

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

## การประยุกต์ใช้งานดาวเทียมจีพีเอสกับระบบนำร่องรถยนต์ GPS APPLICATION FOR CAR NAVIGATOR



โดย  
นางสาวนิลรัตน์ สุขสำราญ  
นายบรรพต ไชยกิจ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2541

เลขหม.....
เลขทะเบียน.....34071.....
วัน, เดือน, ปี.....1 ต.ค. 2542.....

การประยุกต์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานดาวเทียมจีพีเอสกับระบบนำร่องรถยนต์  
GPS APPLICATION FOR CAR NAVIGATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานปีการศึกษา 2541

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้งานจีพีเอส

ผู้จัดทำ

1. น.ส.นิลรัตน์ สุขสำราญ
2. นายบรรพต ไชยกิจ

\_\_\_\_\_

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(..... จีวันพงษ์ ..... ชานกลาง.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

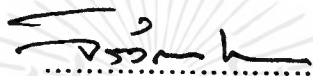
ชื่อโครงการภาษาไทย การประยุกต์ใช้งานจีพีเอส

ชื่อโครงการภาษาอังกฤษ GPS APPLICATION

น.ส. นิลรัตน์ สุขสำราญ 38014248

นาย บรรพต ไชยกิจ 38014253

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



(.....สิริวัฒน์ งามกลาง.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

## การประยุกต์ใช้งานจีพีเอส

นางสาวนิลรัตน์ สุขสำราญ

นายบรรพต ไชยกิจ

อ. จิรวัดน์ ปานกลาง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541

### บทคัดย่อ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา Project II ซึ่งวิชานี้มุ่งเน้นให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบ การสร้างวงจร เครื่องมือหรือสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง รายงานฉบับนี้เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาของ ระบบการหาตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม (Global Positioning System) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า GPS นอกจากนี้ยังกล่าวแนวคิดเริ่มต้นเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ พื้นฐานของการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม การกำหนดระบบอ้างอิงของโลกที่เรียกว่าจีโอเดสิกคาคัม รูปแบบของการให้บริการจีพีเอสที่มีทั้งความแม่นยำสูงและแบบมาตรฐาน สัญญาณที่รับและส่งระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับพร้อมทั้งการนำสัญญาณที่ได้มาแปลงเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของเครื่องรับจริง ในท้ายที่สุดจะเป็นกล่าวถึงการนำข้อมูลที่ได้จากเอาต์พุตของเครื่องรับที่มีรูปแบบ (Format) ต่างๆ ซึ่งเรียกว่าโปรโตคอล NMEA0183 มาทำการประมวลผลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบนำร่องรถยนต์

สำหรับเหตุผลในการทำโครงการนี้ก็เนื่องมาจากเห็นว่าเครื่องรับจีพีเอสมีจำหน่ายอยู่ทั่วไป จะรับสัญญาณจากดาวเทียมแล้วระบุตำแหน่งของเครื่องรับเอง (แสดงค่าละติจูด ลองจิจูด) แต่ยังมีไม่มากนักที่นำข้อมูลที่ได้มาแสดงผลบนแผนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแผนที่ประเทศไทย จึงเห็นว่าโครงการนี้จะ เป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

## GPS APPLICATION

Miss Ninrat Suksamran

Mr. Banphot Chaiyakit

Mr. Jirawat Panklang (advisor)

Education Year 1998

## ABSTRACT

This paper is a report for "Project II" subject . This subject's purpose make the students enable to design , make circuit and use electronic instrument correctly . The report will show about "Global Positioning System" (GPS) . Those are how we developed this system in the past , How it works and how it specific location by using satellite . That is called "Geodetic Datum" . The GPS's service system and its signal that is transfered between satellite and receiver to tell receiver's location . In last chapter , the report will tell how its data (output of receiver) that have its format (or protocol). That is displayed on computer by our developing software , this software can indicate the car 's position . It is car navigator

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ระบบนำร่อง(Navigation system)	1
1.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุ(Radionavigation system)	2
บทที่ 2	6
2.1 ความเป็นมาของระบบ GPS	6
2.2 ภาพรวมของระบบ GPS	6
2.3 การเข้ารหัสอย่างละเอียดและความสามารถเลือกหาได้ (precise code and selective availability)	7
2.4 กลอนนาส(GLONASS)	7
บทที่ 3 พื้นฐานของการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม	12
3.1 แนวความคิดเบื้องต้นในการระบุพิกัดของจีพีเอส	12
บทที่ 4 จีโอดาคติ คาคัม	18
4.1 การอ้างอิงโดยเอลลิปซอยด์(Reference Ellipsoids)	18
4.2 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก(Earth Surface Model)	19
4.3 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้งานทั่วไป(Global Coordinate System)	20
4.4 ข้อสับสนของความสูง	22
4.5 สรุปความเข้าใจหลักการที่ผ่านมา	24
บทที่ 5 การให้บริการของจีพีเอสและสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส	25
5.1 การให้บริการของระบบจีพีเอส	25
5.2 ผลของการใส่ SA เพื่อลดความแม่นยำ	25
5.3 สัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส	26
5.4 ความถี่ที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก	27
5.5 รหัสที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก	28
บทที่ 6 การหาค่าตำแหน่งและเวลาจากจีพีเอส	31
6.1 การแยกหัสในเครื่องรับ(Code Phase Tracking)	31

	หน้า
6.2 การนำร่องโดยใช้การวัดระยะทางแบบซูดอ(Pseudo-Range Navigation)	33
บทที่ 7 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร	37
7.1 รูปแบบประโยคมาตรฐานพอสั่งเขป	38
7.2 7.2 รูปแบบประโยคของเครื่องรับแต่ละรุ่น	42
7.3 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในการติดต่อสื่อสาร	43
บทที่ 8 แนวคิดและการออกแบบโปรแกรม	44
8.1 แนวคิดเบื้องต้น	44
8.2 การออกแบบโปรแกรม	47
8.3 โปรแกรมการทำงาน	47
บทที่ 9 สรุปและวิจารณ์ ผลที่ได้รับพร้อมทั้งอุปสรรคในการทำงานและวิธีแก้ไข	55
9.1 ผลที่ได้จากโครงการ	55
9.2 สรุปผลที่ได้จากการทดสอบ	58
9.3 ปัญหาที่พบ	59
ภาคผนวก	60
กิตติกรรมประกาศ	66
เอกสารอ้างอิง	67

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงการนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุแบบแอกทีฟ และแบบพาสซีฟ	2
รูปที่ 1.2 แสดงระบบไอเมกา	3
รูปที่ 1.3 ระบบทรานสิต	4
รูปที่ 2.1 แสดงวงโคจรของจีพีเอส (a) และ กลอนนาส (b)	9
รูปที่ 2.2 แสดงการทดลองวัดพิคคองท์ของระบบกลอนนาส	9
รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบจีพีเอส กับ กลอนนาส	10
รูปที่ 3.1 แสดงการหาความยาวของ Y เมื่อทราบความยาวของ X,Z และมุมต่างๆ	12
รูปที่ 3.2 การหาพิคคองท์ในระบบจีพีเอส	12
รูปที่ 3.3 ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมมีรัศมี 22,000 กิโลเมตร	13
รูปที่ 3.4 แสดงการตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม	13
รูปที่ 3.5 แสดงการตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม	14
รูปที่ 3.6 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B	15
รูปที่ 3.7 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป	15
รูปที่ 3.8 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A,B และC ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป	16
รูปที่ 3.9 แสดงจุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม A,B และC	16
รูปที่ 4.1 ตัวแปรของเอลลิปซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ WGS-84	18
รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก	19
รูปที่ 4.3 แสดงระดับของจีออยด์	19
รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดเส้นไพรม์ เมอริเดียนและเส้นอีควาเตอร์	20
รูปที่ 4.5 แสดงการกำหนดพิคคองท์แบบ ละติจูด ลองจิจูด และ ความสูง	21
รูปที่ 4.6 แสดงการกำหนดพิคคองท์แบบ ละติจูด ลองจิจูด และ ความสูง	21
รูปที่ 4.7 แสดงระบบ ECEF X,Y,Z	22
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบความสูงเหนือเอลลิปซอยด์และจีออยด์	23
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในแบบต่าง ๆ	23
รูปที่ 5.1 แสดงความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงไปมาโดยผลของ SA	26
รูปที่ 5.2 แสดงแนวความคิดในการหาระยะห่างจากดาวเทียมกับเครื่องรับ	26
รูปที่ 5.3 การผสมสัญญาณแบบไบนารี ไบเฟส มอดูเลชัน	27
รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมจีพีเอส	28
รูปที่ 5.5 แสดงโครงสร้างของการส่งข้อมูลของจีพีเอส	29

	หน้า
รูปที่ 5.6 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในแค้แฟรมย่อย	30
รูปที่ 6.1 แสดงการกำหนดรหัส C/A	31
รูปที่ 6.2 แสดงรหัส PRN บางส่วน	32
รูปที่ 6.3 แสดงการไม่สัมพันธ์กันของรหัส PRN ที่สร้างขึ้นกับที่ได้จากดาวเทียม	32
รูปที่ 6.4 แสดงรหัสบางส่วนของรหัสที่เข้ากันได้	32
รูปที่ 6.5 แสดงความเข้ากันได้ทั้ง PRN	33
รูปที่ 6.6 แสดงระยะทางแบบยูโด	33
รูปที่ 6.7 แสดงสมการคำนวณระยะทางแบบยูโด	34
รูปที่ 6.8 การหาค่าพิกัด XYZ	35
รูปที่ 6.9 แสดงการเปลี่ยนจากพิกัด ECEF XYZ พิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinate)	36
รูปที่ 8.1 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิง	45
รูปที่ 8.2 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนพื้นโลก	46
รูปที่ 8.3 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนแผนที่ในคอมพิวเตอร์	46
รูปที่ 1 แสดงภาพแผนที่ที่ใช้ก่อนการแก้ไข	56
รูปที่ 2 แสดงภาพแผนที่ที่ได้รับการแก้ไขแล้ว	56
รูปที่ 3 แสดงรูปแบบ(Form)ของโปรแกรมที่สร้างขึ้น	57
รูปที่ 4 แสดง Source Code Editor ในโปรแกรมวิซวลเบสิก	57

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ระบบนำร่อง(Navigation system)

ระบบนำร่อง(Navigation System) สามารถนิยามได้ว่า คือระบบที่สามารถนำยานพาหนะ จากที่หนึ่งซึ่งรู้ตำแหน่งแน่นอนแล้ว ไปยังอีกที่หนึ่ง โดยกำหนดเส้นทางการเดินทางให้ จากความหมาย นี้เมื่อมีการนำทางหรือนำร่องเกิดขึ้น ระบบนำร่องนอกจากจะบอกเราว่าขณะนี้เราอยู่ที่ใดแล้วยังจะต้องบอกเราด้วยว่าเราจะไปจากจุด ที่เราอยู่ไปยังที่หมายได้อย่างไร ระบบนำร่องสามารถแบ่ง อย่างกว้าง ๆ ออกได้ 5 วิธีการ ดังนี้

1.1.1. Piloting เป็นระบบการนำทางที่มีมาแต่โบราณ การกำหนดเส้นทางต่างๆ เป็นการ อาศัยการสังเกตจากสภาพทางภูมิศาสตร์เป็นหลัก เช่น หมูบ้าน ภูเขาแม่น้ำ ต้นไม้ใหญ่ๆ เป็นต้น ผู้เดิน ทางจะอาศัยสภาพทางภูมิศาสตร์เหล่านี้มาเป็นตัวกำหนดว่าจะเดินทางไปในทางทิศใด ดังนั้นถ้า สภาพทางภูมิศาสตร์เปลี่ยนแปลงไปปัญหาจะเกิดขึ้นกับการนำทางทันที

1.1.2. Dead reckoning เป็นระบบการนำทางที่อาศัยการวัดความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปจาก เดิม และทำการวัดต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้มาผนวกเข้ากับแผนการเดินทางที่ทราบอยู่แล้ว ระบบนี้เริ่มเป็นที่รู้จักกันในปี 1927

1.1.3 Celestial navigation เป็นระบบการนำทางโดยอาศัยการหาค่าตำแหน่งบนพื้น โลกเทียบกับเทหวัตถุบนฟากฟ้าอัน ได้แก่ กลุ่มดาวหรือดวงจันทร์ เป็นต้น

1.1.4 เป็นระบบการนำทางโดยอาศัยการหาค่าตำแหน่งบนพื้น โลก จากเครื่องมือหลายอย่าง ประกอบกัน เช่น มิเตอร์วัดความเร็ว เข็มทิศ ใจโรสโคป เป็นต้น ระบบนี้มักถูกใช้ร่วมกับระบบนำร่อง โดยอาศัย คลื่นวิทยุเพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น

1.1.5 Electronic or radionavigation เป็นระบบการนำทางที่อาศัยการคำนวณหาระยะทาง บนพื้น โลกจากเครื่องมือที่ใช้วัดเวลาที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางจากแหล่งกำเนิดมาถึงเครื่องรับ การนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแอคทีฟ (Active radionavigation) และ แบบแพสซีฟ (Passive radionavigation)

- ระบบแอคทีฟ สามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นระบบสองทิศทาง ตัวอย่างในรูปที่ 1.1 กระแสโดยเครื่องบินส่งสัญญาณในรูปของพัลส์ความถี่  $f_1$  ไปยังสถานีส่งที่ไกลออกไป เมื่อสถานีส่ง รับสัญญาณในรูปของพัลส์ที่ได้มันจะส่งกลับ ไปยังเครื่องบินในความถี่ที่ต่างจากเดิมในที่นี้คือ  $f_2$  ดังนั้นเมื่อเครื่องรับสัญญาณในเครื่องบินนำสัญญาณ  $f_2$  ที่รับได้มาเปรียบเทียบกับเวลาจริงในปัจจุบันจะ ได้เวลาที่ต่างกันออกไปเป็น  $\Delta t$  ดังนั้นระยะห่างระหว่างเครื่องบินกับสถานีส่งจะมีค่าเท่ากับ  $(\Delta t/2)*c$  เมื่อ  $c$  เป็นความเร็วของแสง

กันจะจัดวางตัวกันอยู่ในรูปของไฮเปอร์โบลาร์หลาย ๆ เส้น และเส้นที่ประกอบมาจากจุดหลายๆจุดเหล่านี้จะถูกสร้างไว้บนแผนที่ที่ผู้ใช้มีอยู่ ผู้ใช้ต้องใช้เครื่องรับฟังสัญญาณวิทยุเพื่อหาว่าขณะนี้ตำแหน่งของตนเองอยู่ที่เส้นไฮเปอร์โบลิกเส้นไหนออกมาเมื่อเทียบกับสถานีใหม่ที่ตนเองรับฟังอยู่ ถ้าเส้นไฮเปอร์โบลิกสองเส้นนี้ตัดกัน จุดนั้นคือพิกัดที่ตนเองอยู่ นอกจากนั้นยังมีการนำเฟสของสัญญาณวิทยุมาทำการคำนวณเพื่อกำหนดพิกัดให้แม่นยำขึ้น ตัวอย่างของระบบต่างๆเหล่านี้ได้แก่

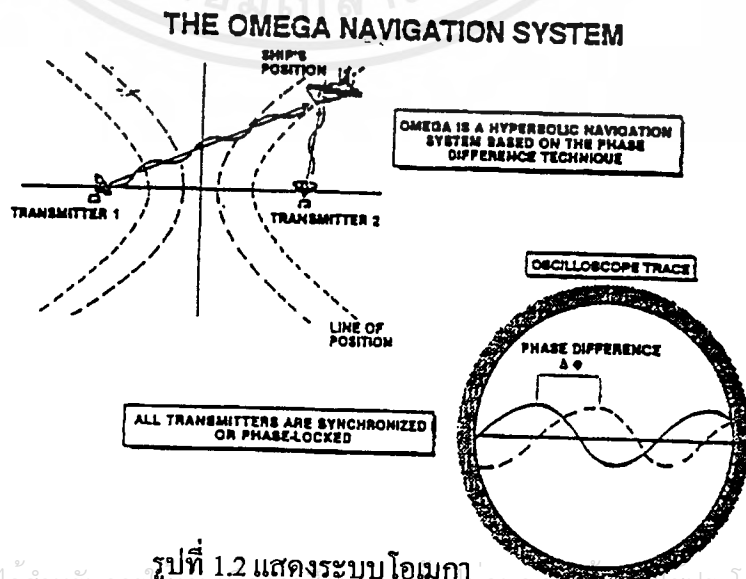
- เดคคา (DECCA) เป็นระบบนำร่องแบบระบบไฮเปอร์โบลิกที่ใช้ความถี่ต่ำ (low-frequency) ลักษณะการใช้งานจะเป็นการเปรียบเทียบเฟส (phase) ของคลื่นวิทยุที่รับได้จากหลายๆสถานี บริเวณใช้งานอยู่ทางยุโรปตะวันตก บางส่วนของแคนาดา อ่าวเปอร์เซีย และท่าเรือเบงกอล

- จี (GEE) เป็นระบบของประเทศอังกฤษ คล้ายๆกับระบบ โรแลน แต่ใช้คลื่น VHF ข้อจำกัดของระบบนี้คือรัศมีการทำการอยู่ในช่วงที่สายตามองเห็น (line-of-sight)

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

- โรแลน-ซี (ROLAND-C) ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1950 ปัจจุบันยังคงใช้งานอยู่อย่างกว้างขวาง และได้ขยายระบบออกไปครอบคลุมพื้นที่หลายๆ ประเทศ การทำงานของระบบเป็นแบบพัลส์ไฮเปอร์โบลิก ใช้ความถี่ในช่วง 90KHz - 110KHz

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

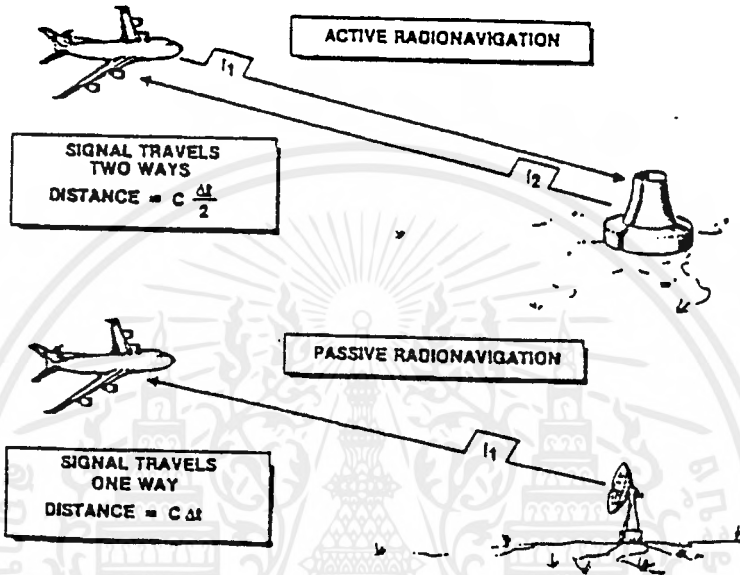


รูปที่ 1.2 แสดงระบบ โอเมกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบแพสซีฟ ถือเป็นระบบทิศทางเดียว ทำโดยเครื่องบินรับสัญญาณในรูปของพัลส์ ความถี่  $f_1$  จากสถานีส่งที่ไกลออกไป เมื่อเครื่องบินนำสัญญาณ  $f_1$  ที่รับได้มาเปรียบเทียบกับเวลาจริง ในปัจจุบันจะได้เวลาที่ต่างกันออกไปเป็น  $\Delta t$  ดังนั้นระยะห่างระหว่างเครื่องบินกับสถานีส่งจะมีค่าเท่ากับ  $\Delta t \cdot c$  ระบบนี้จะเป็นพื้นฐานการนำร่อง จีพีเอส(GPS:Global Positioning System) ที่จะได้กล่าวต่อไป

### ACTIVE AND PASSIVE RADIONAVIGATION SYSTEMS



รูปที่ 1.1 แสดงการนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุแบบแอคทีฟ และแบบพาสซีฟ

## 1.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุ(Radionavigation system)

### 1.2.1 ระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนพื้นโลก

ระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนโลกมักแยกออกเป็นสองระบบด้วยกัน คือ ระบบหาทิศทางคลื่นวิทยุ(Radio direction finding (RDF) system) กับระบบไฮเพอร์โบลิก(Hyperbolic system)

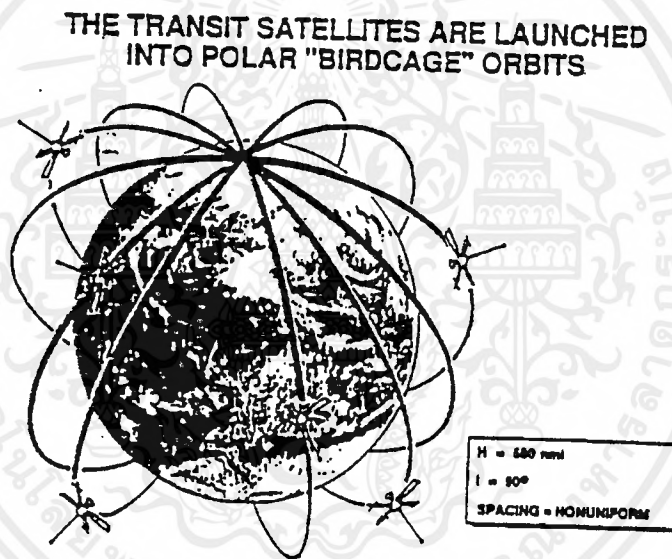
ระบบหาทิศทางของคลื่นวิทยุ สามารถอธิบายได้ง่ายๆ คือ ผู้ใช้งานปรับเครื่องรับให้ตรงกับสถานีส่งวิทยุที่รู้จักอยู่ก่อนแล้ว จากนั้นใช้สายอากาศหาทิศทางของสถานีส่งจะทำให้ได้ค่าแบริง (bearing) ออกมา ทำกระบวนการนี้ซ้ำโดยใช้สถานีส่งอื่นๆ จากนั้นใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้าช่วยก็จะทำให้ทราบตำแหน่งของผู้ใช้งาน

