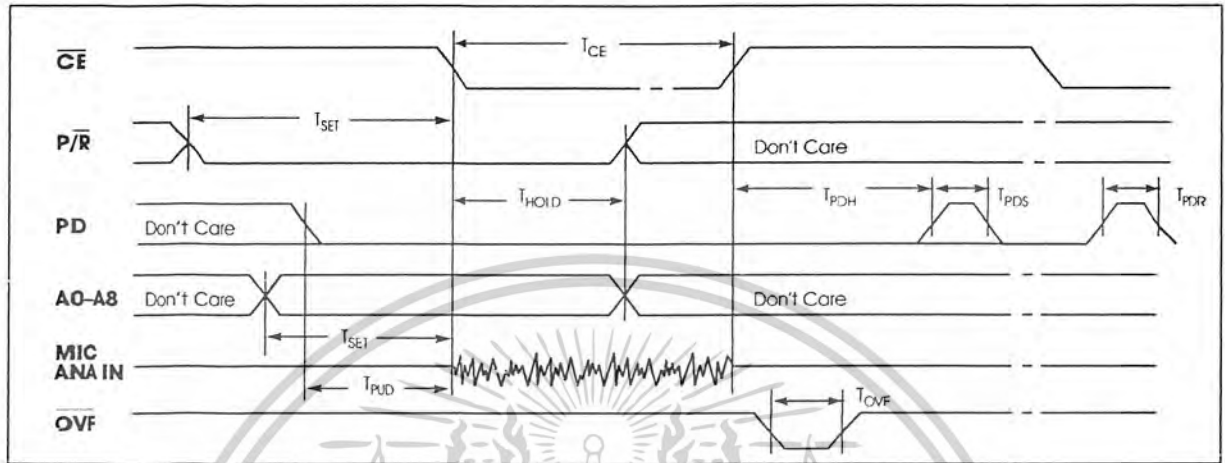
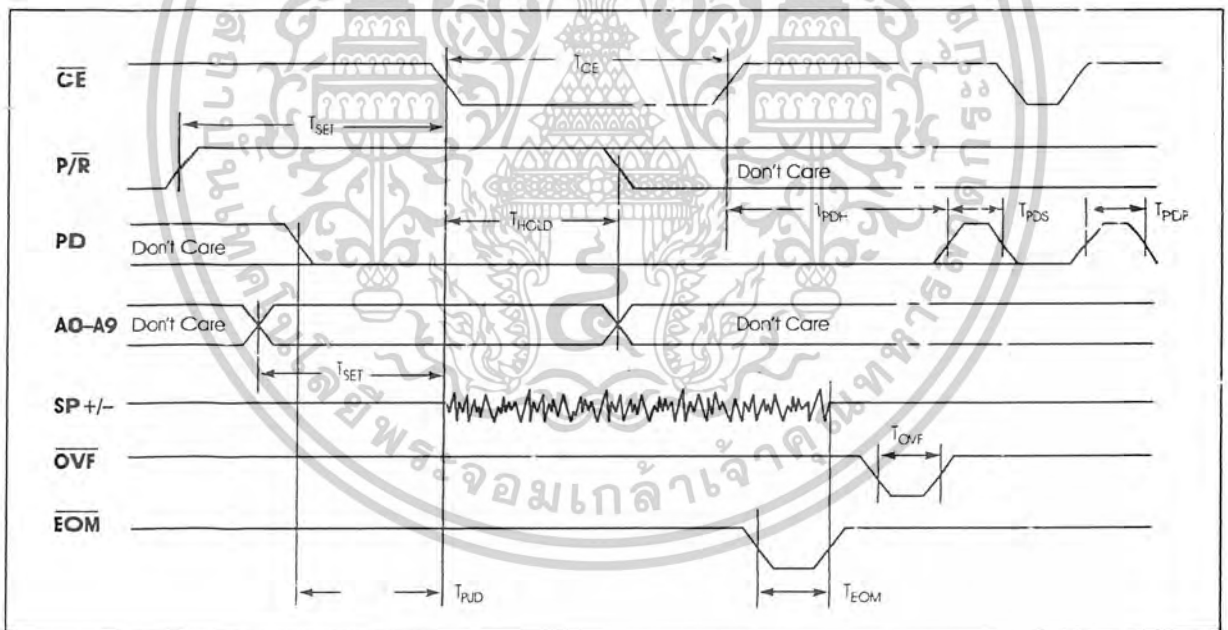


Figure 3: Playback



**Table 4: Absolute Maximum Ratings (Packaged Parts)<sup>(1)</sup>**

Condition	Value
Junction temperature	150°C
Storage temperature range	-65°C to +150°C
Voltage applied to any pin	(V <sub>SS</sub> - 0.3 V) to (V <sub>CC</sub> + 0.3 V)
Voltage applied to any pin (Input current limited to ±20 mA)	(V <sub>SS</sub> - 1.0 V) to (V <sub>CC</sub> + 1.0 V)
Lead temperature (soldering - 10 seconds)	300°C
V <sub>CC</sub> - V <sub>SS</sub>	-0.3 V to +7.0 V

1. Stresses above those listed may cause permanent damage to the device. Exposure to the absolute maximum ratings may affect device reliability. Functional operation is not implied at these conditions.

**Table 5: Operating Conditions (Packaged Parts)**

Condition	Value
Commercial operating temperature range <sup>(1)</sup>	0°C to +70°C
Industrial operating temperature range <sup>(1)</sup>	-40°C to +85°C
Supply voltage (V <sub>CC</sub> ) <sup>(2)</sup>	+4.5 V to +5.5 V
Ground voltage (V <sub>SS</sub> ) <sup>(3)</sup>	0 V

- 1. Case temperature.
- 2. V<sub>CC</sub> = V<sub>CCA</sub> = V<sub>CCD</sub>.
- 3. V<sub>SS</sub> = V<sub>SSA</sub> = V<sub>SSD</sub>.

**Table 6: DC Parameters (Packaged Parts)**

Symbol	Parameters	Min <sup>(2)</sup>	Typ <sup>(1)</sup>	Max <sup>(2)</sup>	Units	Conditions
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage			0.8	V	
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	2.0			V	
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage			0.4	V	I <sub>OL</sub> = 4.0 mA
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage	V <sub>CC</sub> - 0.4			V	I <sub>OH</sub> = -10 μA
V <sub>OH1</sub>	OVF Output High Voltage	2.4			V	I <sub>OH</sub> = -1.6 mA
V <sub>OH2</sub>	EOM Output High Voltage	V <sub>CC</sub> - 1.0	V <sub>CC</sub> - 0.8		V	I <sub>OH</sub> = -3.2 mA
I <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> Current (Operating)		25	30	mA	R <sub>EXT</sub> = ∞ <sup>(3)</sup>
I <sub>SB</sub>	V <sub>CC</sub> Current (Standby)		1	10	μA	<sup>(3)</sup>
I <sub>IL</sub>	Input Leakage Current			±1	μA	
I <sub>ILPD</sub>	Input Current HIGH with Pull Down			130	μA	Force V <sub>CC</sub> <sup>(4)</sup>
R <sub>EXT</sub>	Output Load Impedance	16			Ω	Speaker Load
R <sub>MIC</sub>	Preamp In Input Resistance	4	9	15	KΩ	MIC and MIC REF Pins
R <sub>AUX</sub>	AUX INPUT Resistance	5	11	20	KΩ	

Table 6: DC Parameters (Packaged Parts)

Symbol	Parameters	Min <sup>(2)</sup>	Typ <sup>(1)</sup>	Max <sup>(2)</sup>	Units	Conditions
R <sub>ANA IN</sub>	ANA IN Input Resistance	2.3	3	5	K $\Omega$	
A <sub>PRE1</sub>	Preamplifier Gain 1	21	24	26	dB	AGC = 0.0 V
A <sub>PRE2</sub>	Preamplifier Gain 2		-15	5	dB	AGC = 2.5 V
A <sub>AUX</sub>	AUX IN/SP+ Gain		0.98	1.0	V/V	
A <sub>ARP</sub>	ANA IN to SP+/- Gain	21	23	26	dB	
R <sub>AGC</sub>	AGC Output Resistance	2.5	5	9.5	K $\Omega$	

1. Typical values @  $T_A = 25^\circ\text{C}$  and 5.0 V.
2. All Min/Max limits are guaranteed by ISD via electrical testing or characterization. Not all specifications are 100 percent tested.
3.  $V_{CCA}$  and  $V_{CCD}$  connected together.
4. XCLK pin only.

Table 7: AC Parameters (Packaged Parts)

Symbol	Characteristic	Min <sup>(2)</sup>	Typ <sup>(1)</sup>	Max <sup>(2)</sup>	Units	Conditions	
F <sub>S</sub>	Sampling Frequency	ISD2560	8.0		KHz	(7)	
		ISD2575	6.4		KHz	(7)	
		ISD2590	5.3		KHz	(7)	
		ISD25120	4.0		KHz	(7)	
F <sub>CF</sub>	Filter Pass Band	ISD2560	3.4		KHz	3 dB Roll-Off Point (3)(8)	
		ISD2575	2.7		KHz	3 dB Roll-Off Point (3)(8)	
		ISD2590	2.3		KHz	3 dB Roll-Off Point (3)(8)	
		ISD25120	1.7		KHz	3 dB Roll-Off Point (3)(8)	
T <sub>REC</sub>	Record Duration	ISD2560	58.1	60.0	62.0	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD2560	56.5	60.0	63.8	sec	Industrial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD2575	72.6	75.0	77.5	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD2575	70.7	75.0	79.7	sec	Industrial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD2590	87.1	90.0	93.0	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD25120	116.1	120.0	123.9	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
T <sub>PLAY</sub>	Playback Duration	ISD2560	58.1	60.0	62.0	sec	Commercial Operation
		ISD2560	56.5	60.0	63.8	sec	Industrial Operation
		ISD2575	72.6	75.0	77.5	sec	Commercial Operation
		ISD2575	70.7	75.0	79.7	sec	Industrial Operation
		ISD2590	87.1	90.0	93.0	sec	Commercial Operation
		ISD25120	116.1	120.0	123.9	sec	Commercial Operation
T <sub>CE</sub>	CE Pulse Width		100		nsec		
T <sub>SET</sub>	Control/Address Setup Time		300		nsec		
T <sub>HOLD</sub>	Control/Address Hold Time		0		nsec		

Table 7: AC Parameters (Packaged Parts)

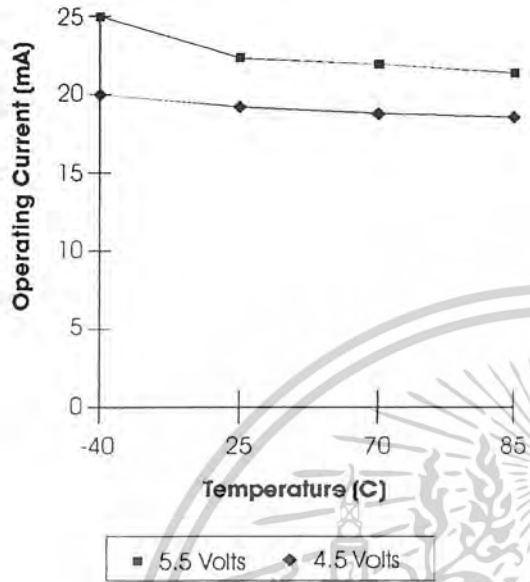
Symbol	Characteristic	Min <sup>(2)</sup>	Typ <sup>(1)</sup>	Max <sup>(2)</sup>	Units	Conditions	
T <sub>PUD</sub>	Power-Up Delay	ISD2560	24.1	25.0	27.8	msec	Commercial Operation
		ISD2560	23.5		28.5	msec	Industrial Operation
		ISD2575	30.2	31.3	34.3	msec	Commercial Operation
		ISD2575	29.3	31.3	35.2	msec	Industrial Operation
		ISD2590	36.2	37.5	40.8	msec	Commercial Operation
		ISD25120	48.2	50.0	53.6	msec	Commercial Operation
T <sub>PDR</sub>	PD Pulse Width Record	ISD2560		25		msec	
		ISD2575		31.25		msec	
		ISD2590		37.5		msec	
		ISD25120		50.0		msec	
T <sub>PDP</sub>	PD Pulse Width Play	ISD2560		12.5		msec	
		ISD2575		15.625		msec	
		ISD2590		18.75		msec	
		ISD25120		25.0		msec	
T <sub>PDS</sub>	PD Pulse Width Static		100		nsec	(6)	
T <sub>PDH</sub>	Power Down Hold		0		nsec		
T <sub>ECOM</sub>	EOM Pulse Width	ISD2560		12.5		msec	
		ISD2575		15.625		msec	
		ISD2590		18.75		msec	
		ISD25120		25.0		msec	
T <sub>OVF</sub>	Overflow Pulse Width		6.5		μsec		
THD	Total Harmonic Distortion		1	2	%	@ 1 KHz	
P <sub>OUT</sub>	Speaker Output Power		12.2	50	mW	R <sub>EXT</sub> = 16 Ω <sup>(4)</sup>	
V <sub>OUT</sub>	Voltage Across Speaker Pins			2.5	V p-p	R <sub>EXT</sub> = 600 Ω	
V <sub>IN1</sub>	MIC Input Voltage			20	mV	Peak-to-Peak <sup>(5)</sup>	
V <sub>IN2</sub>	ANA IN Input Voltage			50	mV	Peak-to-Peak	
V <sub>IN3</sub>	Aux Input Voltage			1.25	V	Peak-to-Peak; R <sub>EXT</sub> = 16 Ω	

1. Typical values @ T<sub>A</sub> = 25°C and 5.0 V.
2. All Min/Max limits are guaranteed by ISD via electrical testing or characterization. Not all specifications are 100 percent tested.
3. Low-frequency cutoff depends upon the value of external capacitors (see Pin Descriptions).
4. From AUX IN; if ANA IN is driven at 50 mV p-p, the P<sub>OUT</sub> = 12.2 mW, typical.
5. With 5.1 KΩ series resistor at ANA IN.
6. T<sub>PDS</sub> is required during a static condition, typically overflow.
7. Sampling Frequency and playback Duration can vary as much as +2.25 percent over the commercial temperature range and voltage range and ±5 percent over the industrial temperature and voltage range. For greater stability, an external clock can be utilized (see Pin Descriptions).
8. Filter specification applies to both the antialiasing filter and the smoothing filter. Therefore, from input to output, expect a 6 dB drop by nature of passing through both filters.

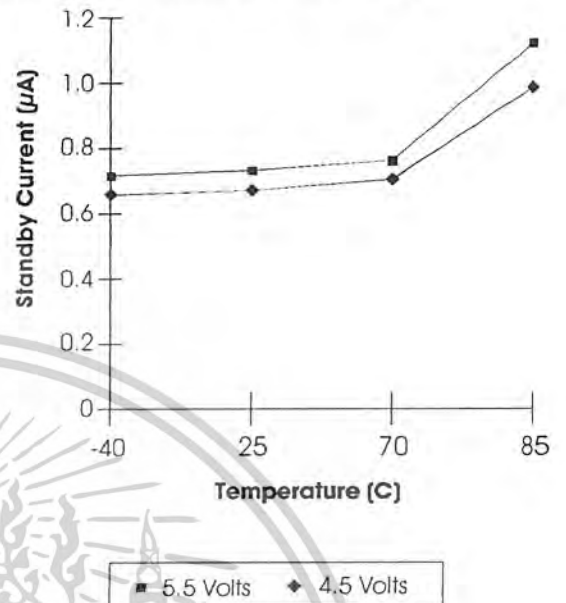
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TYPICAL PARAMETER VARIATION WITH VOLTAGE AND TEMPERATURE (PACKAGED PARTS)**