ระบบไฮเพอร์โบลิกจะทำความเข้าใจยากขึ้นเล็กน้อย ระบบนี้จะใช้พิกัดที่ถูกส่งออกมาจากสถานีส่งวิทยุหลายสถานี แต่ละจุดของทุกๆจุดที่แตกต่างกันระหว่างสัญญาณวิทยุจากสถานีที่แตกต่างกันค่า  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนอวกาศ

ข้อเสียของระบบนำร่องที่มีสถานีส่งอยู่บนพื้นผิวโลกก็คือ บริเวณที่ใช้งานจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะที่ทำให้การใช้งานมีขีดจำกัด เพื่อให้การใช้งานครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น จึงได้พัฒนาระบบให้มีสถานีส่งเป็นดาวเทียมโคจรอยู่เหนือพื้นผิวโลกด้วยระยะห่างที่คงที่ค่าหนึ่ง

- ทรานสิต (TRANSIT :SATNAV) ถือเป็นระบบแรกที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งมีรูปแบบวงโคจรดังรูปที่ 1.3 ระบบได้ถูกพัฒนาโดย John Hopkins Applied Physics Laboratory เพื่อใช้เป็นระบบนำร่องของเรือเดินทะเลผู้ใช้งานสามารถหาตำแหน่งของตัวเองได้โดยใช้หลักการ ครอพเพลอร์ (droppler) ของสัญญาณวิทยุที่เลื่อนออกไป (shift) สัญญาณวิทยุนี้จะถูกส่งออกมาจากดาวเทียม ความแม่นยำอยู่ในระดับความผิดพลาดประมาณ 200-300 เมตร



รูปที่ 1.3 ระบบทรานสิต

จากการใช้งานระบบทรานสิตพบว่ายังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น การให้บริการยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ณ จุดๆหนึ่ง จะเห็นดาวเทียมดวงหนึ่งๆ อยู่ประมาณ 10-15 นาทีเท่านั้น ทำให้การนำร่องไม่ต่อเนื่องกันไปอย่างตลอดเวลา เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่อยู่บนพื้นผิวโลกการระบุพิกัดจะผิดพลาดมากยิ่งขึ้น และระบบนี้ยังให้การนำร่องแบบสองมิติเท่านั้น

- ไทมชัน (TIMATION) ระบบถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1972 โดย Naval Research Laboratory (NRL) จุดมุ่งหมายเพื่อทำหน้าที่รองรับการกำหนดพิกัดโดยการใช้เวลาและความถี่ (Time and Frequency Transfer) ดาวเทียมดวงแรกถูกบรรจุไว้ด้วยตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ผลึกควอตซ์ (Quartz crystal oscillator) ที่มีความแม่นยำมาก ต่อมาได้ส่งดวงที่สองขึ้นไปและใช้นาฬิกาเชิงอะตอมไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Atomic clock) บรรจุไว้แทน คาวเทียมดวงที่สามถือเป็นดวงที่ใช้จำลองการทำงานของเทคโนโลยีของ GPS ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

- ระบบนาฬิกาสตาร์ จีพีเอส (NAVSTAR GPS : NAVigation-Satellite Timing And Ranging Global Positioning System) ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของ U.S. Department of Defense (DoD) ระบบนาฬิกาสตาร์ จีพีเอส ถือได้ว่าเป็นระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากกลุ่มดาวเทียมโคจรอยู่เหนือพื้นโลกที่ใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งสัญญาณออกมาเพื่อให้กองกำลังนั้นจะอยู่ที่ใดบนพื้นโลก หรือ ใกล้เคียงผิวโลก จะหยุดนิ่งอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ก็ตาม ในปัจจุบันนี้ทางด้านพลเรือนได้มีการใช้ระบบนำร่องโดยอาศัยดาวเทียมนาฬิกาสตาร์ จีพีเอส กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะระบบนำร่องที่ติดตั้งในรถยนต์เพื่อแสดงพิกัดตัวเองบนแผนที่เป็นเรื่องที่หลายๆประเทศทุ่มเงินทำการพัฒนาเพื่อนำมาใช้งานกันในเชิงพาณิชย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### 2.1 ความเป็นมาของระบบ GPS

ดาวเทียมด้าน GPS ถูกปล่อยสู่อวกาศครั้งแรกในปี 1983 ใช้เป็นเพียงระบบนำร่องในขั้นต้นให้กับเครื่องบินเมื่อกลุ่มดาวเทียม GPS มีการขยายตัวมากขึ้น พื้นที่การครอบคลุมก็มากขึ้นและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องสำหรับการตรวจสอบแบบ 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 มิติอย่างสม่ำเสมอ (ละติจูด, ลองจิจูด และระดับความสูง) และทำการวัดอัตราเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ได้ในเวลาใดเวลาหนึ่ง

ระบบ GPS นี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

#### 1. Space Segment

จะประกอบไปด้วยดาวเทียมที่อยู่ห่างจากโลกประมาณ 11,000 ไมล์ สำหรับประสานงานกับดาวเทียม 4 ดวงหรือมากกว่าที่สามารถถูกเห็นได้อย่างพร้อมกันจากบริเวณใดๆ บนพื้นผิวโลกขึ้นไป ดาวเทียมจะต้องลอยตัวอยู่สูงเพียงพอที่สัญญาณจากระบบบนภาคพื้นดินไม่สามารถรบกวนได้ เช่นระบบบนภาคพื้นดิน LORAN-C และ OMEGA

#### 2. Control Segment

จะประกอบไปด้วย สถานีควบคุมหลัก (Master control station) , 5 สถานีแจ้งผล (Monitor station) และ 3เสาอากาศภาคพื้นดิน (Ground antennas) ซึ่งจะถูกจัดวางอยู่ทั่วโลก สถานีแจ้งผลจะใช้เครื่องรับ GPS ในการติดตามดาวเทียมทั้งหมดที่สามารถมองเห็นได้ และรวบรวมข้อมูลของระยะทางจากการถ่ายทอดของดาวเทียม โดยสถานีแจ้งผลจะส่งข้อมูลที่รวบรวมได้จากดาวเทียมไปยังสถานีควบคุมหลัก ซึ่งจะคำนวณวงโคจรของดาวเทียมอย่างแม่นยำ ข้อมูลจะถูกจัดเป็นรูปแบบเข้ากับข้อมูลนำร่อง (Navigation messages) ที่ถูกปรับเปลี่ยนไปสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังดาวเทียมแต่ละดวงโดยผ่านเสาอากาศภาคพื้นดิน

#### 3. User Segment

จะประกอบด้วย เครื่องรับ ส่วนประมวลผลและงานสายอากาศ ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ทางภาคพื้นดิน ในทะเลหรืออากาศ สามารถที่จะรับการถ่ายทอดของกลุ่มดาวเทียม GPS และคำนวณตำแหน่ง ,ความเร็ว และเวลาได้อย่างแม่นยำ

### 2.3 การเข้ารหัสอย่างละเอียดและความสามารถเลือกหาได้ (precise code and selective availability)

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

การเข้ารหัสแบบ P-Code (pre-cise) เป็นการเข้ารหัสที่ใช้ได้เฉพาะผู้ใช้ที่เป็นรัฐบาลสหรัฐ เท่านั้น ส่วนการเข้ารหัสแบบ C/A Code (coarse-acquisition) เป็นการเข้ารหัสที่พหุหาได้เพื่อการใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไป

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

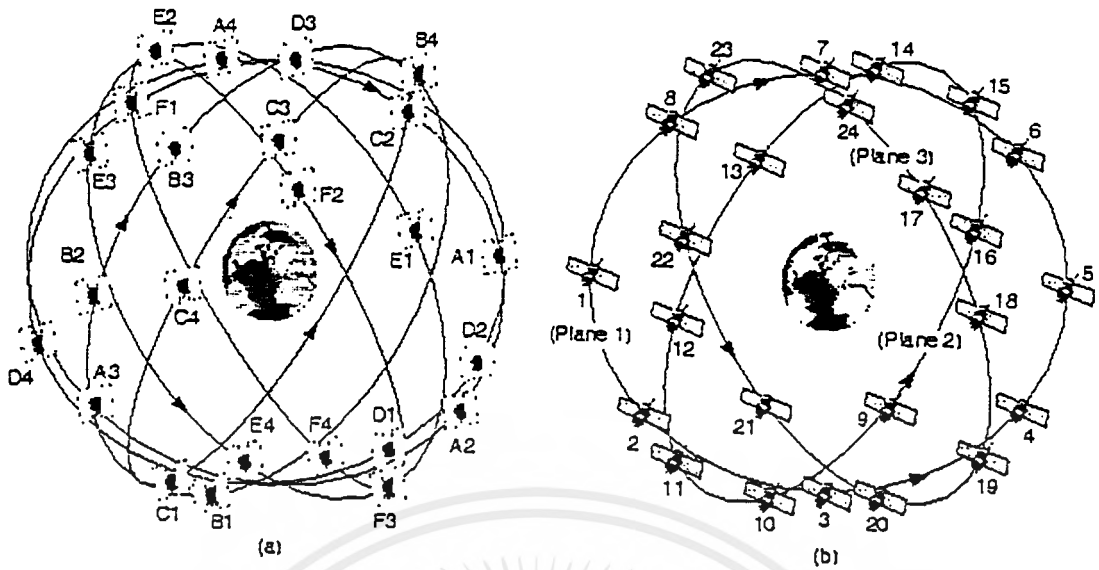
### 2.4 กลอนนาส (GLONASS)

กลอนนาส (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, GLONASS) เป็นระบบนำร่องของรัสเซียที่มีสถานีส่งสัญญาณโคจรอยู่เหนือพื้นโลก เช่นเดียวกับระบบจีพีเอส การจัดวางระบบมีลักษณะคล้ายๆ กันคือมีทั้งส่วนที่อยู่ในอวกาศ ส่วนที่เป็นสถานีควบคุมบนพื้นโลก และ ส่วนผู้ใช้ สำหรับตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างระบบจีพีเอส และกลอนนาส

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจีพีเอสกับกลอนนาส

	จีพีเอส	กลอนนาส
<b>รูปแบบวงโคจร</b>		
จำนวนดาวเทียม	24	24
จำนวนระนาบของวง โคจร	6	3
มุมเอียงวง โคจร(องศา)	55	56.8
รัศมีวง โคจร(กิโลเมตร)	26,560	25,510
วงรอบ(ชั่วโมง:นาที)	11:58	11:16
<b>คุณสมบัติของสัญญาณ</b>		
คลื่นพาห์(เมกะเฮิร์ต)	L1 :1575.42 L2 :1227.60	L2 : (1602+0.5625n) L2 : (1246+0.4375n) n = 1,2,.....,24
รหัส	CDMA	FDMA
ความถี่ของรหัส	C/A code on L1 P code on L1,L2 C/A code : 1.023 P code : 10.23	C/A code on L1 P code on L1,L2 C/A code : 0.511 P code : 5.11
<b>มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง</b>		
ระบบพิกัด	WGS-84	SGS-85(PZ-90)
ระบบเวลา	UTC(USNO)	UTC(SU)
<b>ความแม่นยำตามที่อธิบายไว้ <sup>๑</sup></b>		
ตามแนวตั้ง(เมตร)	100	100
ตามแนวนอน(เมตร)	140	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

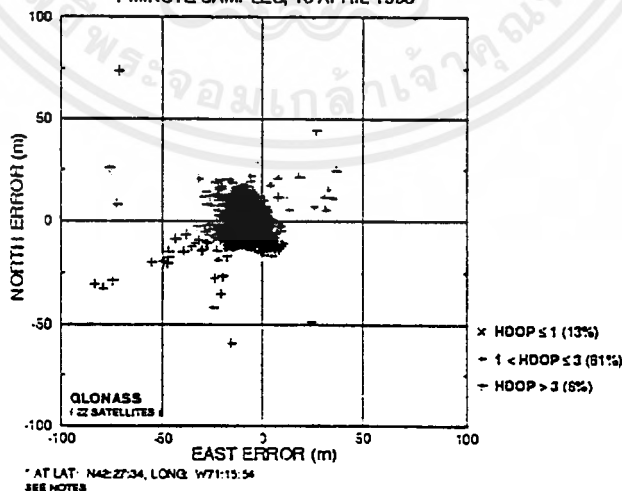


รูปที่ 2.1 แสดงวงโคจรของจีพีเอส (a) และ กลอนนาส (b)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่า ระบบของจีพีเอส และ กลอนนาสจะคล้ายกันมาก ส่วนใหญ่ที่ต่างกันคือ จำนวนวงโคจร(จีพีเอส คือ 6 และกลอนนาส คือ 3 ดังรูปที่ 2.1) การเข้ารหัสของสัญญาณ(จีพีเอสเป็นแบบ CDMA และกลอนนาสเป็นแบบ FDMA) และอัตราการส่งสัญญาณ(chipping rate) ในขณะที่จีพีเอสจะมี S/A เพื่อลดความแม่นยำบ้าง แต่ระบบกลอนนาสยังไม่มีกำหนดให้ใช้ S/A เมื่อทำการทดสอบโดยการวัดสัญญาณที่พิกัดคงที่แห่งหนึ่งโดย Lincoln Laboratory ,MIT พบว่าความไม่แน่นอนของพิกัดเป็นดังรูปที่ 2.2

### GLONASS POSITION ESTIMATES \*

1-MINUTE SAMPLES, 16 APRIL 1996



รูปที่ 2.2 แสดงการทดลองวัดพิกัดคงที่ของระบบกลอนนาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอาศัยตัวเลข URE(User Range Error) มาระบุค่าความผิดพลาด(ตัวเลข URE ได้มาจากการถอดรอกที่สองของผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ที่ไม่ขึ้นแก่กัน เช่น ความผิดพลาดของค่า ephemeris ความไม่แน่นอนในการโคจรของดาวเทียม ความผิดพลาดทางด้านเวลา ความผิดพลาดในการรบกวนในเครื่องรับ และค่า S/A (ของระบบจีพีเอส) จะประมาณได้ว่า

ระบบจีพีเอสที่ไม่ใส่ S/A                      URE = 7 เมตร

ระบบจีพีเอสที่ใส่ S/A                              URE = 25 เมตร

ระบบกลอนนาส                                      URE = 10 เมตร

สำหรับการใช้งานของพลเรือนที่ไม่มีระบบดิลิฟเฟอเรนเชียลเข้าช่วย (stand alone) ระบบกลอนนาสเป็นระบบที่น่าสนใจทีเดียว

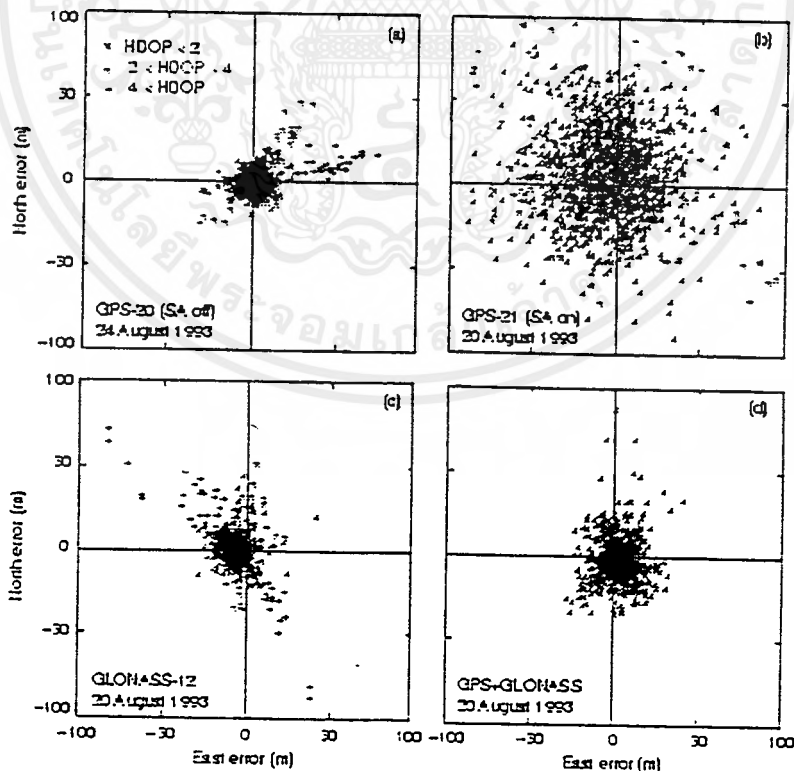
ในปัจจุบันนี้ ได้มีการพัฒนาเครื่องรับให้สามารถใช้งานทั้งสองระบบร่วมกัน ขอให้พิจารณาจากรูปที่ 2.3

รูป (a) เป็นการกระจายของความผิดพลาดในการวัดพิกัดในระบบจีพีเอสเมื่อไม่ใช้ S/A

รูป (b) เป็นการกระจายของความผิดพลาดในการวัดพิกัดในระบบจีพีเอสเมื่อใช้ S/A

รูป (c) เป็นการกระจายของความผิดพลาดในการวัดพิกัดในระบบกลอนนาส

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



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบจีพีเอส กับ กลอนนาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้ากล่าวถึงเสถียรภาพของระบบแล้ว ระบบจีพีเอสทั้งนี้เนื่องจากในปีที่ผ่านมาพบว่าระบบกลอนนาสยังคงมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการส่งสัญญาณ การเปลี่ยนระบบพิกัด บางครั้งสัญญาณขาดหายไป เป็นต้น ดังนั้นการใช้ระบบกลอนนาสเพียงอย่างเดียวจึงถือว่าการเสี่ยงเกินไป และเมื่อนำทั้งสองระบบมาใช้งานร่วมกันในลักษณะที่พลเรือนใช้งานโดยทั่วไป ผลการทดลองที่ได้จะเป็นดังรูป (d)



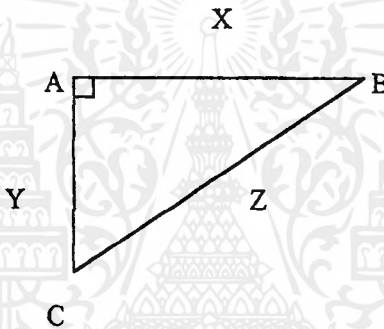
### บทที่ 3

#### พื้นฐานของการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม

ในหัวข้อนี้เป็นการอธิบายถึงพื้นฐานการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม เพื่อให้เข้าใจถึงระบบที่ใช้งานว่า มีขีดจำกัดอย่างไร และจำเป็นต้องรู้อะไรบ้าง เพื่อจะได้ทำความเข้าใจระบบจีพีเอสได้ดีขึ้น

#### 3.1 แนวความคิดเบื้องต้นในการระบุพิกัดของจีพีเอส

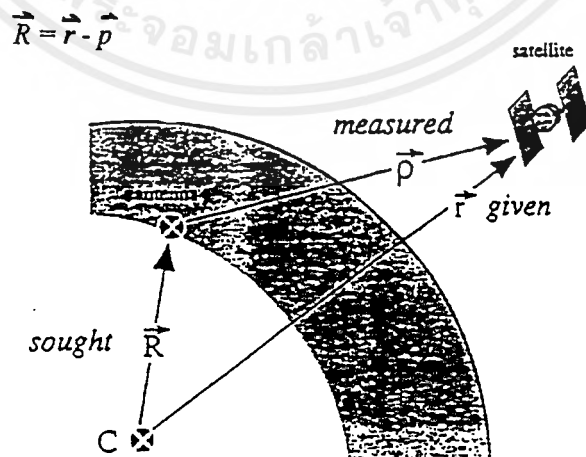
ในวิชาเรขาคณิตพื้นฐานที่เคยศึกษามาเกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยม ทำให้ทราบว่า ถ้ารู้เส้นรอบรูปสามเหลี่ยม และมุมภายในรูปสามเหลี่ยม จะสามารถหาเส้นที่สามได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่น สมมุติว่ามีรูปสามเหลี่ยมทางเรขาคณิตอย่างง่ายดังรูป 5.1 โดยอาศัยความรู้เบื้องต้นจะเขียนได้ว่า  $Y^2 = Z^2 - X^2$  หรือกล่าวได้ง่ายๆ ว่า ถ้ารู้ความยาวของ Z และ X และมุมต่างๆ แล้วจะหาค่าความยาวของ Y ได้



รูปที่ 3.1 แสดงการหาความยาวของ Y เมื่อทราบความยาวของ X, Z และมุมต่างๆ

ทำนองเดียวกัน จะอาศัยแนวคิดนี้ในการกำหนดพิกัดบนพื้นผิวโลกของระบบจีพีเอสได้ ดัง

รูปที่ 3.2

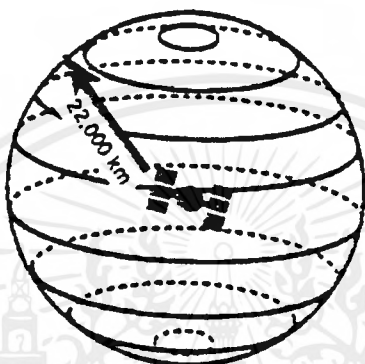


รูปที่ 3.2 การหาพิกัดในระบบจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

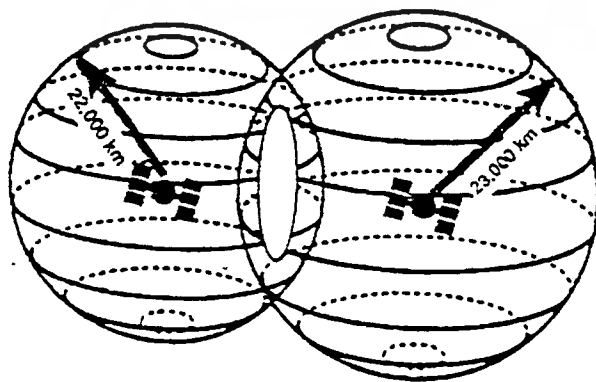
จากรูปที่ 3.2 ถือว่าจุด C เป็นศูนย์กลางของโลก สายอากาศ (antenna) อยู่ที่พื้นผิวโลก ดาวเทียมลอยอยู่เหนือพื้นผิวโลก เครื่องรับที่ต่ออยู่กับสายอากาศสามารถวัดได้ว่า ดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศเท่าใด (P) และดาวเทียมส่งข้อมูลมาบอกเครื่องรับว่า ตัวมันห่างจากจุด C เท่าใด (r) ตัวเครื่องรับก็จะหาได้ว่าตำแหน่งของสายอากาศอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด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

ประเด็นต่อมาคือ เครื่องรับมีหลักการในการวัดระยะห่างระหว่างตัวมันกับดาวเทียมอย่างไร ในช่วงแรกขอสมมุติว่า ดาวเทียมดวงแรกโคจรอยู่เหนือพื้นโลก 22,000 กิโลเมตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมมีรัศมี 22,000 กิโลเมตร

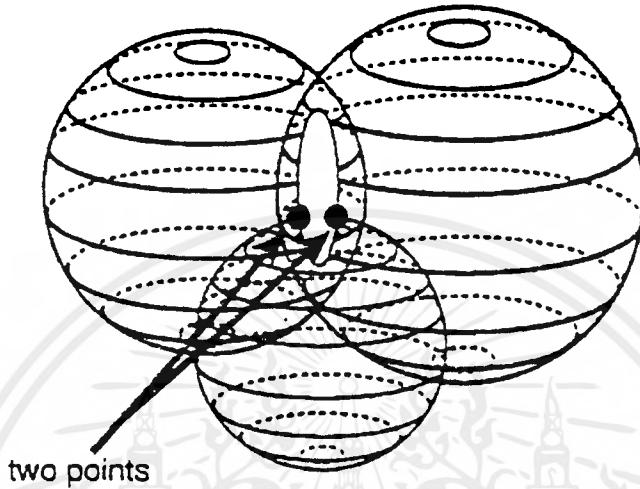
จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าเครื่องรับที่อยู่บนพื้นผิวโลก อาจจะอยู่ที่บริเวณใดก็ได้บนพื้นผิวทรงกลมที่สร้างขึ้นมัล้อมรอบดาวเทียม เพราะเราไม่รู้ว่าที่จุดใดของทรงกลมและอยู่กับพื้นผิวโลก รู้แค่เพียงว่าจะมีอยู่จุดหนึ่งเท่านั้นที่สัมผัสกับพื้นผิวโลก ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงหนึ่งโคจรอยู่เหนือพื้นดิน 23,000 กิโลเมตร เราก็จะสามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสองมีการตัดกัน ผลที่ได้จะเป็นวงกลมเล็กๆ เกิดขึ้น เครื่องรับน่าจะอยู่ที่ใดที่หนึ่งในวงกลมนี้ ซึ่งยังคงเป็นพื้นที่ที่กว้างเกินไป



รูปที่ 3.4 แสดงการตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

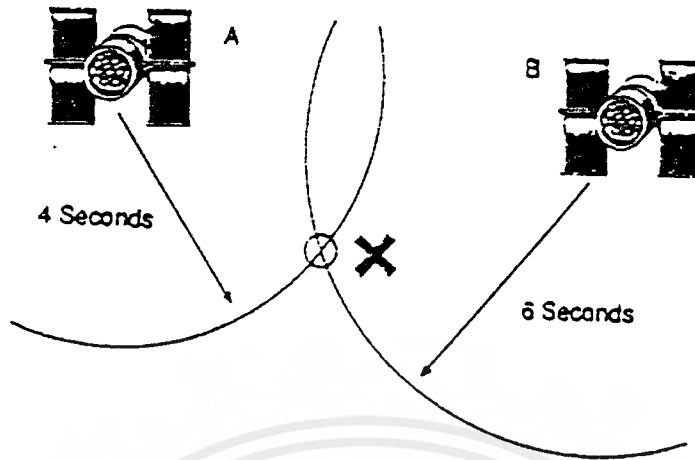
ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงเป็นดวงที่สาม โคจรอยู่เหนือพื้นโลก 24,000 กิโลเมตร ก็สามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสามมีการตัดกันผลที่ได้จะเป็นจุดสองจุดที่ขอบของวงกลมเล็กๆ เครื่องรับน่าจะอยู่จุดใดจุดหนึ่งในสองจุดนี้ แต่จะมีจุดเดียวเท่านั้นที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎี(ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยอาศัยคณิตศาสตร์เข้าช่วย)



รูปที่ 3.5 แสดงการตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม

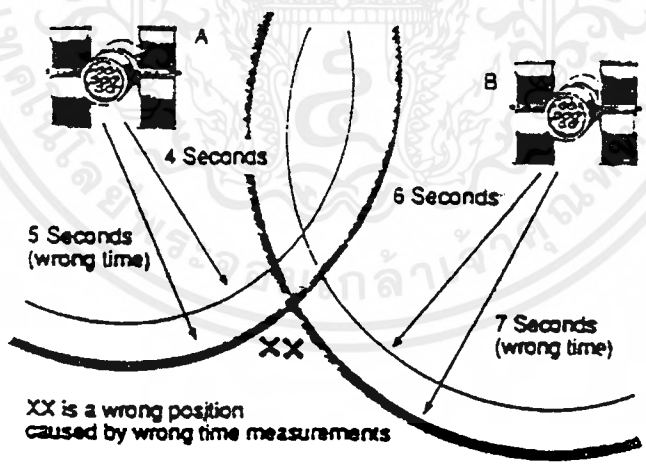
ประเด็นถัดมาลองมาคิดว่า ตัวเครื่องรับสัญญาณจะรู้ว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศของเครื่องรับเป็นระยะทางเท่าใดได้ อย่างไร โดยหลักการแล้ว ถือว่าคลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง ดังนั้นถ้าสมมุติว่า ดาวเทียมส่งข้อมูล ABC ออกมาจากดาวเทียมเมื่อเวลา 8.00 นาฬิกา แล้วเครื่องรับรับข้อมูล ABC ได้เวลา 8.01 นาฬิกา แสดงว่าข้อมูลใช้เวลาเดินทางจากดาวเทียมมายังสายอากาศใช้เวลา 1 นาที เมื่อนำค่านี้ออกด้วยความเร็วของแสง ก็จะทำให้ได้ระยะทางออกมาเช่นเดียวกัน

ดังนั้นแทนที่เราจะบอกเป็นระยะทางว่าดาวเทียม โคจรอยู่สูงจากพื้นผิวโลกกี่กิโลเมตร เราอาจบอกเป็นเวลาก็ได้ เช่น ดาวเทียมสองดวงอยู่ห่างจากสายอากาศ 4 และ 6 วินาที เพื่อให้ง่ายขึ้นจะมองทรงกลมที่สมมุติขึ้นมาล้อมรอบดาวเทียมแค่สองมิติเป็นวงกลมล้อมรอบดาวเทียม A และ B และสมมุติว่าเกิดจุดตัวกันออกมาที่จุด X ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B

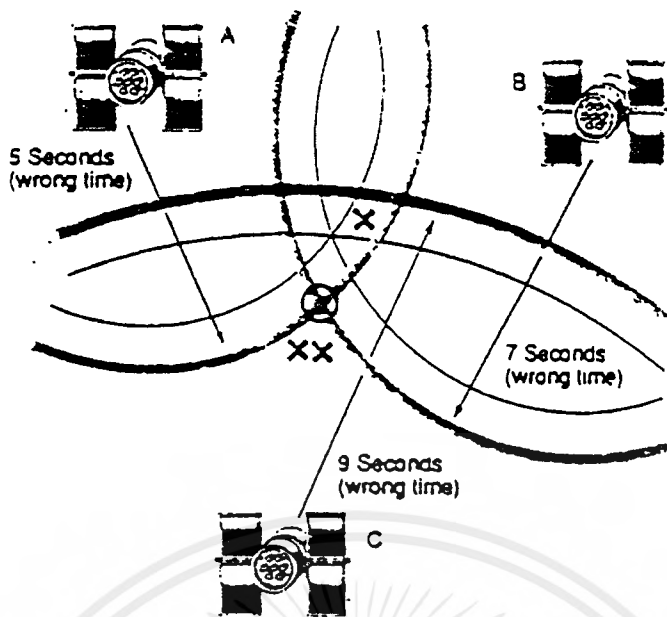
แต่ถ้าเวลาที่วัดได้เกิดการผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็น จะด้วยสาเหตุใดก็ตาม เช่น ดาวเทียม A จาก 4 วินาที เป็น 5 วินาที และดาวเทียม B จาก 6 วินาทีเป็น 7 วินาที ผลที่เกิดขึ้นก็คือ แทนที่จะเกิดจุดตัดขึ้นที่จุด X กลับเกิดที่จุด XX ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

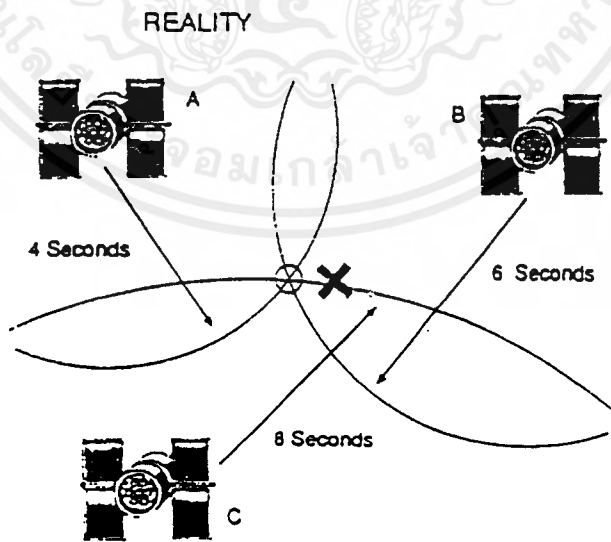
แม้ว่าจะใช้ดาวเทียมดวงที่สาม(ดาวเทียม C) เข้าช่วย เพื่อหาตำแหน่งที่แน่นอนดังกล่าวมาแล้วในตอนต้น ถ้าเวลาผิดพลาดไปก็จะเกิดจุดตัดที่ผิดพลาดขึ้นมาเช่นกัน ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A,B และC ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าจุดที่ถูกตั้งตามที่ต้องการในครั้งแรกก็คือจุด X ซึ่งจะเป็นจุดตัดจุดเดียวเท่านั้น ไมโครโปรเซสเซอร์ในเครื่องรับจะเริ่มทำการปรับค่าความผิดพลาดของเวลาของดาวเทียมแต่ละดวง การทำเช่นนี้จำเป็นต้องอาศัยดาวเทียมอีกดวงหนึ่งเข้าช่วยเพื่อทำการปรับตั้ง เวลาในเครื่องรับให้แม่นยำขึ้น จากนั้นจึงทำการขยับเวลาที่ทำการวัดได้จากดาวเทียมแต่ละดวงเพื่อทำการลดค่าผิดพลาดให้น้อยลง เมื่อทำการปรับได้อย่างถูกต้องแล้วก็จะทำให้ได้จุดตัดออกมาอย่างถูกต้องดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงจุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม A,B และC

จากที่อธิบายมาข้างต้นจะเห็นว่า ความแม่นยำของเวลาเป็นหัวใจของระบบที่เดียว ดังนั้นบนดาวเทียมจีพีเอส จึงมีนาฬิกาเชิงอะตอมที่มีความแม่นยำสูงบรรจุอยู่ถึงสี่เครื่อง นาฬิกาเหล่านี้จะถูกปรับตั้งให้มีความแม่นยำอยู่ตลอดเวลาโดยสถานีควบคุมภาคพื้นดิน

จากแนวความคิดที่กล่าวมานี้ ถ้าเครื่องรับสัญญาณอยู่บนพื้นโลกจะทำให้เครื่องรับทราบว่าตัวมันห่างจากดาวเทียมเท่าใด เสมือนกับได้ระยะทางด้านหนึ่งของสามเหลี่ยมแล้ว คือด้าน  $P$  ด้านที่สองของสามเหลี่ยมคือ  $r$  เครื่องรับจะทราบได้โดยดาวเทียมจะส่งข้อมูลมาบอกว่ามันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด ดังนั้น เครื่องรับจะคำนวณได้ว่า ตัวมันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด

ปัญหาต่อมาก็คือ ตำแหน่งที่บอกออกมานั้นเราจะรู้ได้อย่างไรว่ามันคือที่ไหนบนโลกนี้ ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดระบบอ้างอิงให้มัน การกำหนดใดๆ ก็ตามให้เปรียบเทียบกับระบบอ้างอิงที่กำหนดขึ้นนี้ ในบทความต่อไปจะกล่าวถึงระบบอ้างอิงที่ใช้ในระบบจีพีเอส



## บทที่ 4

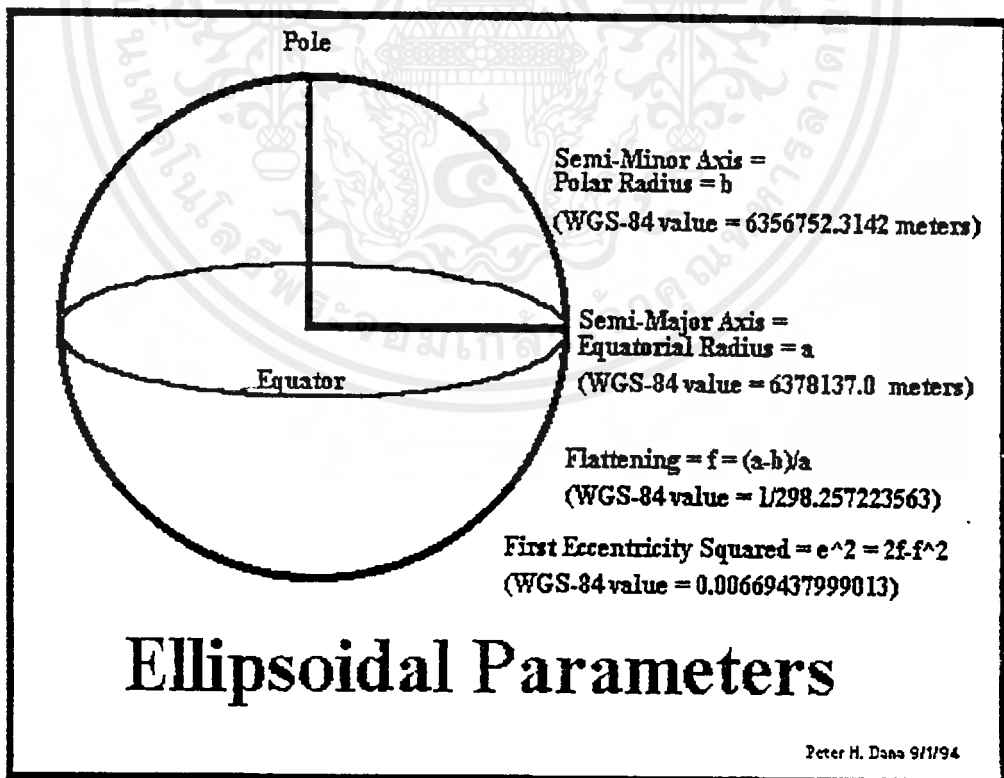
### จีโอเดติก คาทัม

เนื่องจากพิกัดที่ได้จากเครื่องจีพีเอส มักอยู่ในรูปของ ละติจูด , ลองจิจูด หรือค่าตัวแปร XYZ การกำหนดค่าคัทัมผิด จะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นอย่างมาก

จีโอเดติก คาทัม คือ การกำหนดระบบอ้างอิงที่ใช้อธิบายขนาดและรูปร่างของโลก ว่าควรมีลักษณะอย่างไร ในสมัยโบราณถือว่าโลกแบนดังนั้นระนาบอ้างอิงจึงเป็นเพลนระนาบ ต่อมาพบว่าโลกเป็นทรงกลม ระบบอ้างอิงจึงถูกเปลี่ยนเป็นทรงกลมตามไปด้วย จนภายหลังพบว่ารูปร่างของโลกที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเป็นแบบ เอลลิปซอยด์ ( ellipsoid ) และใช้มาจนถึงปัจจุบันนี้ เมื่อผนวกเข้ากับระบบการกำหนดพิกัดอ้างอิงก็จะทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกได้อย่างแม่นยำ

#### 4.1 การอ้างอิงโดยเอลลิปซอยด์ ( Reference Ellipsoids )

รูปแบบจำลองแบบเอลลิปซอยด์ ( ellipsoid ) ถือว่าพื้นผิวโลกราบเรียบและมีโครงสร้างเกือบเป็นทรงกลม ( ป่องกลางคล้ายผลส้ม แต่เพื่อความสะดวกจะวาดเป็นวงกลมแทน ) การอ้างอิงใด ๆ บนพื้นผิวจะทำผ่านสองแกนคือ Semi-Major Axis คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังเส้นอีควาเตอร์ และ Semi-Minor Axis ซึ่งก็คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังขั้ว

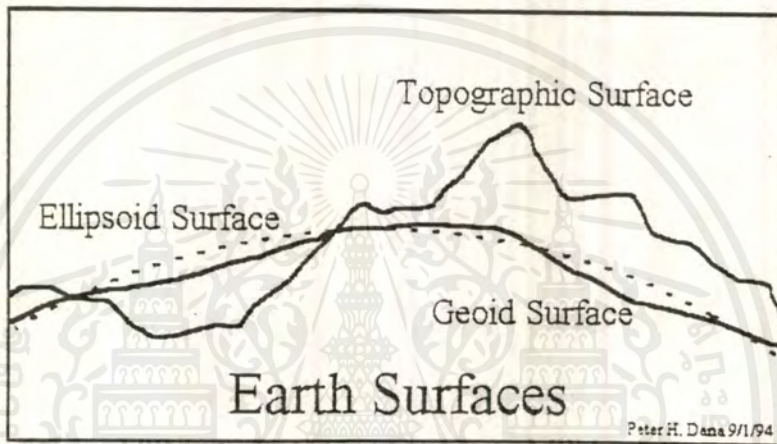


รูปที่ 4.1 ตัวแปรของเอลลิปซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ WGS-84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

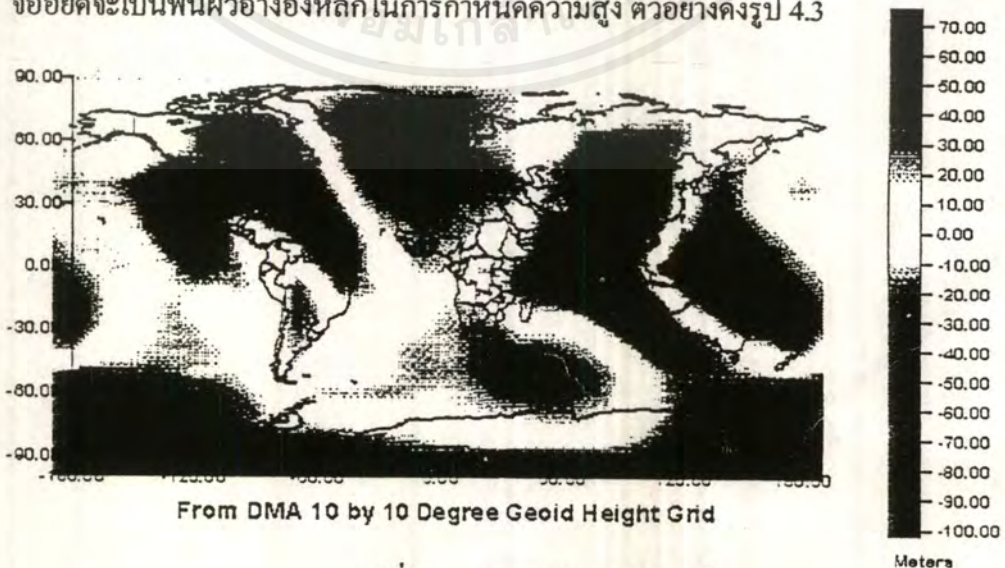
#### 4.2 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก ( Earth Surface Model )

รูปแบบจำลองของพื้นผิวโลกที่ถูกต้องมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับ ระบบนำร่อง การสำรวจ และการทำแผนที่ แต่เนื่องจากพื้นผิวโลกมีความสูงต่ำไม่เท่ากัน นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมตลอดเวลา ดังนั้นรูปแบบจำลองจึงมีหลายแบบด้วยกัน รูปแบบจำลองสภาพทางภูมิประเทศและระดับน้ำทะเลมีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผิวโลก ในขณะที่รูปแบบจำลองทางด้านแรงโน้มถ่วงและจีโออยด์ ( Geoid ) มีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงและระดับน้ำทะเลเฉพาะส่วนของพื้นโลก รูปแบบจำลองต่าง ๆ เหล่านี้ถูกสร้างเปรียบเทียบหรืออ้างอิงร่วมกับเอลลิปซออยด์



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก

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



รูปที่ 4.3 แสดงระดับของจีโออยด์

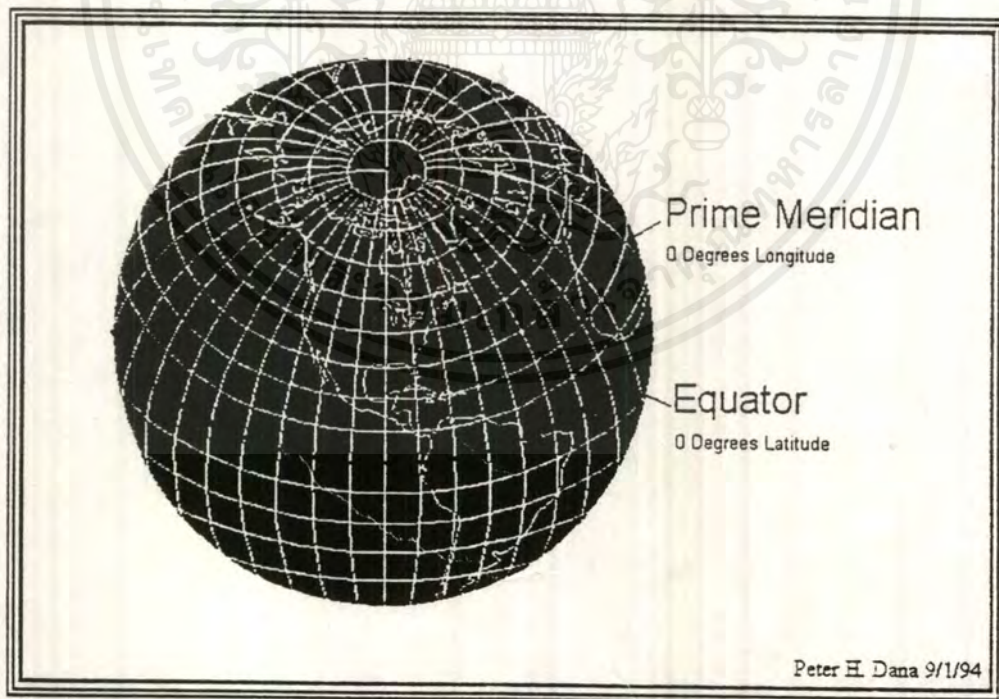
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้งานทั่วไป ( Global Coordinate System )