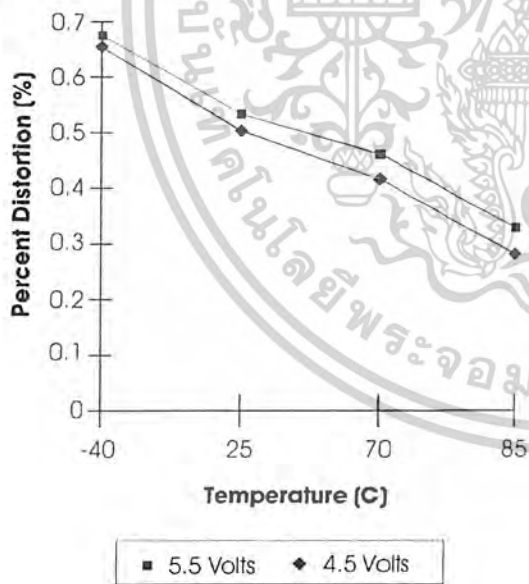
**Chart 1: Record Mode Operating Current ( $I_{cc}$ )**



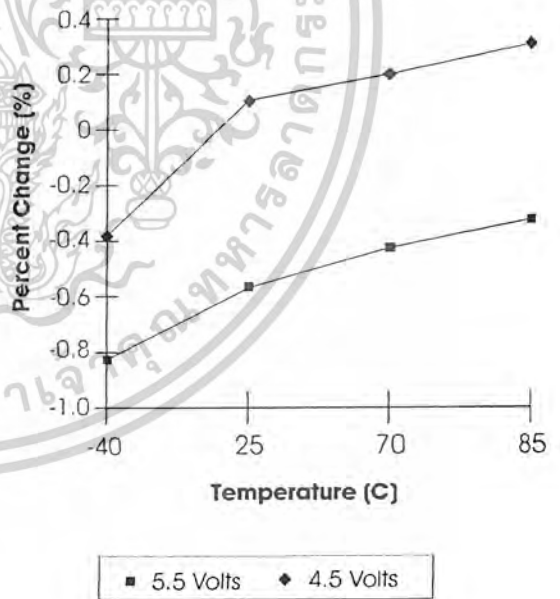
**Chart 3: Standby Current ( $I_{SB}$ )**



**Chart 2: Total Harmonic Distortion**



**Chart 4: Oscillator Stability**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 8: Absolute Maximum Ratings (Die)<sup>(1)</sup>**

Condition	Value
Junction temperature	150°C
Storage temperature range	-65°C to +150°C
Voltage applied to any pad	(V <sub>SS</sub> - 0.3 V) to (V <sub>CC</sub> + 0.3 V)
Voltage applied to any pad (Input current limited to ±20 mA)	(V <sub>SS</sub> - 1.0 V) to (V <sub>CC</sub> + 1.0 V)
V <sub>CC</sub> - V <sub>SS</sub>	-0.3 V to +7.0 V

**Table 9: Operating Conditions (Die)**

Condition	Value
Commercial operating temperature range	0°C to +50°C
Supply voltage (V <sub>CC</sub> ) <sup>(1)</sup>	+4.5 V to +6.5 V
Ground voltage (V <sub>SS</sub> ) <sup>(2)</sup>	0 V

- 1. V<sub>CC</sub> = V<sub>CCA</sub> = V<sub>CCD</sub>.
- 2. V<sub>SS</sub> = V<sub>SSA</sub> = V<sub>SSD</sub>.

1. Stresses above those listed may cause permanent damage to the device. Exposure to the absolute maximum ratings may affect device reliability. Functional operation is not implied at these conditions.

**Table 10: DC Parameters (Die)**

Symbol	Parameters	Min <sup>(2)</sup>	Typ <sup>(1)</sup>	Max <sup>(2)</sup>	Units	Conditions
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage			0.8	V	
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	2.0			V	
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage			0.4	V	I <sub>OL</sub> = 4.0 mA
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage	V <sub>CC</sub> - 0.4			V	I <sub>OH</sub> = -10 μA
V <sub>OH1</sub>	OVF Output High Voltage	2.4			V	I <sub>OH</sub> = -1.6 mA
V <sub>OH2</sub>	EOM Output High Voltage	V <sub>CC</sub> - 1.0	V <sub>CC</sub> - 0.8		V	I <sub>OH</sub> = -3.2 mA
I <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> Current (Operating)		25	30	mA	R <sub>EXT</sub> = ∞ <sup>(3)</sup>
I <sub>SB</sub>	V <sub>CC</sub> Current (Standby)		1	10	μA	(2)
I <sub>IL</sub>	Input Leakage Current			±1	μA	
I <sub>ILPD</sub>	Input Current HIGH with Pull Down			130	μA	Force V <sub>CC</sub> <sup>(4)</sup>
R <sub>EXT</sub>	Output Load Impedance	16			Ω	Speaker Load
R <sub>MIC</sub>	Preamplifier Input Resistance	4	9	15	KΩ	MIC and MIC REF Pads
R <sub>AUX</sub>	AUX Input Resistance	5	11	20	KΩ	
R <sub>ANA IN</sub>	ANA IN Input Resistance	2.3	3	5	KΩ	
A <sub>PRE1</sub>	Preamplifier Gain 1	21	24	26	dB	AGC = 0.0 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 10: DC Parameters (Die)

Symbol	Parameters	Min <sup>(2)</sup>	Typ <sup>(1)</sup>	Max <sup>(2)</sup>	Units	Conditions
A <sub>PRE2</sub>	Preamplifier Gain 2		-15	5	dB	AGC = 2.5 V
A <sub>AUX</sub>	AUX IN/SP+ Gain		0.98	1.0	V/V	
A <sub>ARP</sub>	ANA IN to SP +/- Gain	21	23	26	dB	
R <sub>AGC</sub>	AGC Output Resistance	2.5	5	9.5	K $\Omega$	

1. Typical values @  $T_A = 25^\circ\text{C}$  and 5.0 V.

2. All Min/Max limits are guaranteed by ISD via electrical testing or characterization. Not all specifications are 100 percent tested.

3.  $V_{CCA}$  and  $V_{CCD}$  connected together.

4. XCLK pad only.

Table 11: AC Parameters (Die)

Symbol	Characteristic	Min <sup>(2)</sup>	Typ <sup>(1)</sup>	Max <sup>(2)</sup>	Units	Conditions	
F <sub>S</sub>	Sampling Frequency	ISD2560	8.0		KHz	(7)	
		ISD2575	5.4		KHz	(7)	
		ISD2590	5.3		KHz	(7)	
		ISD25120	4.0		KHz	(7)	
F <sub>CF</sub>	Filter Pass Band	ISD2560	3.4		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)	
		ISD2575	2.7		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)	
		ISD2590	2.3		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)	
		ISD25120	1.7		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)	
T <sub>REC</sub>	Record Duration	ISD2560	58.1	60.0	62.0	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD2575	72.6	75.0	77.5	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD2590	87.1	90.0	93.0	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD25120	116.1	120.0	123.9	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
T <sub>PLAY</sub>	Playback Duration	ISD2560	58.1	60.0	62.0	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD2575	72.6	75.0	77.5	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD2590	87.1	90.0	93.0	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
		ISD25120	116.1	120.0	123.9	sec	Commercial Operation <sup>(7)</sup>
T <sub>CE</sub>	CE Pulse Width		100		nsec		
T <sub>SET</sub>	Control/Address Setup Time		300		nsec		
T <sub>HOLD</sub>	Control/Address Hold Time		0		nsec		
T <sub>PUD</sub>	Power-Up Delay	ISD2560	24.1	25.0	27.8	msec	Commercial Operation
		ISD2575	30.2	31.3	34.3	msec	Commercial Operation
		ISD2590	36.2	37.5	40.8	msec	Commercial Operation
		ISD25120	48.2	50.0	53.6	msec	Commercial Operation

Table 11: AC Parameters (Die)