เมื่อเรามีรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโลกแล้ว ต่อไปจะต้องกำหนดพิกัดอ้างอิงขึ้นมาเพื่อใช้กำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก มิฉะนั้นเราจะไม่ทราบว่า เราอยู่ที่ใดบนโลก ทำนองเดียวกันถ้าระนาบอ้างอิงแตกต่างกันออกไป พิกัดที่ได้จะแตกต่างกันออกไปด้วย ระบบที่ใช้ในการอ้างอิงมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละประเทศจะใช้แตกต่างกันออกไป ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเกี่ยวข้องกับระบบจีพีเอสเท่านั้น

#### 4.3.1 Latitude , Longitude , Height

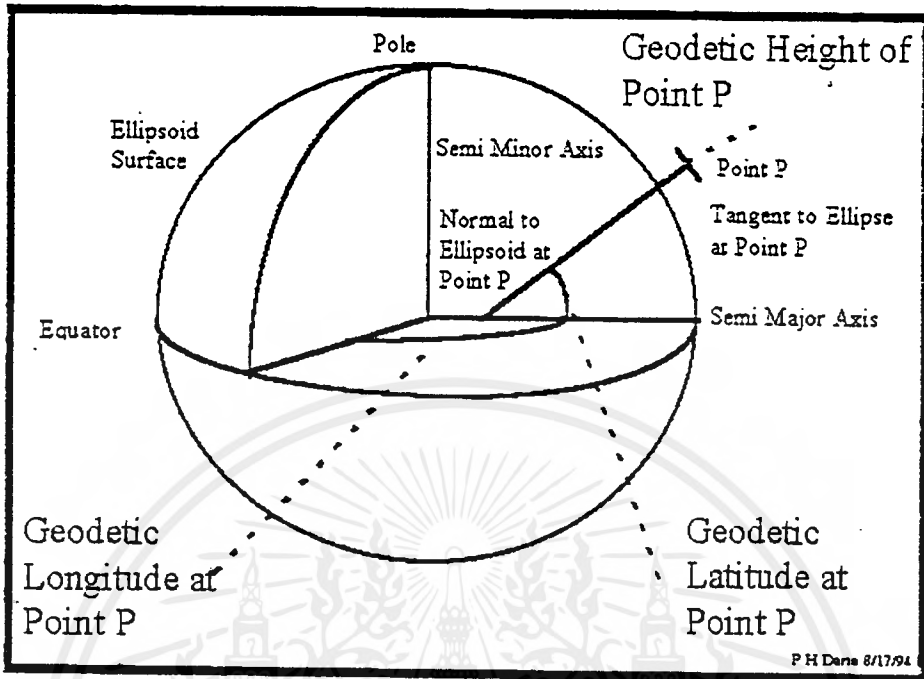
ถือเป็นระบบพิกัดที่ใช้ร่วมกันมากที่สุดในโลก โดยกำหนดให้ระนาบอ้างอิง ( Reference plane ) ได้มาจาก ระนาบอีควาเตอร์ และ ไพรม์ เมอริเดียน ( Prime Meridian ) ที่วางตั้งฉากกันดังรูป 4.4 สามารถจินตนาการได้ว่าโลกเสมือนผลแดงโมที่วางอยู่ กับพื้นแล้วหันทางด้านขั้วของแดงโมขึ้นฟ้าจากนั้นให้นึกต่อว่า ที่กึ่งกลางลูกแดงโมมีเส้น ๆ หนึ่ง ลากยาวรอบลูกแดงโมโดยลากขนานกับพื้นที่แดงโมวางอยู่ เส้นนี้คือ เส้นอีควาเตอร์ ถ้าใช้มีดผ่าแดงโมตามแนวเส้นนี้ แล้วยกแดงโมครึ่งบนออก สิ่งที่มองเห็นคือเนื้อแดงโมที่เป็นพื้นผิววงกลมแบนราบ นั่นคือ ระนาบของอีควาเตอร์ นั่นเอง ทำนองเดียวกัน ถ้าเราผ่าแดงโมในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของอีควาเตอร์ ระนาบที่ได้เรียกเป็นระนาบของ ไพรม์ เมอริเดียน



รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดเส้นไพรม์ เมอริเดียนและเส้นอีควาเตอร์

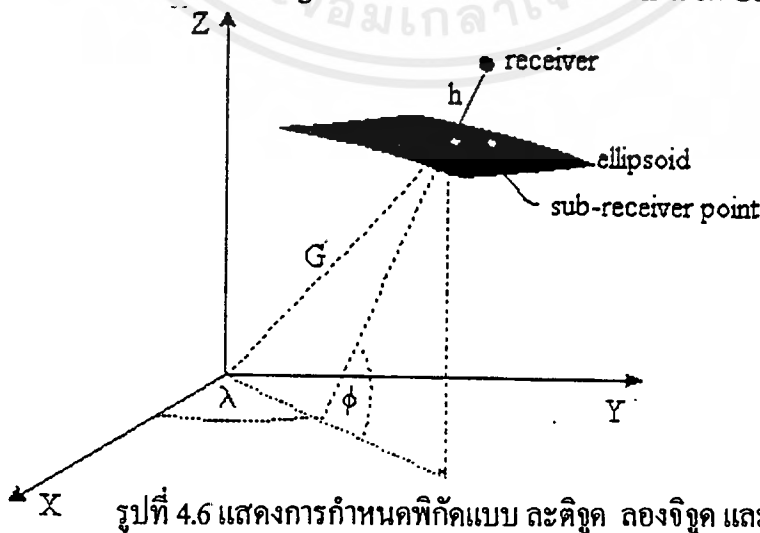
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดว่าจุด P มีค่าเป็นเท่าใดให้ดูจากตัวอย่างดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองจิจูด และ ความสูง

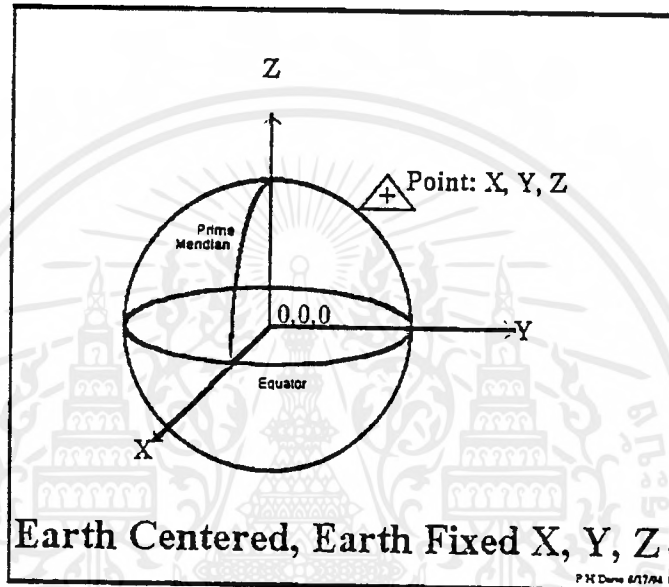
จากรูปที่แสดงไว้ สมมุติว่าเครื่องรับสัญญาณอยู่ที่จุด P เมื่อลากเส้นมาตั้งฉากกับเส้นสัมผัสกับพื้นผิวเอลิปซอยด์ (sub-receiver point ในรูปที่ 4.6) แล้วต่อเส้นนี้ไปตัดระนาบอีควาเตอร์มุมที่เกิดจากเส้นที่ลากมากับระนาบอีควาเตอร์เรียกว่า Geodetic Latitude และ ถ้าถือว่าเส้นที่ลากมาจากจุด P เป็นระนาบ  $\lambda$  หนึ่งที่ตั้งฉากกับระนาบอีควาเตอร์ มุมที่ระนาบ  $\lambda$  นี้กระทำกับระนาบอ้างอิงไพรม์ เมอริเดียน เรียก Geodetic Longitude ส่วนความยาวของเส้น  $h$  เรียก Geodetic Height



รูปที่ 4.6 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองจิจูด และ ความสูง

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

ระบบนี้เป็นการกำหนดพิกัดแบบสามมิติเช่นกัน โดยถือว่าจุดศูนย์กลางมวลของโลกเป็นจุดศูนย์กลางของเอลิปซอยด์ จากจุดนี้แกน Z จะชี้มายังขั้วโลกเหนือ ( ตามแนวแกนหมุนของโลก ) แกน X จะชี้มายังจุดตัดกันของเส้นไพรม์ เมอริเดียน กับ เส้นอีควาเตอร์และ แกน Y จะตั้งฉากกับแกน X ดังนั้นแต่ละจุดที่กำหนดขึ้นมาจะต้องมีองค์ประกอบของค่า X,Y,Z อยู่ด้วยเสมอ ระบบนี้จะใช้อ้างอิงในระบบจีพีเอสเป็นหลัก แล้วจึงทำการคำนวณจากค่า X,Y,Z มาเป็นค่า Latitude , Longitude , Height ในภายหลัง

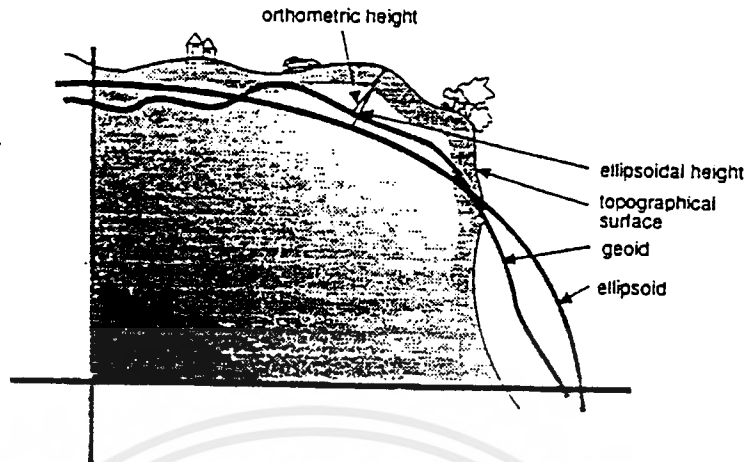


รูปที่ 4.7 แสดงระบบ ECEF X,Y,Z

#### 4.4 ข้อสับสนของความสูง

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

ในทางกลับกัน ถ้ากล่าวว่ “ ส่วนสูงที่สุดของยอดเขา Elbert ในมลรัฐโคโรลาโดสูง 14,433 ฟุต” เคยคิดหรือไม่ว่าความสูงนี้วัดจากจุดอ้างอิงใด ?

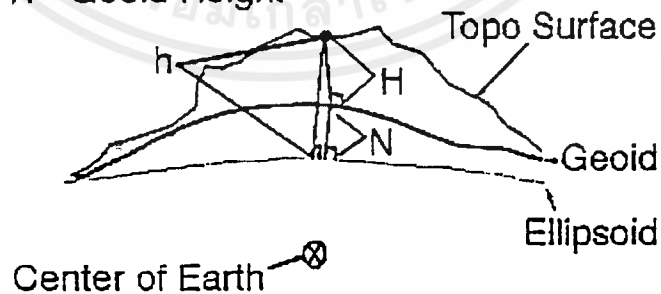


รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบความสูงเหนือออลลิพซอยด์และจีออยด์

จากรูปที่ 4.8 เส้น orthometric height คือ เส้นความสูงที่นับจากเส้นจีออยด์ ส่วนเส้น ellipsoidal height ก็คือเส้นความสูงที่วัดจากออลลิพซอยด์ ซึ่งก็คือ geodetic height นั่นเอง ถ้าระบุความสูงออกมาลอย ๆ ผู้ใช้มักจะคิดว่าเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ย หรือ กล่าวง่าย ๆ ว่าเป็น orthometric height แต่ความสูงจากเครื่องจีพีเอสจะเป็น ellipsoidal height หรืออยู่ในรูปของ XYZ เท่านั้น

### Height Measurements

- H - Orthometric Height (MSL)
- h - Ellipsoid Height (approx.  $N + H$ )
- N - Geoid Height



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในแบบต่าง ๆ

จากรูป 4.9 จะเขียนได้ว่า

$$H = h - N$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $H$  คือ orthometric height

$h$  คือ ellipsoidal height

$N$  คือ geoid height

geoid height คือผลต่างของ orthometric height กับ ellipsoidal height ที่จุด ๆ หนึ่ง ดังนั้นการใช้จีพีสวัดความสูงต้องระวังให้ตีความสูงที่ได้นั้นเป็นแบบใด

#### 4.5 สรุปความเข้าใจหลักการที่ผ่านมา

จากที่ผ่านมา เครื่องรับจะทำการวัดระยะทางจากดาวเทียมถึงตัวมันได้โดยอาศัย เวลา \* ความเร็วแสง การวัดระยะทางในลักษณะนี้ ระยะทางที่ได้เรียก ซูโดเรนจ์ (Pseudo range) จากนั้นเครื่องรับจะรับข้อมูลที่ส่งจากดาวเทียมที่เรียกว่า อีเฟมมาริส (Ephemeris) ข้อมูลนี้จะบอกให้ทราบว่าดาวเทียมมีวงโคจรอย่างไร ทำให้เครื่องรับทราบว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางโลกเท่าใด คอมพิวเตอร์ในเครื่องรับจะคำนวณได้ว่า ตำแหน่งของมันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางโลกเท่าไร โดยอาศัยรูปจำลองทางคณิตศาสตร์ออลลิปซอยด์ พิกัดอ้างอิง และคาตัม จะทำให้เครื่องรับสามารถคำนวณตำแหน่งในระบบ ECEF XYZ หรือค่าละติจูด ลองจิจูด ความสูง ออกมาได้

## บทที่ 5

### การให้บริการของจีพีเอสและสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

ระบบจีพีเอสถูกสร้างมาจากหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา จุดมุ่งหมายหลักคือให้บริการแก่หน่วยงานทางทหาร ต่อมาได้เปิดให้พลเรือนใช้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย แต่ได้แยกบริการออกเป็นสองกลุ่ม

#### 5.1 การให้บริการของระบบจีพีเอส

การแบ่งกลุ่มการให้บริการใช้ความแม่นยำมาเป็นตัวกำหนด ในปัจจุบันนี้ได้แบ่งการให้บริการแยกออกเป็นสองประเภทคือ

5.1.1 การให้บริการที่มีความแม่นยำสูง ( Precision Position Code , PPS ) สำหรับใช้ในกิจการทหารหรือพลเรือนที่ได้รับอนุมัติใช้งานเท่านั้น ความแม่นยำที่คาดว่าจะได้รับคือ

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

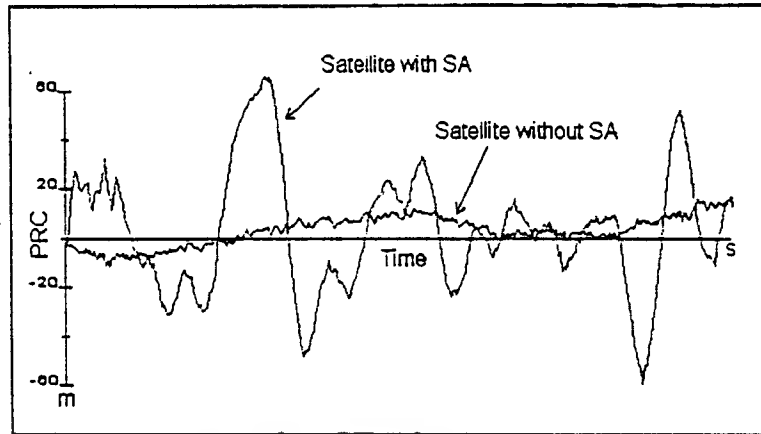
สาเหตุที่พลเรือนทั่วไปไม่สามารถใช้บริการที่มีความแม่นยำสูงได้เนื่องจากทางผู้ควบคุมระบบ ( DoD ) ได้เข้ารหัสข้อมูลเอาไว้ ทำให้เครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสที่มีขายในท้องตลาดทั่วไปไม่สามารถทำการถอดรหัสสัญญาณต่าง ๆ ที่รับได้อย่างถูกต้อง จึงทำให้การคำนวณต่าง ๆ ผิดพลาดจนเชื่อถือไม่ได้

5.1.2 การให้บริการตามรูปแบบมาตรฐาน ( Standart Position Service , SPS ) ใช้สำหรับกิจการทางด้านพลเรือน โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและใช้งานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ความแม่นยำถูกทำให้ลดลงโดยกระบวนการที่เรียกว่า Selective Availability ภายใต้การควบคุมของ DoD ความแม่นยำที่คาดว่าจะได้รับคือ

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

#### 5.2 ผลของการใส่ SA เพื่อลดความแม่นยำลง

การใส่ SA เป็นการลดความแม่นยำในการใช้งานทางด้านพลเรือนลง โดยทำให้ข้อมูลที่ส่งออกมาจากดาวเทียมเปลี่ยนแปลงไปมาในลักษณะที่ไม่แน่นอนดังรูป 5.1



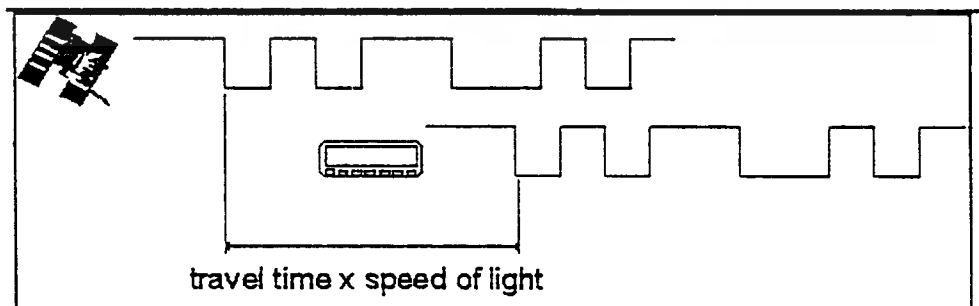
รูปที่ 5.1 แสดงความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงไปมาโดยผลของ SA

ในปัจจุบันนี้ได้พยายามมีการผลักดันให้ยกเลิกการลดค่าความผิดพลาดลงจากเดิม โดยให้เหตุผลว่า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถใช้เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลชดเชยชดออกไปได้เกือบหมด นอกจากนั้นระบบกลอนนาสซึ่งเป็นระบบนำร่องของรัสเซียให้ความผิดพลาดเพียง 50 เมตร เท่านั้น

### 5.3 สัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

จากที่ผ่านมายังคิดว่า ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับจะหารไจากความแตกต่างของเวลาที่ดาวเทียมส่วนมากับเวลาที่เครื่องรับได้คูณด้วยความเร็วแสง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสัญญาณต่าง ๆ ที่ส่งออกจากดาวเทียมมาให้เครื่องรับบนพื้น โลก

จากรูปที่ 5.2 ดาวเทียมจะส่งรหัสออกมาในรูปแบบของสัญญาณ เมื่อเครื่องรับได้รับรหัสนี้จะทราบว่ารหัสนี้ใช้เวลาในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนานเท่าใดและเป็นรหัสที่ส่งมาจากดาวเทียมดวงใด เมื่อนำเวลานี้มาคูณด้วยความเร็วแสงก็จะทำให้คำนวณหาระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับได้



รูปที่ 5.2 แสดงแนวความคิดในการหาระยะห่างจากดาวเทียมกับเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

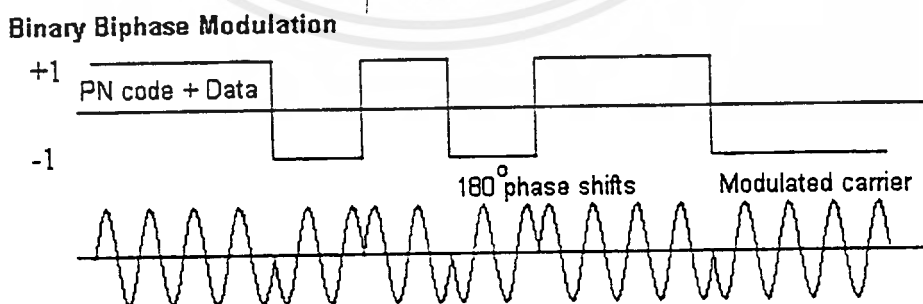
ด้วยเหตุนี้ความแม่นยำในการกำหนดพิกัดของระบบจีพีเอสจะขึ้นอยู่กับฐานเวลาเป็นสำคัญ ฐานเวลาที่อยู่บนดาวเทียมจีพีเอสได้มาจากนาฬิกาเชิงอะตอม ตัวอย่างเช่น BLOCK II จะมีนาฬิกาเชิงอะตอมแบบรูบิเดียมสองเครื่อง และ แบบซีเซียมสองเครื่อง ทำให้ความผิดพลาดต่อวันน้อยมาก หรือกล่าวง่าย ๆ ว่า นาฬิกาจะเดินพลาดไป 1 วินาที เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 160,000 ปี

#### 5.4 ความถี่ที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก

ดาวเทียมจีพีเอสจะใช้สัญญาณจากนาฬิกาเชิงอะตอมสร้างความถี่พื้นฐานในแบนด์ L เป็น 10.23 เมกกะเฮิร์ต แล้วสร้างคลื่นพาห์ในแบนด์ L1 และ L2 โดยการคูณความถี่พื้นฐานด้วย 154 และ 120 ดังนั้นความถี่ของคลื่นพาห์ในแบนด์ L1 จะเท่ากับ 1576.42 เมกกะเฮิร์ต ความถี่ของคลื่นพาห์ในแบนด์ L2 จะเท่ากับ 1227.60 เมกกะเฮิร์ต รหัสต่าง ๆ จะถูกกำหนดขึ้นจากความถี่พื้นฐานทั้งสิ้น แสดงได้ดังนี้

องค์ประกอบ	ความถี่ (MHz)
ความถี่พื้นฐาน	$f_0 = 10.23$
คลื่นพาห์ L1	$154f_0 = 1576.42$
คลื่นพาห์ L2	$120f_0 = 1227.60$
พี-โค้ด (P-code)	$f_0 = 10.23$
ซี/เอ - โค้ด (C/A-code)	$f_0/10 = 1.023$
ข้อมูลในการนำร่อง	$f_0/204.600 = 0.00005$

โค้ดหรือรหัสทั้ง สอง (C/A และ P) ถูกกำหนดอยู่ในรูปของสัญญาณพัลส์ สัญญาณพัลส์เหล่านี้จะถูกผสมกับคลื่นพาห์ในลักษณะของไบนารี ไบเฟส มอดูเลชัน (Binary Biphase Modulation) ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การผสมสัญญาณแบบไบนารี ไบเฟส มอดูเลชัน

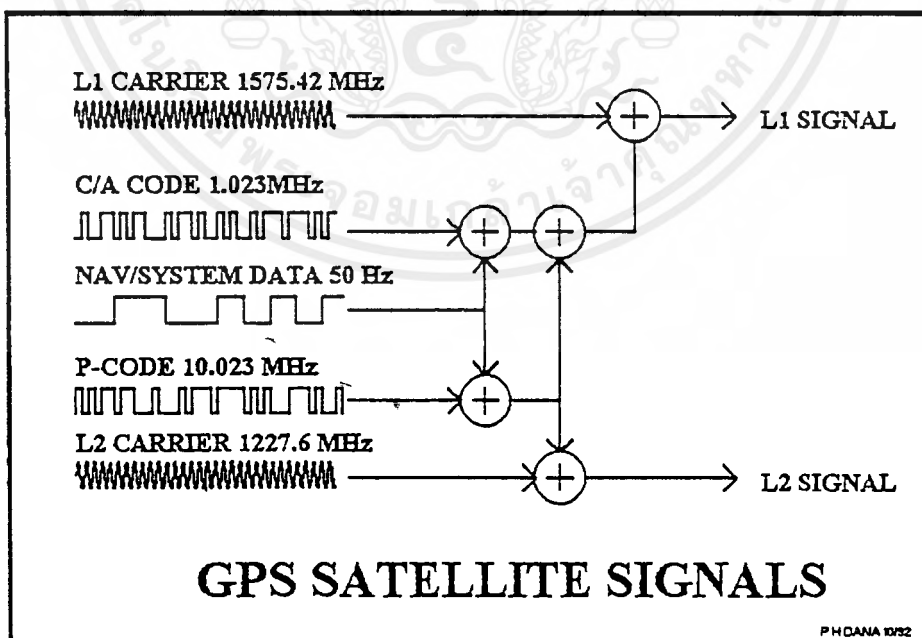
## 5.5 รหัสที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก

รหัสที่ผสมมากับคลื่นพาห์สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

5.5.1 C/A Code ( Coarse Acquisition ) ถูกผสมออกมากับคลื่นพาห์ในแบนด์ L1 เท่านั้น รหัสสุโด แรนดอม นอยส์ ( Pseudo Random Noise , PRN ) ขนาด 1 เมกกะเฮิร์ตซุดหนึ่งทีซ้ำๆ กัน รหัสที่คล้ายนอยส์นี้จะถูกส่งออกมาทางแบนด์ L1 ในลักษณะของการกระจายสเปกตรัม ( Spread spectrum ) ตลอดช่วงแบนด์วิดธ์ 1 เมกกะเฮิร์ต รหัส C/A จะซ้ำเดิมที 1023 บิต ดาวเทียมแต่ละดวงจะมีรหัส PRN ของรหัส C/A ที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นรหัส PRN มาเป็นตัวแยกดาวเทียมแต่ละดวง

5.5.2 P-Code ( Precise ) จะถูกผสมออกมากับคลื่นพาห์ทั้งในแบนด์ L1 และ L2 รหัส P คือ PRN ขนาด 10 เมกกะเฮิร์ตซุดหนึ่งที่มีความยาวมาก ๆ ( 7 วัน ) สัญญาณนี้จะทำให้เครื่องรับสับสนในการคำนวณค่าต่าง ๆ สำหรับผู้ได้รับอนุมัติให้ใช้สัญญาณนี้จะต้องมีชิพพิเศษที่เรียกว่า AOC ( Auxiliary Output Chip ) ต่อใช้ร่วมกับเครื่องรับจึงจะใช้งานได้ถูกต้อง

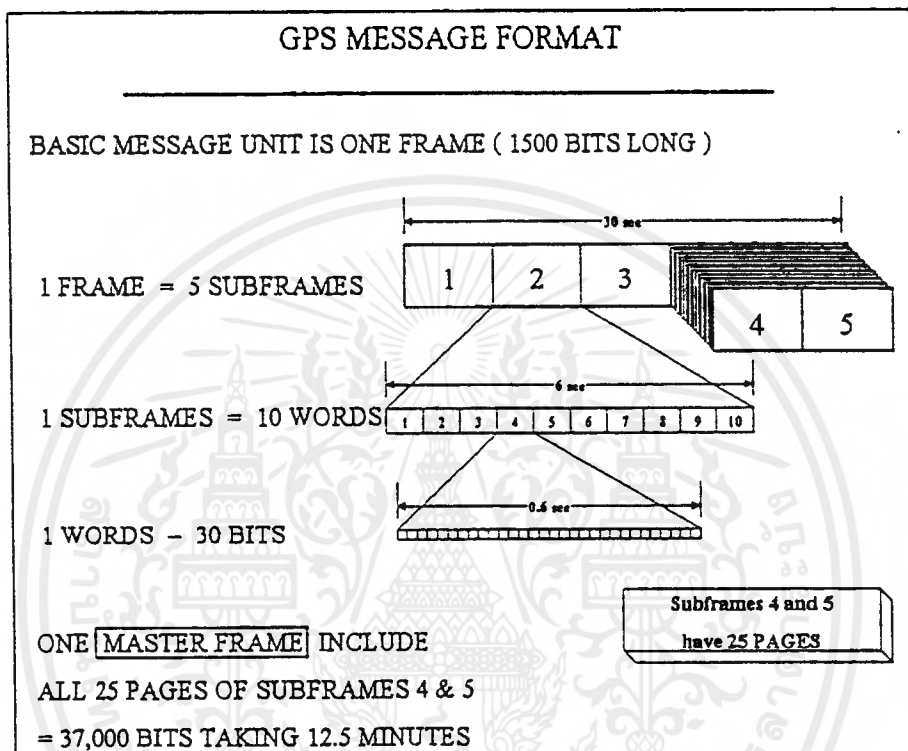
5.5.3 ข้อมูลนำร่อง ( Navigation Message ) ข้อมูลนำร่องเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตเป็นบิตของข้อมูลที่รับออก วงจรของดาวเทียม ข้อมูลการแก้ไขเวลา และตัวแปรอื่น ๆ ของระบบ ข้อมูลนำร่องจะถูกนำมาผสมสัญญาณของรหัส C/A เพื่อส่งออกมาทางแบนด์ L1 และผสมสัญญาณของรหัส P เพื่อส่งออกมาทางแบนด์ L2 การผสมสัญญาณของข้อมูลนำร่องเข้ากับ C/A หรือ P ได้ค้ จะเป็นแบบการบวกแบบมอดุโล 2 ( Modulo-2 addition ) ดังรูป 5.4 ผลที่ได้จึงนำไปผสมสัญญาณต่อไป



รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยข้อมูลนำร่องที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังเครื่องรับ จะถูกแบ่งออกเป็นเฟรม ( frame ) ดังรูป 5.5 จะเห็นว่าหนึ่งเฟรมมีความยาวบิตข้อมูลเท่ากับ 1,500 บิต ดังนั้นแต่ละเฟรมใช้เวลาทั้งสิ้น  $1,500 / 50$  หรือ 30 วินาที ในหนึ่งเฟรมยังแบ่งออกเป็นเฟรมย่อย ( subframe ) ได้ 5 เฟรมย่อย ใช้ชื่อเป็นเฟรมย่อยที่ 1 ถึง 5 แต่ละเฟรมย่อยแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 เวิร์ด โดยหนึ่งเวิร์ดประกอบด้วยบิตข้อมูล 30 บิต



รูปที่ 5.5 แสดงโครงสร้างของการส่งข้อมูลของจีพีเอส

ข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อยที่ส่งมาไว้ระบุรายละเอียดที่แตกต่างกัน แต่ละเฟรมย่อยเริ่มด้วยเวิร์ดพิเศษ คือ TLM ( Telemetry Word ) และ HOW ( Hand - Over Word )

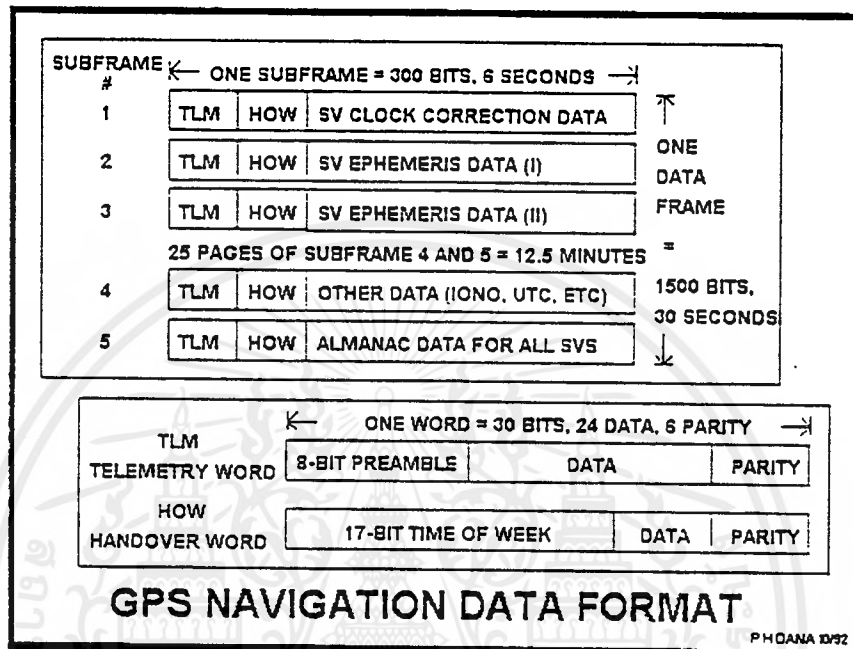
เวิร์ด TLM ประกอบด้วยข้อมูล 8 แรกที่มีรูปแบบคงที่ใช้เป็นรูปแบบในการซิงโครไนซ์ ( Pattern Synchronized ) และข้อมูลอีก 14 บิตสำหรับแสดงสถานะในการอัปเดตข้อมูลขึ้นสู่ดาวเทียม ข้อมูลในการทำการตรวจสอบการทำงานและ ข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

เวิร์ด HOW ใช้เก็บค่า ๆ หนึ่งที่เรียกว่า Z- count ซึ่งจะเปลี่ยนไปทุก ๆ 6 วินาที Z- count เป็นจำนวนที่แสดงจำนวนนับที่ละ 1.5 วินาที โดยเริ่มนับ 0 ตั้งแต่เที่ยงคืนของวันเสาร์เป็นต้นไปจนครบหนึ่งสัปดาห์ ( ตามระบบเวลาของจีพีเอส ) คำนับสูงสุดคือ 403,200 (  $403,200 * 1.5 = 604,800$  วินาที = 168 ชั่วโมง = 7 วัน ) ค่านี้จะถูกนำไปใช้คำนวณหาและแทร็คตาม P- code ตัวเลขอีกตัว

หนึ่งใน HOW จะถูกนำมาคูณ 4 เพื่อหาจุดเริ่มต้นของเฟรมย่อยถัดไป นอกจากนี้ HOW ยังมีหมายเลขแต่ละเฟรมย่อยเก็บอยู่ รวมถึงแฟล็กแสดงสถานะต่าง ๆ

เฟรมย่อยที่ 1 ประกอบด้วย สัมประสิทธิ์ในการแก้ค่าเวลาที่ผิดพลาด อายุของข้อมูลและแฟล็กต่าง ๆ

เฟรมย่อยที่ 2 และ 3 ประกอบด้วยข้อมูลที่แสดงถึงวงโคจรของดาวเทียม (ephemeris)



รูปที่ 5.6 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อย

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

เฟรมย่อยที่ 5 แสดงรายละเอียดคร่าว ๆ ของตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวง โดยอาศัยสัญญาณนี้จะทำให้เครื่องรับเองทราบว่ามีความถี่ของดาวเทียมดวงใดบ้างที่มองเห็น เมื่อแทร็กได้ดวงใดดวงหนึ่งแล้ว การแทร็กดวงอื่น ๆ จะทำได้ง่ายขึ้น

## บทที่ 6

### การหาตำแหน่งและเวลาจากจีพีเอส

ในหัวข้อนี้จะแยกรหัสต่าง ๆ ในเครื่องรับให้ชัดเจนมากขึ้น

#### 6.1 การแยกรหัสในเครื่องรับ ( Code Phase Tracking )

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

ตัวสร้างรหัส C/A ภายในเครื่องรับจีพีเอสจะสร้างรหัส C/A ที่แตกต่างกันออกไปโดยอาศัยการเลือกแท็ป รีจิสเตอร์เลื่อนบิตจะทำการเลื่อนบิตออกมาตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมอยู่ รหัส C/A ที่กำหนดในปัจจุบันเป็นดังรูป 8.1 จะเห็นว่าคาบเต็มแต่ละดวงจะมีรหัส C/A เฉพาะตัวไม่ซ้ำกัน

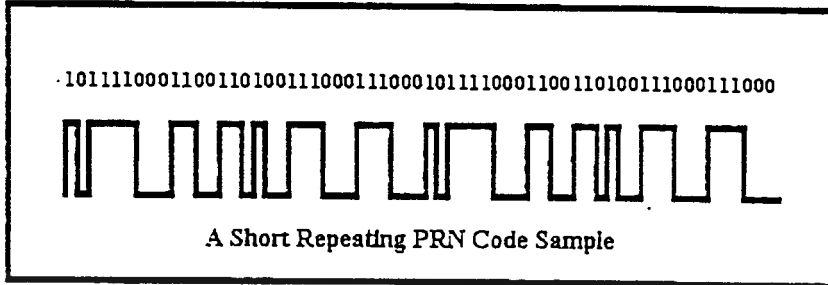
GPS C/A Code Assignments

SV PRN ID	G2 Phase Taps	First 10 Chips
1	2 & 6	1100100000
2	3 & 7	1110010000
3	4 & 8	1111001000
4	5 & 9	1111100100
5	1 & 9	1001011011
6	2 & 10	1100101101
7	1 & 8	1001011001
8	2 & 9	1100101100
9	3 & 10	1110010110
10	2 & 3	1101000100
11	3 & 4	1110100010
12	5 & 6	1111101000
13	6 & 7	1111110100
14	7 & 8	1111111010
15	8 & 9	1111111101
16	9 & 10	1111111110
17	1 & 4	1001101110
18	2 & 5	1100110111
19	3 & 6	1110011011
20	4 & 7	1111001101
21	5 & 8	1111100110
22	6 & 9	1111110011
23	1 & 3	1000110011
24	4 & 6	1111000110
25	5 & 7	1111100011
26	6 & 8	1111110001
27	7 & 9	1111111000
28	8 & 10	1111111100
29	1 & 6	1001010111
30	2 & 7	1100101011
31	3 & 8	1110010101
32	4 & 9	1111001010

รูปที่ 6.1 แสดงการกำหนดรหัส C/A

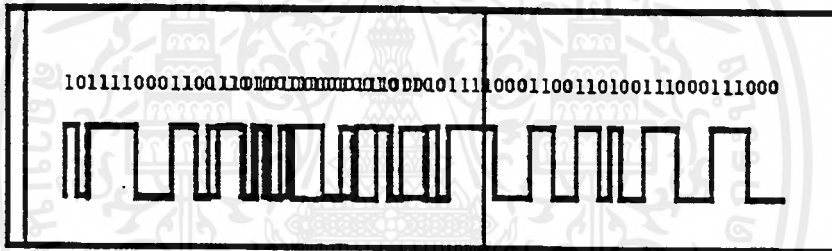
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับจีพีเอสจะเลื่อนรหัสที่สร้างขึ้นจากตัวสร้างรหัสไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งจับคู่กับรหัสที่ได้จากดาวเทียมได้พอดี สมมุติว่ารหัสที่เข้ามาเป็นดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แสดงรหัส PRN บางส่วน

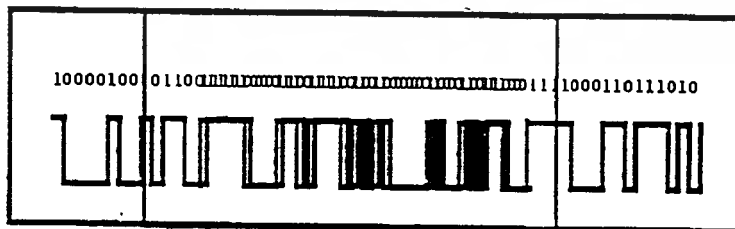
ในกรณีที่มีการจับคู่แล้วถ้ารหัสระหว่าง PRN ที่สร้างขึ้นแตกต่างกับที่ได้จากดาวเทียม ผลที่ได้จะเข้าคู่กันไม่ได้ดังรูปที่ 6.3



No Correlation with a Different PRN Code

รูปที่ 6.3 แสดงการไม่สัมพันธ์กันของรหัส PRN ที่สร้างขึ้นกับที่ได้จากดาวเทียม

เมื่อเครื่องรับสร้างรหัสได้บางส่วนที่คล้ายกับที่ได้จากดาวเทียม จะเห็นว่ารหัสเริ่มเหมือนกันมากขึ้น ทำให้สามารถเห็นความชัดเจนของสัญญาณได้บ้าง ดังรูปที่ 6.4

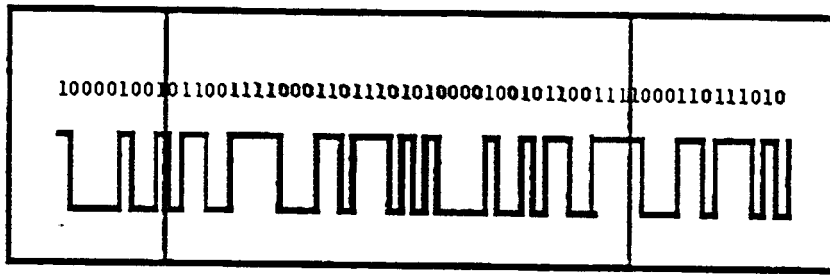


Partial Correlation of Identical Receiver and Satellite PRN Codes

รูปที่ 6.4 แสดงรหัสบางส่วนที่เข้ากันได้

และเมื่อรหัสเหมือนกันทุกส่วน ทำให้เครื่องรับทราบได้ว่ากำลังรับข้อมูลจากดาวเทียมดวง

ใด

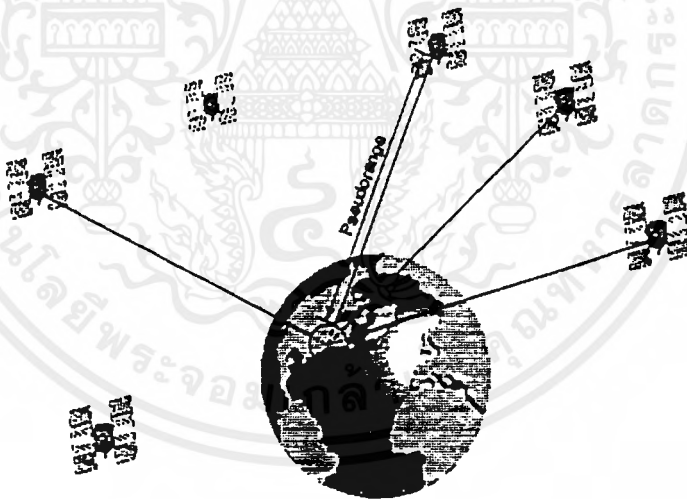


Full Correlation (Code-Phase Lock) of Receiver and Satellite PRN Codes

รูปที่ 6.5 แสดงความเข้ากันได้ทั้ง PRN

## 6.2 การนำร่องโดยใช้การวัดระยะทางแบบซูด ( Pseudo - Range Navigation )

ระยะทางแบบซูด หมายถึง ระยะทางจากสายอากาศของเครื่องรับไปยังดาวเทียม เป็นการวัดที่ได้จากการคำนวณเอาจากเวลาที่สัญญาณเดินทางจากดาวเทียมมาถึงสายอากาศแล้วคูณด้วยความเร็วแสง ดังนั้นระยะทางที่ได้จะเป็นการรวมเอาค่าต่าง ๆ อันได้แก่ ค่าที่ใช้ไบอัส ค่าที่ไม่ทราบค่าแน่นอน เช่น การหน่วงเวลาของชั้นบรรยากาศ เป็นต้น เอาไว้ด้วย ตัวอย่างระยะทางแบบซูดคือ รูปที่ 6.6

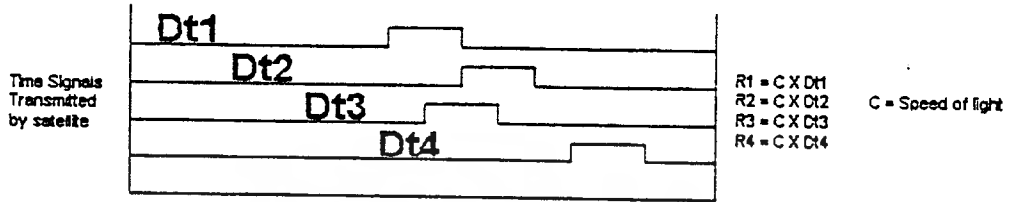


รูปที่ 6.6 แสดงระยะทางแบบซูด

ในการคำนวณหาระยะทางซูด ตัวเครื่องรับจะทำการเปรียบเทียบจากรหัส PRN ที่ได้จากดาวเทียมกับรหัส PRN ที่สร้างขึ้นภายในตัวเครื่องรับว่ามีเวลาต่างกันอยู่เท่าใด ( Time of arrival , TOA ) ซึ่งจะเป็นเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับ เมื่อคูณค่านี้ด้วยความเร็วแสงจะได้ระยะทางออกมา ระยะทางที่คำนวณได้นี้เป็นผลรวมระหว่าง ระยะทางจากสายอากาศของดาวเทียม

จีทีเอสมาถึงเครื่องรับ , การไบอัสเวลาที่ดาวเทียม , การไบอัสเวลาที่เครื่องรับของผู้ใช้ , การหน่วงเวลาเนื่องจากผลของชั้นบรรยากาศไอโอทอสเฟียร์และ สัญญาณรบกวนของเครื่องรับ

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



**PSEUDORANGES**

$R1 = C \times Dt1$   
 $R2 = C \times Dt2$   
 $R3 = C \times Dt3$   
 $R4 = C \times Dt4$

$Ri = \text{PSEUDORANGE}(i = 1,2,3,4)$

- PSEUDORANGE INCLUDES ACTUAL DISTANCE BETWEEN SATELLITE AND USER PLUS SATELLITE CLOCK BIAS, USER CLOCK BIAS, ATMOSPHERIC DELAYS AND RECEIVER NOISE.
- SATELLITE CLOCK BIAS AND ATMOSPHERIC DELAYS ARE COMPENSATED FOR BY INCORPORATION OF DETERMINISTIC CORRECTIONS BEFORE INCLUSION INTO NAV SOLUTION

**POSITION EQUATIONS:**

$(X1 - Ux)^2 + (Y1 - Uy)^2 + (Z1 - Uz)^2 = (R1 - Cb)^2$   
 $(X2 - Ux)^2 + (Y2 - Uy)^2 + (Z2 - Uz)^2 = (R2 - Cb)^2$   
 $(X3 - Ux)^2 + (Y3 - Uy)^2 + (Z3 - Uz)^2 = (R3 - Cb)^2$   
 $(X4 - Ux)^2 + (Y4 - Uy)^2 + (Z4 - Uz)^2 = (R4 - Cb)^2$

$Xi, Yi, Zi = \text{SATELLITE POSITION } (i=1,2,3,4)$

- SATELLITE POSITION BROADCAST IN NAVIGATION 50 Hz MESSAGE.