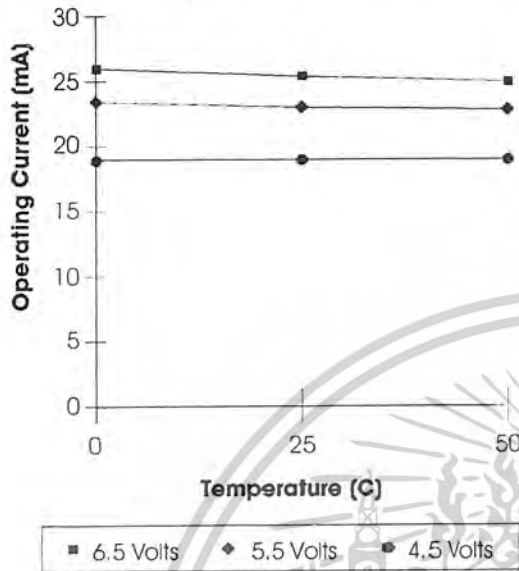
Symbol	Characteristic	Min <sup>(2)</sup>	Typ <sup>(1)</sup>	Max <sup>(2)</sup>	Units	Conditions
T <sub>PDR</sub>	PD Pulse Width Record	ISD2560	25		msec	
		ISD2575	31.25		msec	
		ISD2590	37.5		msec	
		ISD25120	50.0		msec	
T <sub>PDP</sub>	PD Pulse Width Play	ISD2560	12.5		msec	
		ISD2575	15.625		msec	
		ISD2590	18.75		msec	
		ISD25120	25.0		msec	
T <sub>PDS</sub>	PD Pulse Width Static		100		nsec	(6)
T <sub>PDH</sub>	Power Down Hold		0		nsec	
T <sub>EOM</sub>	EOM Pulse Width	ISD2560	12.5		msec	
		ISD2575	15.625		msec	
		ISD2590	18.75		msec	
		ISD25120	25.0		msec	
T <sub>OVF</sub>	Overflow Pulse Width		6.5		μsec	
THD	Total Harmonic Distortion		1	3	%	@ 1 KHz
P <sub>OUT</sub>	Speaker Output Power		12.2	50	mW	R <sub>EXT</sub> = 16 Ω <sup>(4)</sup>
V <sub>OUT</sub>	Voltage Across Speaker Pins			2.5	V p-p	R <sub>EXT</sub> = 600 Ω
V <sub>IN1</sub>	MIC Input Voltage			20	mV	Peak-to-Peak <sup>(5)</sup>
V <sub>IN2</sub>	ANA IN Input Voltage			50	mV	Peak-to-Peak
V <sub>IN3</sub>	Aux Input Voltage			1.25	V	Peak-to-Peak; R <sub>EXT</sub> = 16 Ω

1. Typical values @ T<sub>A</sub> = 25°C and 5.0 V.
2. All Min/Max limits are guaranteed by ISD via electrical testing or characterization. Not all specifications are 100 percent tested.
3. Low-frequency cutoff depends upon the value of external capacitors (see Pin Descriptions).
4. From AUX IN; if ANA IN is driven at 50 mV p-p, the P<sub>OUT</sub> = 12.2 mW, typical.
5. With 5.1 KΩ series resistor at ANA IN.
6. T<sub>PDS</sub> is required during a static condition, typically overflow.
7. Sampling Frequency and playback Duration can vary as much as ±2.25 percent over the commercial temperature range and voltage range. For greater stability, an external clock can be utilized (see Pin Descriptions).
8. Filter specification applies to the antialiasing filter and the smoothing filter.

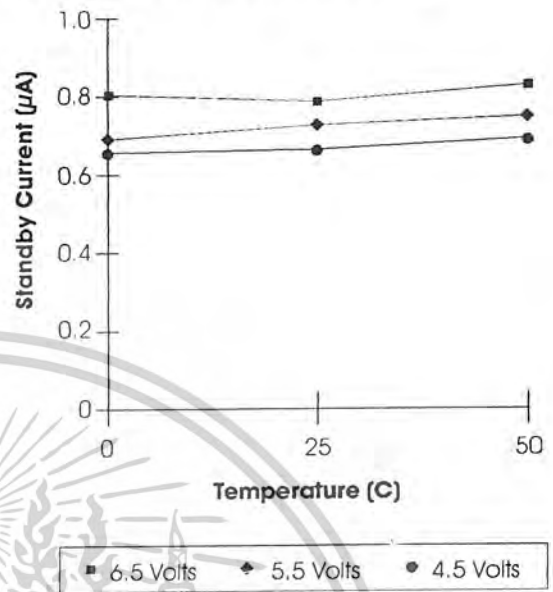
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TYPICAL PARAMETER VARIATION WITH VOLTAGE AND TEMPERATURE (DIE)**

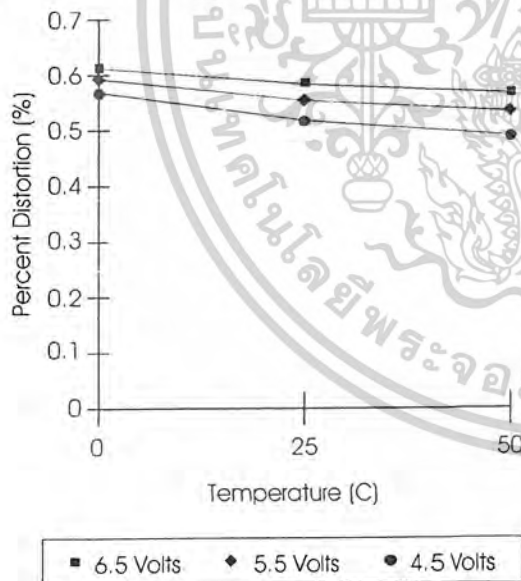
**Chart 5: Record Mode Operating Current ( $I_{cc}$ )**



**Chart 7: Standby Current ( $I_{SB}$ )**



**Chart 6: Total Harmonic Distortion**



**Chart 8: Oscillator Stability**

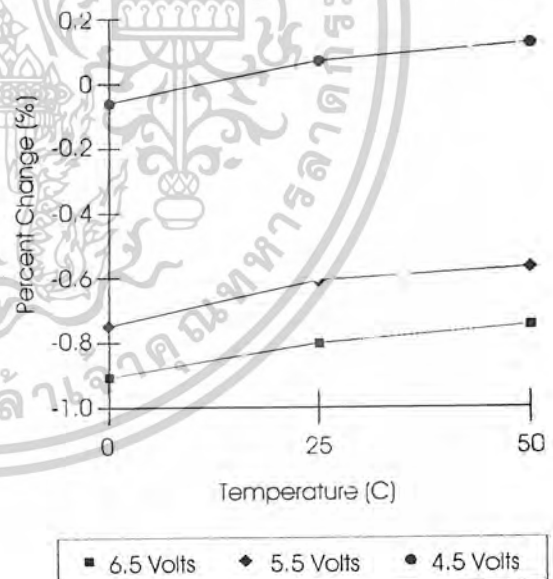
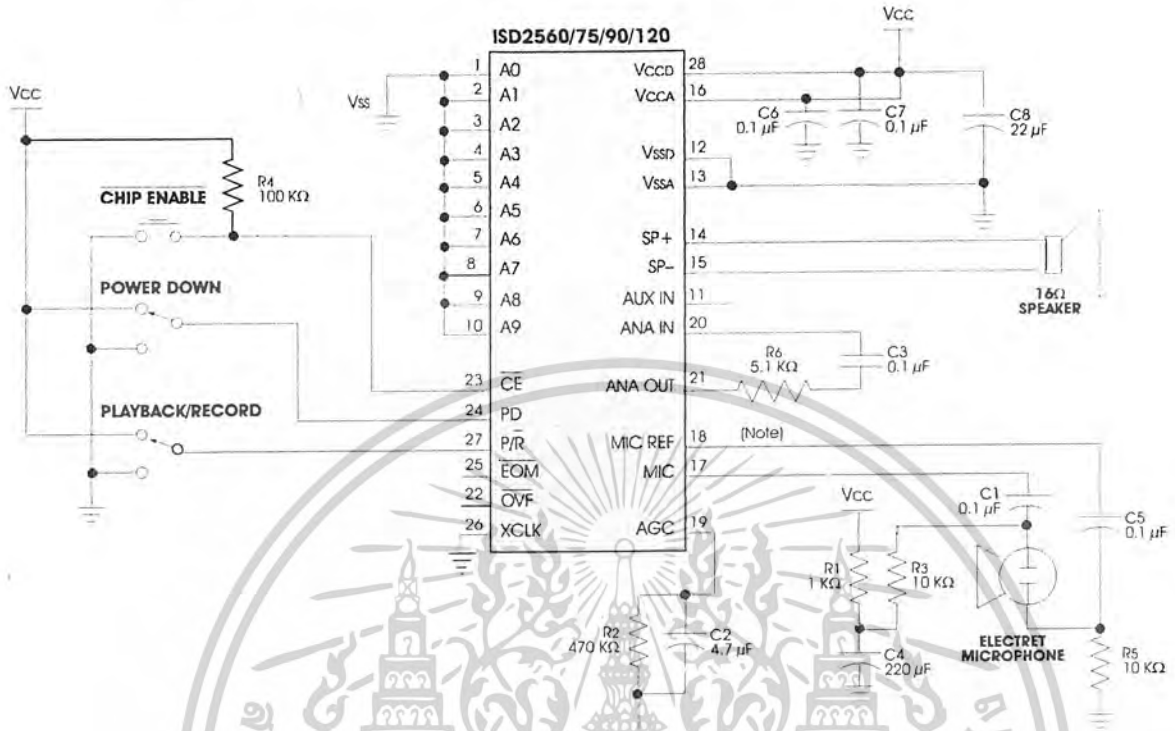


Figure 4: ISD2560/75/90/120 Application Example—Design Schematic



**NOTE:** If desired, pin 18 (PDIP package) may be left unconnected (microphone preamplifier noise will be higher). In this case, pin 18 must not be tied to any other signal or voltage. Additional design example schematics are provided in the Application Notes in this book.

Table 12: Application Example—Basic Device Control

Control Step	Function	Action
1	Power up chip and select record/playback mode	{1.} PD = LOW, {2.} P/R = As desired
2	Set message address for record/playback	Set addresses A0–A9
3A	Begin playback	P/R = HIGH, CE = Pulsed LOW
3B	Begin record	P/R = LOW, CE = LOW
4A	End playback	Automatic
4B	End record	PD or CE = HIGH

Table 13: Application Example—Passive Component Functions

Part	Function	Comments
R1	Microphone power supply decoupling	Reduces power supply noise
R2	Release time constant	Sets release time for AGC
R3, R5	Microphone biasing resistors	Provides biasing for microphone operation
R4	Series limiting resistor	Reduces level to prevent distortion at higher supply voltages.
R6	Series limiting resistor	Reduces level to high supply voltages
C1, C5	Microphone DC-blocking capacitor Low-frequency cutoff	Decouples microphone bias from chip. Provides single-pole low-frequency cutoff and common mode noise rejection.
C2	Attack/Release time constant	Sets attack/release time for AGC
C3	Low-frequency cutoff capacitor	Provides additional pole for low-frequency cutoff
C4	Microphone power supply decoupling	Reduces power supply noise
C6, C7, C8	Power supply capacitors	Filter and bypass of power supply

**EXPLANATION**

In this simplified block diagram of a microcontroller application, the Push-Button mode and message cueing are used. The microcontroller is a 16-pin version with enough port pins for buttons, an LED, and the ISD2500 series device. The software can be written to use three buttons: one each for play and record, and one for message selection. Because the microcontroller is interpreting the buttons and commanding the ISD2500 device, software can be written for any functions desired in a particular application.

**NOTE** ISD does not recommend connecting address lines directly to a microprocessor bus. Address lines should be externally latched.



Table 14: Application Example—Push-Button Control

Control Step	Function	Action
1	Select record/playback mode	$P/\bar{R}$ = As desired
2A	Begin playback	$P/\bar{R}$ = HIGH, $\bar{C}E$ = Pulsed LOW
2B	Begin record	$P/\bar{R}$ = LOW, $\bar{C}E$ = Pulsed LOW
3	Pause record or playback	$\bar{C}E$ = Pulsed LOW
4A	End playback	Automatic at $\bar{E}OM$ marker or PD = Pulsed HIGH
4B	End record	PD = Pulsed HIGH

Table 15: Application Example—Passive Component Functions

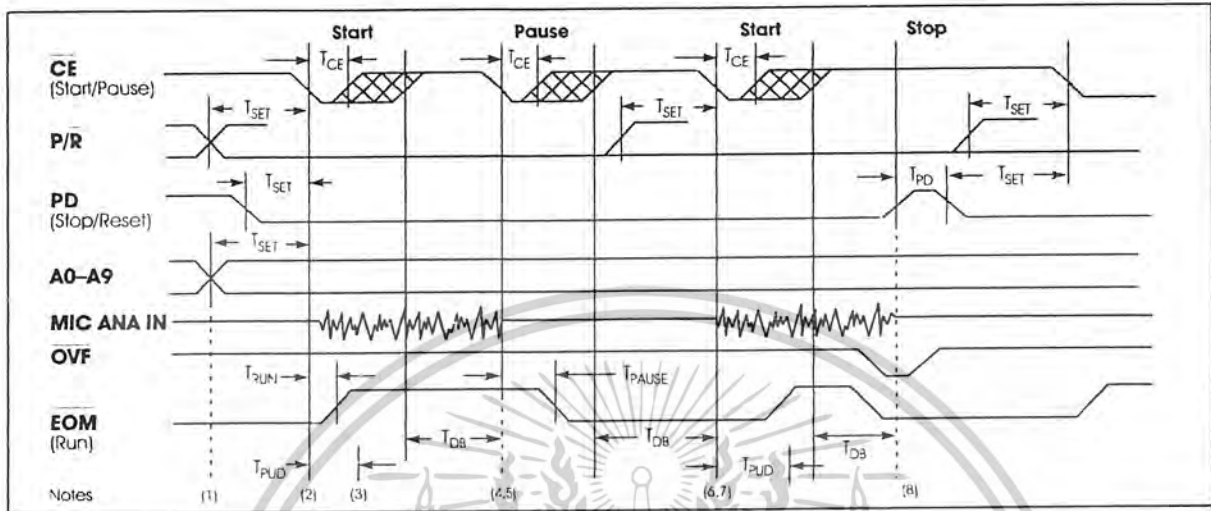
Part	Function	Comments
R2	Release time constant	Sets release time for AGC
R4	Series limiting resistor	Reduces level to prevent distortion at higher supply voltages
R6, R7	Pull-up and pull-down resistors	Defines static state of inputs
C1, C4, C5	Power supply capacitors	Filters and bypass of power supply
C2	Attack/Release time constant	Sets attack/release time for AGC
C3	Low-frequency cutoff capacitor	Provides additional pole for low-frequency cutoff

Table 16: Push-Button Parameters

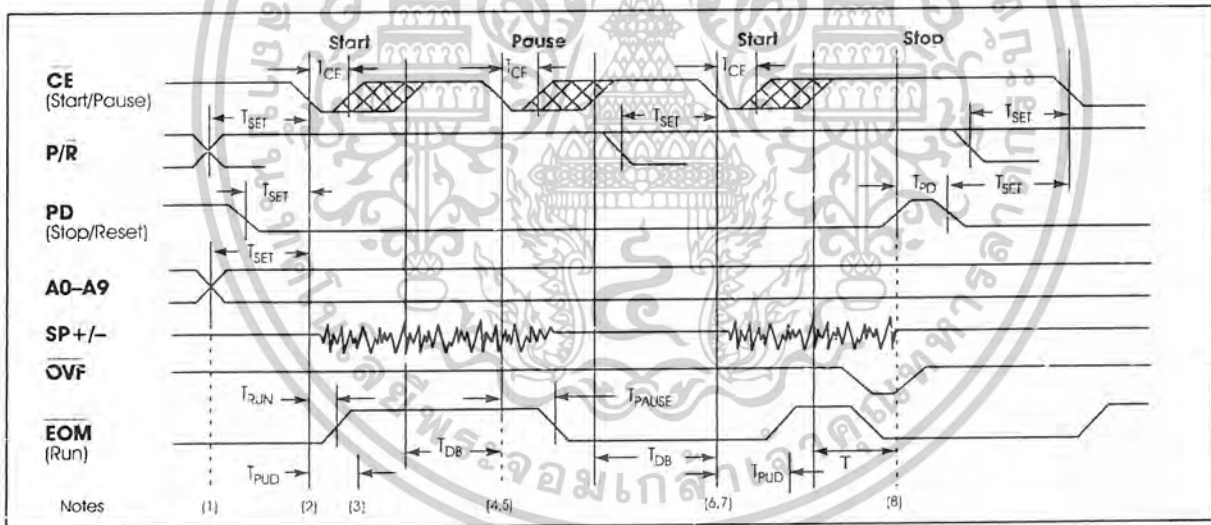
Symbol	Characteristic	Min	Typ (1)	Max	Units	Conditions
$T_{CE}$	$\bar{C}E$ Pulse Width [Start/Pause]		300		nsec	
$T_{SET}$	Control/Address Setup Time		300		nsec	
$T_{PUD}$	Power-Up Delay	ISD2560	25		msec	
		ISD2575	31.25		msec	
		ISD2590	37.25		msec	
		ISD25120	50.0		msec	
$T_{PD}$	PD Pulse Width [Stop/Reset]		300		nsec	
$T_{RUN}$	$\bar{C}E$ to $\bar{E}OM$ HIGH	25		400	nsec	
$T_{PAUSE}$	$\bar{C}E$ to $\bar{E}OM$ LOW	50		400	nsec	
$T_{DB}$	$\bar{C}E$ HIGH Debounce	ISD2560	70	105	msec	
		ISD2575	85	135	msec	
		ISD2590	105	160	msec	
		ISD25120	135	215	msec	

**PUSH-BUTTON TIMING DIAGRAMS**

**Figure 7: Push-Button Mode Record**



**Figure 8: Push-Button Mode Playback**



1.  $A_9, A_8, \text{ and } A_6 = 1$  for push-button operation.
2. The first  $\overline{CE}$  LOW pulse performs a Start function.
3. The part will begin to play or record after a power-up delay  $T_{PUD}$ .
4. The part must have  $\overline{CE}$  HIGH for a debounce period  $T_{DB}$  before it will recognize another falling edge of  $\overline{CE}$  and pause.
5. The second  $\overline{CE}$  LOW pulse, and every even pulse thereafter, performs a Pause function.
6. Again, the part must have  $\overline{CE}$  HIGH for a debounce period  $T_{DB}$  before it will recognize another falling edge of  $\overline{CE}$ , which would restart an operation. In addition, the part will not do an internal power down until  $\overline{CE}$  is HIGH for the  $T_{DB}$  time.
7. The third  $\overline{CE}$  LOW pulse, and every odd pulse thereafter, performs a Resume function.
8. At any time, a HIGH level on PD will stop the current function, reset the address counter, and power down the device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DEVICE PHYSICAL DIMENSIONS

Figure 9: 28-Lead 8x13.4mm Plastic Thin Small Outline Package (TSOP) Type I (E)

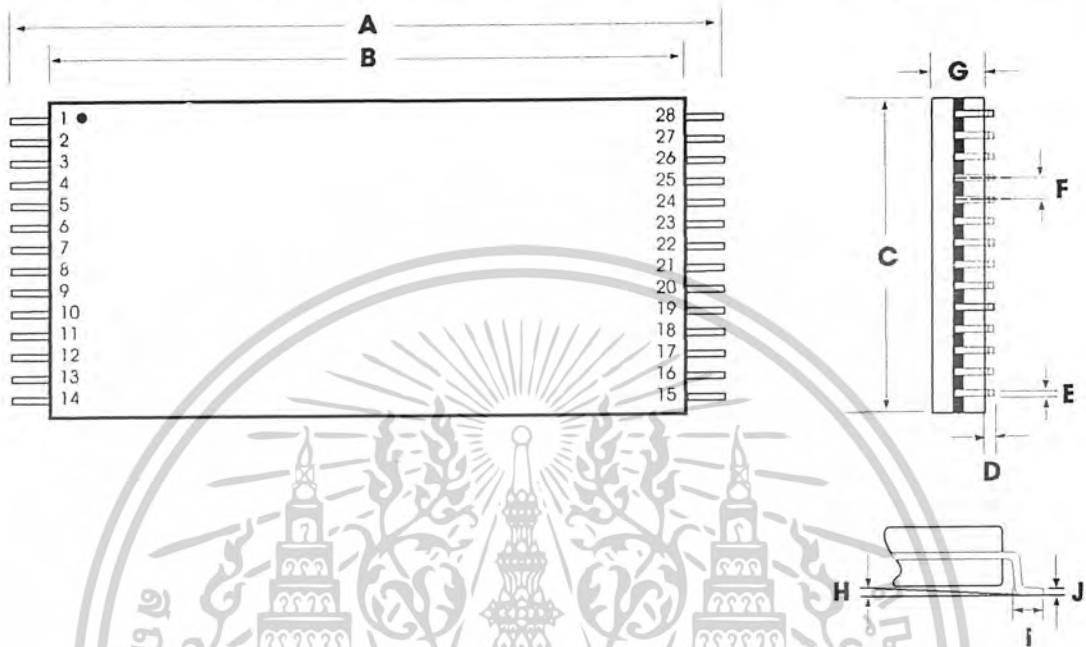


Table 17: Plastic Thin Small Outline Package (TSOP) Type I (E) Dimensions

	INCHES			MILLIMETERS		
	Min	Nom	Max	Min	Nom	Max
A	0.520	0.528	0.535	13.20	13.40	13.60
B	0.461	0.465	0.469	11.70	11.80	11.90
C	0.311	0.315	0.319	7.90	8.00	8.10
D	0.002		0.006	0.05		0.15
E	0.007	0.009	0.011	0.17	0.22	0.27
F		0.0217			0.55	
G	0.037	0.039	0.041	0.95	1.00	1.05
H	0°	3°	6°	0°	3°	6°
I	0.020	0.022	0.028	0.50	0.55	0.70
J	0.004		0.008	0.10		0.21

**NOTE:** Lead coplanarity to be within 0.004 inches.

Figure 10: 28-Lead 0.600-Inch Plastic Dual Inline Package (PDIP) (P)

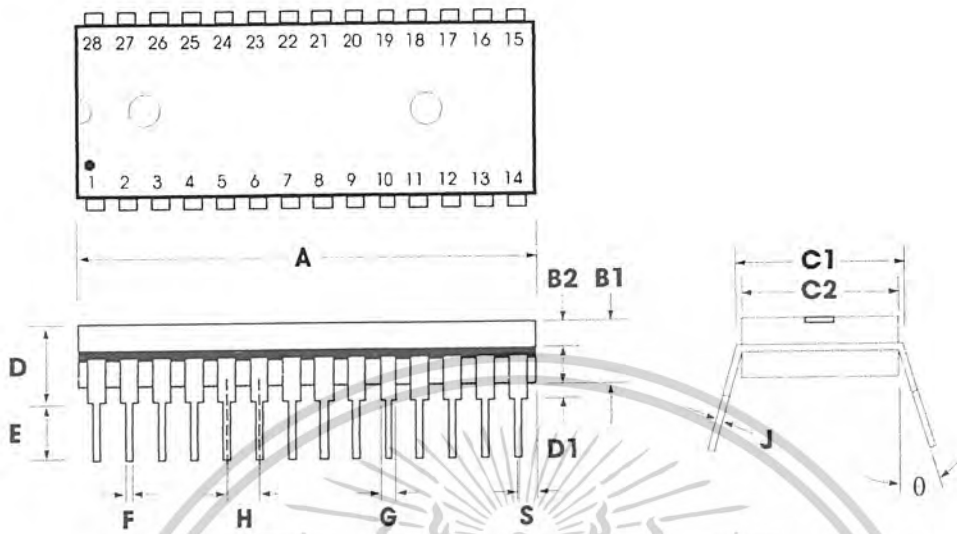


Table 18: Plastic Dual Inline Package (PDIP) (P) Dimensions

	INCHES			MILLIMETERS		
	Min	Nom	Max	Min	Nom	Max
A	1.445	1.450	1.455	36.70	36.83	36.96
B1		0.150			3.81	
B2	0.065	0.070	0.075	1.65	1.78	1.91
C1	0.600		0.625	15.24		15.88
C2	0.530	0.540	0.550	13.46	13.72	13.97
D			0.19			4.83
D1	0.015			0.38		
E	0.125		0.135	3.18		3.43
F	0.015	0.018	0.022	0.38	0.46	0.56
G	0.055	0.060	0.065	1.40	1.52	1.65
H		0.100			2.54	
J	0.008	0.010	0.012	0.20	0.25	0.30
S	0.070	0.075	0.080	1.78	1.91	2.03
q	0°		15°	0°		15°

**NOTE:** Lead coplanarity to be within 0.004 inches.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 11: 32-Lead 8x20mm Plastic Thin Small Outline Package (TSOP) Type I (T)

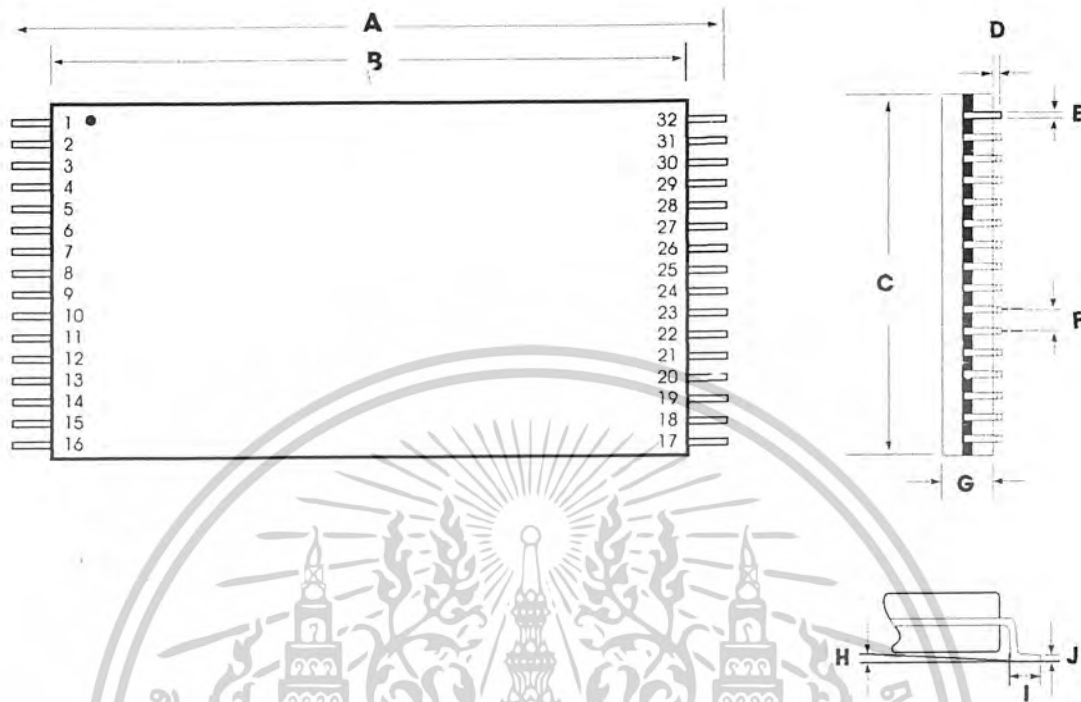


Table 19: Plastic Thin Small Outline Package (TSOP) Type I (T) Dimensions

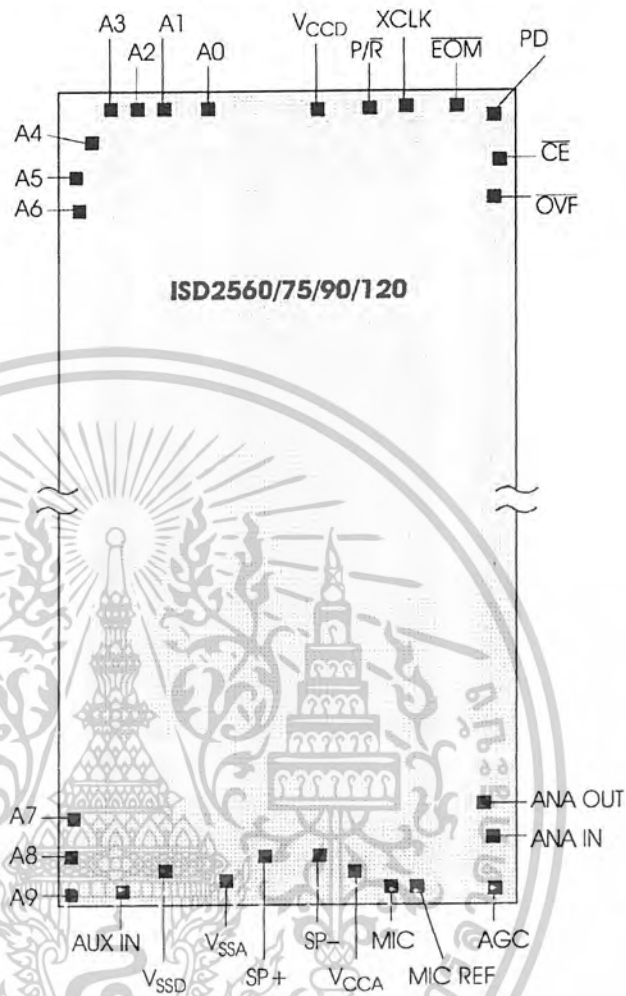
	INCHES			MILLIMETERS		
	Min	Nom	Max	Min		Max
A	0.780	0.787	0.795	19.80	20.00	20.20
B	0.720	0.724	0.728	18.30	18.40	18.50
C	0.311	0.315	0.319	7.90	8.00	8.10
D	0.002		0.006	0.05		0.15
E	0.006	0.009	0.011	0.17	0.22	0.27
F		0.0197			0.50	
G	0.037	0.039	0.041	0.95	1.00	1.05
H	0°	3°	5°	0°	3°	5°
I	0.020	0.024	0.028	0.50	0.60	0.70
J	0.004		0.008	0.10		0.21

**NOTE:** Lead coplanarity to be within 0.002 inches.

Figure 12: ISD2560/75/90/120 Products *Current Bonding Physical Layout*<sup>1</sup> (Unpackaged Die)

**ISD2560/75/90/12<sup>2</sup>**

- I. Die Dimensions  
X: 187 ± 1 mils  
Y: 399 ± 1 mils
- II. Die Thickness<sup>2</sup>  
17.5 ± 1 mils
- III. Pad Opening  
109 x 109 microns  
4.3 x 4.3 mils



1. The backside of die is internally connected to  $V_{SS}$ . It **MUST NOT** be connected to any other potential or damage may occur.
2. Die thickness is subject to change, please contact ISD factory for status.

Table 20: ISD2560/75/90/120 Products Current PIN/PAD Designations, with Respect to Die Center ( $\mu\text{m}$ )

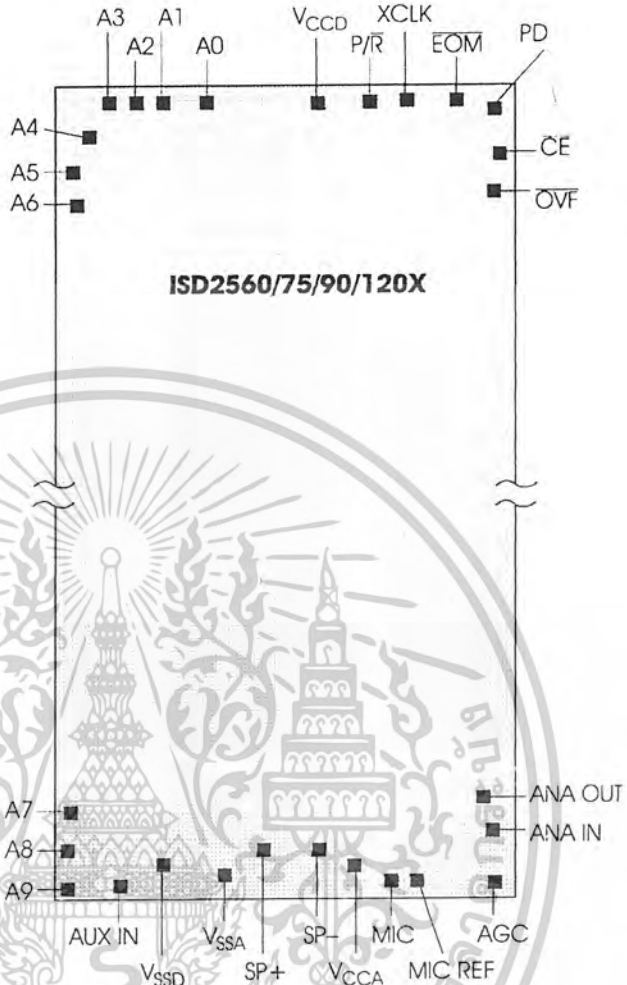
Pin	Pin Name	X Axis	Y Axis
A0	Address 0	-1148.9	4898.2
A1	Address 1	-1406.9	4898.2
A2	Address 2	-1661.9	4898.2
A3	Address 3	-1916.9	4898.2
A4	Address 4	-2069.9	4608.2
A5	Address 5	-2194.9	4358.2
A6	Address 6	-2194.9	4108.2
A7	Address 7	-2194.9	-4212.3
A8	Address 8	-2194.9	-4456.3
A9	Address 9	-2076.4	-4897.3
AUX IN	Auxiliary Input	-1607.9	-4868.3
V <sub>SSD</sub>	V <sub>SS</sub> Digital Power Supply	-1343.9	-4850.8
V <sub>SSA</sub>	V <sub>SS</sub> Analog Power Supply	-551.9	-4884.8
SP+	Speaker Output +	-111.4	-4790.8
SP-	Speaker Output -	425.6	-4790.8
V <sub>CCA</sub>	V <sub>CC</sub> Analog Power Supply	865.1	-4848.32
MIC	Microphone Input	1320.7	-4897.3
MIC REF	Microphone Reference	1605.1	-4897.3
AGC	Automatic Gain Control	1877.6	-4871.3
ANA IN	Analog Input	2202.11	-4269.8
ANA OUT	Analog Output	2123.1	-3910.8
OVF	Overflow Output	2142.6	4154.7
CE	Chip Enable Input	2202.1	4558.7
PD	Power Down Input	2048.1	4898.2
EOM	End of Message	1648.1	4865.7
XCLK	No Connect (optional)	1221.1	4898.2
P/R	Playback/Record	965.6	4898.2
V <sub>CCD</sub>	V <sub>CC</sub> Digital Power Supply	646.1	4895.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 13: ISD2560/75/90/120 Products *Future Bonding Physical Layout*<sup>1</sup> (Unpackaged Die)

**ISD2560/75/90/120X<sup>2</sup>**

- I. Die Dimensions  
 X: 149.5 ± 1 mils  
 Y: 262.0 ± 1 mils
- II. Die Thickness<sup>2</sup>  
 11.8 ± .4 mils
- III. Pad Opening  
 111 x 111 microns  
 4.4 x 4.4 mils



1. The backside of die is internally connected to V<sub>SS</sub>. It **MUST NOT** be connected to any other potential or damage may occur.
2. Die thickness is subject to change, please contact ISD factory for status and availability.

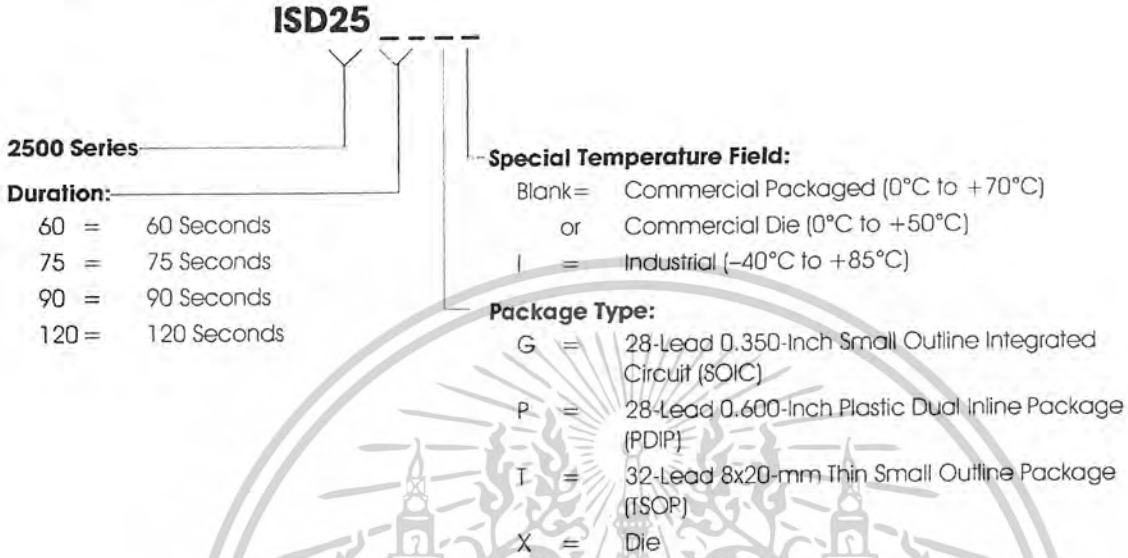
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 21: ISD2560/75/90/120 Products Future PIN/PAD Designations, with Respect to Die Center ( $\mu\text{m}$ )**

Pin	Pin Name	X Axis	Y Axis
A0	Address 0	-897.9	3135.2
A1	Address 1	-1115.4	3135.2
A2	Address 2	-1331.0	3135.2
A3	Address 3	-1544.0	3135.2
A4	Address 4	-1640.4	2888.9
A5	Address 5	-1698.2	2671.0
A6	Address 6	-1698.2	2441.5
A7	Address 7	-1731.2	-2583.2
A8	Address 8	-1731.2	-2768.4
A9	Address 9	-1731.2	-3050.8
AUX IN	Auxiliary Input	-1410.1	-3115.7
V <sub>SSD</sub>	V <sub>SS</sub> Digital Power Supply	-1112.8	-3096.2
V <sub>SSA</sub>	V <sub>SS</sub> Analog Power Supply	-407.8	-3138.5
SP+	Speaker Output +	-47.4	-3067.7
SP-	Speaker Output -	386.9	-3067.7
V <sub>CCA</sub>	V <sub>CC</sub> Analog Power Supply	746.5	-3110.4
MIC	Microphone Input	1101.2	-3146.0
MIC REF	Microphone Reference	1294.7	-3146.0
AGC	Automatic Gain Control	1666.4	-3130.3
ANA IN	Analog Input	1728.6	-2654.0
ANA OUT	Analog Output	1700.9	-2411.0
OVF	Overflow Output	1340.9	3121.7
CE	Chip Enable Input	1726.7	2824.4
PD	Power Down Input	1730.5	3094.0
EOM	End of Message	1340.9	3121.7
XCLK	No Connect (optional)	986.5	3160.7
P/R	Playback/Record	807.2	3163.4
V <sub>CCD</sub>	V <sub>CC</sub> Digital Power Supply	544.7	3159.2

**ORDERING INFORMATION**

**Product Number Descriptor Key**



When ordering ISD2560/75/90/120 products, please refer to the following valid part numbers.

Part Number	Part Number	Part Number	Part Number
ISD2560G	ISD2575G	ISD2590G	ISD25120G
ISD2560GI	ISD2575GI	ISD2590P	ISD25120P
ISD2560P	ISD2575P	ISD2590T	ISD25120X
ISD2560PI	ISD2575PI	ISD2590X	
ISD2560T	ISD2575T		
ISD2560TI	ISD2575TI		
ISD2560X	ISD2575X		

For the latest product information, access ISD's worldwide website at <http://www.isd.com>.

## บรรณานุกรม

1. พนม เพชรจตุพร , พัลลภ ตั้งบวรพิเชษฐ์ , พิเชษฐ์ ช่อผกา , ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ GPS , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
2. GPS World , <http://www.gpsworld.com/gpsworld/static/staticHtml.jsp?id=2294>
3. GARMIN , <http://www.garmin.com/aboutGPS>
4. Global Positioning System ,  
[http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)
5. All about GPS , <http://www.trimble.com/gps>
6. Global Positioning System (GPS) , <http://www.aero.org/publications/GPSPRIMER>
7. NMEA-183 and GPS Information , <http://vancouver-webpages.com/peter>
8. NMEA0183 , <http://www.xs4all.nl/~erkooi/YL/nmea0183.html>
9. น.ต.ดร.วุฒิพงษ์ พงศ์สุวรรณ ร.น. และทีมงานวิชาการ , How to learn Visual Basic Version 6.0, บริษัทซอฟต์แวร์ ปาร์ค จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้