**RECEIVER SOLVES FOR:**

- $Ux, Uy, Uz = \text{USER POSITION}$
- $Cb = \text{USER CLOCK BIAS}$

รูปที่ 6.7 แสดงสมการคำนวณระยะทางแบบซูโด

## ตัวอย่างการหาค่าของ Pseudo-range navigation เป็นดังรูปที่ 6.8

GPS Pseudorange Navigation Example - Peter H. Dana - 5/28/95

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

SV<sub>x0</sub> := 15524471.175 SV<sub>y0</sub> := -16649826.222 SV<sub>z0</sub> := 13512272.387 SV 15  
 SV<sub>x1</sub> := -2304058.534 SV<sub>y1</sub> := -23287906.465 SV<sub>z1</sub> := 11917038.105 SV 27  
 SV<sub>x2</sub> := 16680243.357 SV<sub>y2</sub> := -3069625.561 SV<sub>z2</sub> := 20378551.047 SV 31  
 SV<sub>x3</sub> := 14799931.395 SV<sub>y3</sub> := 21425358.24 SV<sub>z3</sub> := -6069947.224 SV 7

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

P<sub>0</sub> := 89491.728 P<sub>1</sub> := 133930.337 P<sub>2</sub> := 283098.653 P<sub>3</sub> := 34454.421 Range + Receiver Clock Bias

Receiver Position Estimate in ECEF XYZ

R<sub>x</sub> := -730000 R<sub>y</sub> := -5440000 R<sub>z</sub> := 3230000

For Each of 4 SVs i := 0..3

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

$$R_i := \sqrt{(SVx_i - R_x)^2 + (SVy_i - R_y)^2 + (SVz_i - R_z)^2} \quad L_i := \text{mod}[(R_i), 299792.458] - P_i$$

Compute Directional Derivatives for XYZ and Time

$$Dx_i := \frac{SVx_i - R_x}{R_i} \quad Dy_i := \frac{SVy_i - R_y}{R_i} \quad Dz_i := \frac{SVz_i - R_z}{R_i} \quad Dt_i := -1$$

Solve for Correction to Receiver Position Estimate

$$A := \begin{bmatrix} Dx_0 & Dy_0 & Dz_0 & Dt_0 \\ Dx_1 & Dy_1 & Dz_1 & Dt_1 \\ Dx_2 & Dy_2 & Dz_2 & Dt_2 \\ Dx_3 & Dy_3 & Dz_3 & Dt_3 \end{bmatrix} \quad dR := (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \quad dR = \begin{bmatrix} -3186.359 \\ -3791.978 \\ 1192.817 \\ 12345.66 \end{bmatrix}$$

Apply Corrections to Receiver XYZ and Compute Receiver Clock Bias Estimate

$$\begin{aligned} R_x &:= R_x + dR_0 & R_y &:= R_y + dR_1 & R_z &:= R_z + dR_2 & \text{Time} &:= dR_3 \\ R_x &= -733186.359 & R_y &= -5443791.978 & R_z &= 3231192.817 & \text{Time} &= 12345.66 \end{aligned}$$

รูปที่ 6.8

จากตัวอย่างข้างต้นได้คำตอบเป็นพิกัด XYZ ซึ่งสามารถแปลงเป็นพิกัด ละติจูด ลองจิจูด และความสูงได้จากสมการดังรูปที่ 6.9

### Coordinate Conversion

Cartesian (ECEF X, Y, Z) and Geodetic (Latitude, Longitude, and Height)

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

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

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

where:

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

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

and:

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

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

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

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

$$e^2 = 2f - f^2$$

Direct solution for X,Y,Z from Latitude, Longitude, and Height

Iterative Solution for Latitude, Longitude, and Height from X, Y, Z

Peter H. Dana 8/27/94

รูปที่ 6.9 แสดงการเปลี่ยนจากพิกัด ECEF XYZ พิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinate)

## บทที่ 7

### มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้นทำให้เราทราบว่าจีพีเอสมีหลักการอย่างไรบ้างในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส ,ทราบว่าผลที่ได้จากการประมวลผลนั้นแสดงออกมาในรูป ละติจูด ลองจิจูด ความสูง เวลา ฯลฯ

โครงการการประยุกต์ใช้งานจีพีเอสนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการทำโครงการงานจากการศึกษาพบว่าเครื่องรับจีพีเอสบางรุ่นนั้นสามารถที่จะนำข้อมูลต่าง ๆ คิดต่อระหว่างเครื่องรับด้วยกันและยังสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลเองหรือประยุกต์เข้ากับโปรแกรมเฉพาะเพื่อใช้งานในด้านอื่น ๆ นอกจากการแสดงผลค่าละติจูด ลองจิจูด ความสูง เพียงอย่างเดียวเช่น การทำ Car Navigation , การหาความเร็วและความเร่งจากการใช้ข้อมูลของเครื่องรับจีพีเอส , การทำแผนที่ เป็นต้น

แต่การที่จะติดต่อกันระหว่างเครื่องรับจีพีเอสกับคอมพิวเตอร์ได้นั้น ทั้งเครื่องรับจีพีเอสและคอมพิวเตอร์นั้นต้องพูดภาษาเดียวกัน เข้าใจภาษาที่ใช้ติดต่อกันจึงสามารถติดต่อกันได้ ถ้าไม่เข้าใจก็ไม่สามารถติดต่อกันได้

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาภาษามาตรฐานสำหรับการติดต่อสื่อสารในระบบการนำร่อง ผลที่ได้คือ NMEA 0180 โดย NMEA ย่อมาจาก National Marine Electronics Association เป็นหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานนี้ขึ้น NMEA 0180 ได้กำหนดรูปแบบในการส่งข้อมูลละติจูด ลองจิจูด กำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลและข้อมูลอื่น ๆ ในการนำร่อง ต่อมาได้มีการแก้ไข NMEA 0180 ใหม่ ให้มีประโยชน์และใช้ได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น นั่นคือมาตรฐาน NMEA 0183 ที่ใช้ได้กับอุปกรณ์ทั้งหมดในปัจจุบันนี้

มาตรฐาน NMEA 0183 เป็นชื่อเรียกสำหรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลในรูปแบบ “ประโยค” ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบซึ่งจะถึงกล่าวต่อไป

พารามิเตอร์ของ NMEA 0183

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

ภาษาของ NMEA 0183 ถึงแม้จะมีมากแต่ก็ไม่ยากที่จะเข้าใจ โดยแต่ละประโยคจะเริ่มต้นด้วย “\$” และสิ้นสุดด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่ <CR><LF> ในแต่ละประโยคมีความยาวได้มากที่สุด 80 ตัวอักษร ระหว่างเริ่มต้นและสิ้นสุดของประโยคเป็นข้อมูล (field of data) แต่ละข้อมูลจะถูกแยกจากกันด้วยเครื่องหมาย “,”

ข้อมูลชุดแรกของทุก ๆ ประโยค (field 0) เริ่มต้นด้วย 2 ตัวอักษรที่แสดงถึงอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลมา (talker) ตามด้วย 3 ตัวอักษรที่แสดงว่าใช้รูปแบบประโยคใดและตามด้วยข้อมูลที่ต่างกันไปตามรูปแบบประโยค

ตัวอย่างของ 2 ตัวอักษรที่แสดงถึง อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลมา

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

### 7.1 รูปแบบประโยคมาตรฐานพอสั่งเขป

GLL - Geographic Position , latitude / Longitude

แสดงตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด และ เวลา

\$-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 )

## GGA - Global Positioning System Fix Data

แสดงเวลา ตำแหน่งและข้อมูลคงที่ต่าง ๆ สำหรับเครื่องรับจีพีเอส

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

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC (UTC of position)

lll.ll = ตำแหน่งละติจูด (Latitude of position)

a = N or S

yyy.yy = ตำแหน่งลองจิจูด (Longitude of position)

b = E or W

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

xx = จำนวนของดาวเทียมที่ใช้

x.x = ความเที่ยงตรงในแนวนอน (horizontal dilution of precision)

x.x = ระยะความสูงของสายอากาศเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

M = หน่วยของความสูงของสายอากาศ , เมตร

x.x = Geoidal separation

M = หน่วยของ Geoidal separation , เมตร

x.x = อายุของข้อมูลคิฟเฟอร์เรนเชี่ยลจีพีเอส , วินาที

xxxx = แอดเดรสของคิฟเฟอร์เรนเชี่ยลจีพีเอส

## STN - Multiple Data ID

ประโยคนี้จะถูกส่งก่อนประโยคอื่น ๆ ที่เครื่องรับต้องการเพื่อกำหนดแหล่งที่ถูกต้องของข้อมูลในระบบ

\$-STN , xx

xx = เลขแอดเดรสของเครื่องที่ส่งข้อมูลมา

**TRF - TRANSIT Fix Data**

แสดงเวลา , วัน , ตำแหน่ง และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินทาง

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

hhhmss.ss = ตำแหน่งของ UTC ( UTC of position )

xxxxxx = Date : dd/mm/yy

lll.ll = 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 = จำนวนของการซ้ำ ( Number of iterations )

x.x = Number of Doppler intervals

x.x = ระยะทางที่ทันสมัย ( Update distance )

x.x = แอคเคอเรสของดาวเทียม

**VRW- Dual Ground / water speed**

แสดงข้อมูลความเร็วของคลื่นและความเร็วพื้นฐาน

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

x.x = Longitudinal water speed , knots

x.x = Transvers water speed , knots

A = Status : Water speed

x.x = Longitudinal ground speed , knots

x.x = Transverse ground speed , knots

A = Status : ground speed

**ZDA - Time & Date**

แสดงเวลา UTC , วัน , เดือน , ปี และเวลาที่ท้องถิ่นในแต่ละเขต

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

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC ( UTC of position )

xx = วัน , 01 ถึง 31

xx = เดือน , 01 ถึง 12

xxxx = ปี

xx = เวลาเขตท้องถิ่น ,00 ถึง +/- 13 ชั่วโมง

xx = เวลาเขตท้องถิ่น ,นาทีก

**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 , degres Magnetic

x.x ,N = Speed , knots

x.x ,K = Speed , Km / hr

รูปแบบของประโยคที่ได้กล่าวมานี้เป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้มีเพียง GGA , GLL , ZDA เป็นต้น ในเครื่องรับแต่ละยี่ห้อ แต่ละรุ่น ก็มีอาทิพหุเป็นรูปแบบประโยคที่แตกต่างกันออกไปซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

## ตัวอย่างรูปแบบประโยคของ NMEA 0183

field #: 0 1 2 3 4

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

ประโยคจะเริ่มต้นด้วย \$ ตามด้วย 2 ตัวอักษรที่แสดงถึงเครื่องที่ส่งข้อมูลในที่นี้คือ จีพีเอส ( GP ) และตามด้วยรหัสรูปแบบของประโยค GLL ที่แสดงตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด

ใน Field 1 แสดงละติจูด

Field 2 แสดงว่าเหนือหรือใต้

Field 3 แสดงลองจิจูด

Field 4 แสดงว่าตะวันออกหรือตะวันตก

จากตัวอย่างสามารถอ่านได้ว่า “ จีพีเอสแสดงตำแหน่งในละติจูด / ลองจิจูด : 40 องศา 1.74 ลิปดาเหนือ , 74 องศา 9.43 ลิปดา ตะวันตก ” 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
Garmin-45(XL) and Garmin GPS-II Plus	BOD,GGA,GLL,GSA,GSV, RMC,RMB,RTE,WPL
Garmin-12XL Ver 3.02	GGA,GSA,GSV,RMC, RMB,RTE,WPL
Lowrance Global Map Sport	APB,GGA,GLL,GSA,GSV, RMC
Magellan 4000	APA,GLL,BWC,GGA,APB,VTG

จากข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถทราบได้ว่าเครื่องรับที่มีอยู่นั้นให้เอาต์พุตอะไรบ้าง ทำให้สามารถเลือกประโยคให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในการติดต่อสื่อสาร

เมื่อมีเครื่องรับจีพีเอสอยู่แล้วต้องการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ต้องใช้สายอนุกรม RS-232 ในเครื่องรับบางรุ่น บางยี่ห้อ จะต้องใช้สายเฉพาะของเครื่องรับนั้น ๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากการออกแบบเครื่องรับที่แตกต่างกัน เรียกว่า สาย 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

## บทที่ 8

### แนวคิดและการออกแบบโปรแกรม (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) แผนที่ที่ใช้อาจแบ่งการทำงานได้เป็น 3 แบบ คือ

- ถูกยึดติด(Fixed)อยู่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วตัวชี้ตำแหน่ง(Pointer)ของผู้ใช้(User)หรือเครื่องรับ(Receiver)บนคอมพิวเตอร์จะต้องเคลื่อนที่ไปบนแผนที่
- สามารถที่จะเลื่อน(Slide)แผนที่ได้เองไปตามทิศทางใดก็ได้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของผู้ใช้(User)หรือเครื่องรับ(Receiver) โดยมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ ที่สำคัญตัวชี้ตำแหน่ง(Pointer)ต้องมีการยึด(Fixed)จุดที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนแผนที่
- ทั้งแผนที่และตัวชี้ตำแหน่งสามารถเลื่อนไปพร้อมๆกันได้

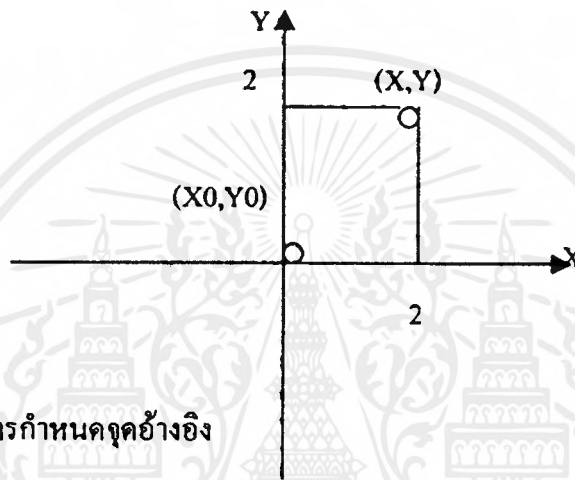
4) ในการใช้งานจริงตัวชี้ตำแหน่งจะต้องแสดงตำแหน่ง บนแผนที่ ณ จุดที่มีความถูกต้องมากที่สุดเท่าที่ความสามารถของเครื่องจะทำได้ โดยไม่ให้เกิดความผิดพลาดจากการเขียนโปรแกรมโดยเด็ดขาด

##### 8.1.2 แนวคิดในการออกแบบ

การออกแบบระบบนำร่องโดยการใช้ GPS นั้น สิ่งที่เราทราบในตอนแรกก็คือ ค่าพิกัดของตำแหน่ง ณ จุดที่เครื่องรับ GPS อยู่ โดยจะถูกแสดงออกมาในรูปของค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดในหน่วย องศาลิปดา เท่านั้น ซึ่งไม่สามารถทราบได้เลยว่าอยู่ ณ ตำแหน่งใดของแผนที่ภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นตำแหน่งจริงๆที่อยู่บนโลก ดังนั้นการที่เราจะรู้ได้และแสดงถึงตำแหน่ง ณ จุดนั้นบนแผนที่ภูมิศาสตร์ เราจึงต้องมีการออกแบบ โปรแกรมที่เหมาะสมและสามารถทำงานร่วมกับเครื่องรับ GPS ที่มีอยู่ได้เพื่อให้เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด สิ่งหนึ่งที่เราต้องกระทำคือการเขียนโปรแกรมให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจกระบวนการคิดของผู้ออกแบบและสามารถปฏิบัติตามได้ แต่มีบางสิ่งที่คอมพิวเตอร์ไม่สามารถเข้าใจการอ่านค่าของแผนที่ได้โดยง่ายดังเช่นมนุษย์ ดังนั้นเราจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงบางสิ่งเพื่อให้คอมพิวเตอร์เข้าใจ คือการเปลี่ยนแปลงหน่วยอ้างอิงทางภูมิศาสตร์คือ องศา/ลิปดา ไปเป็นหน่วยที่คอมพิวเตอร์สามารถจะเข้าใจในตัวเองได้คือหน่วย Pixel ซึ่งจะได้อีกกล่าวต่อไป

## หลักการคิด

1. ตั้งแรกเมื่อเรามีจุดอยู่หนึ่งจุดที่เรารู้ค่าพิกัดละติจูด/ลองจิจูด แต่เราจะรู้ได้อย่างไรว่าอยู่ตรงไหน เทียบกับสิ่งใด ตัวอย่างเช่น เราไปยืนอยู่ที่ตึกโบสถ์แล้วเราถามตัวเองว่าตึกนี้อยู่ที่ไหน ถ้าเรารู้เรา จะตอบตัวเองได้ว่าก็อยู่ที่ประตูน้ำไง และเมื่อเราถามต่อไปว่าแล้วประตูน้ำล่ะอยู่ที่ไหน ถ้าเรารู้เราจะตอบได้อีกว่า ก็อยู่ในกรุงเทพฯ ใจ เช่นเดียวกันคือถ้าเราถามต่อไปอีกว่า แล้วกรุงเทพฯ อยู่ที่ไหน ถ้าเรารู้เราก็จะตอบได้อีกว่าก็อยู่ในประเทศไทยยังงั้นละ อย่างนี้เราจะเห็นได้ว่าการที่จะพูดถึงจุดใดจุดหนึ่งบนโลก(หรือแผนที่) เราจะต้องมีการอ้างอิงถึงจุดใดจุดหนึ่งอย่างน้อย 1 จุดเพื่อใช้เป็นจุดเทียบกับจุดที่เราต้องการจะรู้เพื่อเป็นการลดมุมมองให้แคบลง ดังรูป

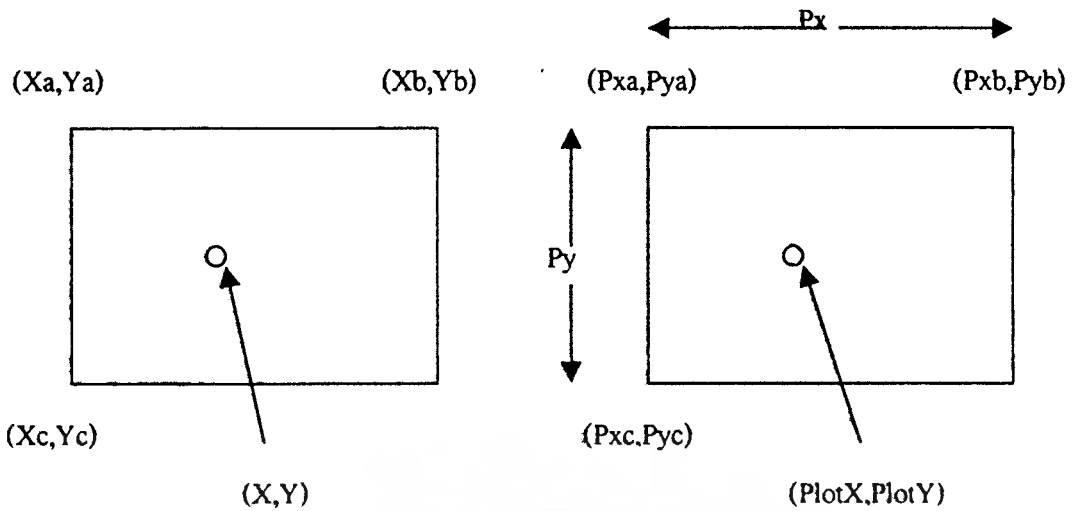


รูปที่ 8.1 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิง

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

2. อย่างที่ได้กล่าวไปในตอนต้นแล้วว่าคอมพิวเตอร์ไม่สามารถจะรับรู้และปฏิบัติตามคำสั่งได้โดยตรงเมื่อมีการรับข้อมูลในรูปของค่าพิกัดลองจิจูด/ละติจูด ในหน่วย องศา/ลิปดา ดังตัวอย่างเช่น เราตั้งให้คน 2 คนไปวัดระยะทางเส้นเดียวกัน โดยคนแรกบอกว่าวัดได้ 1600 เมตร ส่วนคนที่สองวัดได้ 0.9944 ไมล์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งสองคนวัดระยะทางได้ถูกต้องเหมือนกันแต่หน่วยที่ได้นั้นก็แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความถนัดของแต่ละคน คอมพิวเตอร์กับมนุษย์ก็เช่นเดียวกันที่สามารถเข้าใจหน่วยการวัดได้แตกต่างกัน ดังนั้นเราจึงจะต้องมีการเปลี่ยนหน่วยเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและปฏิบัติตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบ เพื่อที่จะแสดงถึงตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องรับ GPS อยู่ บนแผนที่ซึ่งถูกเก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์ มีหลักดังนี้คือ

2.1 เริ่มจากการกำหนดจุดตรึง(Fixed point)ขึ้นมา 3 จุด เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิง ซึ่งแต่ละจุดใน 3 จุดนี้จะตั้งที่อยู่บนโลกจริงๆซึ่งถูกระบุในหน่วย องศา/ลิปดา กับจุดที่อยู่บนแผนที่ซึ่งถูกเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์แล้วซึ่งถูกระบุในหน่วย Pixel ดังรูป



รูปที่ 8.2 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนพื้นโลก

รูปที่ 8.3 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนแผนที่ในคอมพิวเตอร์

เมื่อกำหนดให้

$X_a, Y_a$  คือ ค่าLongitude และ Latitude ที่จุดอ้างอิง A  
 $X_b, Y_b$  คือ ค่าLongitude และ Latitude ที่จุดอ้างอิง B  
 $X_c, Y_c$  คือ ค่าLongitude และ Latitude ที่จุดอ้างอิง C  
 $X, Y$  คือ ค่าLongitude และ Latitude ณ ตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องรับอยู่

$P_{xa}, P_{ya}$  คือ ค่าของ Pixel ในแนวแกน X และ Y ที่จุดอ้างอิง A

$P_{xb}, P_{yb}$  คือ ค่าของ Pixel ในแนวแกน X และ Y ที่จุดอ้างอิง B

$P_{xc}, P_{yc}$  คือ ค่าของ Pixel ในแนวแกน X และ Y ที่จุดอ้างอิง C

$PlotX, PlotY$  คือ ค่าของ Pixel ในแนวแกน X และ Y ณ ตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องรับอยู่

2.2 สมการที่ใช้ในการแปลงหน่วยของพิกัด จากค่าองศา/ลิปดา ไปเป็นค่า Pixel มีดังนี้ คือ

$P_x = |P_{xb} - P_{xa}|$  ; ผลต่างของค่า Pixel ระหว่างจุด A และจุด B

$P_y = |P_{ya} - P_{yc}|$  ; ผลต่างของค่า Pixel ระหว่างจุด A และจุด C

$Plot X = P_{xa} + (X - X_a) * P_x / |X_a - X_b|$

$Plot Y = P_{ya} + (Y_a - Y) * P_y / |Y_a - Y_c|$

เมื่อ Plot X และ Plot Y คือค่าพิกัดตำแหน่งที่จะต้องนำไป Plot ลงบนแผนที่บนคอมพิวเตอร์

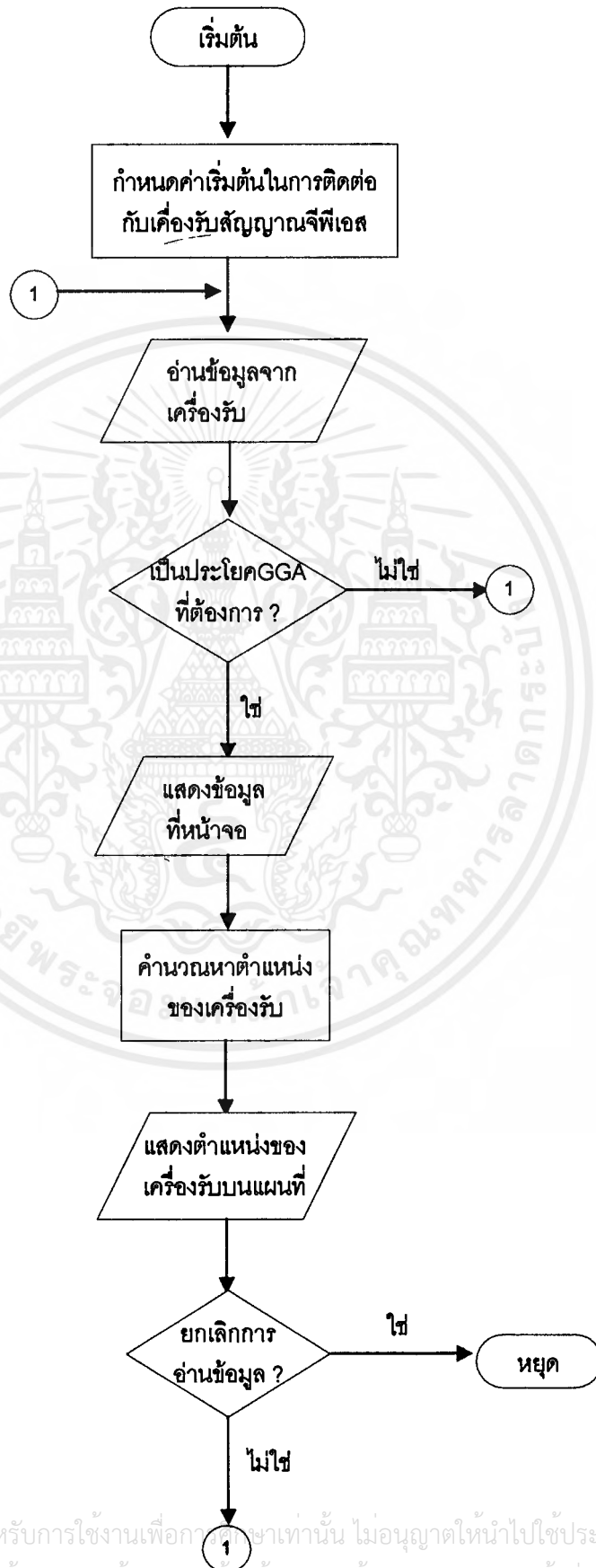
## 8.2 การออกแบบโปรแกรม

ในการออกแบบโปรแกรมประยุกต์สักโปรแกรมหนึ่งเพื่อใช้สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงาน ตามกระบวนการที่กำหนดเพื่อให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบที่เราต้องการนั้น อย่างหนึ่งก็คือเลือกโปรแกรมภาษาที่ใช้ให้เหมาะสมกับงานที่เราจะสร้างขึ้น ในที่นี้เราจะใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก 5 (Visual Basic 5) ซึ่งมีข้อดีคือ

1. สามารถสร้างโปรแกรมได้บนวินโดวส์(Windows) ซึ่งไม่เหมือนกับโปรแกรมเก่าๆ ที่ต้องสร้างบนดอส(Dos)
2. การออกแบบโปรแกรมจะอยู่ในลักษณะ Visualize ซึ่งใช้ในการกำหนดตำแหน่งของ Object ลงบนจอภาพเพื่อติดต่อกับผู้ใช้โดยตรง โดยที่ Object เหล่านี้สามารถที่จะเปลี่ยนไปตามเหตุการณ์(Event) ต่างๆ ที่เกิดขึ้น
3. มีเครื่องมือ(Tool)ให้เลือกใช้มากมาย
4. เป็นภาษาที่มีความง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน รวมทั้งมีขั้นตอนน้อย เพียงแต่เลือก Form และ Control ที่เหมาะสม ดังนั้นจึงสามารถที่จะพัฒนาต่อไปโดยผู้ใช้ที่ต้องการจะเพิ่มเติม option

## 8.3 โปรแกรมการทำงาน(Software)

### 8.3.1 แผนภาพการทำงาน(Flow Chart)



### 8.3.2 ส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรม

1) การกำหนดค่าเริ่มต้นในการติดต่อกับเครื่องรับ ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย

- ตัวแปรเริ่มต้น ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการรับข้อมูลเข้ามาจากเครื่องรับ GPS เพื่อรอที่จะนำค่าที่ได้นี้ไปทำการประมวลผลอีกทีหนึ่ง ในขั้นตอนการแสดงผลที่อยู่ในรูปของค่าที่กักตอไป ซึ่งจะมีการเขียนโปรแกรมดังนี้

Dim Data As String

Dim Time As String

Dim lat As String

Dim a As String

Dim lon As String

Dim b As String

Dim G(5) As String

- ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าแห่ง ในส่วนนี้จะเป็นการกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่จะถูกใช้ในการรับค่าซึ่งจะถูกใช้ในการประมวลผลเพื่อหาค่าของจุดชี้ตำแหน่งที่จะต้องพล็อตลงบนแผนที่ มีการเขียนโปรแกรมดังนี้

Dim lon\_length As Single 'length of longitude

Dim la\_length As Single 'length of latitude

Dim X As Single 'longitude from GPS (present position)

Dim Y As Single 'latitude from GPS (present position)

'X,Y are longitude and latitude

Dim Xa, Ya As Single 'reference point a

Dim Xb, Yb As Single 'reference point b

Dim Xc, Yc As Single 'reference point c

'P is pixel

Dim Px, Py As Single 'different pixel between point a and b , a and c

Dim Plotx, Ploty As Single 'pixel that plot to map

Dim Pxa, Pya As Single 'reference pixel at point a

Dim Pxb, Pyb As Single 'reference pixel at point b

Dim Pxc, Pyc As Single 'reference pixel at point c

- ค่าเริ่มต้นต่างๆ ของตำแหน่งอ้างอิง ในส่วนนี้จะเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของ จุดครึ่ง 3 จุด ซึ่งเป็นค่าเทียบเท่าของกันและกัน โดยที่ค่าหนึ่งจะถูกวัดจริงๆ ณ ตำแหน่งหนึ่งบนโลกจะถูกกำหนดในค่าพิกัดและอีกค่าหนึ่งจะถูกวัด ณ จุดเดียวกันแต่จะเป็นการวัดบนแผนที่ถูก mapped ลงบนคอมพิวเตอร์แล้วจะถูกกำหนดในค่าพิกเซล(Pixel) ค่าเหล่านี้มีความสำคัญมากเพราะไม่เช่นนั้นจะมีผลต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้เพราะค่าเหล่านี้จะถูกใช้ในการคำนวณ เพื่อหาตำแหน่งที่จะพล็อตลงบนแผนที่ มีการเขียนโปรแกรมดังนี้

' Initial reference

Xa = 10046.29

Ya = 1343.367

Pxa = 39

Pyx = 226

Xb = 10046.683

Yb = 1343.367

Pxb = 430

Pyb = 230

Xc = 10046.29

Yc = 1343.18

Pxc = 39

Pyc = 445

2) ส่วนของคำสั่งที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจากเครื่องรับพร้อมทั้งตรวจสอบชนิดของ โปรโตคอลที่ส่ง

- โปรแกรมการรับค่าข้อมูลจากเครื่องรับ ในส่วนนี้จะเขียนโปรแกรมส่วนที่ถูกใช้ในการสั่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการรับค่าข้อมูลเข้ามา โดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลค่าหนึ่ง และค่าที่รับเข้ามานี้จะถูกอ่านทุกๆรูปแบบและตรวจสอบ(check) ว่าเป็นรูปแบบเดียวกับที่เราต้องการหรือไม่ ถ้าใช่ค่าเหล่านี้จะถูกอ่านและเก็บเอาไว้ในตัวแปรที่เราได้กำหนดไว้ก่อนหน้า ถ้าไม่ใช่ก็จะอ่านข้ามไป ซึ่งมีโปรแกรมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Do
MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.Settings = "4800,N,8,1"
MSComm1.PortOpen = True

Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
Text3.Text = ""
Text4.Text = ""
Text5.Text = ""
Text6.Text = ""
MSComm1.InputLen = 1
Do
Data = MSComm1.Input
Loop Until Data = "$"
Text1.Text = Text1.Text + Data
'start received input for check GPGGA
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 <> "GPGGA"
G(1) = G(2)
G(2) = G(3)
G(3) = G(4)
G(4) = G(5)
G(5) = MSComm1.Input
Data= G(1) + G(2) + G(3) + G(4) + G(5)
Loop

```

- 3) โปรแกรมส่วนที่ใช้แสดงผลของข้อมูลที่ได้เป็นค่าพิกัดคือบอกค่าของละติจูด,ลองจิจูด และทิศ โปรแกรมในส่วนนี้จะเป็นการเขียน โปรแกรมเพื่อนำค่าของข้อมูลที่ได้รับเข้ามาแล้วนั้นออกไปแสดงผลบนฟอร์มของโปรแกรมในรูปของค่าพิกัดในแกนต่างๆ พร้อมทั้งบอกทิศด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text1.Text = Text1.Text + Data
```

```
Do
```

```
    Data = MSComm1.Input
```

```
Loop Until Data = ","
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Data
```

---

```
Do
```

```
    Time = MSComm1.Input
```

```
    If Time = "," Then Exit Do Else
```

```
        Text2.Text = Text2.Text + Time
```

```
Loop
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Text2.Text + ","
```

---

```
Do
```

```
    lat = MSComm1.Input
```

```
    If lat = "," Then Exit Do Else
```

```
        Text3.Text = Text3.Text + lat
```

```
Loop
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Text3.Text + ","
```

---

```
Do
```

```
    a = MSComm1.Input
```

```
    If a = "," Then Exit Do Else
```

```
        Text4.Text = Text4.Text + a
```

```
Loop
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Text4.Text + ","
```

---

```
Do
```

```
    lon = MSComm1.Input
```

```
If Ion = "," Then Exit Do Else
```

```
Text5.Text = Text5.Text + Ion
```

```
Loop
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Text5.Text + ","
```

```
Do
```

```
b = MSComm1.Input
```

```
If b = "\r" Then Exit Do Else
```

```
Text6.Text = Text6.Text + b
```

```
Loop
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Text6.Text + ","
```

```
Do
```

```
Data = MSComm1.Input
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Data
```

```
Loop Until Data = Chr(13)
```

4) โปรแกรมส่วนที่ใช้ในการแสดงตำแหน่งของผู้ใช้บนแผนที่ ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดัง

- โปรแกรมการคำนวณหาตำแหน่งที่จะพล็อต(Plot)
- โปรแกรมการพล็อตจุดชี้ตำแหน่ง(Pointer)ลงบนแผนที่
- โปรแกรมการกระพริบของจุดชี้ตำแหน่ง
- โปรแกรมการเรียกแผนที่ขึ้นมาบนหน้าจอ

ซึ่งมีการเขียนโปรแกรมดังนี้

```
' Plot Position
```

```
X = Text5.Text
```

```
Y = Text3.Text
```

```
Px = Pxb - Pxa
```

```
Py = Pyc - Pya
```

```
Plotx = Pxa + (((X - Xa) * Px) / Abs(Xb - Xa))
```

```
Ploty = Pya + (((Ya - Y) * Py) / Abs(Yc - Ya))
```

```
MSComm1.PortOpen = False
```

```
DoEvents
```

```
Loop Until out = Truc
```

```
End Sub
```

```
-----
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Plotx = 39
```

```
Ploty = 226
```

```
Timer1.Interval = 100
```

```
Picture1.Picture = LoadPicture("D:/project/kmitmap5.bmp")
```

```
Picture1.DrawWidth = 10 ' Set DrawWidth.
```

```
Picture1.DrawMode = 13 ' Set DrawMode.
```

```
Picture1.ScaleMode = 3
```

```
End Sub
```

```
-----
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
Picture1.Cls
```

```
If light Then
```

```
Picture1.PSet (Plotx, Ploty), QBColor(9)
```

```
light = False
```

```
Else
```

```
Picture1.PSet (Plotx, Ploty), QBColor(12)
```

```
light = Truc
```

```
End If
```

## บทที่ 9

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบพร้อมทั้ง อุปสรรคในการทำงานละแนวทางแก้ไข

#### 9.1 การทดสอบ

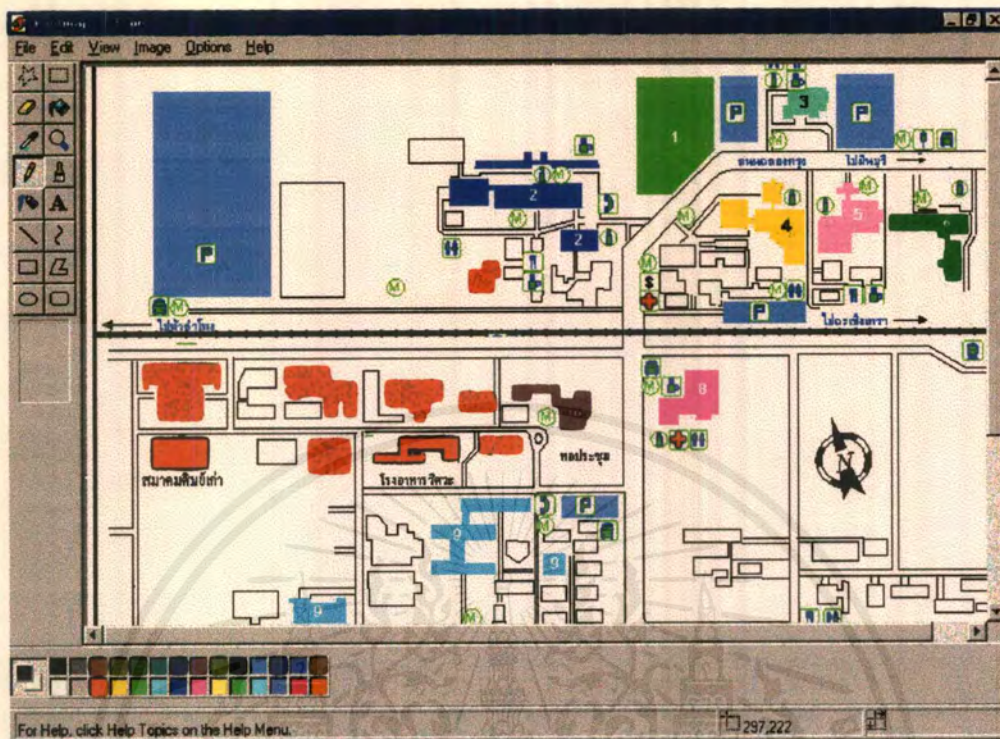
##### 9.1.1 เครื่องรับ GPS

##### ตารางที่ 9.1

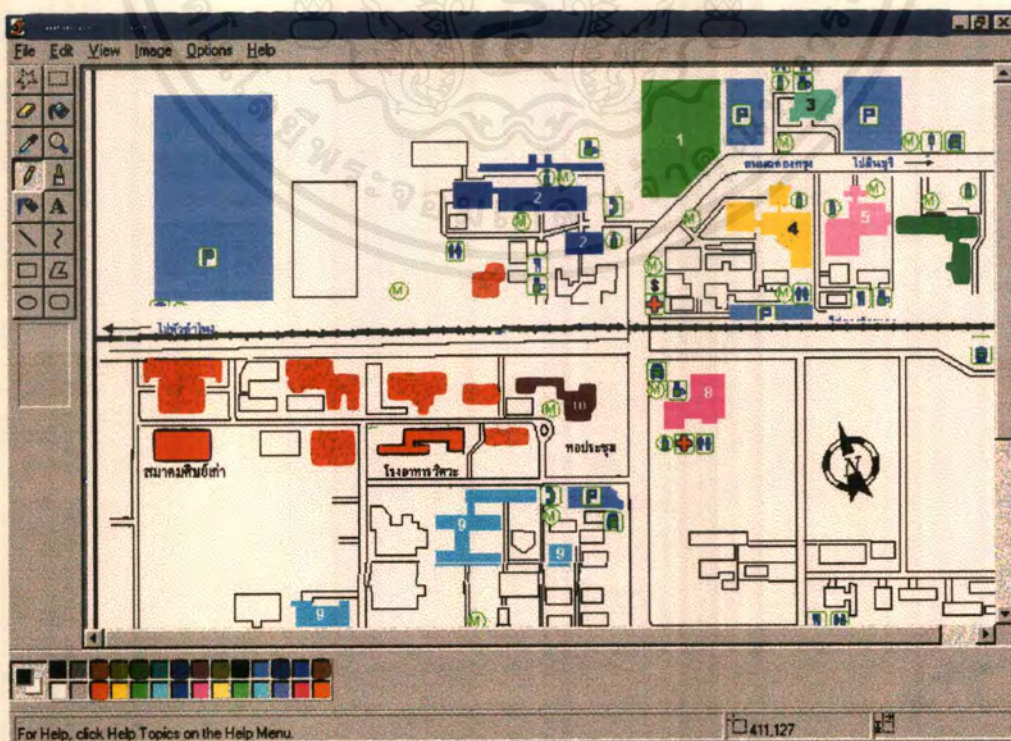
ครั้งที่	จุดอ้างอิง					
	Lat 13°43.XXX			Long 100°46.XXX		
	จุด A	จุด B	จุด C	จุด A	จุด B	จุด C
1	392	384	185	282	669	275
2	390	383	182	283	662	275
3	386	382	181	283	659	278
4	383	383	180	284	652	278
5	382	384	179	284	657	279
6	380	385	178	285	654	280
7	378	385	177	290	652	282
8	376	385	176	292	653	284
9	375	390	173	298	640	285
10	374	392	175	300	632	284
เฉลี่ย	381.6	385.3	178.7	287.7	654.9	279.5

## 9.1.2 เครื่องรับ GPS ทำงานร่วมกับ โปรแกรม

1) รูปที่ 1 แสดงภาพแผนที่ที่ใช้ก่อนที่จะแก้ไขให้เหมือนจริงมากยิ่งขึ้น

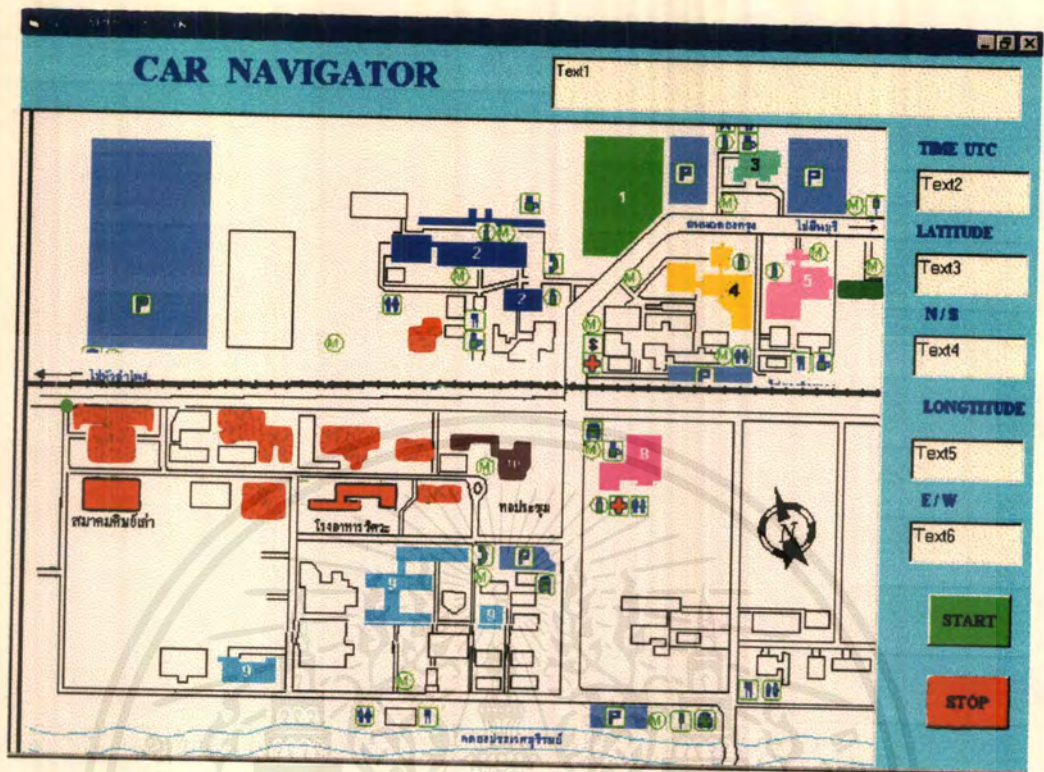


2) รูปที่ 2 แสดงภาพแผนที่ที่ใช้หลังจากทำการแก้ไขบางส่วนให้เหมือนจริงมากยิ่งขึ้น

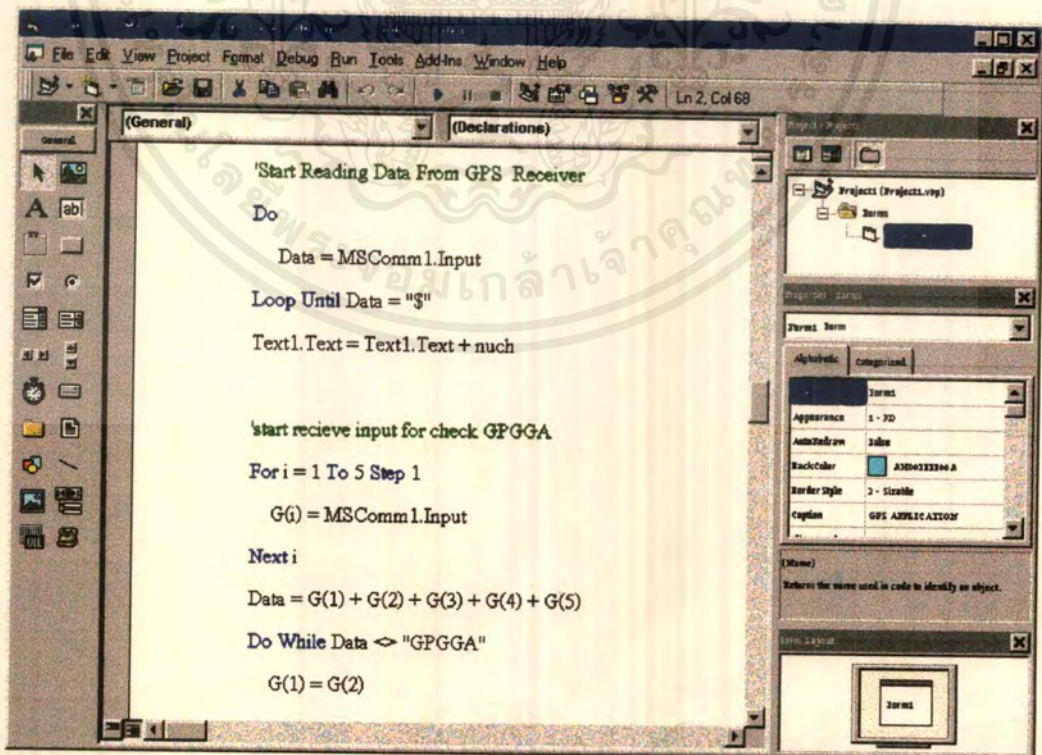


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) รูปที่ 3 ภาพแสดง รูปแบบ(Form) ของ โปรแกรมที่สร้างขึ้น



### 4) รูปที่ 4 ภาพแสดง Source Code ที่ใช้ใน โปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9.2 สรุปผลการทดสอบ

9.2.1 จากการศึกษาการทำงานของจีพีเอส ทำให้เราทราบว่าเอาท์พุทที่ได้จากจีพีเอสจะระบุตำแหน่งอยู่ในรูปของ ละติจูด ลองจิจูด ความสูงจากพื้นผิวโลก และเวลาขณะที่ทำการระบุตำแหน่ง ดังนั้นเราสามารถที่จะนำผลที่ได้ออกมาจากจีพีเอสไปสร้างเป็นระบบนำร่องสำหรับรถยนต์ (Car Navigator) เพื่อระบุตำแหน่งในปัจจุบันของจีพีเอสนี้ ในรูปของการแสดงตำแหน่งบนแผนที่ซึ่งเราเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ พร้อมกันนี้เรายังสามารถบันทึกเส้นทางในการเดินทางจากจุดเริ่มต้น ณ จุดที่เราต้องการจะบันทึกไปจนถึงจุดหมายปลายทางได้อีกด้วย ในทางตรงกันข้ามเราสามารถที่จะดึงเอาเส้นทางในการเดินทางที่เราบันทึกเอาไว้ออกมาดูได้เพื่อใช้ในการเดินทางย้อนกลับในเส้นทางเดิมได้ด้วย จากคุณสมบัติดังกล่าวมาแล้วของระบบจีพีเอสที่มีอยู่ทั่วไปทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ที่จะเขียนขึ้นนี้สามารถนำไปเป็นระบบนำทางในรถยนต์ได้ ซึ่งเมื่อเรามองไปถึงอนาคตระบบนี้จะต้องมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับรถยนต์ที่ขับเคลื่อนอัตโนมัติ โดยไม่ต้องมีคนควบคุมเพียงแต่เราป้อนตำแหน่งปลายทางเข้าไปเครื่องก็จะทำการหาจุดพิกัด ณ จุดนั้นพร้อมทั้งบอกเส้นทางที่สามารถเดินทางไปถึงจุดนั้นได้ จีพีเอสก็จะทำการเชื่อมต่อข้อมูลที่ได้เข้ากับระบบควบคุมการขับเคลื่อนของรถยนต์ที่ทำงานโดยคอมพิวเตอร์ รถยนต์ก็จะเดินทางไปจนถึงจุดหมายนั้นได้

9.2.2 เราสามารถติดต่อจีพีเอสกับคอมพิวเตอร์ ได้ด้วยโปรโตคอลซึ่งมีอยู่แล้วในเครื่องจีพีเอส ซึ่งโปรโตคอลนี้มีชื่อเรียกว่า NMEA 0183 ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีรูปแบบเป็นประโยค โดยในแต่ละตัวอักษรของโปรโตคอลนี้มีรหัสเป็นเลขฐานสองจำนวน 8 บิต หรือที่เรารู้จักกันในชื่อของรหัสแอสกีนั่นเอง นอกจากนี้ NMEA 0183 ยังมีโปรโตคอลให้เลือกใช้ด้วยกันหลายรูปแบบโดยขึ้นอยู่กับเครื่องรับแต่ละรุ่น ในที่นี้เราเลือกใช้แบบ GGA เพราะเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการไม่ซับซ้อนมากนักและเหมาะสมกับเครื่องรับที่มี (Garmin 12) ซึ่งมีรูปแบบ

GGA :

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

9.2.3 จากการศึกษาข้อ 9.1.1 ผลที่ได้จากการทดสอบดังตารางที่ 9.1 จะเห็นว่าค่าพิกัด ละติจูด/ลองจิจูด ของจุดอ้างอิงแต่ละจุดจะมีค่าไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงไปโดยไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว ส่วนสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ ก็เป็นเพราะค่า Selective Available ที่ได้ถูกปรับในเครื่องรับ GPS แต่ละตัว โดยผู้ผลิต ซึ่งพฤติกรรมเช่นนี้เราได้กล่าวเอาไว้ในภาคทฤษฎีก่อนหน้านี้แล้ว ด้วยเหตุที่เป็นเช่นนี้เองจึงก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่ดีร้ายและก่อให้เกิดผลเสียตามมาคือความแม่นยำในการบอกตำแหน่งได้ลดลงไป ข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องรับ GPS ขาดความน่าเชื่อถือ แต่ปัญหาไม่ได้ยุติลงเพียงเท่านั้น เพราะข้อมูลที่รับได้นี้ก็ต้องส่งต่อไปให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลเพื่อที่จะแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์หรือการสงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนลิขสิทธิ์อื่นใด มิฉะนั้นผู้ใดที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาในรูปของการบอกตำแหน่งของเครื่องรับบนแผนที่ ซึ่งก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งที่คอมพิวเตอร์ได้แสดงลงบนแผนที่

9.2.4 จากรูปที่ได้จากการทดสอบข้อ 9.1.2 แสดงถึงการทดสอบร่วมระหว่าง เครื่องรับ GPS ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ และ โปรแกรมการทำงานซึ่งเป็นซอฟต์แวร์

- ในรูปที่ 9.1 ได้แสดงถึงภาพของแผนที่ซึ่งเคยถูกใช้ในครั้งแรกของการทดสอบแต่ผลการทดสอบที่ได้กลับเกิดความผิดพลาดขึ้นมา ซึ่งมีสาเหตุอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของตัวแผนที่รวมกับความผิดพลาดอันเนื่องมาจากเครื่องรับจีพีเอสเองอีกด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความผิดพลาดให้มีค่าน้อยลง จึงได้มีการปรับปรุงแผนที่ในบางส่วนให้มีความสอดคล้องกับภูมิศาสตร์จริง ซึ่งก็คือภาพของแผนที่ในรูปที่ 9.2 โดยมีส่วนช่วยในการลดความผิดพลาดอันเกิดจากแผนที่ไม่ถูกต้องตามภูมิศาสตร์ได้

- ในรูปที่ 9.3 ได้แสดงถึงรูปแบบหรือForm หรือหน้าต่าง ของโปรแกรมการทำงานหรือ executed program ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนแสดงผลต่างๆของโปรแกรม ส่วนในรูปที่ 9.4 ได้แสดงถึงส่วน Editor ของซอสโค้ด(Source code)

- จากการทดสอบโปรแกรมพบว่าความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการคำนวณ โดยคอมพิวเตอร์ แทบไม่เกิดขึ้นเลย

### 9.3 ปัญหาที่พบ

1. ข้อมูลหาได้ยากเพราะเป็นเรื่องที่ยังใหม่ที่ไม่แพร่หลายมากในขณะนี้ ทำให้หนังสือที่จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับจีพีเอสโดยเฉพาะมีจำนวนน้อยมาก จึงต้องหาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตเป็นส่วนใหญ่

2. ปัญหาความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง เพราะว่าเครื่องจีพีเอสโดยปกติจากการออกแบบจริงๆแล้วมีความผิดพลาดในการบอกตำแหน่ง ประมาณ 100 ฟุต แต่จากการทำงานจริงของเครื่องซึ่งถูกปรับค่า Selective Available เอาไว้ทำให้ความแม่นยำในการบอกตำแหน่งลดลง โดยเพิ่มความผิดพลาดขึ้นมาอยู่ในระดับ 330 ฟุต ทำให้การระบุเส้นทางจริงจะไม่ตรงกับแผนที่ 100% ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดย การใช้ Differential GPS ซึ่งมีคุณสมบัติคือช่วยปรับเวลาให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น และลดความผิดพลาดของการระบุพิกัดตำแหน่ง โดยจะลดความผิดพลาดให้เหลือความผิดพลาดในรัศมี 1-5 เมตร/3-15 ฟุต

3.ความผิดพลาดของแผนที่ที่ใช้ทำให้เกิดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนแปลงแผนที่ในบางส่วนเพื่อให้สอดคล้องกับของจริง

4.ตัวเครื่องหายากมากในประเทศ ที่หาได้ก็มีราคาแพง ซึ่งถ้าจะนำเข้ามากเองจากต่างประเทศ ก็จะต้องถูกตรวจค้นที่ท่าอากาศยานดอนเมือง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Dim out As Boolean           'check reading data
Dim light As Boolean         'check color of light
Dim lon_length As Single     'length of longitude
Dim la_length As Single      'length of latitude
'X,Y are longitude and latitude
Dim X As Single              'longitude from gps (present position)
Dim Y As Single              'latitude from gps (present position)
Dim Xa, Ya As Single         'reference point A
Dim Xb, Yb As Single         'reference point B
Dim Xc, Yc As Single         'reference point C
'P is pixel
Dim Px As Single             'different pixel between point A and B
Dim Py As Single             'different pixel between point A and C
Dim Plotx, Ploty As Single   'pixel that plot to map
Dim Pxa, Pya As Single       'reference pixel at point A
Dim Pxb, Pyb As Single       'reference pixel at point B
Dim Pxc, Pyc As Single       'reference pixel at point C
Private Sub Command1_Click()
    out = True
End Sub
Private Sub Command2_Click()
    Dim Data As String
    Dim Time As String
    Dim lat As String
    Dim a As String
    Dim lon As String
    Dim b As String
    Dim G(5) As String

    ' Initial Boolean
    out = False

    ' Initial reference at point A

```

Xa = 10046.29

Ya = 1343.367

Pxa = 39

Pya = 226

' Initial reference at point B

Xb = 10046.683

Yb = 1343.367

Pxb = 430

Pyb = 230

' Initial reference at point C

Xc = 10046.29

Yc = 1343.18

Pxc = 39

Pyc = 445

Do

MSComm1.CommPort = 2

MSComm1.Settings = "4800,N,8,1"

MSComm1.PortOpen = True

Text1.Text = ""

Text2.Text = ""

Text3.Text = ""

Text4.Text = ""

Text5.Text = ""

Text6.Text = ""

MSComm1.InputLen = 1

'Start Reading Data From GPS Receiver

Do

Data = MSComm1.Input

Loop Until Data = "\$"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text1.Text = Text1.Text + nuch
```

```
'start recieve input for check GPGGA
```

```
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 <> "GPGGA"
```

```
    G(1) = G(2)
```

```
    G(2) = G(3)
```

```
    G(3) = G(4)
```

```
    G(4) = G(5)
```

```
    G(5) = MSComm1.Input
```

```
    Data = G(1) + G(2) + G(3) + G(4) + G(5)
```

```
Loop
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Data
```

```
Do
```

```
    Data = MSComm1.Input
```

```
Loop Until Data = ""
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Data
```

```
-----
```

```
Do
```

```
    Time = MSComm1.Input
```

```
    If Time = "," Then Exit Do Else
```

```
        Text2.Text = Text2.Text + Time
```

```
Loop
```

```
Text1.Text = Text1.Text + Text2.Text + "ร"
```

```
-----
```

```
Do
```

```
    lat = MSComm1.Input
```

```
    If lat = "," Then Exit Do Else
```

```
        Text3.Text = Text3.Text + lat
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Loop

Text1.Text = Text1.Text + Text3.Text + ","

---

Do

a = MSComm1.Input

If a = "," Then Exit Do Else

Text4.Text = Text4.Text + a

Loop

Text1.Text = Text1.Text + Text4.Text + ","

---

Do

lon = MSComm1.Input

If lon = "," Then Exit Do Else

Text5.Text = Text5.Text + lon

Loop

Text1.Text = Text1.Text + Text5.Text + ","

---

Do

b = MSComm1.Input

If b = "," Then Exit Do Else

Text6.Text = Text6.Text + b

Loop

Text1.Text = Text1.Text + Text6.Text + ","

---

Do

Data = MSComm1.Input

Text1.Text = Text1.Text + Data

Loop Until Data = Chr(13)

---

' Plot Position

X = Text5.Text

Y = Text3.Text

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Px = Pxb - Pxa

Py = Pyc - Pya

Plotx = Pxa + (((X - Xa) \* Px) / Abs(Xb - Xa))

Ploty = Pya + (((Ya - Y) \* Py) / Abs(Yc - Ya))

MSComm1.PortOpen = False

DoEvents ' Yield to other

Loop Until out = True

End Sub

Private Sub Form\_Load()

Plotx = 39 'Initial Point

Ploty = 226 'Initial Point

Timer1.Interval = 100

Picture1.Picture = LoadPicture("d:/project/kmitmap5.bmp") ' Load

Picture

Picture1.DrawWidth = 10 ' Set DrawWidth.

Picture1.DrawMode = 13 ' Set DrawMode.

Picture1.ScaleMode = 3 ' Set ScaleMode

End Sub

Private Sub Timer1\_Timer()

Picture1.Cls

If light Then

Picture1.PSet (Plotx, Ploty), QBColor(10)

light = False

Else

Picture1.PSet (Plotx, Ploty), QBColor(9)

light = True

End If

End Sub

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือและอุปการะของบุคคลเหล่านี้ ซึ่งผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่กล่าวถึงเป็นอย่างสูง กล่าวคือพระพุทธรศาสนาที่ช่วยขัดเกลาจิตใจให้เป็นคนดี อีกทั้ง บิดา มารดา ผู้ให้โอกาสทางการศึกษาแก่บุตร พร้อมทั้งสนับสนุนทางด้านงบประมาณ รวมทั้งกำลังใจ คำแนะนำต่างๆ ที่ได้ตั้งสอนให้บุตรได้ล่วงรู้ พี่ชายและพี่สาวที่ทิ้งรักและห่วงน้องเสมอมา เพื่อนๆร่วมภาคทุกคนที่ให้ปรึกษา และเอื้อเฟื้อทางใจ พี่จ้อยและพี่จิ้งที่ให้ทั้งคำปรึกษาปัญหาต่าง ๆ และเอื้อเฟื้ออุปกรณัยามขาดแคลน อาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่านและอาจารย์ที่เคยตั้งสอนศิษย์ ให้ศิษย์มีความรู้รอบเพิ่มขึ้นมาก และที่สำคัญโครงการนี้จะไม่สามารถสำเร็จล่วงไปได้ด้วยดีถ้าหากขาดท่าน ผู้นี้ อาจารย์จิรวรรณ ปานกลาง ที่ให้คำปรึกษาทุก ๆ เรื่อง และคอยให้กำลังใจ ตั้งแต่เริ่มแรกโครงการนี้

ดิษฐ์พงษ์ สุวีระกุล

(นางสาวนิลรัตน์ สุวีระกุล)

บรรพต ไชยกิจ

(นายบรรพต ไชยกิจ)

ผู้จัดทำ

## เอกสารอ้างอิง

1. Elliott D.Kaplan, UNDERSTANDING GPS PRINCIPLES AND APPLICATIONS
2. พนม เพชรจตุพร, พัลลภ ตั้งบวรพิเชษฐ, พิเชษฐ์ ช่อผกา, ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ GPS , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
3. พงษ์ศักดิ์ สุตัมพันธ์ไพบุญย์, ไฮเทคดาวเทียม ตอน GPS ระบบการหาตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม, เรื่องนำรู้ การสื่อสารดาวเทียม
4. วุฒิไกร จิตราวุฒิชิต, การประยุกต์ใช้งาน GPS ในระบบนำร่องการเคลื่อนที่อัตโนมัติ, เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 186 กรกฎาคม 2541
5. GPS NMEA Interface, <http://www.eaglegps.com/egps/nlguide/gpsopd5.html>
6. NMEA-183 Ver2.0 GPS Sentence Compatability, <http://www.bridge.de/~tom/gps-nmea.html>
7. X M i d a s N M E A - 0 1 8 3 S E N T E N C E FORMATTERS, [http://www.oce.orst.edu/Wecoma/Docs/Computing/Xmidas/Formatter\\_ID.html](http://www.oce.orst.edu/Wecoma/Docs/Computing/Xmidas/Formatter_ID.html)
8. GPS12, <http://www.gamin.com/db?Mltab=garmin&Mlval=gps12>
9. GBR21, <http://www.gamin.com/db?Mltab=garmin&Mlval=gbr21>
10. GPS25LP, <http://www.gamin.com/db?Mltab=garmin&Mlval=oemgps25LP>
11. GPS35LPTP, <http://www.gamin.com/db?Mltab=garmin&Mlval=oemgps35LPTP>
12. Garmin Protocol, <http://vancouver-webpages.com/peter/grmnprof.html>
13. NMEA 0183 Multiplexer, <http://www.thecapn.com/mulplex.html>
14. Adventure GPS Products:Eagle Explorer, [http://www.gps4fun.com/eag\\_expi.html](http://www.gps4fun.com/eag_expi.html)
15. Adventure GPS Products:Eagle Expedition II, [http://www.gps4fun.com/eag\\_expd.html](http://www.gps4fun.com/eag_expd.html)
16. GPS Data Manager, <http://www.lowrance.com/software/gdm/Default.html>
17. GIF image 640\*480 pixels, <http://www.tec.sci.fi/tecref/busab.gif>
18. John Clark Araig, เรียบเรียงโดย วรวิทย์ ดันติโกติน และ นกคณ ชาญธีระเชษ, การเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วย VISUAL BASIC , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน)
19. Joe Campbell, เรียบเรียงโดย ทวีชัย ภูริทิพย์, ไขปัญหา RS-232, Second Edition, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน)