สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การกำหนดตำแหน่งยานพาหนะบนถนนด้วยระบบการแปลงโคออร์ดิเนทสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้วย GPS

# MATHEMATICAL DESCRIPTION OF MOVING VEHICLE FOR NAVIGATOR APPLICATIONS

T043023

คัมภีร์ เสริมกวินรักษ์
ธันวา ชินสาย
ยศ พู่สิทธิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43023
วัน, เดือน, ปี 26 มิ.ย. 2545

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

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MATHEMATICAL DESCRIPTION OF MOVING VEHICLE FOR NAVIGATOR APPLICATIONS

KAMPEE SERMKAWINRAK

TANWA CHINSRI

YOST PUSIT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REGUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **หัวข้อปัญหาพิเศษ** | การกำหนดตำแหน่งยานพาหนะบนถนนด้วยระบบการแปลงโคออร์ดิเนทสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้วย GPS<br>MATHEMATICAL DESCRIPTION OF MOVING VEHICLE FOR NAVIGATOR APPLICATIONS | |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายคัมภีร์ เสริมกวินรักษ์ | 41051007 |
| | นายธันวา ชินสาย | 41051024 |
| | นายยศ พู่สิทธิ์ | 41051040 |
| **ภาควิชา** | คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ | |
| **สาขาวิชา** | คณิตศาสตร์ประยุกต์ | |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | รองศาสตราจารย์ภัคคินี ชิตสกุล | |
| | อาจารย์พรชัย เจนจิระพงศ์เวช | |
| | รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ยุพาพิน | |

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2544

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ผ่องพรรณ รัตนธนาวันต์ | |
| กรรมการ อาจารย์พรชัย ชัยสนิท | |
| กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ภัคคินี ชิตสกุล | |
| กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์พรชัย เจนจิระพงศ์เวช | |
| กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ยุพาพิน | |

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์)
หัวหน้าภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **ปัญหาพิเศษเรื่อง** | การกำหนดตำแหน่งยานพาหนะบนถนนด้วยระบบการแปลงโคออร์ดิเนทสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้วย GPS | |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายคัมภีร์ เสริมกวินรักษ์ | 41051007 |
| | นายธันวา ชินสาย | 41051024 |
| | นายยศ พู่สิทธิ์ | 41051040 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรบัณฑิต | |
| **ภาควิชา** | คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ | |
| **สาขาวิชา** | คณิตศาสตร์ประยุกต์ | |
| **ปีการศึกษา** | 2544 | |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | รองศาสตราจารย์ ภัคคินี ชิตสกุล | |
| | อาจารย์ พรชัย เจนจิระพงศ์เวช | |
| | รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ยุพาพิน | |

## บทคัดย่อ

GPS ย่อมาจาก "Global Positioning System" คือระบบที่ระบุตำแหน่งทุกแห่งบนโลกจากกลุ่มดาวเทียม 24 ดวงที่โคจรอยู่รอบโลก ซึ่งถ้าเรามีอุปกรณ์รับข้อมูลติดตั้งอยู่ จะทำให้สามารถแสดงตำแหน่งนั้นอย่างแม่นยำ ด้วยความสามารถของ GPS ทำให้เราสามารถนำข้อมูลตำแหน่งมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ระบบนำร่อง (Navigation System), ระบบติดตามยานพาหนะ (Automatic Vehicle Location), การสำรวจพื้นที่ (Survey), การทำแผนที่ (Mapping) ฯลฯ เราสามารถใช้ประโยชน์จาก Navigator ในเรื่องการแสดงตำแหน่งของรถยนต์ขณะขับขี่อยู่ โดยเฉพาะปัญหาการจราจรในกรุงเทพฯ ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากผู้ขับขี่ที่ไม่ชำนาญเส้นทาง ทำให้เกิดความลังเลและทำให้ขับขี่ช้าลง หรือในกรณีที่ผู้ขับขี่ไม่ชำนาญเส้นทางทำให้หลงทางได้ง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุให้การดำเนินธุรกิจล่าช้า ความเสียหายย่อมเกิดกับหน่วยงานหรือประเทศชาติ ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียน้ำมัน, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ฯลฯ ส่วนหนึ่งในด้านการเดินทางช่วยให้ผู้ใช้มีความมั่นใจในการเดินทาง โดยเฉพาะเส้นทางที่จะไป เช่น ในกรณีเที่ยวป่าหรือลงเรือตกปลา จากแผนที่ที่ใช้กับโปรแกรมสามารถบอกเส้นทาง รวมถึงบันทึกเส้นทางที่ผ่าน เพื่อใช้ในการเดินทางกลับ เป็นต้น

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ในการนำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในอนาคต โดยศึกษาการกำหนดตำแหน่งยานพาหนะบนถนนด้วยระบบการแปลงโคออร์ดิเนทสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้วย GPS และหวังว่าจะมีผู้ที่สนใจมาพัฒนาโปรแกรมเพื่อจะได้สามารถนำไปใช้ได้จริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| Special Project Title | Vehicle Positioning Using Transformation Coordinate System for GPS Applications |
| Students | Mr. Kampee Sermkawinrak 41051007 |
| | Mr. Tanwa Chinsai 41051024 |
| | Mr. Yost Pusit 41051040 |
| Degree | Bachelor's Degree of Science |
| Department | Mathematics and Computer Science, Faculty of Science |
| Programme | Applied Mathematics |
| Academic Year | 2001 |
| Special Project Advisor | Associate Professor Pakinee Chitsakul |
| | Lecturer Pornchai Janjirapongwet |
| | Associate Professor Doctor Preecha Yupapin |

## ABSTRACT

GPS stands for "Global Positioning System" which aimed for specifying the position points all over the worlds, by the use of 24 operational satellites that orbit around the earth. This use of GPS requires the equipment of tracking receivers in orbit to get the most accuracy positions. Due to the capability of GPS, people benefit from applying and using the positioning information in several ways, for instance Navigation System, Automatic vehicle Location, survey and mapping...etc. Navigator is useful for us in term of positioning motor vehicles which driving on the road especially the problem of heavy traffic of Bangkok, mostly derive from the inexperienced drivers who tend to drive with slowness & hesitation that may lost the way drive. All of such problem often hamper the transaction and damage to the organizations and the nation at a lost of fuel & transportation ' s expenses. The advantage of this system will assure the driver's journey especially on the way of tracking by the use of map and problem which can positioning the line of traffic and also recording the pass by route in order to get back

A problem worth thinking about the aim of applied Mathematics to utilizes the future in study the method of positioning motor vehicles with the adjusting co-ordinate system for GPS application and hope to see these who are interested in developing the program for applying to the real world.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่องการกำหนดตำแหน่งยานพาหนะบนถนน ด้วยระบบการแปลงโคออร์ดิเนทสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้วย GPS สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ

รองศาสตราจารย์ ภัคคินี ชิตสกุล

อาจารย์ พรชัย เจนจิระพงศ์เวช

รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ยุพาพิน

อาจารย์ผู้รับผิดชอบปัญหาพิเศษฉบับนี้ที่กรุณาให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาในการแก้ปัญหาต่างๆ รวมทั้งเป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของปัญหาพิเศษฉบับนี้

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้ความสนับสนุนทางด้านกำลังใจและทุนทรัพย์ จนการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จด้วยดี รวมทั้งเพื่อนๆ และน้องๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เกี่ยวกับปัญหาพิเศษไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

**บทคัดย่อภาษาไทย**.....I

**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ**.....II

**กิตติกรรมประกาศ**.....III

**สารบัญ**.....IV

**สารบัญตาราง**.....VIII

**สารบัญรูป**.....IX

**บทที่ 1 บทนำ**.....1

**บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ**.....3

2.1 ภาพรวมของระบบ.....3

2.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียม.....3

2.1.2 ส่วนสถานีควบคุม.....5

2.1.2.1 สถานีสังเกตการณ์.....5

2.1.2.2 สถานีควบคุมหลัก.....6

2.1.2.3 สายอากาศภาคพื้นดิน.....7

2.1.3 ส่วนของผู้ใช้.....7

2.1.3.1 สายอากาศ.....8

2.1.3.2 เครื่องรับ.....8

2.1.3.3 โปรเซสเซอร์.....8

2.1.3.4 อุปกรณ์อินพุต – เอาท์พุต.....8

2.2 การให้บริการของระบบจีพีเอส.....9

2.2.1 การบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน.....9

2.3 ลักษณะของสัญญาณจากดาวเทียมในระบบจีพีเอส.....10

2.3.1 Coarse/Acqusition Code (C/A).....10

2.3.2 P – Code.....11

2.3.3 ข่าวสารการนำร่อง.....11

2.4 การทำงานของเครื่องรับสัญญาณ.....13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 การเลือกดาวเทียม.....13
2.4.2 การรับสัญญาณดาวเทียม.....13
2.4.3 การถอดรหัสข้อมูล.....14
2.5 การคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ.....15
2.5.1 การระบุตำแหน่งโดยสัญญาณดาวเทียม.....16
2.5.2 ระบบพิกัดอ้างอิง.....17
2.5.2.1 ระบบโคออร์ดิเนตแบบ Earth Centered Inertial.....17
2.5.2.2 ระบบโคออร์ดิเนตแบบ Earth Centered – Earth Fixed.....17
2.5.2.3 ระบบ World Geodetic System.....18
2.6 การหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ.....20
2.7 ความผิดพลาดในระบบ GPS.....22
2.7.1 Ephemeris Data Error.....22
2.7.2 Statellite Clock Errors.....23
2.7.3 Security Signal.....23
2.7.4 Ionosphere Errors.....23
2.7.5 Troposhere Errors.....23
2.7.6 Multipath Errors.....23
2.7.7 Receiver Errors.....24
2.7.8 ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการจับกลุ่มของดาวเทียมที่ใช้นำร่อง.....24
2.8 มาตรฐาน NMEA และโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของจีพีเอส.....26
2.8.1 มาตรฐาน NMEA.....26
2.8.2 มาตรฐาน NMEA – 183.....26
2.8.3 โปรโตคอล NMEA – 183.....27

**บทที่ 3 แนวคิดการนำระบบ GPS มาใช้ในการควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ.....32**

3.1 คุณสมบัติของโปรแกรม.....32
3.2 แนวคิดในการออกแบบ.....32
3.2.1 การนำพิกัดของ GPS มาใช้ในการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์.....32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

**หน้า**

3.2.1.1 เริ่มจากการกำหนดจุดตรึง.....32
3.2.1.2 การหาเซตของพิกัดของเส้นทาง.....33
3.2.1.2.1 ระบบที่ต้องใช้เส้นทางบนถนนเท่านั้น.....34
3.2.1.2.2 ระบบที่กำหนดให้ยานพาหนะออกถนนได้.....35
3.2.1.3 การคำนวณหาอัตราความเร็วและเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดของยานพาหนะ.....39
3.2.1.3.1 การหาระยะทางทั้งหมดที่ใช้.....39
3.2.1.3.2 การหาความเร็วและเวลาที่ใช้.....40
3.2.4 การใช้ความรู้เรื่องการแปลงโคออร์ดิเนตมาใช้ในการควบคุมยานพาหนะเพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการ.....40

**บทที่ 4 การนำคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการนำร่อง.....41**
4.1 หลักการเบื้องต้น.....41
4.2 ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่นำมาประยุกต์ใช้.....41
4.2.1 Coordinate Transformation.....41
4.2.1.1 Translation.....41
4.2.1.2 Rotation.....42
4.3 การนำผลจากโปรแกรมมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมยานพาหนะ.....44

**บทที่ 5 การนำระบบ GPS มาใช้ในการควบคุมเส้นทางเดินรถ.....47**

**บทที่ 6 โครงสร้างของโปรแกรม.....49**
6.1 ส่วนของการกำหนดเส้นทางการควบคุมยานพาหนะ.....49
6.1.1 การควบคุมยานพาหนะในกรณีที่ต้องการให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปเฉพาะบนเส้นทางที่เป็นถนน.....49
6.1.2 การควบคุมยานพาหนะในกรณีที่ต้องการให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปเฉพาะบนเส้นทางที่เป็นถนน และนอกถนนได้.....52
6.2 ส่วนของการกำหนดขนาดของยานพาหนะ.....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

**หน้า**

6.3 ส่วนการแสดงผลเซตของพิกัดที่ได้จากการคำนวณ.....54

**บทที่ 7 สรุปการทำงานและการพัฒนา.....57**

**บรรณานุกรม .....58**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**

3.1 แสดงตำแหน่งทั้ง 32 จุดเมื่อจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (X,Y).....34
5.1 การเปรียบเทียบพิกัดที่ได้จากเครื่อง GPS กับพิกัดที่ได้จากโปรแกรม.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

**รูปที่** **หน้า**

1.1 แสดงภาพการใช้งานระบบ GPS.....1
2.1 แสดงภาพรวมของระบบจีพีเอส.....3
2.2 แสดงกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส โดยมีระนาบวงโคจร 6 ระนาบ แต่ละระนาบมีดาวเทียม 4 ดวง.....4
2.3 แสดงภาพฉายของระนาบวงโคจรดาวเทียม ณ เวลาหนึ่ง.....4
2.4 แสดงการทำงานในส่วนควบคุม.....5
2.5 แสดงสถานที่ตั้งของสถานีควบคุม.....6
2.6 สายอากาศ.....7
2.7 แสดงสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากดาวเทียม.....10
2.8 แสดงภาพสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณดาวเทียม.....11
2.9 แสดงภาพข่าวสารการนำร่อง.....12
2.10 แสดงภาพบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณ GPS.....14
2.11 แสดงภาพการถอดรหัสข้อมูลข่าวสารการนำร่อง.....15
2.12 แสดงภาพการตัดกันของระยะห่างจากดาวเทียมอันเป็นตำแหน่งของเครื่องรับ.....16
2.13 แสดงการจำลองระบบ ECEF.....18
2.14 รูปแบบจำลองของโลกที่เป็นวงรีในแบบ (WGS - 84).....18
2.15 แสดงภาพการกำหนดพิกัดแบบละติจูด, ลองจิจูด และความสูง.....22
2.16 แสดงภาพ POOR GDOP.....24
2.17 ผลของ POOR GDOP แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การตัดกันที่กว้างมาก.....25
2.18 แสดง GOOD GDOP.....25
2.19 ผลของ GOOD GDOP แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การตัดกันที่แคบลง.....25
3.1 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนพื้นโลก.....33
3.2 แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนแผนที่ในคอมพิวเตอร์.....33
3.3 แสดงจุดทั้งหมด 32 จุด.....34
3.4 แสดงวิธีการหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุด.....35
3.5 การแสดงทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้าย.....36
3.6 แสดงการหาลำดับของจุดโดยแบ่งเป็น 8 กรณี.....37
3.7 แสดงวิธีการหาระยะทางทั้งหมดที่ใช้.....39
4.1 แสดงจุดทั้ง 32 จุด.....41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

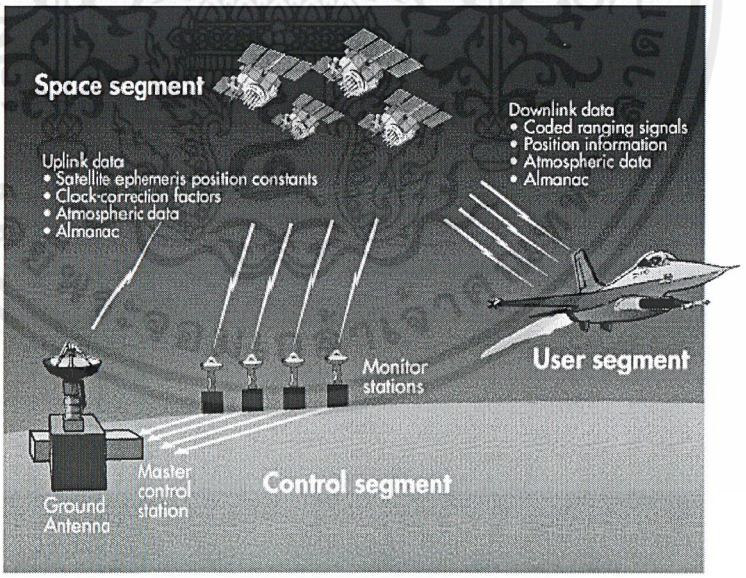
**รูปที่** **หน้า**

4.2 แสดงภาพการหาจุดต่อไปแบบเส้นตรง.....42
4.3 แสดงการหมุนของแกนอ้างอิง.....42
4.4 แสดงตำแหน่งที่ใช้เป็นจุดหมุนของยานพาหนะ.....44
4.5 แสดงการย้ายตำแหน่งทั้ง 4 จุดของยานพาหนะ.....46
6.1 หน้าต่างส่วนของ Control in Route พร้อมอธิบาย.....50
6.2 หน้าต่างส่วนของ Control in Route พร้อมคำอธิบาย และข้อความขึ้นแผนที่ใหม่.....51
6.3 หน้าต่างส่วนของ Control out of Route พร้อมคำอธิบาย.....52
6.4 หน้าต่างส่วนของ Control out of Route พร้อมคำอธิบาย และข้อความขึ้นแผนที่ใหม่.....53
6.5 ส่วนของการกำหนดขนาดของยานพาหนะ.....54
6.6 ส่วนของการแสดงเซตผลพิกัดที่ได้จากการคำนวณ.....55
6.7 แสดงข้อความเพื่อออกจากโปรแกรม.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

ระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลกโดยใช้ดาวเทียมนาฟสตาร์ หรือจีพีเอส (The Global Positioning System (GPS)) เป็นระบบบอกพิกัดตำแหน่งอ้างอิงกับพื้นโลก โดยการส่งคลื่นวิทยุจากดาวเทียมในอวกาศมายังภาคพื้นดิน และใช้ความต่างของเวลาในการส่ง – รับสัญญาณระหว่างดาวเทียม (อย่างน้อย 4 ดวง) กับตัวรับสัญญาณ ในการคำนวณหาตำแหน่ง, ความเร็วและเวลา (Position, Velocity, Time) ให้กับผู้ใช้งานทั้งทางบก, ทางทะเล, ทางอากาศ และในอวกาศ ตามปกติระบบจีพีเอส จะมีการใส่รหัสเพื่อให้เกิดความผิดพลาดเล็กน้อย เนื่องจากเดิมทีผู้คิดค้นคือทางกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกานั้นต้องการนำระบบนี้มาใช้ในทางการทหาร แต่เนื่องจากที่ระบบนี้เป็นระบบเปิดคือสัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งออกมา โดยที่ผู้ใช้ทั่วไปสามารถรับและนำมาใช้ได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการใช้งานในทางที่ผิด จึงมีการใส่รหัสเพื่อให้ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่จะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ระบบจีพีเอสประกอบด้วย 3 ระบบหลัก คือ ส่วนของกลุ่มดาวเทียม (Space Segment), ส่วนสถานีควบคุม (Control Segment) และส่วนของผู้ใช้งาน (User segment)




**รูปที่ 1.1** แสดงภาพการใช้งานระบบ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของดาวเทียม ประกอบด้วยหมู่ดาวเทียมนาฟสตาร์ 24 ดวงครอบคลุมพื้นที่รอบโลก โดยแต่ละดวงจะทำหน้าที่กระจายสัญญาณรหัสย่าน RF และส่งข้อมูลข่าวสารการนำร่อง (Navigation Data Message) ส่วนของสถานีควบคุมจะประกอบด้วยเครือข่ายสำหรับการติดตามดาวเทียม (Network of Monitoring) และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการติดตามควบคุม ซึ่งใช้ในการจัดการวงโคจรของดาวเทียม และอัพเดท (Update) ข้อมูลข่าวสารการนำร่องของดาวเทียม ในส่วนของผู้ใช้จะประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณข้อมูลข่าวสารการนำร่องซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อรับ, ถอดรหัส, ประมวลผล และนำสัญญาณจากดาวเทียมไปประยุกต์ใช้งาน

เครื่องรับสัญญาณจะได้รับข้อมูลข่าวสารการนำร่องจากดาวเทียมทำให้ทราบถึงเวลาที่ใช้ในการส่ง – รับ และนำค่าเวลาที่ได้มาคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ โดยหลักการคือดาวเทียมจะส่งสัญญาณบอกค่าเวลา ณ เวลาที่ส่งสัญญาณออกมา เครื่องรับเมื่อได้รับสัญญาณจะได้ค่าเวลา ณ เวลาที่รับสัญญาณ โดยใช้สัญญาณเวลาจากตัวเครื่องรับเอง ดังนั้นจะได้ค่าเวลาที่ใช้ในการรับ – ส่ง และนำค่าเวลานี้ไปคำนวณระยะทางโดยค่าความเร็วของสัญญาณความถี่ย่าน RF ที่ใช้ส่ง – รับจะเป็นค่าคงที่ที่ทราบอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อนำค่าเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณและค่าความเร็วของสัญญาณมาคำนวณแล้ว จะได้ค่าระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณในแนวระนาบพื้นผิวทรงกลมที่มีจุดศูนย์กลางที่ดาวเทียมดวงนั้นๆ แต่ไม่ทราบตำแหน่งที่แน่นอนได้ ดังนั้นในการหาตำแหน่งจึงมีความจำเป็นต้องใช้รหัสสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ในเวลาเดียวกัน เพื่อใช้ในการหาจุดตัดของสัญญาณจากดาวเทียม โดย ณ ตำแหน่งจุดตัดของสัญญาณดาวเทียมจำนวนสามดวงนั้นจะเป็นพิสัยในแกนสามมิติ (3D) และค่าสัญญาณจากดาวเทียมอีกหนึ่งดวงจะเป็นค่าพารามิเตอร์ของค่าความผิดพลาดของสัญญาณนาฬิกาของเครื่องรับ

เมื่อเครื่องรับได้ทำการประมวลผลข้อมูลจากสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมแล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ออกมา 3 ค่า คือ ค่าตำแหน่ง (ละติจูดและลองจิจูด), ความเร็วและเวลาและจากข้อมูลที่ได้เราสามารถประยุกต์ค่าข้อมูล เพื่อใช้ในการออกแบบควบคุมการนำร่องให้กับอุปกรณ์ ยานยนต์ต่างๆ เช่น ควบคุมเส้นทางการบิน, เส้นทางเดินเรือและรถยนต์ ในปัจจุบันเทคโนโลยีสามารถพัฒนาจนเครื่องรับสัญญาณ GPS มีขนาดเล็กลงจนเป็นเครื่องแบบพกพาได้

เครื่องรับสัญญาณแบบพกพามีฟังก์ชั่นในการส่งข้อมูลออกโดยพอร์ทแบบอนุกรม ข้อมูลที่ส่งออกมาจะส่งในรูปมาตรฐานโปรโตคอล NMEA 183 ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลของ ละติจูด, ลองติจูด, ความสูง, เวลาและอื่นๆ ของเครื่องรับสัญญาณ จากค่าเหล่านี้เราสามารถออกแบบโปรแกรมในการกำหนดเส้นทางเดินรถที่ถูกต้องเพื่อใช้ในการควบคุมรถโดยใช้การอ่านตำแหน่งจากเครื่อง GPS ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการ

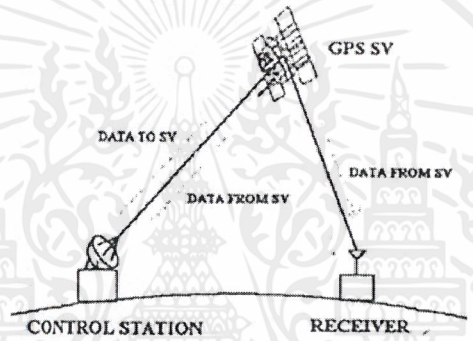
## 2.1 ภาพรวมของระบบ ( System Overview )

ระบบ จีพีเอส ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

2.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียม ( Space Segment )

2.1.2 ส่วนสถานีควบคุม ( Operation Control Segment )

2.1.3 ส่วนของผู้ใช้ ( User Receiving Segment )



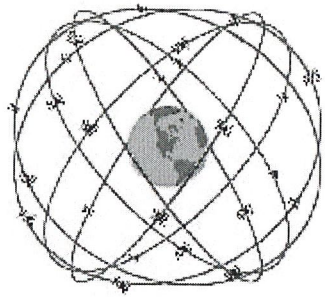

**รูปที่ 2.1** แสดงภาพรวมของระบบจีพีเอส

### 2.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียม (Space Segment)

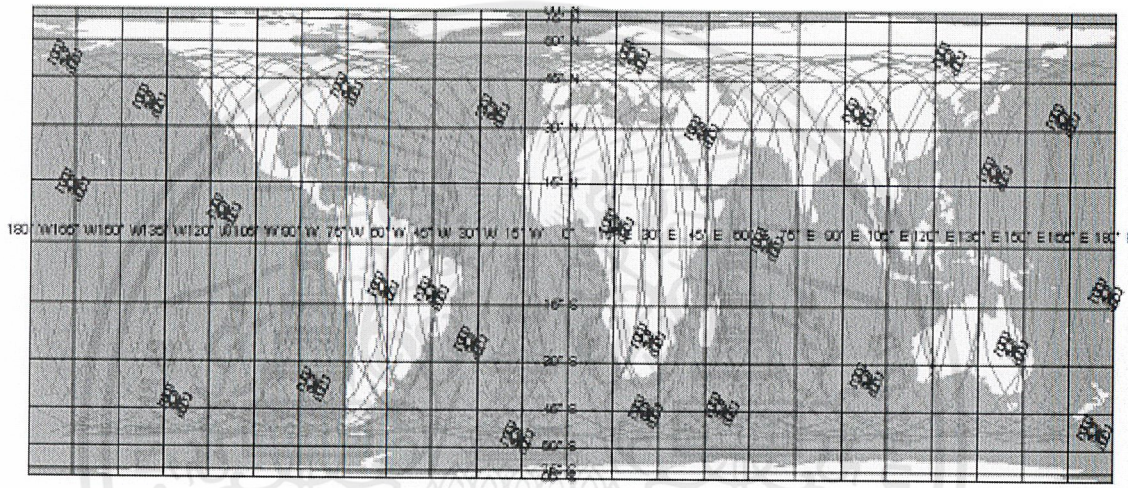
ส่วนของกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส ประกอบด้วยกลุ่มดาวเทียมนาฟสตาร์ 24 ดวง ในวงโคจรเซมิซิงโครนัส (Semi – Synchronous Orbit) (ประมาณ 12 ชั่วโมง) ดาวเทียมจะถูกจัดใน 6 ระนาบวงโคจร ซึ่งจะมีดาวเทียม 4 ดวง ในแต่ละระนาบวงโคจรจะมีมุมเอียง (Inclination Angles) 55 องศาสัมพันธ์กับเส้นศูนย์สูตร (Equator) ของโลกและดาวเทียม โดยจะมีความสูงเฉลี่ยของการโคจร 20,000 กิโลเมตร (10911 Nautical Miles) เหนือผิวโลก

ดาวเทียมจะโคจร 1 รอบใช้เวลาประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที โดยจะวนตามเส้นทางเหนือผิวโลกซ้ำกันทุกๆ 23 ชั่วโมง 56 นาที ผู้ใช้อยู่ ณ ตำแหน่งคงที่บนพื้นดิน จะเห็นดาวเทียมดวงเดิมในแต่ละวันผ่านเส้นทางเดิมในท้องฟ้า แต่ดาวเทียมจะขึ้นและตกเร็วขึ้น 4 นาที ในแต่ละวันเนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง ดาวเทียมจะถูกวางตำแหน่งในระบบวงโคจรที่จะทำให้ดาวเทียม 4 ดวงในระนาบนั้น สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดสังเกตได้ในทุกๆ ที่บนโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.2** แสดงกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส โดยมีระนาบวงโคจร 6 ระนาบ



**รูปที่ 2.3** แสดงภาพฉายของระนาบวงโคจรดาวเทียม ณ เวลาหนึ่ง

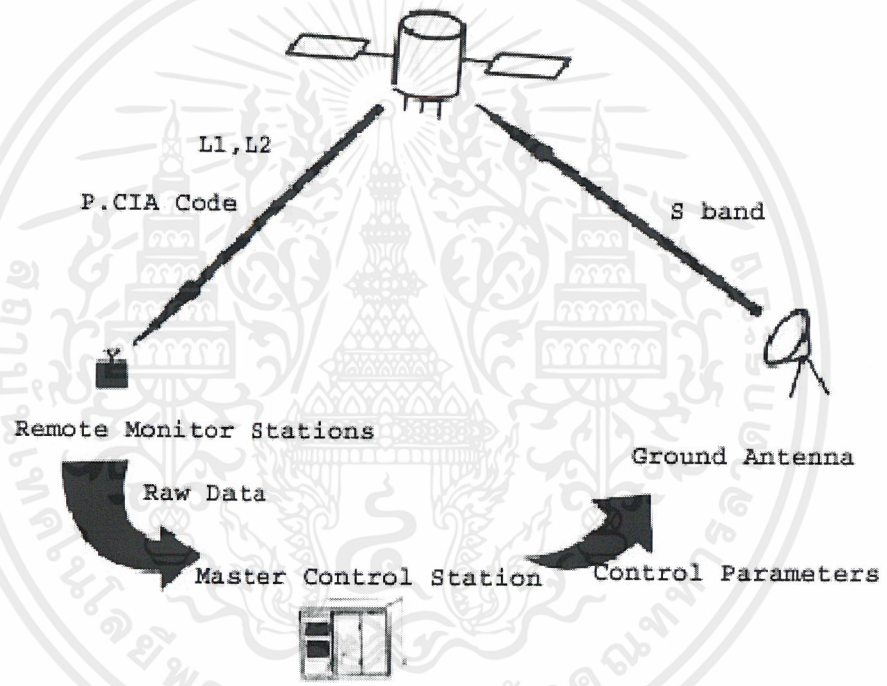
ดาวเทียมจะส่งสัญญาณเพื่อวัดระยะทางออกมาในบนความถี่ D – Band 2 ย่าน คือ Link (L1) ที่ 1575.42 MHz และ Link 2 (L2) ที่ 1227.6 MHz สัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งโดยใช้เทคนิค สเปรด สเปกตรัม (Spread Spectrum) โดยใช้รหัสที่แตกต่างกันอยู่ 2 รหัส คือ รหัส C/A (coarse/acquisition code) ที่มีความถี่ 1.023 MHz บน L1 และรหัส P (Precision code) ความถี่ 10.23 MHz บนทั้ง L1 และ L2 รหัส C/A และรหัส P นี้ สามารถถูกใช้เพื่อบอกระยะทางระหว่างดาวเทียมกับผู้ใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตาม ปกติรหัส P จะถูกเข้ารหัสไว้ และสามารถที่จะใช้บอกระยะทาง ระหว่างทางการเท่านั้น รหัส P ที่ถูกเข้าสัญญาณอีกครั้งเรียกว่ารหัส Y ส่วนข่าวสารการนำร่อง (Navigation Message) คือข้อมูลไบอัส สัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม (Satellite Clock – Data) ข้อมูลอิฟิเมอริส (Satellite Ephemeris Data) สำหรับดาวเทียมที่ส่งสัญญาณข้อมูลที่ใช้แก้ไขข้อผิดพลาด ที่เกิดจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere Signal – Propagation Correction Data) ข้อมูลอัสมาแนคของดาวเทียม (Satellite Almance Data) สำหรับดาวเทียมทุกดวงในกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 ส่วนของสถานีควบคุม (Operation Control Segment)

ส่วนของสถานีควบคุมมีส่วนรับผิดชอบการทำงานของดาวเทียม จีพีเอส เช่นการรักษาตำแหน่งดาวเทียม (Station Keeping), ตรวจสภาพและระบบต่างๆ บนดาวเทียม, ตรวจแผงเซลแสงอาทิตย์ (Solar cell), ระดับพลังงานของแบตเตอรี่, การเปิดดาวเทียมสำรอง, ปรับปรุงข้อมูลเวลา, ข้อมูลอิฟีเมอริส (Ephemeris), ข้อมูลอัลมาแนค (Almanac) และตัวชี้ค่าอื่นๆ ในข่าวสารการนำร่องวันละครั้งหรือตามแต่ความจำเป็น

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




**รูปที่ 2.4** แสดงการทำงานในส่วนควบคุม

#### 2.1.2.1 สถานีสังเกตการณ์ (Monitor Station)

สถานีสังเกตการณ์จะมีเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส ทั้ง 2 ความถี่ (L1 และ L2) โดยจะทำการวัดค่าซูโดเรนจ์ และ เดลตาเรนต์ ของแต่ละดาวเทียมที่ผ่านสถานีและมีนาฬิกา Cesium 2 ตัวที่ตั้งเวลาเพื่อใช้ในการอ้างอิงกับเวลาของระบบจีพีเอส

สัญญาณจากดาวเทียมที่ส่งมาถึงสถานีสังเกตการณ์นั้นมีการหักเหและล่าช้าในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และโทรโปสสเฟียร์ เรียกการล่าช้านี้ว่า ไอโอโนสสเฟียริกดีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Ionosphere Delay) และโทรโปสเฟียริกดีเลย์ (Tropospheric Delay) การล่าช้านี้จะทำให้เกิดการผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งการแก้ไขนั้นสถานีสังเกตการณ์จะรวบรวมข้อมูลจากสัญญาณที่ได้รับทั้ง 2 ความถี่ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพันธ์และจะส่งไปยังสถานีควบคุมหลักโดยกรมอุตุนิยมวิทยาของสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดและหาข้อมูลที่ต้องใช้ต่อไป

**2.1.2.2 สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station)**

สถานีควบคุมหลักมีหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากสถานีสังเกตการณ์เพื่อตรวจสอบและกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม ข้อมูลอัลมาแนค ข้อมูลอิฟีเมอริสให้ถูกต้อง โดยเริ่มจากแก้ไขค่าซูโดเรนต์ที่เกิดจากการล่าช้าเนื่องจากการผ่านชั้นบรรยากาศของทุก ๆ สถานีสังเกตการณ์จากนั้น จึงนำไปผ่านคาลมานฟิลเตอร์ (Kalman Filter) เพื่อให้ได้ค่า อิฟีเมอริส และ ค่าการเหลื่อมของสัญญาณนาฬิกาที่ถูกต้อง โดยฟิลเตอร์จะถูกอัพเดททุกๆ 15 นาทีด้วยค่าตำแหน่งของดาวเทียมที่ถูกคำนวณในระบบโคออดิเนตแบบเอิร์ธเซนเตอร์เอิร์ธฟิกซ์ (Earth – Center Earth – Fixed (ECEF)) สถานีควบคุมหลักจะเป็นศูนย์กลางในการทำงานของส่วนควบคุม ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศ Falcon, Colorado Spring, CO. ส่วนสถานีสังเกตการณ์จะกระจายอยู่ตามที่ต่างๆ เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมในย่าน L – Band และจะส่งสัญญาณเตือนไปยังสถานีควบคุมหลักภายใน 60 วินาทีหากตรวจพบความผิดพลาด

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

**รูปที่ 2.5** แสดงสถานที่ตั้งของสถานีควบคุม

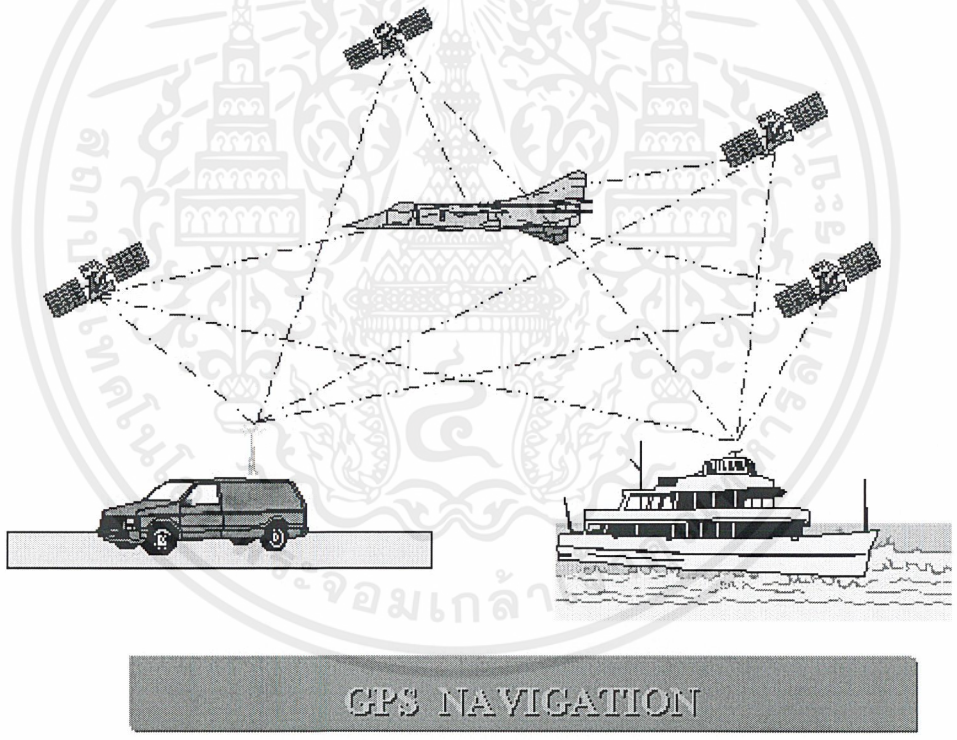
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.1.2.3 สายอากาศภาคพื้นดิน (Ground Uplink Antenna Facility)

ส่วนของสถานีสายอากาศภาคพื้นดินที่จะทำการส่งคำสั่ง ข้อมูลการนำร่อง และข้อมูลอื่น ๆ ที่เรียกว่า TT&C ซึ่งเตรียมพร้อมโดยสถานีควบคุมหลักสำหรับดาวเทียมแต่ละดวงข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังสถานีเสาอากาศภาคพื้นดิน และเก็บไว้จนกว่าดาวเทียมดวงที่ต้องการส่งข้อมูล จะผ่านมาโดยจะส่งผ่านคลื่นความถี่ S-Band โดยสถานีสายอากาศจะตั้งอยู่คู่กับสถานีสังเกตการณ์

### 2.1.3 ส่วนของผู้ใช้ (User Receiving Segment)

ในส่วนของผู้ใช้นั้น ส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส โดยจะรับสัญญาณ L-Band ที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมและนำมาคำนวณเพื่อหาค่าตำแหน่ง,ความเร็วและเวลา ของเครื่องรับจากนั้นจะนำค่าไปประยุกต์ใช้งานตามแต่ลักษณะการใช้งาน




**รูปที่ 2.6** แสดงการประยุกต์ใช้งานในส่วนของผู้ใช้

ส่วนประกอบ หลักของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส จะประกอบไปด้วย สายอากาศ เครื่องรับ (Receiver), โปรเซสเซอร์,อุปกรณ์อินพุต – เอาท์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.1.3.1 สายอากาศ ( Antenna )**

สัญญาณดาวเทียมจะถูกรับเข้ามาผ่านสายอากาศ ดังนั้นควรเป็นสายอากาศที่มีโพลาไรซ์ของคลื่นแบบวงกลมหมุนวนขวา และได้รับในช่วงครึ่งวงกลม เนื่องด้วยสัญญาณจากดาวเทียมเป็นแบบหมุนขวาเสาอากาศแบบโคนิคอลเฮลิกซ์ ( Conical Helix Antenna ) จึงเหมาะสมเครื่องรับจีพีเอสที่แทรครหัส P(Y) ที่อยู่ทั้งใน L1 และ L2 สายอากาศและเครื่องรับต้องมีแบนด์วิดต์ 20.46 MHz ถ้าเครื่องรับแทรคสัญญาณ C/A ที่อยู่ใน L1 สายอากาศและเครื่องรับต้องมีแบนด์วิดต์ 2.046 MHz

**2.1.3.1 เครื่องรับ ( Receiver )**

เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณอนาลอกจากสายอากาศ แล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยใช้ A/D คอนเวอร์เตอร์ โดยอัตราการสุ่มตัวอย่างทั่วไปจะเป็นแปดหรือสิบสองเท่าของอัตราการชิพของรหัส PRN (1.023 MHz สำหรับรหัส C/A ใน L1และ 10.23 MHz สำหรับ P(Y) ใน L1และ L2 ) โดยอัตราการสุ่มตัวอย่างน้อยที่สุดจะเป็นสองเท่าของแบนด์วิดต์สูงที่สุดของข่าวสาร สำหรับเครื่องรับที่แทรคเฉพาะรหัส C/A แบนด์วิดต์ สูงสุดของข่าวสารจะมากกว่า 2 MHz ในเครื่องรับที่ทำการแทรครหัส P(Y) แบนด์วิดต์ สูงสุดของข่าวสารจะมากกว่า 20 MHz ข้อมูลหลังการแซมปลิ้งจะถูกส่งต่อไปยังดิจิตอลซิกแนลโปรเซสเซอร์ เพื่อทำการดีมอดูเลตข้อมูลข่าวสารออกจากคลื่นพาหะ ค่าที่วัดได้และข่าวสารการนำร่องจะถูกส่งต่อไปยัง โปรเซสเซอร์

**2.1.3.2 โปรเซสเซอร์ ( Processor)**

โปรเซสเซอร์จะทำการควบคุมการทำงานของเครื่องรับ โดยเริ่มจากค้นหาสัญญาณ แทรคสัญญาณและดึงข้อมูลออกจากสัญญาณ จากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าตำแหน่ง ความเร็วและเวลาของเครื่องรับ ( PVT ) ในเครื่องรับสัญญาณส่วนใหญ่จะได้ค่า PVT ด้วยความถี่ 1 Hz แต่ในเครื่องรับ ที่ใช้ในด้านการควบคุมการบินจะต้องการความถูกต้องและผลตอบสนองที่เร็วกว่า ด้วยความถี่อย่างน้อย 5 Hz

**2.1.3.3 อุปกรณ์อินพุต – เอาท์พุต ( Input – Output Element )**

อุปกรณ์อินพุต – เอาท์พุต เป็นอุปกรณ์อินเตอร์เฟสระหว่างชุดเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสกับผู้ใช้อุปกรณ์อินพุต เอาท์พุต จะทำการในส่วนของการควบคุมและการแสดงผล แสดงสถานะและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามลักษณะที่ถูกออกแบบมา โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์อินพุต เอาท์พุต จะถูกรวมไว้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผงควบคุม แต่ในเครื่องรับขนาดพกพาอุปกรณ์อินพุต – เอาท์พุต จะถูกรวมไว้กับเครื่องรับสัญญาณเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

## 2.2 การให้บริการของระบบจีพีเอส ( GPS Services )

ในการให้บริการระบบจีพีเอสนี้แบ่งการให้บริการออกเป็น สองระดับคือ การบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ์ ( Precise Positioning Service ) และการบอกตำแหน่งแบบมาตราฐาน ( Standard Positioning Service )

### 2.2.1 การบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ์ ( Precise Positioning Service)

การให้บริการแบบ PPS เป็นการบริการที่ให้ ตำแหน่ง ความเร็ว เวลาที่ถูกต้องเฉพาะผู้ใช้งานที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น การบริการ PPS จะเน้นไปทางทหาร โดยจะต้องได้รับการอนุมัติจาก U.S. Department of Defense ผู้ที่ได้รับอนุญาตเช่น U.S. Military NATO Military และกองทัพอื่น ๆ หรือพลเรือน เช่น Australian Defense Forces , U.S. Defense Mapping Agency การบริการแบบ PPS จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 16 เมตร และผิดพลาดทางเวลาไม่เกิน 100 ns และเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสสามารถให้ความถูกต้องของความเร็วคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.2 m/s

การแอคเซส ( Access ) ข้อมูล PPS จะใช้เทคนิคคริบโตกราฟฟิค 2 อย่าง คือ SAและ AS เทคนิค SA จะทำการลดค่าความถูกต้องของข้อมูล PVT โดยจะใส่ค่าความผิดพลาดซูโดแรนดอม ให้กับสัญญาณดาวเทียมส่วนเทคนิค AS จะเอนคริบ สัญญาณรหัส P ให้เป็นสัญญาณในรหัส Y

Encryption Key และเทคนิคเฉพาะอื่น ๆ จะถูกจัดให้เฉพาะผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตทำให้ SA และ AS ไม่เป็นผล เครื่องรับจะได้ประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากระบบจีพีเอส จะได้ผลดีที่สุดถ้าใช้รหัส P(Y) บนทั้ง L1 และ L2 ในการคำนวณ

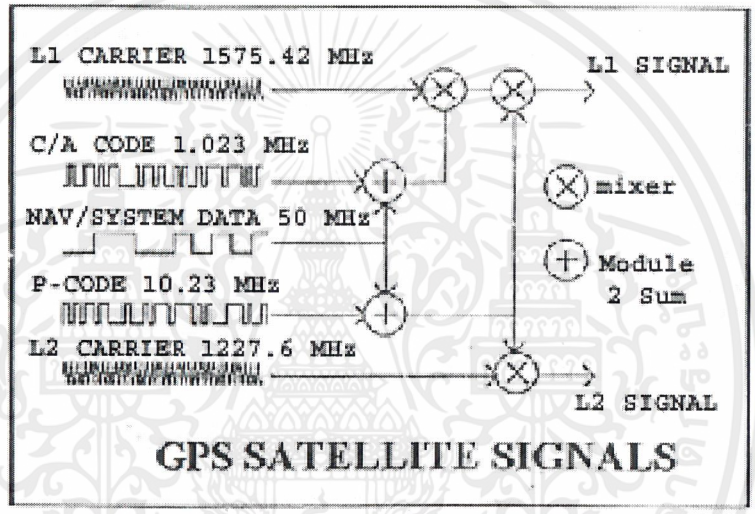
### 2.2.1 การบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน ( Standard Positioning Service (SPS))

ระบบ GPS เป็นระบบที่ผู้ใช้บริการสามารถใช้สัญญาณ L1 ได้เพียงอย่างเดียวในการหาพิกัด GPS เป็นบริการที่ให้ความถูกต้องน้อยกว่า แต่จะใช้งานได้กับผู้ใช้ทั้งหมดในช่วงเวลาที่ไม่มีสงครามอาจมีการลดค่าความถูกต้องลง เนื่องจากความมั่นคงได้โดยประธานาธิบดีสหรัฐเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ลักษณะของสัญญาณจากดาวเทียมในระบบจีพีเอส ( GPS Satellite Signal )

ดาวเทียมจะส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟสองความถี่ออกมา โดยความถี่ทั้งสองนี้จะทำหน้าที่เป็นคลื่นพาหะคือ สัญญาณความถี่พาหะ L1 (1575.42MHz ) และ L2(1227.60MHz ) ความถี่พาหะจะถูกมอดูเลตโดยสเปรดสเปกตรัมรหัส ประกอบด้วย ขบวนของรหัส PRN ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของดาวเทียมแต่ละดวง และข้อมูลข่าวสารการนำร่อง ดาวเทียมทุกดวงส่งคลื่นความถี่พาหะที่เหมือนกัน แต่สัญญาณไม่รบกวนกันเป็นเพราะรหัส PRN ที่มอดูเลตเข้าไป ดังนั้นสัญญาณจากดาวเทียมดวงใด ๆ สามารถถูกแยกได้โดยใช้เทคนิคย้อนกลับ เรียกเทคนิคนี้ว่า Code Division MultipleAccess ( CDMA ) โดยการที่เครื่องรับจะจำลองรหัส PRN ของดาวเทียมดวงที่ต้องการเพื่อทำการดีมอดูเลต




**รูปที่ 2.7** แสดงสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากดาวเทียม

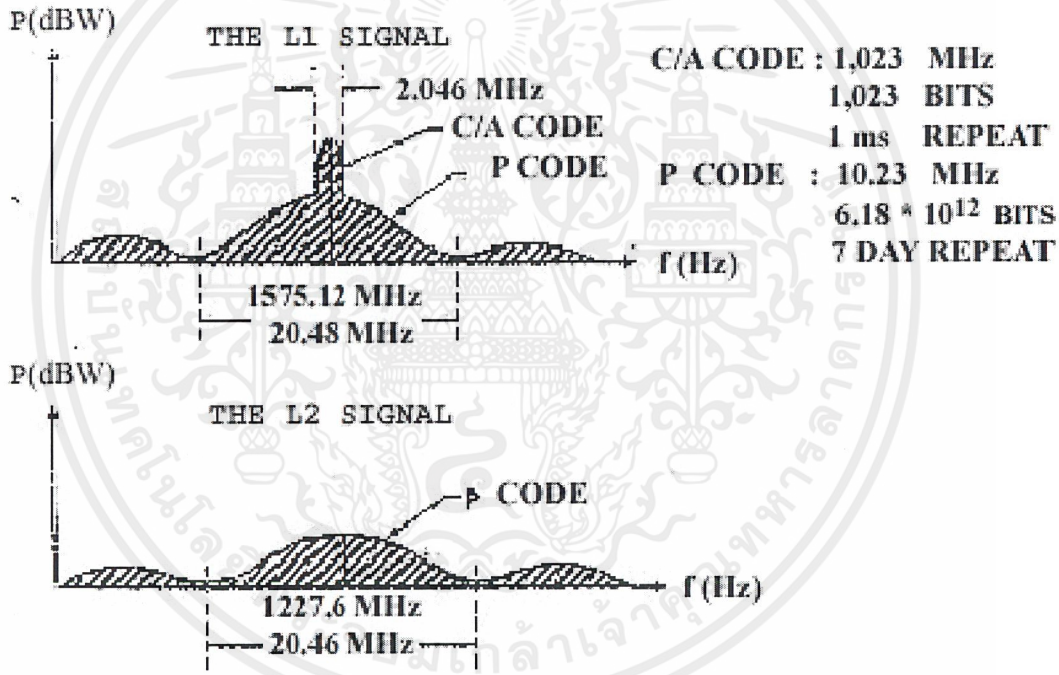
สัญญาณพาหะ L1 จะถูกมอดูเลตโดยรหัส PRN 2 ชุด และมอดูเลตกับรหัสข้อมูลข่าวสารแบบ Binary Phase Shift Key โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปวิธีกระจายแถบความถี่ ส่วนสัญญาณพาหะ L2 จะถูกมอดูเลตโดยรหัส PRN 1 ชุด และข้อมูลข่าวสาร โดยสรุปรหัสที่ถูกมอดูเลตกับคลื่นพาหะมีอยู่ 3 ชนิด คือ

**2.3.1 Coarse / Acqusition Code ( C/A )** เป็นข้อมูลรหัส PRN มีลักษณะเป็นไบนารี่ (Binary Code) มีความถี่ 1.023 MHz ขนาดความยาว 1024 bits มีคาบเวลา 1 ms รหัส C/A จะถูก Exclusive – OR กับข้อมูลข่าวสารการนำร่องก่อนที่จะส่งออกจากดาวเทียมโดยมอดูเลชั่นกับพานะ L1 เพียงอย่างเดียว ทำให้ผู้ใช้บริการระบบ SPS ไม่สามารถคำนวณความล่าช้าของสัญญาณอันเนื่องมาจากบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้อย่างละเอียดเพราะต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L2 รหัส C/A จะถูกเข้ารหัสด้วยเทคนิค SA เพื่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นเล็กน้อย สาเหตุเนื่องมาจากปัญหาความมั่นคง

**2.3.2 P – Code** เป็นข้อมูลรหัส PRN แบบไบนารี่ มีความถี่ 1.023 MHz ขนาดยาว 7 วัน โดยจะเริ่มใหม่ทุกๆ เที่ยงคืนวันเสาร์ – อาทิตย์ รหัส P – Code จะเหมือนกับรหัส C/A คือถูก Exclusive – OR กับข้อมูลข่าวสารการนำร่องแต่จะถูกมอดูเลตกับทั้งคลื่นพาหะ L1 และ L2 ทำให้ผู้ใช้บริการแบบ PSP สามารถใช้คลื่นทั้งสองคำนวณความล่าช้าอันเนื่องจากบรรยากาศได้อย่างละเอียดรหัส P – Codeจะถูกเข้ารหัสเช่นเดียวกับรหัสC/A แต่รหัส P – Code จะถูกเข้ารหัสด้วยเทคนิค AS ด้วยและจะเรียกเปลี่ยนเป็นรหัส P(Y) – Code




**รูปที่ 2.8** แสดงภาพเสปกตรัมความถี่ของสัญญาณจากดาวเทียม

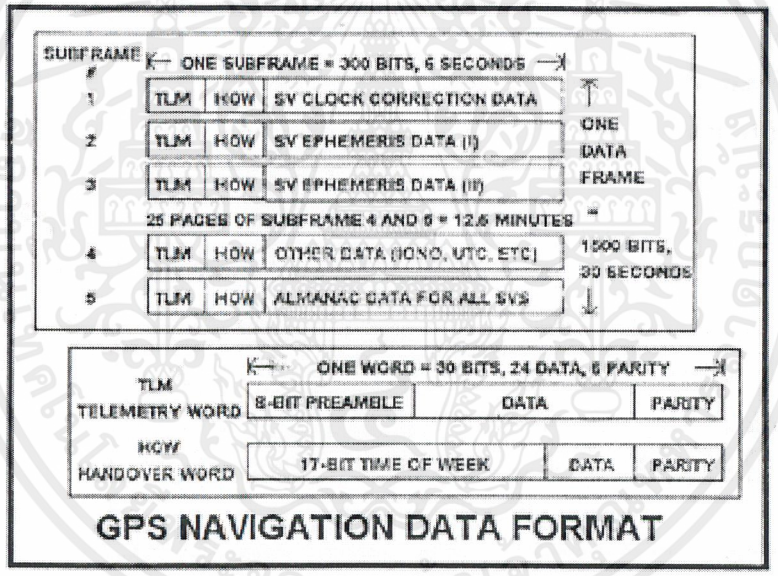
**2.3.3 ข่าวสารการนำร่อง (Navigation Message)** ข่าวสารการนำร่องมีความถี่ 50 Hz จะรวมอยู่ทั้งในรหัส P(Y) และ C/A ด้วยวิธี Exclusive – OR ข่าวสารการนำร่องจะมีข้อมูลเอกลักษณ์ของดาวเทียมดวงที่ส่งสัญญาณ และข้อมูลทั่วไปของดาวเทียม ดังนี้

- เวลาขณะที่ส่งข้อมูลออกจากดาวเทียม (time of transmission of the message)
- Hand – Over Word (HOX) for the transition from C/A – Code to P(Y) – Code tracking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อมูลการแก้ไขสัญญาณนาฬิกา (Clock Correction)
- ข้อมูลอิฟีเมอริส
- ข้อมูลแสดงสถานะของดาวเทียมส่งสัญญาณ (Health data for the Transmitting satellite)
- ข้อมูลอัลมาแนค (Almanac and Health data for all satellite)
- ค่าสัมประสิทธิ์โคแอฟฟีเชียลสำหรับจำลองชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Coefficients for the Ionosphere delay model)
- ค่าสัมประสิทธิ์โคแอฟฟีเชียลเพื่อคำนวณเวลา UTX (Coefficients to calculate UTC)

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




**รูปที่ 2.9** แสดงรายละเอียดข่าวสารการนำร่อง

เฟรมย่อยที่ 1 จะบรรจุข้อมูลการแก้ไขสัญญาณนาฬิกาสำหรับดาวเทียมที่ส่ง และมีพารามิเตอร์บ่งบอกถึงความแม่นยำและสภาพของสัญญาณ

เฟรมย่อยที่ 2,3 จะบรรจุอิฟีเมอริสพารามิเตอร์ (Ephemeris parameter) เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของดาวเทียม สำหรับคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟรมย่อยที่ 4,5 จะเป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตลอด 25 เฟรม โดยจะบรรจุข้อมูลแสดงสถานะของดาวเทียมข้อมูลอัลมาแนค ข้อมูล UTC และข้อมูลที่จำลองสถานะของบรรยากาศ

HOW จะมีข้อมูลที่บอกถึงเวลาของดาวเทียมและเวลาของรหัส P(Y) ที่มีคาบเวลายาวถึง 7 วัน เพื่อให้เครื่องรับสามารถใช้ในการถอดรหัส P(Y)

TLMจะมีข้อมูลเริ่มต้นที่ช่วยให้เครื่องรับสามารถใช้ในการตรวจจับข้อมูลเริ่มต้นในแต่ละเฟรม

## 2.4 การทำงานของเครื่องรับสัญญาณ GPS (GPS Receiver Operation)

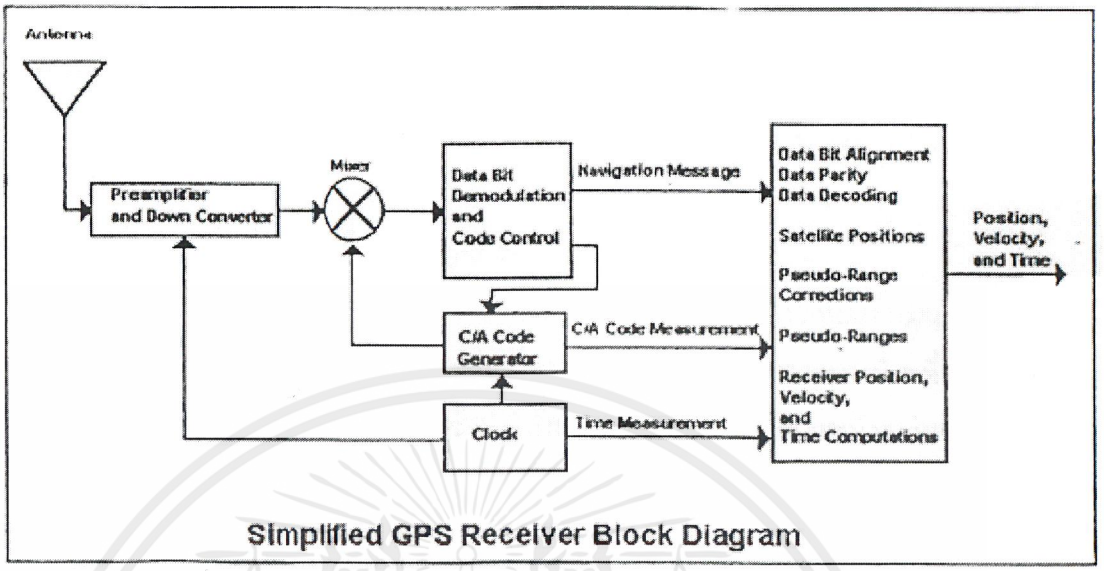
### 2.4.1 การเลือกดาวเทียม (Satellite Tracking Selection)

กระบวนการแทรคสัญญาณจะเริ่มโดย เครื่องรับจะหาว่าดาวเทียมดวงไหนที่เป็นไปได้ในการแทรคสัญญาณ โดยจะทำการค้นหารหัส C/A ของดาวเทียมที่อยู่ในวิสัยและล๊อคสัญญาณดาวเทียมดวงนั้น เมื่อดาวเทียมถูกแทรคเครื่องรับจะสามารถดึมอดูเลตข้อมูลการนำร่อง, ค่าอัลมาแนคและข้อมูลแสดงสถานะของดาวเทียมทั้งหมด ซึ่งการเลือกดาวเทียมของเครื่องรับจะต้องใช้ข้อมูลจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงในการคำนวณ เครื่องรับอาจรับข้อมูลทุกดวงในพิสัยมาทำการคำนวณเลยก็ได้ แต่เครื่องรับส่วนใหญ่จะทำการเลือกดาวเทียมไม่มากเกินไป ในการคำนวณเนื่องจากปัญหาการยุ่งยากในการคำนวณและต้นทุน ดังนั้น ในการเลือกดาวเทียมที่จะรับข้อมูลเครื่องรับอาจเลือกจากข้อมูลสถานะดาวเทียมที่ดีที่สุดที่ได้จากสัญญาณแทรคดาวเทียมดวงแรก หรืออาจเลือกจากดาวเทียมที่ได้สัญญาณก่อนเลยก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

### 2.4.2 การรับสัญญาณดาวเทียม (Satellite Signal Acquisition)

สัญญาณของดาวเทียมที่ส่งออกมาเมื่อมาถึงเครื่องรับ สัญญาณที่ได้จะมีกำลังอ่อน และจะถูกรบกวนโดย Noise เครื่องรับจึงจำเป็นต้องทำการจำลองสัญญาณที่ได้รับเข้ามา และนำมาเรียงให้ตรงกับสัญญาณดาวเทียม จากนั้น จึงทำการคอมเพรสกลับมาให้เป็นสัญญาณจริง เรียกวิธีการนี้ว่า เทคนิคโคดคอรีเลชัน ( Code Correlation )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

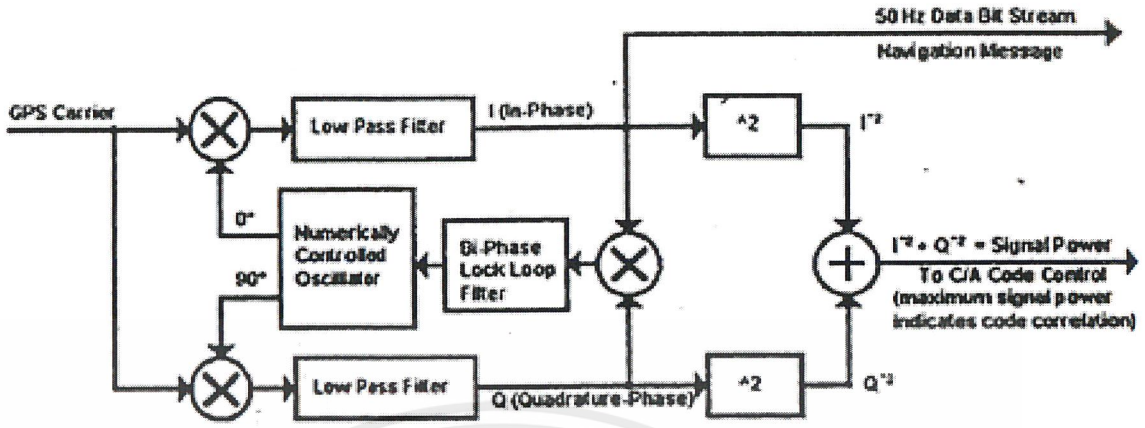



**รูปที่ 2.10** แสดงภาพบล็อคไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณ GPS

### 2.4.3 การถอดรหัสข้อมูล (Data Detection)

ข้อมูลที่เครื่องรับสัญญาณได้รับจากดาวเทียม เป็นข้อมูลที่มีการมอดูเลตกันของคลื่นพาหะ รหัส C/A รหัส P(Y) และข้อมูลข่าวสาร ในการถอดคลื่นพาหะจะใช้โลว์ฟาสฟิวเตอร์ ( Low Pass Filter ) เพื่อแยกเอาคลื่นพาหะออก เครื่องรับจะใช้ตัวสังเคราะห์ความถี่สร้างเฟสที่คงที่ และจะใช้เทคนิคเฟสล๊อกลูป (phase – locked – loop) ในการล๊อคลูป (เรียก Carrier Tracking Loop) ไว้เพื่อการตรวจจับสัญญาณ ส่วนการถอดรหัส C/A ออกจะทำการสร้างสัญญาณ C/A จำลองขึ้นจากคุณลักษณะของดาวเทียมแต่ละดวง เพื่อกำหนดและล๊อคลูปข้อมูล รหัส C/A (เรียก Code Tracking Loop) แล้วจึงทำการแยกรหัส C/A ออกมา ส่วนรหัส P(Y) นั้น เนื่องจากมีความยาวคาบสัญญาณถึง 7 วัน จึงใช้วิธีเฟลล๊อคลูป ( Phase Lock Loop ) ไม่ได้ จึงใช้ข้อมูลที่อยู่ใน HOW ในการทราบเวลาที่แน่นอนในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.11** แสดงภาพการถอดรหัสข้อมูลข่าวสารการนำร่อง

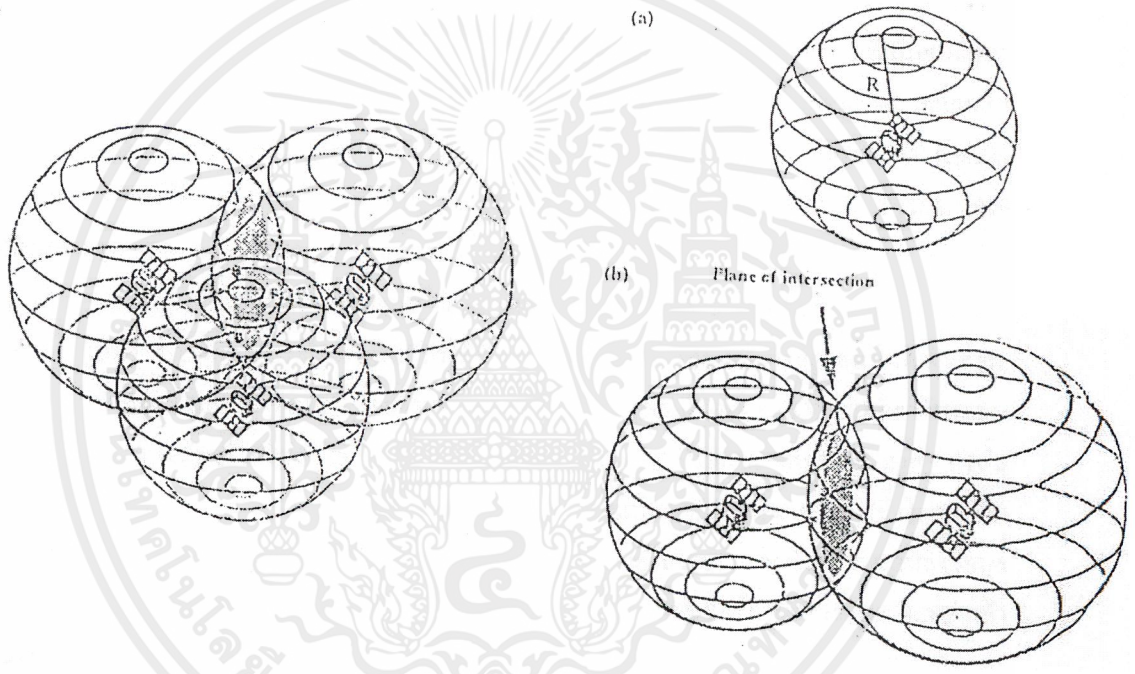
## 2.5 การคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ

GPS เป็นระบบการวัดพิสัยทางเดียวที่มีเครื่องส่งสัญญาณอยู่ในดาวเทียมที่หมุนรอบโลกอยู่ในอวกาศ ถึงแม้ว่าดาวเทียมจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง เครื่องรับจะติดตามดาวเทียมที่อยู่ในพิสัยและประมาณค่าพารามิเตอร์ วงโคจรดาวเทียม ซึ่งทำให้สามารถคำนวณหาค่าตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมในระบบอ้างอิงกับแกนโลก (Earth Center Earth Fixed Reference System (ECEF)) ข้อมูลนี้เรียกว่า Ephemeris หรือเวคเตอร์ตำแหน่งของดาวเทียมต่อเวลา ผู้ใช้ที่ต้องการหาตำแหน่งในสามมิติ คือ ละติจูด ลองติจูด และความสูง ต้องวัดสัญญาณ GPS จากดาวเทียมสามดวง และคำนวณเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณ (Transit Time) จากแต่ละดาวเทียมมาถึงผู้ใช้จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างดาวเทียมสามดวงและเครื่องรับในแนวแกนสามแกน จึงสามารถหาค่าแกนทั้งสามได้ แต่กรณีนี้สิ่งสำคัญที่สุดคือ เวลาของทั้งเครื่องรับสัญญาณ GPS และเวลาเครื่องส่งสัญญาณจะต้องมีความแม่นยำสูงและจะต้องตรงกันหมด (ซิงโครนัสกัน) แต่ในความเป็นจริงสัญญาณจากเครื่องส่ง (ดาวเทียม) จะมีวิธีการแก้สัญญาณเวลาให้ถูกต้องจากสถานีควบคุมหลักแต่เครื่องรับสัญญาณในแต่ละเครื่องไม่สามารถควบคุมให้มีเวลาที่เที่ยงตรงได้ ดังนั้นจึงมีการเพิ่มความสัมพันธ์ในด้านความต่างของเวลาขึ้นมาอีกค่า จึงต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มอีก 1 ดวง ดังนั้นระบบนำร่อง GPS จึงมีความจำเป็นต้องใช้สัญญาณจากดาวเทียม ในการคำนวณอย่างน้อย 4 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 การระบุตำแหน่งโดยสัญญาณดาวเทียม

สัญญาณที่ส่งออกมา จากดาวเทียมดวงหนึ่งจะมีข้อมูลของเวลาขณะส่งจากสัญญาณนาฬิกาแบบดาวเทียมรวมอยู่ด้วย เมื่อสัญญาณมาถึงเครื่องรับจะสามารถทราบเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณจากระบบนาฬิกาของเครื่องรับที่ซิงโครนัสกับของระบบ ดังนั้นเมื่อเราทราบว่าความเร็วของสัญญาณดาวเทียมมีค่าประมาณเท่ากับความเร็วแสง คือ $3 \times 10^8$ m/s จึงสามารถหาระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณได้ โดยสัญญาณจากดาวเทียม 1 ดวง จะทราบว่าเครื่องรับอยู่บนผิวทรงกลมที่มีรัศมีเป็นระยะห่างของดาวเทียมและเครื่องรับ




**รูปที่ 2.12** แสดงภาพการตัดกันของระยะห่างจากดาวเทียมอันเป็นตำแหน่งของเครื่องรับ

ถ้าทำการวัดระยะทางดาวเทียมดวงที่ 2 พร้อมๆ กัน จะได้พื้นที่ตำแหน่งของเครื่องรับบนเส้นรอบวงกลม ซึ่งเกิดจากการตัดกันของทรงกลมดังรูป และถ้าเพิ่มสัญญาณจากดาวเทียมดวงที่ 3 ก็จะได้ตำแหน่งของผู้ใช้ 2 ตำแหน่งที่เกิดจากการตัดกันของทรงกลมทั้ง 3 ตำแหน่งที่เหลือเพียง 2 ตำแหน่ง โดยค่าตำแหน่งที่อยู่ด้านบนจะเป็นตำแหน่งที่ลอยอยู่ ดังนั้น ณ ตำแหน่งด้านล่างที่เกิดจากการตัดกันของทรงกลมทั้ง 3 จะเป็นตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องรับสัญญาณ สำหรับผู้ใช้ที่อยู่บนผิวโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



### 2.5.2 ระบบพิกัดอ้างอิง

ในการที่จะได้มาค่าต่างๆ จากการนำร่องด้วยดาวเทียมจำเป็นที่จะต้องมีระบบพิกัดอ้างอิง เพื่อความเป็นหนึ่งเดียวของทั้งดาวเทียมและเครื่องรับ โดยทั่วไปจะบอกด้วยเวกเตอร์ของตำแหน่งและความเร็วของเครื่องรับระบบพิกัดคาทีเซียน ซึ่งใช้กันมี 2 แบบ คือ อินเนอร์เชียร ( Inertial ) และ โลเทชั่น ( rotation )

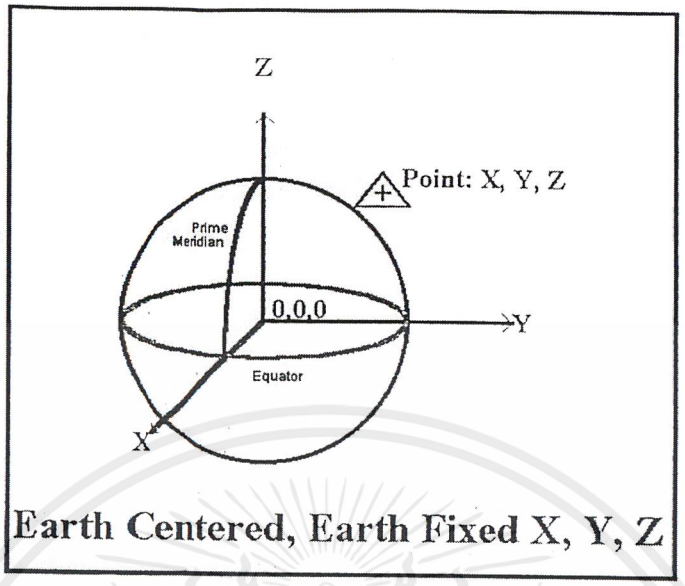
#### 2.5.2.1 ระบบโดออดิเนตแบบ Earth Centered Inertial (ECI)

ในระบบนี้กำหนดให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลของโลกและเป็นระบบเฉื่อย ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก จึงอยู่ในรูปแบบที่สมมติว่าระบบ ECI ไม่มีความเร่งเป็นไปตามสมการของนิวตัน โดยทั่วไปจะกำหนดให้ระนาบ XY เป็นระนาบศูนย์สูตร (equatorialplane) โดยทิศทาง +Y จะเลือกให้เป็นไปตามกฎมือขวา ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบนี้เกิดจากการเคลื่อนที่ที่ผิดปกติของโลก แรงดึงดูดของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ต่อการนูนออกที่เส้นศูนย์สูตรของโลก ทำให้ระนาบศูนย์สูตรมีการเคลื่อนที่เทียบกับทรงกลมท้องฟ้า ส่งผลให้แกน –Z เคลื่อนไปด้วย การแก้ปัญหานี้โดยการกำหนดทิศทางการหันของแกนที่ค่าเฉพาะต่างๆ กันตามเวลา (epoch) ระบบ ECI ของจีพีเอส กำหนดการหันของระนาบศูนย์สูตรที่ 1200 hr. UTC ในวันที่ 1 ม.ค. 2000 เป็นอ้างอิง

#### 2.5.2.2 ระบบโคออดิเนตแบบ Earth Centered – Earth Fixed (ECEF)

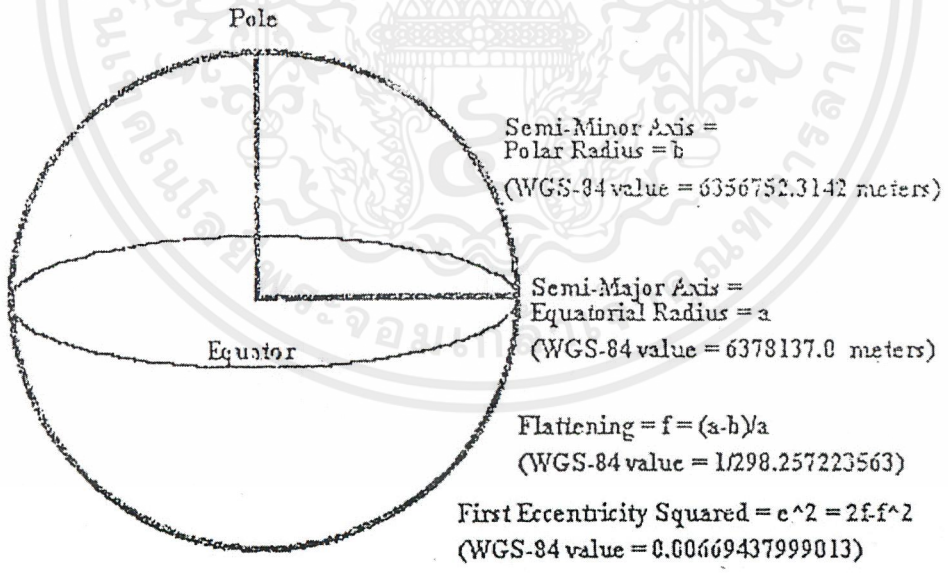
เป็นระบบพิกัดซึ่งจะมีการหมุนไปพร้อมๆ กับโลก และสามารถแปลงเป็นค่าละติจูด, ลองจิจูด และความสูงได้โดยง่าย โดยกำหนดเป็นระนาบศูนย์สูตรเป็นระบบ XY เช่นเดียวกับระบบ ECI แต่ทิศทาง +X จะชี้ไปยังเส้นลองติจูด 0 องศา และทิศทาง +Y ชี้ไปยังลองติจูด 90 องศา ดังนั้นทั้งแกน X และ Y จะหมุนไปพร้อมๆ กับโลก ส่วนแกน Z จะเป็น + กับระนาบ XY (ขั้วโลกเหนือ) เป็นไปตามกฎมือขวา ด้วยวิธีนี้ก่อนการคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับ จึงต้องทำการแปลงข้อมูลอิฟีเมอริสของดาวเทียมจากแบบ ECI เป็น ECEF เมื่อได้ค่าโคออดิเนตของเครื่องรับในระบบ ECEF แล้วจึงทำการแปลงพิกัดให้อยู่ในรูป ละติจูด, ลองจิจูด และความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
43023




**รูปที่ 2.13** แสดงภาพจำลองและระบบ ECEF

**2.5.2.3 ระบบ World Geodetic System ( WGS – 84X )**




**รูปที่ 2.14** รูปแบบจำลองของโลกที่เป็นวงรีในแบบ (WGS – 84)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะทำการแปลง x, y, z ให้อยู่ในรูปละติจูด,ลองติจูด และความสูงจำเป็นต้องกำหนดแบบจำลองโลกขึ้นมาก่อน ซึ่งแบบจำลองมาตรฐานของโลกที่ใช้ในระบบจีพีเอส คือ WGS – 84 ของกระทรวงกลาโหมสหรัฐ ซึ่งกำหนดให้โลกเป็นรูปวงรี ดังแสดงในรูปที่ 2-13 โดยมีรัศมีที่ระนาบศูนย์สูตร a = 6378.137 km. เรียกว่า "semi – major axis" แกนที่ตั้งฉากกับระนาบศูนย์สูตรเรียกว่า "semi – minor axis" b = 6356.7523142 km. ดังนั้นค่าความรีของโลก (Eccentricity, e) และค่าความแบน (Flattening, f) จะกำหนดโดย

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \qquad \text{: สมการที่ 2.1}$$

$$f = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \qquad \text{: สมการที่ 2.2}$$

ระบบพิกัด ECFF ใช้แบบจำลองของโลกในแบบ WGS-84 ดังแสดงข้างต้นโดยมีจุด 0 เป็นจุดศูนย์กลางของโลก ทำให้สามารถหาค่าลองติจูด, ละติจูด และความสูงเมื่อเทียบกับแบบจำลองนี้ได้ โดยค่าต่างๆ นี้เรียกว่า จีออดิติก (geodetic) เมื่อทราบเวกเตอร์ตำแหน่งของเครื่องรับ $U = (X_u, Y_u, Z_u)$ ในระบบ ECFF เราจะคำนวณค่า จีออดีติก (X) เป็นมุมระหว่างผู้ใช้กับแกน X วัดตามระนาบ XY ได้ดังนี้

$$\lambda = \begin{cases} \arctan\left(\dfrac{y_u}{X_u}\right) & , X_u \geq 0 \\ 180° + \arctan\left(\dfrac{y_u}{X_u}\right) & , X_u < 0 , Y_u \geq 0 \\ -180° + \arctan\left(\dfrac{y_u}{X_u}\right) & , X_u < 0 , Y_u < 0 \end{cases} \qquad \text{: สมการที่ 2.3}$$

ในสมการ 2.3 เครื่องหมายแสดงว่าเป็น ลองติจูดตะวันตก ส่วนค่า $\phi$ และ h จะกำหนดด้วยเวกเตอร์ 1 หน่วย $(\vec{n})$ ดังรูป 2.13 สังเกตว่าค่า h จะคิดเทียบกับวงรี WGS-84 ไม่ใช้เทียบกับระดับน้ำทะเลดังแสดง ในแผนที่ทั่วๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ

โดยทางทฤษฎีนั้นการคำนวนหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนั้นจะสมมติว่าสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียมและของเครื่องรับนั้น ซิงโครนัสกับเวลาของระบบการหาค่าตำแหน่งดาวเทียมจะใช้ระบบ ECFF ในการหาข้อมูล โดยเรียกข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมนี้ว่าข้อมูลอิฟีเมอริส (Ephermeris) โดยข้อมูลที่ได้จะข้อมูลเวกเตอร์ตำแหน่งดาวเทียมต่อเวลา ผู้ใช้จะใช้ข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมในการกำหนดตำแหน่งดาวเทียม เพื่อหาจุดตัดอันเป็นตำแหน่งของเครื่องรับ ผู้ใช้ต้องการหาตำแหน่งใน 3 มิติ คือ ละติจูด, ลองติจูด และความสูงจึงต้องรับสัญญาณดาวเทียม 3 ดวง เพื่อหาตำแหน่งเครื่องส่งสัญญาณ (ตำแหน่งดาวเทียม)($X_i$, $Y_i$, $Z_i$) รวมถึงเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณ $\left(\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3\right)$ ดังนั้นจะได้สมการขึ้นมา 3 สมการและมีตัวแปรที่ต้องการ 3 ตัว คือ ตำแหน่งของผู้ใช้ ($U_x$, $U_y$, $U_z$) จะสามารถหาได้จากการแก้สมการทั้งสามสมการ

$$\sqrt{(x_1-u_X)^2+(y_1-u_y)^2+(z_1-u_Z)^2} = \mathrm{R}_1 = c\Delta t_1$$

$$\sqrt{(x_2-u_X)^2+(y_2-u_y)^2+(z_2-u_Z)^2} = \mathrm{R}_2 = c\Delta t_2 \quad : \text{สมการที่ 2.4}$$

$$\sqrt{(x_3-u_X)^2+(y_3-u_y)^2+(z_3-u_Z)^2} = \mathrm{R}_3 = c\Delta t_3$$

โดย R คือระยะทางที่วัดได้ และ c คือค่าความเร็วสัญญาณมีค่าเท่ากับความเร็วแสง

แต่สมการนี้เกิดขึ้นได้ยากในความเป็นจริง เนื่องจากสัญญาณเวลาของเครื่องรับทั่วไปไม่ซิงโครนัสกับระบบ ดังนั้นระหว่างเครื่องรับและดาวเทียมจึงมีการอ้างอิงเวลาที่ต่างกัน เวลาที่วัดได้จากเครื่องรับจึงประกอบด้วยสองส่วนคือ เวลาที่วัดได้จากเครื่องรับจึงประกอบด้วยสองส่วนคือ เวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณ โดยเทียบจากระบบ (เวลาดาวเทียมเนื่องจากดาวเทียมมีการปรับเวลาให้ซิงโครนัสกับระบบเสมอ , เวลาที่เปลี่ยนไปของเครื่องรับ $\Delta t$ ดังนั้นระยะ ทางที่วัดได้เป็น $\mathrm{R} = c\left(\Delta t + \Delta T\right)$

ระยะที่วัดได้นี้เรียกว่า ระยะเทียม (Psedorange) และเปลี่ยนเป็นใช้สัญลักษณ์ $\rho$ แทนระยะจริง ความแตกต่างของระยะจริงกับระยะซูโดเรนจ์ คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากระยะทางที่เกิดขึ้น โดยความไม่ตรงกันของนาฬิกาของเครื่องส่งและเครื่องรับ แต่ยังกำหนดให้นาฬิกาของเครื่องส่งจากดาวเทียมซิงโครนัสกันหมด เวลาที่ไม่เท่ากันนี้เรียกว่า ไบแอส (Bias) ค่านี้เป็นพารามิเตอร์ไม่ทราบค่าที่เพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ามา จึงทำให้ต้องทำการรับค่าสัญญาณเพิ่มจากดาวเทียมอีกทีหนึ่ง ดวงเพื่อสร้างสมการเพิ่มในการแก้พารามิเตอร์เวลาไบแอส

$$\sqrt{(x_1-u_X)^2+(y_1-u_y)^2+(z_1-u_Z)^2} \quad = \mathrm{R}_1 = c\left(\Delta t_1 + \Delta T\right)$$

$$\sqrt{(x_2-u_X)^2+(y_2-u_y)^2+(z_2-u_Z)^2} \quad = \mathrm{R}_2 = c\left(\Delta t_2 + \Delta T\right) \text{: สมการที่ 2.5}$$

$$\sqrt{(x_3-u_X)^2+(y_3-u_y)^2+(z_3-u_Z)^2} \quad = \mathrm{R}_3 = c\left(\Delta t_3 + \Delta T\right)$$

$$\sqrt{(x_4-u_X)^2+(y_4-u_y)^2+(z_4-u_Z)^2} \quad = \mathrm{R}_4 = c\left(\Delta t_4 + \Delta T\right)$$

จากค่าที่หาได้นั้นจะต้องแปลงเพื่อให้อยู่ในรูปข้อมูล Latitude, Longitude และ height เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้งานต่อเนื่องจากเป็นระบบที่เป็นสากลกว่า การแปลงจะอาศัยสูตร

$$\phi = a\tan\left(\frac{Z + e'^2\, b\sin^3\theta}{p - e\,2a\cos 3\theta}\right)$$

$$\lambda = a\tan 2(Y, X) \qquad \text{: สมการที่ 2.6}$$

$$h = \frac{p}{\cos(\phi)} - n(\phi)$$

โดยที่ $\phi, \lambda, h$ คือค่า Latitude, Longitude และ height ตามลำดับ

ค่า X,Y, Z คือค่าของ $U_x$, $U_y$, $U_z$ ตามลำดับโดยใช้ระบบ ECEF

$$N(\phi) = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2\sin\phi}} \quad , p = \sqrt{x^2 + y^2}$$

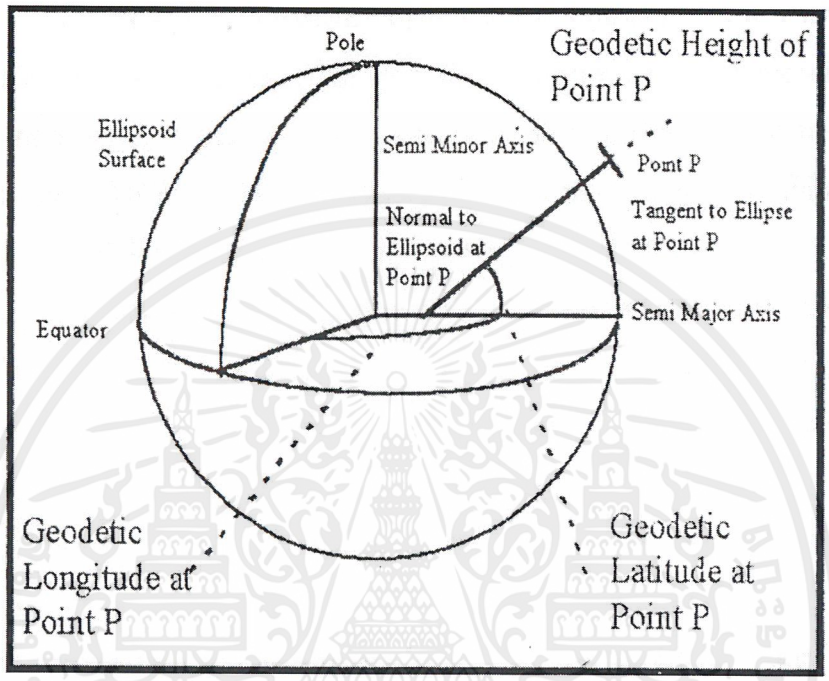
: สมการที่ 2.7

$$\theta = a\tan\left(\frac{Za}{pb}\right) \quad , e^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ a คือ ค่า semi-major earth axis

b คือ ค่า semi-miner earth axis




**รูปที่ 2.15** แสดงภาพการกำหนดพิกัดแบบละติจูด, ลองจิจูด และความสูง

## 2.7 การผิดพลาดในระบบ GPS

แม้ว่าระบบ GPS จะถูกพัฒนาให้มีความถูกต้องในระบบการนำร่องทั่วโลกก็ตามนั้น แต่ระบบ GPS ยังคงมีค่าความผิดพลาดมากพอสมควร โดยความผิดพลาดนี้มีสาเหตุมาจาก

**2.7.1 Ephemeris Data Error** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากตำแหน่งของดาวเทียม GPS เกิดจากการเฉไปของวงโคจรดาวเทียม เมื่อข้อมูล GPS ไม่ได้ส่งตำแหน่งที่ถูกต้องของดาวเทียม จะมีผลความผิดพลาดไปถึงการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ ค่าความผิดพลาดนี้จะถูกแก้ไขโดยข้อมูลควบคุมจากสถานีควบคุมหลัก ดังนั้น ถ้าไม่มีการแก้ไขจากสถานีควบคุม ข้อมูลจะมีการผิดพลาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่จากการรายงานใน ค.ศ. 1984 แสดงว่าสำหรับการทำงานไม่เกิน 24 ชั่วโมง ค่าความผิดพลาดอันเนื่องมาจากค่าอิฟีเมอริสมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2.1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.7.2 Statellite Clock Errors** ในเครื่องส่งสัญญาณ GPS ที่ดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจำเป็นต้องมีนาฬิกาอะตอมมิค (Cesium and Rubidium Oscillators) ซึ่งมีความแม่นยำสูงและจะต้องซิงโครนัสกับนาฬิกาของระบบ แต่ในความเป็นจริงสัญญาณของดาวเทียมจะถูกแก้ไขโดยสถานีควบคุมหลักในซิงโครนัสกับระบบโดยตลอด แต่นาฬิกาของเครื่องรับนั้นยากที่จะทำการแก้ไข จึงต้องมีการชดเชยการคำนวณโดยใช้สัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มในการคำนวณด้านเวลา

**2.7.3 Security signal** ความผิดพลาดเป็นความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด สาเหตุเกิดจากการที่ทางสหรัฐอเมริกาได้ใส่รหัสข้อมูล SA ลงในสัญญาณดาวเทียมทุกดวง ค่าความเคลื่อนจาก SA นั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนทางเวลาประมาณ 10 นาที ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางระยะทางเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร ผู้ใช้ทั่วไปที่ใช้ระบบ SPS จะมีสัญญาณ SA รวมอยู่ด้วยทำให้เกิดความผิดพลาด แต่ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ระบบ PPS จะไม่มีความผิดพลาดจากรหัส SA

**2.7.4 Ionosphere Errors** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ผิดพลาดรองมาจากสาเหตุของ SA ทำให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณดาวเทียม เกิดเนื่องจากอิเลคตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศ Ionosphere สัญญาณจากดาวเทียมเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้จะไม่สามารถเดินทางได้เท่ากับความเร็วแสง การเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะมีความล่าช้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอิเลคตรอนอิสระที่อยู่ในชั้นนี้ และแปรผันตรงกับ 1/f ผู้ใช้ทั้งหมดจะมีค่าความคลาดเคลื่อนในความล่าช้าในชั้น ไอโอโนสเฟียร์

**2.7.5 Troposhere Errors** เป็นสิ่งหนึ่งที่ทำให้ความเร็วแสงเฉไป โดยที่ความแปรปรวนของอุณหภูมิของความดันและความชื้น ทั้งหมดนี้ทำให้ความเร็วแสงของสัญญาณแปรปรวนไปทั้งรหัส สำหรับผู้ใช้ทั่วไปค่าความผิดพลาดนี้จะอยู่ประมาณ 1 เมตร

**2.7.6 Multipath Errors** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจากการส่งสัญญาณของดาวเทียม GPS ไปกระทบผิวสะท้อนก่อนที่จะไปถึงผู้รับ เช่น สะท้อนผิวของตึกหรือผิวของน้ำ โดยผลกระทบนี้มีแนวโน้มที่มากขึ้นในที่ที่เครื่องรับอยู่นิ่งๆ ใกล้กับผิวสะท้อนที่ใหญ่มากๆ ความผิดพลาดที่พบมากที่สุดประมาณ 15 เมตร การแก้ไขความผิดพลาดนี้คือการต่อสายอากาศ (Antenna) ให้กับเครื่องรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.7.7 Receiver Errors** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะของเครื่องรับสัญญาณอันเนื่องมาจากความร้อนภายในเครื่องรับสัญญาณ, ประสิทธิภาพของเครื่องรับ และจำนวนช่องรับสัญญาณแต่เนื่องจากปัจจบันเทคโนโลยีได้พัฒนาจนความผิดพลาดลักาณะนี้มีค่าน้อยมาก

**2.7.8 ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการจับกลุ่มของดาวเทียมที่ใช้นำร่อง (Geometric Dilution of Precision)** ความผิดพลาดนี้เกิดจากการหาระยะทางซูโรเรนจ์ของเครื่องรับ การเลือกกลุ่มดาวเทียมจะเป็นองค์ประกอบหลัก มีการใช้ค่าๆ หนึ่งเป็นตัวแสดงถึงคุณภาพของผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส ค่านี้คือ ไดลูชัน ออฟ พรีรีซิชัน (Dilution of Precision (DOP)) ค่าของ DOP มักถูกอธิบายในเทอมต่างๆ ที่สัมพันธ์กับสัญญาณที่ได้จากการจับกลุ่มดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณเทอมต่างๆ เหล่านี้ได้แก่

GDOP - Geometrical Dilution of Precision

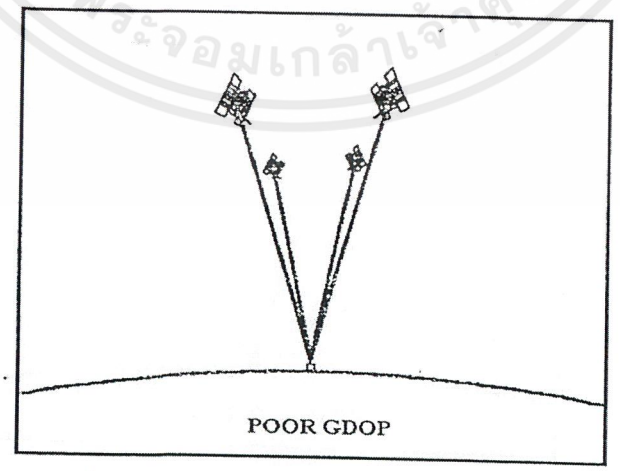
PDOP - Position Dilution of Precision (3 – D) บางทีเรียก Spere DOP

HDOP - Horizontal Dilution of Precision (Latitude, Longitude)

VDOP - Vertical Dilution of Precision (Height)

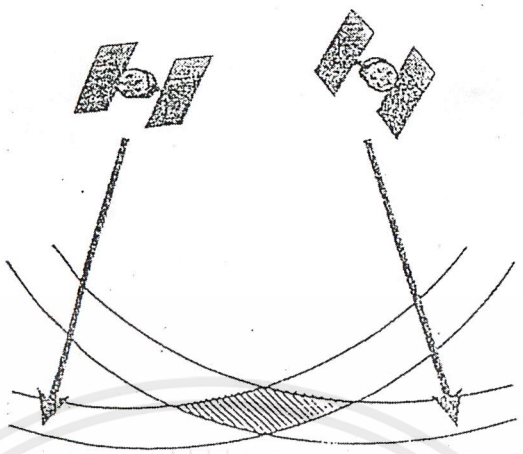
TDOP - Time Dilution of Precision (Time)

ตัวที่มักจะนำมาพิจารณาได้แก่ ค่าจีออเมตริก ไดลูชัน ออฟ พรีซิชัน (Geometric Dilution of Precision GODP) จะแสดงถึงการจัดวางตัวของดาวเทียมสี่ดวงที่ทำกับเครื่องรับสัญญาณ ถ้าค่า GDOP มีค่ามาก พิกัดที่ได้จากเครื่องรับอาจผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็นมากเช่นเดียวกัน ตัวอย่างของการจัดกลุ่มดาวเทียมที่ทำให้ GDOP มีค่าดีและไม่ดีเป็นดังรูปที่ 2 – 16 ถึง 2 – 19

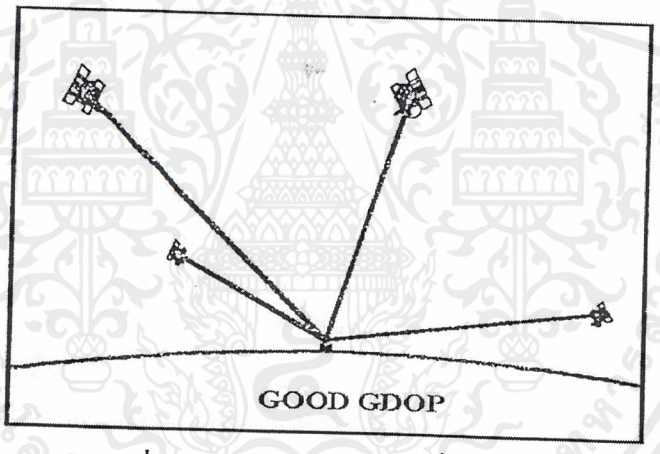



**รูปที่ 2.16** แสดงภาพ การจับกลุ่มที่ไม่ดีของ GDOP

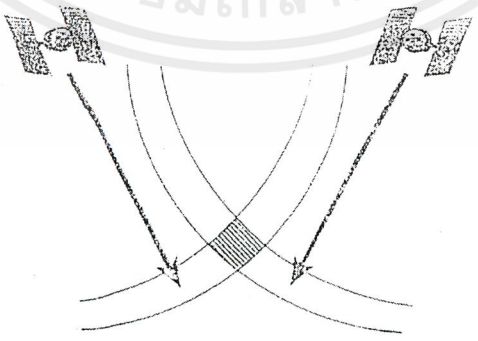
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.17** ผลของ การจับกลุ่มที่ไม่ดีของ GDOP แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การตัดกันที่กว้างมาก




**รูปที่ 2.18** แสดง การจับกลุ่มที่ดีของ GDOP



**รูปที่ 2.19** ผลของการจับกลุ่มที่ดีของ GDOP แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การตัดกันที่แคบลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเราจะเห็นว่า ระยะห่างระหว่างดาวเทียมจะมีผลต่อการคำนวณหาพิกัดด้วยเนื่องจากการแทรกสอด รบกวนกันของสัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียมในแต่ละดวง

## 2.8 มาตรฐาน NMEA และโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของจีพีเอส

### 2.8.1 มาตรฐาน NMEA (NMEA Standard)

มาตรฐาน NMEA คือการอินเตอร์เฟสทางไฟฟ้าและโปรโตคอลการสร้างข้อมูล สำหรับใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์การเดินเรือ (NMEA ยังมีมาตรฐานสำหรับใช้ในการสื่อสารในแบบอื่นๆ ด้วย) โดย NMEA ย่อมาจาก National Marine Electronics Association ซึ่งทำการศึกษาและพัฒนาอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์ทางน้ำ

### 2.8.2 มาตรฐาน NMEA – 183

มาตรฐานที่เอาท์พุทจะเป็นแบบที่มีตัว EIA – 422 และสัญญาณ 2 เส้น, A และ B โวลเตจบนเส้น A จะเป็นเหมือนกับสาย TTL เดียวแบบเดิม ขณะที่ B โวลเตจจะกลับทางกันกับ A เช่น A +5, B จะเป็นกราวด์ในการใช้งาน, สายเพียงสายเดียวคือสาย A ใน EIA – 422 อาจจะถูกใช้เชื่อมต่อกับ RS – 232 อินพุทของเครื่องคอมพิวเตอร์

ในมาตรฐาน NMEA – 183, ตัวอักขระที่ใช้ คือ ASCII Text ซึ่งสามารถพิมพ์ได้ (รวมไปถึง Carriage Return and Line Feed) NMEA – 183 นั้น ข้อมูลจะถูกส่งด้วยอัตรา 4800 baud ข้อมูลจะถูกส่งในรูปของประโยค (Sentences) แต่ละประโยคเริ่มต้นด้วย $ ตัวอักษรตัวที่ตามมาอีก 2 ตัว คือ talker ID หรือ Device ID เช่น GP ใช้เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นข้อมูล GPS ตัวอักษรที่ตามมาอีก 3 ตัวคือ Sentence ID คือตัวกำหนดรูปแบบประโยค (Sentence Formatter) หรือจะเรียกว่า ชื่อประโยค (Sentence Name) ตามมาด้วยฟิลด์ข้อมูลจำนวนหนึ่ง โดยถูกแบ่งแยกด้วยเครื่องหมายคอมม่า(,) และสิ้นสุดด้วยเช็คซัม (checksum) ที่สามารถเลือกได้ว่าจะมีหรือไม่ และจะจบลงด้วยแคเรียรีเทิร์น (carriage return/line feed) ประโยคอาจจะมีตัวอักษรถึง 82 ตัวซึ่งรวมกับ $ และ CR/LF แล้ว

ถ้าข้อมูลสำหรับฟิลด์ไม่สามารถหาได้ ฟิลด์จะถูกเว้นข้ามไป แต่คอมม่าซึ่งทำหน้าที่แบ่งฟิลด์ยังคงถูกส่งไปโดยไม่เว้นช่องว่าง เพราะในแต่ละฟิลด์มีความยาวไม่คงที่หรือไม่มีข้อมูล เครื่องรับจะระบุตำแหน่งของฟิลด์ข้อมูลที่ต้องการ โดยการนับเครื่องหมายคอมมาเช็คซัม ที่เลือกได้ว่าจะมีหรือไม่ประกอบด้วย “ * ” และ 2 บิทของเลขฐาน 16 (2 hex diits) แทนการ Exclusive – OR ของตัวอักษรทั้งหมด แต่ไม่รวม “ $ ” และ “ * ” ในการใช้งานจะมีความต้องการใช้เช็คซัมในบางประโยค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในมาตรฐานจะอนุญาตแต่ละผู้ผลิตในการนิยามรูปแบบประโยค ประโยคเหล่านี้เริ่มต้นด้วย "SP" และตัวอักษรสามตัวที่ตามด้วย Manufacturer ID ตามด้วยข้อมูลตามรูปแบบทั่วไปของประโยคมาตรฐาน

### 2.8.3 โปรโตคอล NMEA – 183

NMEA คือ โปรโตคอลมาตรฐานถูกนำมาใช้เครื่อง GPS เพื่อส่งข้อมูล NMEA เอาท์พุทจะเป็นโปรโตคอล EIA – 422A แต่เราสามารถนำไปใช้ร่วมงานกับ RS – 232 ได้โดยใช้อัตราการส่งข้อมูล 4800 bps, 8 ดาต้าบิท, ไม่มีพาริตี้บิทและมีหนึ่งสตอปบิท(stop bit (8NI)) ประโยคของ NMEA – 183 จะเป็นแอสกีทั้งหมด แต่ละประโยคจะเริ่มต้นด้วยดอลล่าซายน์ ($) และจบลงด้วย carriage return/line feed (<CR><LF) ข้อมูลจะถูก ขั้นด้วยคอมม่าเครื่องรับ GPS บางอันจะไม่ส่งบางฟิลด์ (field) ข้อมูลเช็คซัมถูกเพิ่มเข้าไป ส่วนที่ตามหลัง $ คือแอดเดรสฟิลด์ aaccc โดย aa คือ device id GP ใช้บ่งเพื่อชี้ว่าข้อมูล GPS จะส่ง device id ตามปกติและเลือกได้ ccc คือรูปแบบประโยค (sentence formatter) เรียกว่า sentence name

รูปแบบประโยค NMEA

**RMB**

$GPRMB, A, x.x, a, c-c, d-d, llll.ll, e, yyyyy.yy, f, g.g.h.h, i.i.j*kk

RMB =ข่าวสารที่น้อยที่สุดที่จำเป็นในการนำร่อง (Recommended Minimum Navigation Information)

1 = สถานะของข้อมูล V = การเตือนเครื่องรับในการนำร่อง (navigation receiver warning)

2 = ความคลาดเคลื่อนของครอสแทรค (Crosstrack error) ในหน่วย nautical miles

3 = ทิศทางที่ต้องเบนเข็มไป (Direction to steer) (L or R) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อน

4 = หมายเลขของเวย์พอยท์ (waypoint) เริ่มต้น

5 = หมายเลขของเวย์พอยท์ปลายทาง

6 = ละติจูดของเวย์พอยท์ปลายทาง

7 = N or S (เหนือหรือใต้)

8 = ลองติจูดของเวย์พอยท์จุดหมาย

9 = E or R (ตะวันออกหรือตะวันตก)

10 = ระยะทางไปยังปลายทางในหน่วย nautical miles

11 = แบริ่ง (Bearing) (มุมที่กำลังทำกับปลายทาง) ในหน่วยองศา

12 = ความเร็วในการเข้าถึงจุดหมาย (Destination closing \velocity) ในหน่วย knot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13 = สถานะเมื่อเข้าถึง (arrival status) (A = เข้าถึงหรือผ่านไปอย่างตั้งฉาก

14 = เช็คซัม

**RMC**

$GPRMB, hhmmss.ss, A, llll.ll, a, yyyyy.yy, a, x.x, x.x, ddmmyy, x.x, a*hh

RMC = ข้อมูลชี้เฉพาะของจีพีเอส/ทรายซิทน้อยที่สุดที่จำเป็น (Recommended Minimum Specigic GPS/TRANSIT Data)

1 = เวลาขณะปัจจุบันในระบบ UTC

2 = สถานะของข้อมูล (V = การเตือนเครื่องรับในการนำร่อง (navigation receiver warning))

3 = ละติจูด

4 = N or S (เหนือหรือใต้)

5 = ลองจิจูด

6 =E or W (ตะวันออก หรือตะวันตก)

7 = ความเร็วหน่วยนอต

8 = มุมที่วัดจากทิศเหนือ

9 = มุมที่วัดจากทิศเหนือ

10 = ความแปรปรวนเนื่องจากสนามแม่เหล็ก

11 = E or W (ตะวันออก หรือตะวันตก)

12 = เช็คซัม

**GGA**

$GPRMB, hhmmss.ss, llll.ll, a, yyyyy.yy, a, x, xx, x.x, x.x, M, x.x, xxxx*hh

GGA = ข้อมูลเฉพาะของระบบจีพีเอส Global Positioning System Fix Data

1 = UTC of position

2 = ละติจูด

3 = N or S (เหนือ หรือใต้)

4 = ลองจิจูด

5 = E or W (ตะวันออก หรือตะวันตก)

6 = ค่าซึ่งชี้ถึงคุณภาพของระบบจีพีเอส (o = invalid; 1 = GPS fix; 2 = Diff.GPS fix)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 = จำนวนดาวเทียมที่ใช้

8 = HDOP (Horizontal dilution of position)

9 = ความสูงของสายอากาศเหนือกว่า/ต่ำกว่า ระดับน้ำทะเล

10 = เมตร (หน่วยความสูงของสายอากาศ)

11 = ค่าความแตกต่างระหว่างระบบ WGS – 84 กับ ระบบจีออยด์

12 = เมตร (ความต่างของจีออยด์)

13 = ระยะเวลาตั้งแต่อัพเดตข้อมูลครั้งสุดท้ายจากสถานีอ้างอิง

14 = หมายเลขประจำสถานีอ้างอิง

15 = เช็คซัม

**VIG**

$GPVTG, t, T,,, s.ss, K*hh

VTG = มุมที่ทำกับทิศเหนือจริงๆ และความเร็ว (Actual Track made good and speed over ground)

1 = มุมที่ทำกับทิศเหนือ

2 = อักษร “T” แสดงว่ามุมที่ทำกับทิศเหนือ

3 = ไม่ใช้

4 = ไม่ใช้

5 = ความเร็วหน่วยนอต

6 = อักษร “T” แสดงความเร็วในหน่วยนอต

7 = ความเร็วหน่วย km/h

8 = อักษร “K” แสดงความเร็วในหน่วย km/h

9 = เช็คซัม

**RMA**

$GPRMA, A<llll.ll, N, lllll.ll, W,,, ss.s, vv.v, W*hh

RMA = ข้อมูลการนำร่องจากตำแหน่งปัจจุบัน (Navigation data from present Position)

1 = สถานะข้อมูล

2 = ละติจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 = N/S (เหนือ/ใต้)

4 = ลองจิจูด

5 = W/E (ตะวันออก/ตะวันตก)

6 = ไม่ใช้

7 = ไม่ใช้

8 = ความเร็วหน่วยนอต

9 = Course over groud

10 = ค่าความผันแปร

11 = ค่าความผันแปร E/W

12 = เช็คซัม

**GSA**

$GPGSA, A, 3, 19,28, 27, 22, 31, 39,,,,, 1.7, 1.0 1.3*35

GSA = โหมดการทำงานของเครื่องรับจีพีเอส,ดาวเทียมที่ใช้ในการนำร่องและค่า DOP (GPS receiver operating mode, SVs used for navigation, and DOP values)

1 = โหมด

M = Manual, ให้ผู้ใช้เลือกว่าจะใช้ 2 มิติหรือ 3 มิติ

A = Automatic, 3 มิติ/ 2 มิติ

2 = โหมด

1 = ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้

2 = 2 มิติ

3 = 3 มิติ

3 - 14 = หมายเลขของดาวเทียมที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง (เป็น 0 สำหรับฟิลด์ที่ไม่ได้ใช้)

15 = PDOP

16 = HDOP

17 = VDOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**GSV**

$GPGSV, 4, 1, 13, 02, 213,, 03, -3, 000,, 11, 00, 121, 14, 13, 172, 05*67

GSV = จำนวนของดาวเทียมที่มองเห็น, หมายเลข PRN, เอเลเวชั่นมอาซิมูส และค่า SNR (Number of SVs in view. PRN number. Elevation. Azimuth & SNR value.)

1 = จำนวนหมายเลขของข่าวสารทั้งหมดของหมายเลขนี้ใน 1 รอบ

2 = หมายเลขข่าวสาร

3 = จำนวนทั้งหมดของดาวเทียมที่มีอยู่ในพิสัย

4 = หมายเลข PRN ของดาวเทียม

5 = มุมเอเวเลชั่น (Elevation) หรือมุมเงยมีค่าสูงสุด 90 องศา

6 = มุมอาซิมูธ (Azimuth) ทำกับขั้วเหนือมีค่า 00 – 359 องศา

7 = ค่า SNR มีค่า 00 – 99 dB (0 เมื่อไม่มีการแทรคกิ้ง)

8 – 1 = ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมที่สอง, เหมือนกับฟิลด์ 4 - 7

12 – 15 = ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมดวงที่สอง, เหมือกับฟิลด์ 4 - 7

16 –19 = ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมดวงที่สี่, เหมือกับฟิลด์ 4 - 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# แนวคิดในการนำระบบ GPS มาใช้ในการควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

**แนวคิดเบื้องต้น ( Basic Concept )**

**3.1 คุณสมบัติของโปรแกรม**

โปรแกรมที่เราต้องการจะต้องประกอบด้วย

1. ผู้ใช้สามารถกำหนดเส้นทางการเดินรถไปบนแผนที่ได้
2. โปรแกรมสามารถหาเซตของอันดับตำแหน่งที่ต้องการได้ ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปจนถึงจุดหมายได้โดยไม่ออกจากถนน หรือออกนอกถนนได้ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการ
3. โปรแกรมสามารถหาระยะทางทั้งหมดในเส้นทาง และสามารถคำนวณหาเวลาทั้งหมดในกรณีที่กำหนดความเร็วหรือหาความเร็วเฉลี่ยได้ในกรณีที่มีการกำหนดเวลา
4. ผู้ใช้สามารถใส่ข้อมูลความยาวและความกว้างของรถได้หรือเลือกประเภทยานพาหนะเพื่อใช้ในการคำนวณได้

**3.2 แนวคิดในการออกแบบ**

หลักการคิดในการออกแบบนั้นจะแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักๆคือ

1 . การนำพิกัดของ GPS มาใช้ในการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ในพิกัด x , y

2 . การหาเซตพิกัดของเส้นทางเพื่อให้ไปถึงจุดหมาย

3. การคำนวณหาอัตราความเร็วและเวลาที่ใช้ในการเดินทางของยานพาหนะ

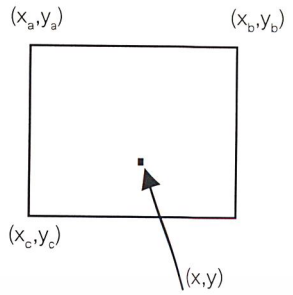
4 . การใช้ความรู้ในเรื่องการแปลงโคออร์ดิเนตมาใช้ในการควบคุมยานพาหนะเพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้

**3.2.1 การนำพิกัดของ GPS มาใช้ในการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ในพิกัด x , y**

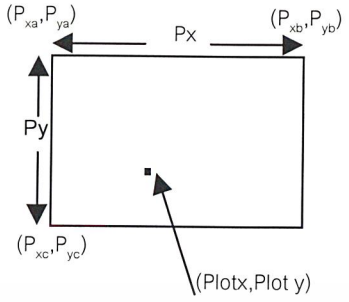
อย่างที่ได้กล่าวในตอนต้น แล้วว่าในการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ต้องใช้หน่วย พิกเซล ในการกำหนด ตำแหน่งซึ่งต่างจากการกำหนดพิกัดในแผนที่ซึ่งใช้หน่วย ละติจูด/ลองติจูด ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกันกับที่ใช้เครื่อง GPSในการเปลี่ยนตำแหน่งจากละติจูด/ลองติจูดไปเป็น พิกเซล ในพิกัด x,y บนจอคอมพิวเตอร์นั้นมีหลักการดังนี้คือ

**3.2.1.1** เริ่มจากการกำหนดจุดตรึงขึ้นมา 3 จุด เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิง ซึ่งแต่ละจุดในจุดนี้ จะต้องอยู่บนโลกจริงๆ ซึ่งถูกระบุในหน่วย องศา/ลิปดา กับจุดที่อยู่บนแผนที่ซึ่งถูกเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์ซึ่งถูกระบุในหน่วย พิกเซล ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.1** แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนพื้นโลก




**รูปที่ 3.2** แสดงการกำหนดจุดอ้างอิงบนแผนที่ในคอมพิวเตอร์

เมื่อกำหนดให้

Xa ,Ya คือ ลองติจูด และ ละติจูด ที่จุดอ้างอิง A

Xb ,Yb คือ ลองติจูด และ ละติจูด ที่จุดอ้างอิง B

Xc ,Yc คือ ลองติจูด และ ละติจูด ที่จุดอ้างอิง C

X ,Y คือ ลองติจูด และ ละติจูด ณ ตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องรับอยู่

Pxa ,Pya คือ ค่าของ พิกเซล ในแนวแกน x และ y ที่จุดอ้างอิง A

Pxb ,Pyb คือ ค่าของ พิกเซล ในแนวแกน x และ y ที่จุดอ้างอิง B

Pxc ,Pyc คือ ค่าของ พิกเซล ในแนวแกน x และ y ที่จุดอ้างอิง C

Plot x ,Plot y คือ ค่าของ พิกเซล ในแนวแกน x และ y ณ ตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องรับอยู่

สมการที่ใช้ในการแปลงหน่วยของพิกัด จากค่าองศา/ลิปดา ไปเป็นค่า พิกเซล มีดังนี้ คือ

$Px = |Pxb-Pxa|$ ; ผลต่างของ พิกเซล ระหว่างจุด A และ จุดB

$Py = |Pxa-Pxc|$ ; ผลต่างของ พิกเซล ระหว่างจุด A และ จุดC

$Plot\ x = Pxa + [\,[(X-Xa)*Px] / |Xa-Xb|\,]$

$Plot\ y = Pya + [\,[(Ya-Y)*Py] / |Ya-Yc|\,]$

เมื่อ Plot x และ Plot y คือค่าพิกัดตำแหน่งที่จะต้องนำไป Plot ลงบนแผนที่บนคอมพิวเตอร์

และจากหน่วยในพิกัด Lat /Lon กับระบบพิกเซล ในคอมพิวเตอร์ใช้คนละแบบกัน ดังนั้นต้องมีการแปลงค่า x กับค่า y ในพิกัดพิกเซลโดยทุก 60ฟิลิปดาเป็น1ลิปดาดังนั้นจึงต้องปรับค่า x , y ให้ ถูกต้องด้วย

**3.2.1.2** การหาเซตของพิกัดของเส้นทางเพื่อให้ไปถึงจุดหมาย นั้นแยกได้เป็น 2 ระบบ คือ

1. ระบบที่ต้องใช้เส้นทางบนถนนเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบที่ให้ยานพาหนะวิ่งออกนอกถนนได้

**3.2.1.2.1 ระบบที่ต้องใช้เส้นทางบนถนนเท่านั้น**

เนื่องจากพฤติกรรมการเลือกเส้นทางของผู้ใช้มีหลากหลายมากดังนั้นจึงต้องให้ผู้ใช้เลือกเส้นทางด้วยตัวเองโดย กำหนดเส้นทางอย่างน้อยที่สุดต้องทำการเลือกเส้นทางทุกๆทางแยก เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการทำงานของโปรแกรม

โดยมีหลักการในการตรวจหาเส้นทางที่เป็นถนน คือสร้างจุดขึ้นมา 32 จุดรอบ ๆ (เสมือนสร้างวงกลม) ที่ผู้ใช้ แล้วหาระยะทางระหว่างแต่ละจุดกับจุดปลายทางว่าจุดใดเป็นจุดที่อยู่บนถนนและมีระยะทางสั้นที่สุด จุดนั้นจะเป็นจุดต่อไป(เสมือนจุดต่อไปคือจุดศูนย์กลางวงกลมวงต่อไป) โดยจุดที่สร้างขึ้นมีวิธีการดังนี้

**รูปที่ 3.3** แสดงจุดทั้งหมด32จุด

สมมุติให้จุดศูนย์กลางอยู่ที่ (X , Y) ดังนั้น เราจะหาตำแหน่งพิกเซลบนหน้าจอได้ ดังนี้

**ตารางที่ 3.1** แสดงตำแหน่งทั้ง 32 จุดเมื่อจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (X,Y)

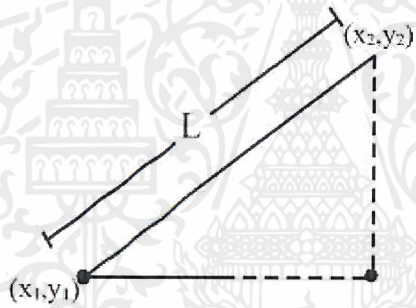
| จุดที่ | ตำแหน่งของ x | ตำแหน่งของ y | | จุดที่ | ตำแหน่งของ x | ตำแหน่งของ y |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | X | Y + r | | 17 | X | Y - r |
| 2 | X+rcos(78.75) | Y+rsin(78.75) | | 18 | X-rcos(78.75) | Y-rsin(78.75) |
| 3 | X+rcos (67.5) | Y+rsin(67.5) | | 19 | X-rcos (67.5) | Y-rsin(67.5) |
| 4 | X+rcos(56.25) | Y+rsin(56.25) | | 20 | X-rcos(56.25) | Y-rsin(56.25) |
| 5 | X+rcos(45) | Y+rsin(45) | | 21 | X-rcos(45) | Y-rsin(45) |
| 6 | X+rcos(33.75) | Y+rsin(33.75) | | 22 | X-rcos(33.75) | Y-rsin(33.75) |
| 7 | X+rcos(22.5) | Y+rsin(22.5) | | 23 | X-rcos(22.5) | Y-rsin(22.5) |
| 8 | X+rcos(11.25) | Y+rsin(11.25) | | 24 | X-rcos(11.25) | Y-rsin(11.25) |
| 9 | X + r | Y | | 25 | X- r | Y |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.1** (ต่อ )

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | X+rcos(78.75) | Y-rsin(78.75) | | 26 | X-rcos(78.75) | Y+rsin(78.75) |
| 11 | X+rcos (67.5) | Y-rsin(67.5) | | 27 | X-rcos (67.5) | Y+rsin(67.5) |
| 12 | X+rcos(56.25) | Y-rsin(56.25) | | 28 | X-rcos(56.25) | Y+rsin(56.25) |
| 13 | X+rcos(45) | Y-rsin(45) | | 29 | X-rcos(45) | Y+rsin(45) |
| 14 | X+rcos(33.75) | Y-rsin(33.75) | | 30 | X-rcos(33.75) | Y+rsin(33.75) |
| 15 | X+rcos(22.5) | Y-rsin(22.5) | | 31 | X-rcos(22.5) | Y+rsin(22.5) |
| 16 | X+rcos(11.25) | Y-rsin(11.25) | | 32 | X-rcos(11.25) | Y+rsin(11.25) |

และทำการหาระยะทางระหว่างจุดทุกจุดทั้ง 32 จุด โดยใช้สมการหาระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด โดยหาจากทฤษฎีสามเหลี่ยม คือ




$$L^2 = |x_2 - x_1|^2 + |y_2 - y_1|^2$$

$$L = \sqrt{|x_2 - x_1|^2 + |y_2 - y_1|^2}$$

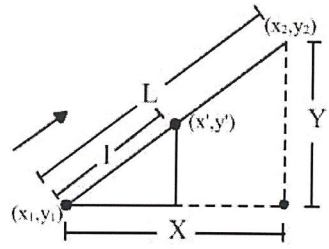
**รูปที่ 3.4** แสดงวิธีการหาระยะทางระหว่างจุด2จุด

โดยกำหนดให้รัศมีวงกลมเท่ากัน 2 มิลลิเมตร ซึ่งถ้าคำนวณจากแผนที่ที่ใช้คือ อัตราส่วน 1 : 20,000 ดังนั้นระยะรัศมีที่ใช้ในความจริง คือ 40 เมตร ซึ่งใช้จุดทั้งหมด 32 จุด เป็นจำนวนที่เหมาะแก่การคำนวณและในความเป็นจริงของถนนในกรุงเทพ

**3.2.1.2.2 ระบบที่กำหนดให้ยานพาหนะออกนอกถนนได้**

ซึ่งการกำหนดเส้นทางแบบนี้ ผู้ใช้ต้องกำหนดเส้นทางให้ละเอียดที่สุดเนื่องจากไม่สามารถจะตรวจสอบได้ว่าจุดต่างๆนั้นถูกต้องหรือไม่ ซึ่งไม่เหมือนกันระบบที่ใช้ในการวิ่งบนถนนเท่านั้น เนื่องจากระบบนี้ไม่มีถนนเป็นตัวตรวจสอบซึ่งในระบบที่ให้ยานพาหนะวิ่งออกนอกถนนได้นั้นมีหลักการที่ใช้ คือ ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้าย นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่3.5** การแสดงทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{x_2 - x_1}{x' - x_1} = \frac{L}{l}$$

$$(x_2 - x_1)\, l = L(x' - x_1) \quad \text{ซึ่ง } l = 0.2$$

$$(x_2 - x_1)\, 0.2 = L(x' - x_1)$$

$$\frac{x_2 - x_1\,(0.2)}{L} = x' - x_1$$

$$\frac{(x_2 - x_1)(0.2) + x_1}{L} = x'$$

**ดังนั้น**

$$x' = \frac{x_2 - x_1\,(0.2) + x_1}{L}$$

เราให้ $|x_2 - x_1| = x$

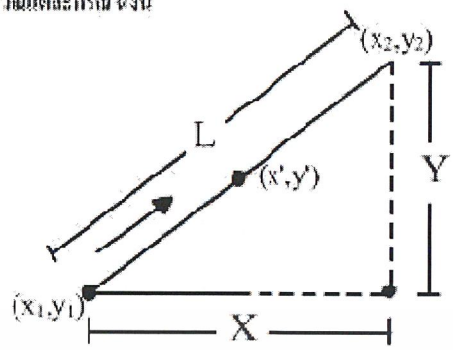
$$y' = \frac{y_2 - y'\,(0.2) + y'}{L}$$

เราให้ $|y_2 - y_1| = y$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีการคำนวณแต่ละกรณี ดังนี้

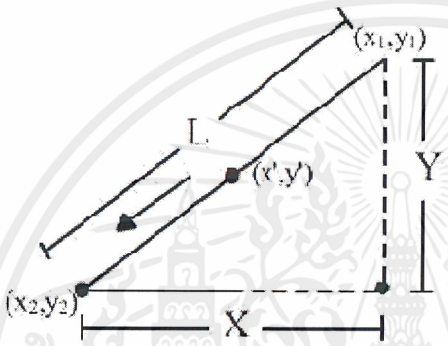
กรณีที่ 1




$$x' = x_1 + \frac{X}{L}(0.2)$$

$$y' = y_1 + \frac{Y}{L}(0.2)$$

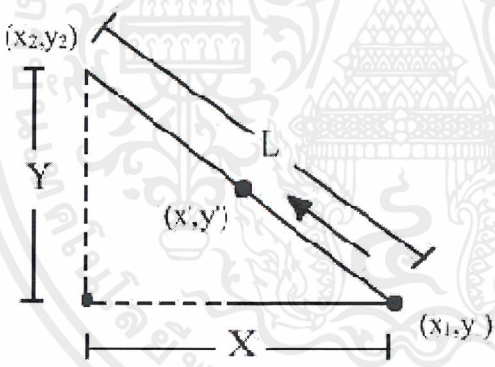
กรณีที่ 2




$$x' = x_1 - \frac{X}{L}(0.2)$$

$$y' = y_1 - \frac{Y}{L}(0.2)$$

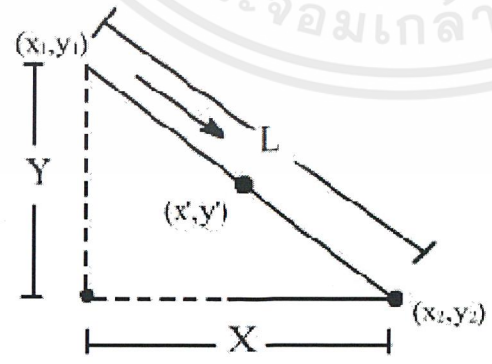
กรณีที่ 3




$$x' = x_1 - \frac{X}{L}(0.2)$$

$$y' = y_1 + \frac{Y}{L}(0.2)$$

กรณีที่ 4

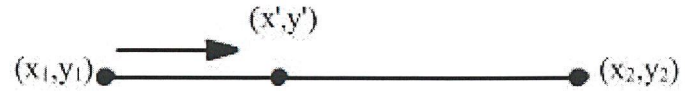



$$x' = x_1 + \frac{X}{L}(0.2)$$

$$y' = y_1 - \frac{Y}{L}(0.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

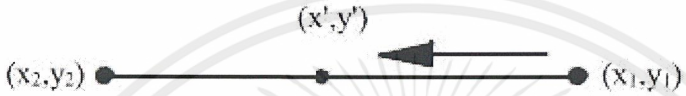
กรณีที่ 5




$$x' = x_1 + 0.2$$

$$y' = y_1 = y_2$$

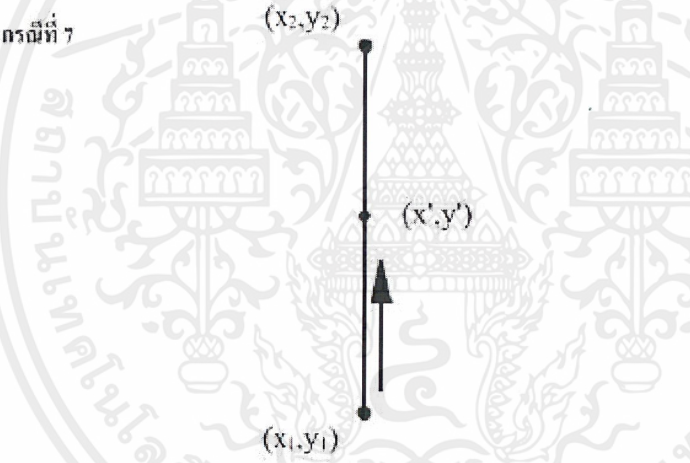
กรณีที่ 6




$$x' = x_1 - 0.2$$

$$y' = y_1 = y_2$$

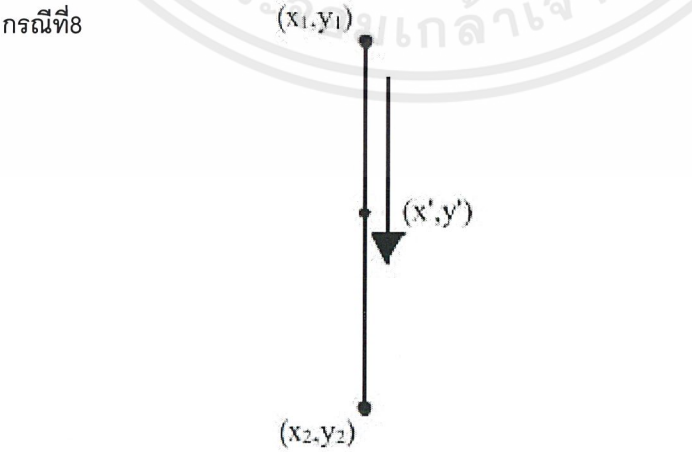
กรณีที่ 7




$$x' = x_1 = x_2$$

$$y' = y_1 + 0.2$$

กรณีที่8




$$x' = x_1 = x_2$$

$$y' = y_1 - 0.2$$

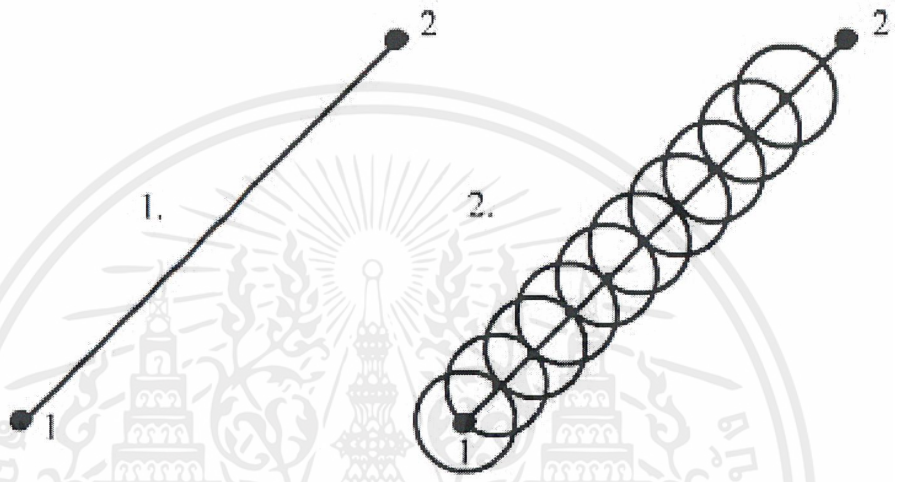
**รูปที่ 3.6** แสดงการหาลำดับของจุดโดยแบ่งเป็น 8 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2.1.3 การคำนวณหาอัตราความเร็วและเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดของยานพาหนะ**

ก่อนอื่นเราต้องมาหาระยะทางทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทางก่อน

**3.2.1.3.1** การหาระยะทางทั้งหมดที่ใช้




**รูปที่ 3.7** แสดงวิธีการหาระยะทางทั้งหมดที่ใช้

โดยการสร้างวงกลมรัศมี 0.2 cm. เมื่อผู้ใช้กำหนดจุดที่ใช้ 2 จุด ดังรูปที่ 1 เมื่อให้โปรแกรมทำงานจะได้ดังรูปที่ 2 การหาระยะทางนั้นจะมีตัวแปรคอยตรวจสอบว่า ระยะห่างของจุดศูนย์กลางวงกลมถึงจุดปลายนั้นน้อยกว่า 0.2 cm. หรือไม่ ถ้ามากกว่า 0.2 cm. จะทำการสร้างวงกลมขึ้นเรื่อยๆ โดยกำหนดจุดศูนย์กลางวงกลมวงต่อไปคือ จุดตัดระหว่างเส้นรอบวงกลมกับถนน (ในทิศทางไปยังจุดปลาย ) ทำจนกว่าจะน้อยกว่า 0.2 cm. แล้วจะทำการเก็บค่าจำนวนวงกลมที่ถูกสร้างขึ้น และสุดท้ายทำการหาระยะห่างสุดท้ายที่เหลือ คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางวงกลมวงสุดท้ายกับจุดปลาย แล้วลบออก 0.2 เพราะฉะนั้นระยะทางในเส้นทางย่อยเป็นไปดังสมการ

ระยะทางในเส้นทางย่อย = (ค่าจำนวนวงกลมที่ถูกสร้างขึ้น * 0.2 )+ ระยะห่างสุดท้าย

โดยระยะห่างสุดท้าย = ระยะจากจุดศูนย์กลางวงกลมวงสุดท้ายกับจุดปลาย - 0.2

เมื่อหาค่าระยะทางในเส้นทางย่อยได้ออกมาแล้ว จึงทำการรวมระยะแต่ละระยะเส้นทางย่อยทั้งหมด จะได้ระยะทางทั้งหมดที่จะใช้ออกมา เพื่อที่จะสามารถนำไปคำนวณหาความเร็วถ้ากำหนดเวลา หรือคำนวณหาเวลาถ้ากำหนดความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2.1.3.2** การหาความเร็วและเวลาที่ใช้

เมื่อได้ระยะทางทั้งหมดออกมาแล้ว จะสามารถหาเวลาหรือความเร็วที่ใช้ได้โดย ดังสมการดังนี้

$$s = v\,t$$

โดยที่ s คือ ระยะทางที่ใช้

v คือ ความเร็ว

t คือ เวลา

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถ้าเราทราบความเร็วก็จะหาเวลาทั้งหมดที่จะใช้ได้ หรือถ้าเราทราบเวลาเราจะหาค่าความเร็วเฉลี่ยได้ ซึ่งผู้ใช้จะ ต้องกำหนด เวลาเพื่อที่จะหาความเร็วเฉลี่ย หรือ กำหนดความเร็วเพื่อที่จะหาเวลา

**ข้อกำหนด**

ในที่นี้เราจะสมมุติให้ถนนทุกสายที่อยู่ในแผนที่เป็นถนนที่เดินรถได้ทางเดียวเท่านั้นและไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆอยู่บนถนนเลย

**3.2.4 การใช้ความรู้ในเรื่องการแปลงโคออร์ดิเนตมาใช้ในการควบคุมยานพาหนะเพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการ**

ซึ่งการใช้ทฤษฎีนี้จะกล่าวถึงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การนำคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการนำร่อง

## 4.1 หลักการเบื้องต้น

เนื่องจากจากการนำร่องเส้นทางที่จะให้พาหนะเคลื่อนที่ไป ได้นั้นต้องใช้ดาวเทียมเป็นตัวกำหนดตำแหน่งข้างหน้า โดยที่ดาวเทียมจะมีเครื่องรับตำแหน่งที่พิกัดที่พาหนะจะเคลื่อนที่ไป โดยการได้รับตำแหน่งที่จะเคลื่อนที่นั้นจากการคำนวณ หาพิกัดต่อไปด้วยวิธี การแปลงโคออดิเนต ( Coordinate Transformation) จากโปรแกรมที่ติดอยู่กับตัวพาหนะ

ในการเคลื่อนที่ของพาหนะจะมีจุดล้อมรอบทั้งหมด 32 จะเพื่อเป็นการตรวจสอบว่าพาหนะจะเคลื่อนที่ในทิศทางใด แต่ในหลักความจริงสามารถเพิ่มจุดได้มากกว่านี้ เพื่อให้การเคลื่อนที่เป็นไปในลักษณะถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้นด้วยแต่ความสามารถของโปรแกรม Visual Basic ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมนั้นสามารถที่จะแยกแยะจุดได้มากที่สุดเพียง 32 จุดในรัศมี 0.2 เซนติเมตร ดังรูป

**รูปที่4.1** แสดงจุดทั้ง 32 จุด

## 4.2 ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่นำมาประยุกต์ใช้

### 4.2.1 Coordinate Transformation

#### 4.2.1.1 Translation

คือกระบวนการเคลื่อนย้ายจุดหรือเซตของจุดจากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่งโดยเราให้ระยะทางการเคลื่อนในสองมิติของตำแหน่ง x และ y คือ $t_x$ และ $t_y$ ตามลำดับ (หรือเรียกว่า Translation Vector $[t_x, t_y]$) โดยจากตำแหน่ง Coordinate p = (x,y) ย้ายไปสู่ตำแหน่งใหม่ p' = (x',y')

$$x' = x + t_x \qquad\qquad y' = y + t_y$$

ดังนั้นสมการเมตริกซ์สำหรับการเคลื่อนย้ายในสองมิติคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P' = T(tx, ty).P$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Metrix Translation

เรานำความรู้ในการ ทรานสเลชั่น มาใช้ในการหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นแนวเส้นตรง เช่น หากต้องการเคลื่อนที่ไปในทิศทาง x เป็นระยะ 2 เมตร โดยที่จุดเริ่มต้นของเราอยู่ที่จุด (x,y) = (3,4) เราจะได้เมตริกซ์ การหาตำแหน่งต่อไปที่จะเคลื่อนที่ไปคือ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 4 \\ 1 \end{bmatrix}$$

ซึ่งเราจะได้ว่า $t_x = 2$ และ $t_y = 0$ และได้ตำแหน่งต่อไปในการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงคือ (x',y') = (5,4) และนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปแปลงค่าให้กลายเป็นพิกัดทางภูมิศาสตร์ต่อไป

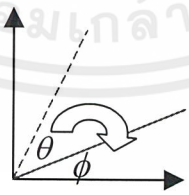
**รูปที่ 4.2** แสดงการหาจุดต่อไปแบบเส้นตรง

#### 4.2.1.2 Rotation Transformation

มีสมการเมตริกในการหมุนวัตถุ ตามเข็มนาฬิกาดังนี้

$$x' = x \cos\theta - y \sin\theta$$

$$y' = x \sin\theta + y \cos\theta$$




**รูปที่ 4.3** แสดงการหมุนของแกนอ้างอิง

ดั้งนั้นสมการเมตริกซ์สำหรับการหมุนในสองมิติคือ

$$P' = R(\theta).P$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรานำความรู้ในการ โรเทชั่น ( Rotation ) มาใช้ในการหาตำแหน่งการเลี้ยวของยานพาหนะในขณะที่ไม่ได้เคลื่อนที่ เช่น หากต้องการหมุนล้อเป็นมุม 90 องศาในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยที่จุดเริ่มต้นของเราอยู่ที่จุด (x,y) = (3,4) เราจะได้เมตริกซ์ ของการเลี้ยวคือ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 4 \\ 1 \end{bmatrix}$$

ซึ่งใช้ในเมตริกซ์นี้ใช้ในการเลี้ยวของพาหนะในขณะที่พาหนะไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วย แต่การเลี้ยวของพาหนะจริงๆนั้น มักจะมีการเลี้ยวในขณะที่พาหนะนั้นเคลื่อนที่ไปด้วยเราจึงต้องมีการหาเมตริซ์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่และเกิดการหมุนไปพร้อมๆกัน ทำให้เราจะต้องประยุกต์การทรานสเลชั่น ( Translation ) และการ โรเทชั่น ( Rotation ) เข้าไว้ด้วยกัน

นำหลักการในการ Composite Transformation ช่วยในการทำให้โปรแกรมเร็วขึ้น โดยการรวมเมตริกซ์ที่จะย้ายตำแหน่งแล้ว หมุนมารวมกัน จะได้เมตริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$T(t_x, t_y).R(\theta)$

หลังจากการรวมเมตริกซ์ ของการ ทรานสเลชั่น ( Translation ) กับ โรเทชั่น ( Rotation ) เข้าด้วยกันจะทำให้ได้เมตริกซ์ใหม่ขึ้นมาเพื่อใช้ในการคำนวณหาจุดต่อไปหาเกิดการเลี้ยวในขณะเคลื่อนที่ โดยไม่ต้องทำการ ทรานสเลชั่น ( Translation ) ก่อนแล้วมาทำ โรเทชั่น ( Rotation ) ซึ่งทำให้การทำงานของโปรแกรมเป็นไปด้วยความรวดเร็วขึ้น เมตริกซ์ดังกล่าวคือ

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & t_x \\ \sin\theta & \cos\theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เมตริกซ์ของการเลี้ยวในขณะเคลื่อนที่

เช่นว่า หากเราต้องการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยระยะทาง 2 เมตร ในแนวแกน x และเลี้ยวเป็นมุม 90 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยที่เราอยู่จุดเริ่มต้นที่ (x,y) = (3,4) เราจะได้เมตริกซ์ดังนี้

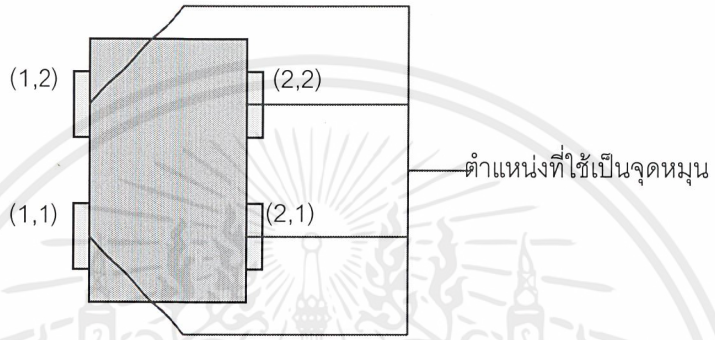
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 2 \\ \sin 90 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 4 \\ 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งต่อไปที่เราจะเคลื่อนที่ไปคือ x' = -2 และ y' = 3

## 4.3 การนำผลจากโปรแกรมมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมยานพาหนะ

เนื่องจากว่าพาหนะที่ใช้ในการเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม และมีจำนวนล้อโดยส่วนใหญ่เป็นสี่ล้อ ฉะนั้นเราจึงให้จุดหมุนของการเคลื่อนที่คือล้อของพาหนะนั้นๆ ทำให้เราสามารถรู้ได้ว่าหากพาหนะจะเคลื่อนที่ได้นั้นเราต้องมีการคำนวณค่า 4 จุดที่มีการเคลื่อนที่ ดังรูป




**รูปที่ 4.4** แสดงตำแหน่งที่ใช้เป็นจุดหมุนของยานพาหนะ

เช่นว่า หากว่าจุดหมุนของพาหนะคือจุด $(x_1,y_1),(x_2,y_2),(x_3,y_3),(x_4,y_4)$ เท่ากับ (1,1),(2,1),(1,2),(2,2) ตามลำดับ เราจะสมมุติว่าเราต้องการเคลื่อนที่พาหนะไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นมุม 45 องศา ระยะทาง 3 เมตร ตามแนวแกน x และแต่ละจุดจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยหาจากการ Transformation ดังนี้

- จุดที่ $(x_1,y_1) = (1,1)$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 45 & -\sin 45 & -3 \\ \sin 45 & \cos 45 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

จะได้ค่า $(x_1,y_1) = (-3,\sqrt{2})$ ดังนี้ $\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ \sqrt{2} \\ 1 \end{bmatrix}$

- จุดที่ $(x_2,y_2) = (2,1)$ $\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 45 & -\sin 45 & -3 \\ \sin 45 & \cos 45 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่า $(x_2,y_2) = (-3+\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{3}{\sqrt{2}})$ ดังนี้ $\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3+\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{3}{\sqrt{2}} \\ 1 \end{bmatrix}$

- จุดที่ $(x_3,y_3) = (1,2)$

$$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 45 & -\sin 45 & -3 \\ \sin 45 & \cos 45 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

จะได้ค่า $(x_3,y_3) = (-3-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{3}{\sqrt{2}})$ ดังนี้ $\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3-\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{3}{\sqrt{2}} \\ 1 \end{bmatrix}$

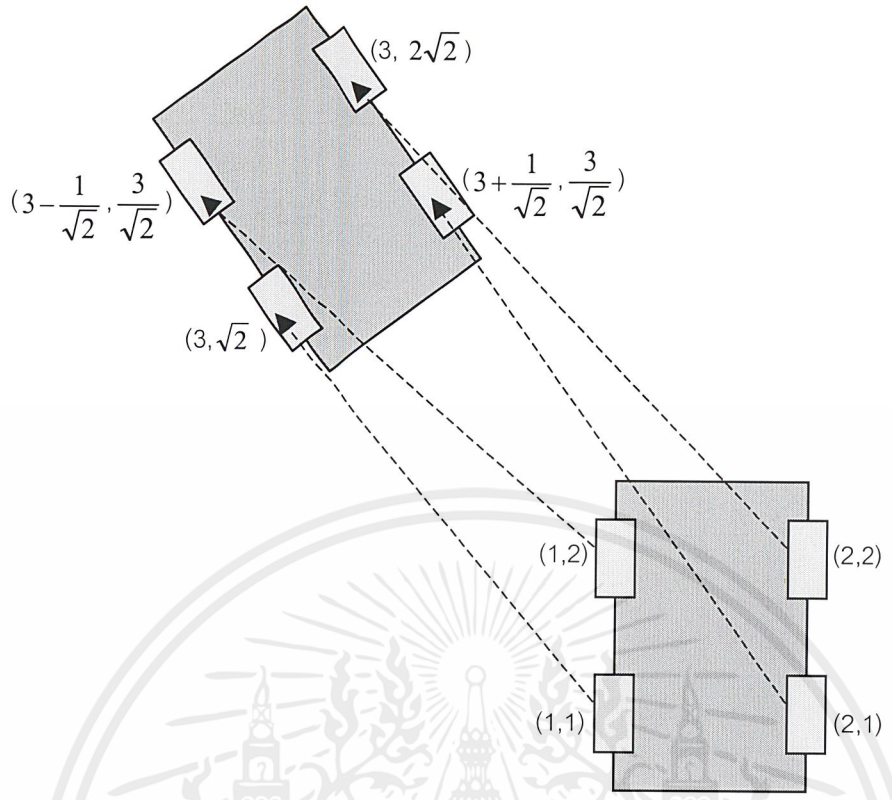
- จุดที่ $(x_4,y_4) = (2,2)$

$$\begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 45 & -\sin 45 & -3 \\ \sin 45 & \cos 45 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

จะได้ค่า $(x_4,y_4) = (-3,\ 2\sqrt{2})$ ดังนี้ $\begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ 2\sqrt{2} \\ 1 \end{bmatrix}$

จากจุดหมุนทั้งสี่จุดจะทำให้พาหนะมีตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไปดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.5** ตัวอย่างการประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# การนำระบบ GPS มาใช้ในการควบคุมเส้นทางเดินรถ

ปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณ GPS ได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สำหรับเครื่องรับสัญญาณ GPS ของ Magellan รุ่น NAV 1000M5™ ซึ่งถูกออกแบบเพื่อใช้สำหรับกิจกรรมทางการทหารนั้นมีความเที่ยงตรงสูงกว่าเครื่อง GPS ทั่ว ๆ ไปซึ่งเครื่อง GPS ปรกติมีความละเอียดในระดับ เมตร เท่านั้น แต่สำหรับเครื่อง GPS ที่ใช้สำหรับกิจกรรมทางทหารนั้นมีความละเอียดถึง 1/100 เมตรซึ่งนับว่ามีความละเอียดสูงมาก

**การทดสอบการทำงานของเครื่อง**

เครื่องรับสัญญาณ GPS ของ Magellan รุ่น NAV 1000M5™ นี้ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาด AA 6ก้อน มีจอ LCD เป็นอุปกรณ์เอาท์พุต มีฟังก์ชันในการทำงานหลายอย่างด้วยกัน โดยมีฟังก์ชันหลัก ๆ คือ สามารถแสดงค่า ละติจูด / ลองติจูด หาระยะทาง และ ความเร็วได้

จากการทดลองวัดค่า ละติจูด / ลองติจูด ในแต่ละสถานที่ได้ดังนี้

**ตารางที่** 5.1 การเปรียบเทียบพิกัดที่ได้จากเครื่อง GPS กับพิกัดที่ได้จากโปรแกรม

| วันที่ | สถานที่ | ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง GPS | | ค่าที่ได้จากโปรแกรม | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Latitude | Longitude | Latitude | Longitude |
| 10/2/2002 | ร.พ เลิศสิน | 100*31'17.42 | 13*43'20.31 | 100*31'14.576 | 13*43'14.835 |
| | โรงแรม สีลมพลาซ่า | 100*31'24.04 | 13*43'12.17 | 100*31'19.999 | 13*43'17.225 |
| | โรงแรม นิวเพนินซูล่า | 100*31'18.55 | 13*43'22.53 | 100*31'23.898 | 13*43'28.763 |
| | ร.พ มโหสักข์ | 100*31'25.12 | 13*43'29.71 | 100*31'20.593 | 13*43'26.291 |
| | โรงแรมมโนรา | 100*31'15.49 | 13*43'24.09 | 100*31'17.542 | 13*43'26.59 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะพบว่าค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม กับค่าพิกัดที่ได้จากเครื่อง GPS มีความแตกต่างกันพอสมควร ซึ่งความผิดพลาดเกิดขึ้นเนื่องจากแผนที่ที่ใช้ยังมีความละเอียดไม่เพียงพอสำหรับใช้ในการควบคุมการนำร่องของยานพาหนะ

จึงสรุปได้ว่าค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรมยังมีความผิดพลาดอยู่เนื่องจากเหตุผลดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# โครงสร้างของโปรแกรม

โปรแกรม การนำทางโดยเครื่องจีพีเอส ( GPS Application for Navigator ) นี้สร้างขึ้นเพื่อช่วยในการหาเซตของตำแหน่งในการควบคุม ยานพาหนะ เพื่อให้ไปถึงปลายทางที่กำหนดได้ โดยจะกำหนดให้ใช้เส้นทางบนถนน หรือ นอกถนนก็ได้ ซึ่งในการควบคุมยานพาหนะจริง ๆ นั้นต้องอาศัยความรู้เรื่องอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น การพัฒนาการรับ-ส่งสัญญาณจากดาวเทียม เพื่อไม่ให้ขาดการติดต่อระหว่างการควบคุม, การใช้ตัวตรวจจับ( Sensor ) เพื่อป้องกันอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้, เทคโนโลยีการควบคุมระยะไกล ( Remote Control ) และอื่นๆ ดังนั้นโปนแกรมนี้จะทำเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น คือ ทำในส่วนการเซตของตำแหน่งบนพื้นโลกเท่านั้น ซึ่งยังต้องการการพัฒนาอีกมากเพื่อให้ใช้งานได้จริง

**โครงสร้างโปรแกรม**

ในขั้นแรก เมื่อเราเข้ามาที่โปรแกรม การนำทางโดยเครื่องจีพีเอส ( GPS Application for Navigator ) ตัวโปรแกรม จะแบ่งออกเป็น 3ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

6.1 ส่วนของการกำหนดเส้นทางการควบคุมยานพาหนะ

6.2 ส่วนของการกำหนดขนาดของยานพาหนะ

6.3 ส่วนการแสดงผลเซตของพิกัดที่ได้จากการคำนวณ

**6.1 ส่วนของการกำหนดเส้นทางการควบคุมยานพาหนะ**

ในส่วนนี้ จะมีการแบ่งการควบคุมตามแต่ผู้ใช้จะต้องการ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

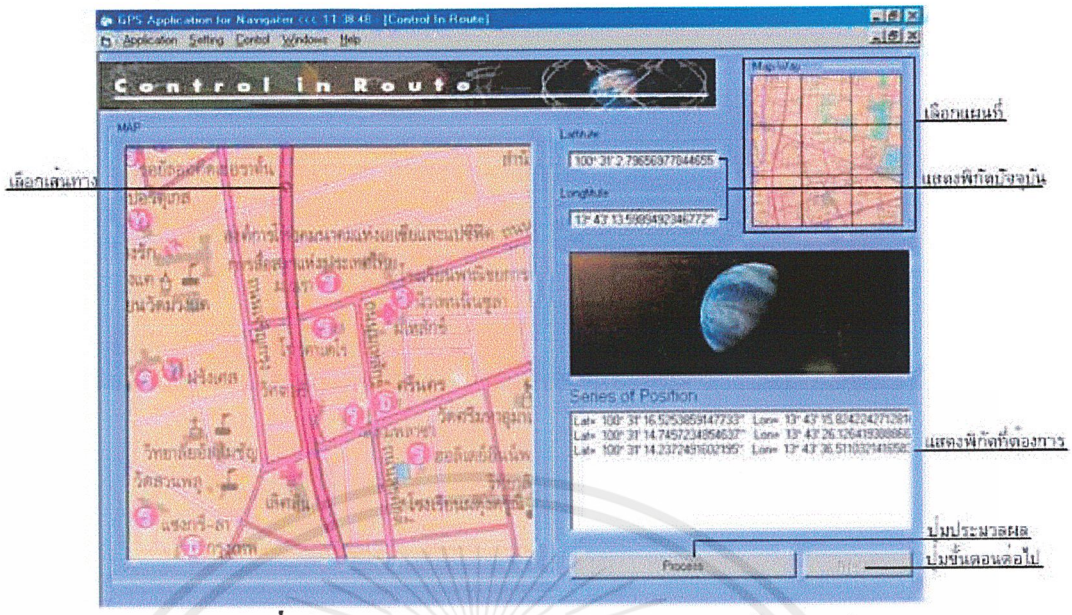
6.1.1 การควบคุมยานพาหนะ ในกรณีที่ต้องการให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปเฉพาะบนเส้นทางที่เป็นถนน

6.1.2 การควบคุมยานพาหนะ ในกรณีที่ต้องการให้ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ไปบนเส้นทางที่เป็นถนนและนอกถนนได้

**6.1.1 การควบคุมยานพาหนะในกรณีที่ต้องการให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปเฉพาะบนเส้นทางที่เป็นถนน**

การควบคุมนี้จะต้องเลือกคำสั่งบน เมนูบาร์ดังนี้ Control -> Positioning Control -> Control in Routeหรือว่าจะใช้คีย์ลัดกด Ctrl + R ก็ได้ เมื่อคลิกเข้าไปแล้วจะปรากฏหน้าต่างดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 6.1** หน้าต่างส่วนของ Control in Route พร้อมคำอธิบาย

คำอธิบายส่วนต่างๆของโปรแกรม

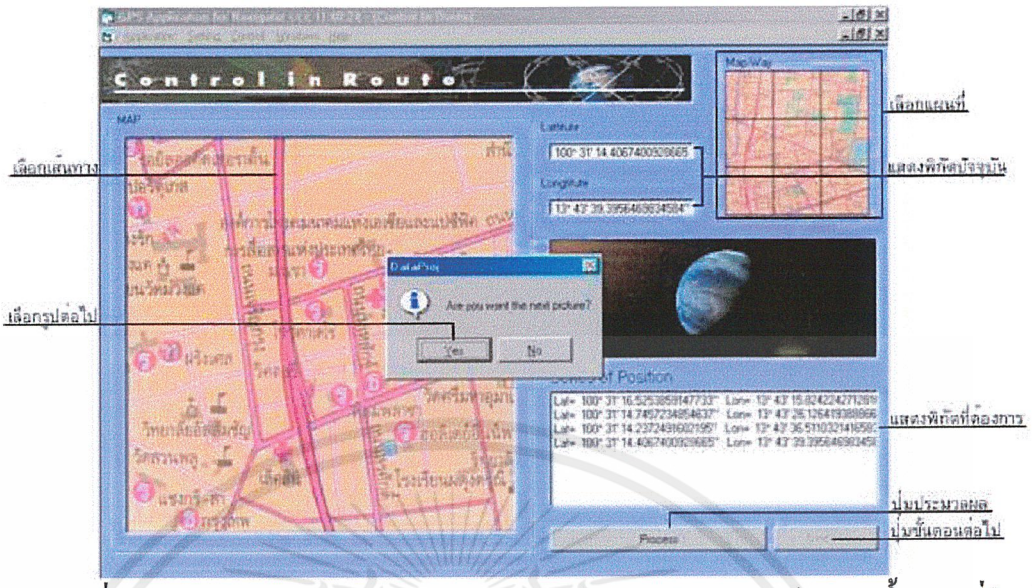
- **ส่วนเลือกแผนที่**

ใช้เมาส์คลิกบนส่วนนี้เพื่อเลือกแผนที่ ที่จะให้แสดงบนหน้าจอใหญ่ ในที่นี้จะแสดงทั้งหมด 9 ส่วนซึ่งประกอบกันอยู่

- **ส่วนเลือกเส้นทาง**

ใช้เมาส์คลิกส่วนนี้เพื่อที่จะเลือกเส้นทาง โดยต้องคลิกเมาส์ ทุกๆทางแยก เพื่อให้โปรแกรมสามารถไคำนวนหาเส้นทางที่เหมาะสมและถูกต้องตามความต้องการได้ โดยถ้าไม่ได้คลิกเมาส์ตรงถนนนั้น จะมีคำเตือนขึ้นมา ดังนั้น ต้องคลิกที่ตรงถนนเท่านั้น และเมื่อเลือกเส้นทางจนมาถึงขอบเมื่อไหร่จะมีข้อความขึ้นมา ดังรูปที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 6.2** หน้าต่างส่วนของ Control in Route พร้อมคำอธิบาย และข้อความขึ้นแผนที่ใหม่

เมื่อตอบ Yes โปรแกรมก็จะทำการประมวลผลและเปลี่ยนแผนที่หน้าต่อไปให้และจะมีวงกลมขึ้นที่ถนนที่ต่อจากแผนที่หน้าก่อน ให้เลือกเส้นทางต่อไปได้เลย

**- ส่วนแสดงพิกัดปัจจุบัน**

เป็นส่วนที่แสดงพิกัดบนโลก ณ ตำแหน่งที่เมาส์ชี้อยู่บนแผนที่ ซึ่งจะแสดงผลทั้งค่า Latitude และ Longtitute

**- ส่วนแสดงพิกัดที่ต้องการ**

เป็นส่วนที่แสดงถึงเซตของพิกัดที่ต้องการเพื่อให้ผู้ใช้รู้ว่าได้เลือกเส้นทางผ่านไปตำแหน่งไหนบ้าง

**- ปุ่มประมวลผล**

เมื่อทำการเลือกเส้นทางเสร็จแล้ว ให้คลิกที่ปุ่มประมวลผล เพื่อให้โปรแกรมประมวลผลหาเซตของเส้นทางที่ต้องการจนกว่าจะถึงจุดหมายที่ต้องการ

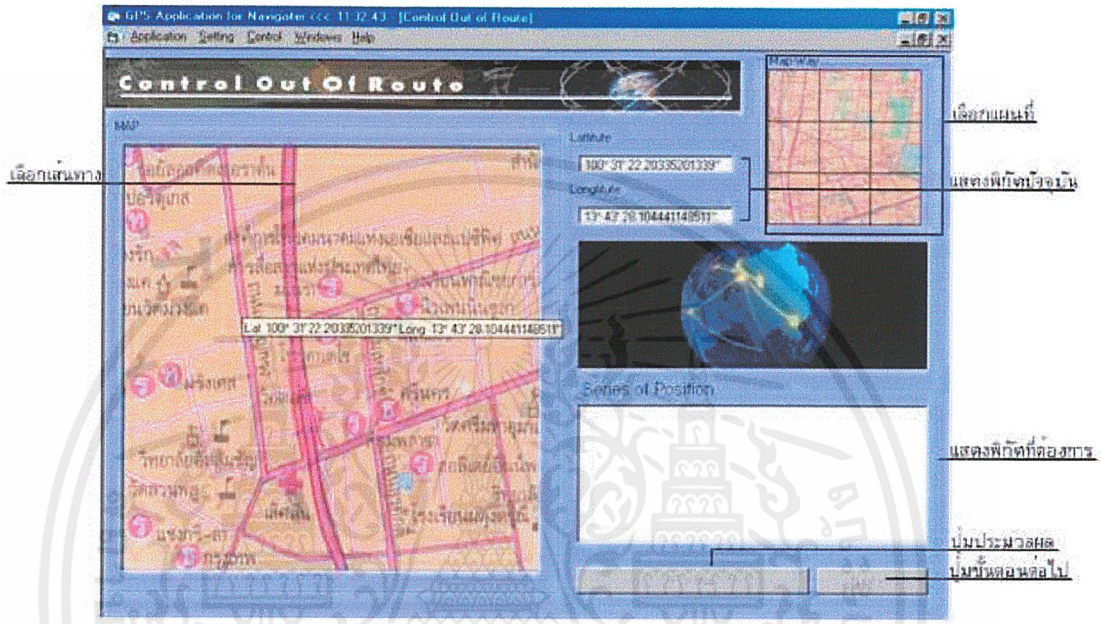
**- ปุ่มขั้นตอนต่อไป**

ในระหว่างที่ยังไม่ได้คลิกที่ปุ่มประมวลผลนั้น ปุ่มขั้นตอนต่อไปจะไม่สามารถคลิกได้ จนกว่าจะ ประมวลผลหาเส้นทางเสร็จแล้วจึงจะสามารถใช้ปุ่มนี้ได้ เพื่อเข้าสู่หน้าต่างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**6.1.2 การควบคุมยานพาหนะ ในกรณีที่ต้องการให้ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ไปบนเส้นทางที่เป็นถนน และ นอกถนนได้**

การควบคุมนี้จะต้องเลือกคำสั่งบน เมนูบาร์ดังนี้ Control -> Positioning Control -> Control Out Of Route หรือว่าจะใช้คีย์ลัดกด Ctrl + O ก็ได้ เมื่อคลิ๊กเข้าไปแล้วจะปรากฏหน้าต่างดังรูป




**รูปที่ 6.3** หน้าต่างส่วนของ Control out of Route พร้อมคำอธิบาย

คำอธิบายส่วนต่างๆของโปรแกรม

**- ส่วนเลือกแผนที่**

ใช้เมาส์คลิกบนส่วนนี้เพื่อเลือกแผนที่ ที่จะให้แสดงบนหน้าจอใหญ่ ในที่นี้จะแสดงทั้งหมด 9 ส่วนซึ่งประกอบกันอยู่

**- ส่วนเลือกเส้นทาง**

ใช้เมาส์คลิกส่วนนี้เพื่อที่จะเลือกเส้นทาง โดยสามารถคลิกที่จุดไหนก็ได้บนแผนที่โดยไม่มีข้อยกเว้น และ เมื่อคลิกเมาส์ที่ขอบของแผนที่จะมีข้อความเตือนขึ้นมาดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 6.4** หน้าต่างส่วนของ Control out of Route พร้อมคำอธิบาย และข้อความขึ้นแผนที่ใหม่

เมื่อตอบ Yes โปรแกรมก็จะทำการประมวลผลและเปลี่ยนแผนที่หน้าต่อไปให้และจะมีวงกลมขึ้นที่ถนนที่ต่อจากแผนที่หน้าก่อน ให้เลือกเส้นทางต่อไปได้เลย

**- ส่วนแสดงพิกัดปัจจุบัน**

เป็นส่วนที่แสดงพิกัดบนโลก ณ ตำแหน่งที่เมาส์ชี้อยู่บนแผนที่ ซึ่งจะแสดงผลทั้งค่า Latitude และ Longtitute

**- ส่วนแสดงพิกัดที่ต้องการ**

เป็นส่วนที่แสดงถึงเซตของพิกัดที่ต้องการเพื่อให้ผู้ใช้รู้ว่าได้เลือกเส้นทางผ่านไปตำแหน่งไหนบ้าง

**- ปุ่มประมวลผล**

เมื่อทำการเลือกเส้นทางเสร็จแล้ว ให้คลิกที่ปุ่มประมวลผล เพื่อให้โปรแกรมประมวลผลหาเซตของเส้นทางที่ต้องการจนกว่าจะถึงจุดหมายที่ต้องการ

**- ปุ่มขั้นตอนต่อไป**

ในระหว่างที่ยังไม่ได้คลิกที่ปุ่มประมวลผลนั้น ปุ่มขั้นตอนต่อไปจะไม่สามารถคลิกได้ จนกว่าจะประมวลผลหาเส้นทางเสร็จแล้วจึงจะสามารถใช้ปุ่มนี้ได้ เพื่อเข้าสู่หน้าต่างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**6.2 ส่วนของการกำหนดขนาดของยานพาหนะ**

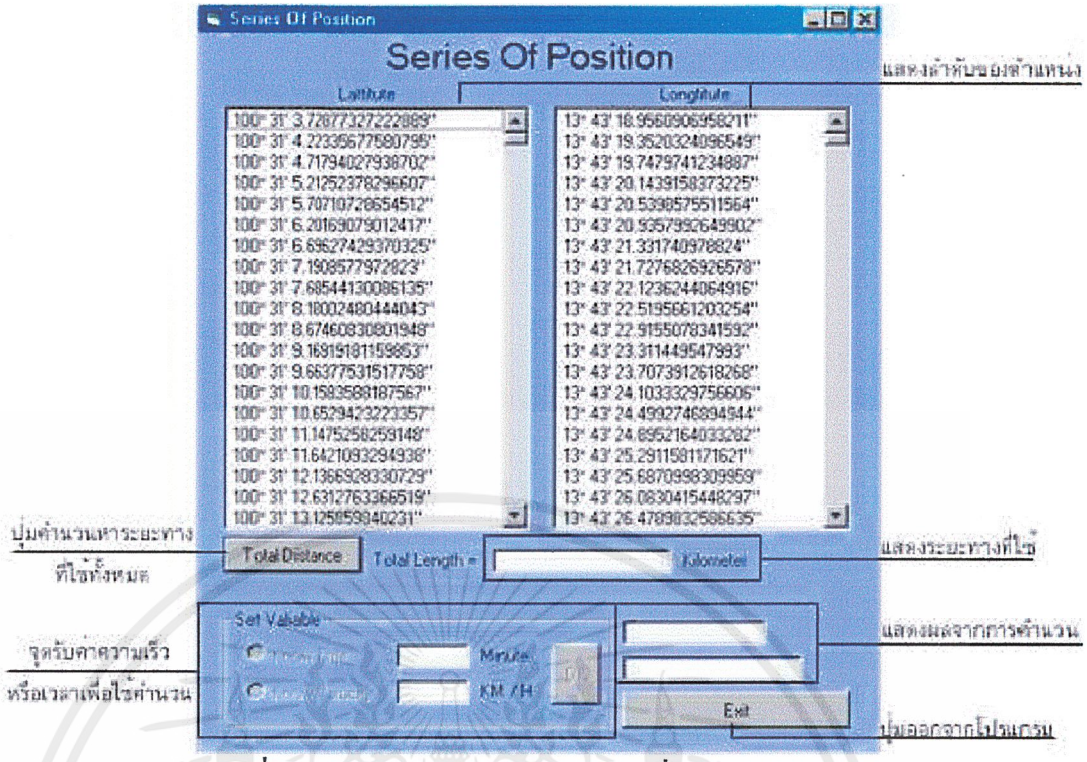
ในส่วนนี้เป็นหน้าจอที่ให้กำหนดขนาดของยานพาหนะ เพื่อใช้ในการคำนวณในระดับต่อไปซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดเองหรือว่าในกรณีที่ผู้ใช้ไม่ทราบถึงขนาดของยานพาหนะก็จะมีขนาดของยานพาหนะให้เลือกได้ตามแต่ละประเภท ดังรูป

**รูปที่ 6.5 ส่วนของการกำหนดขนาดของยานพาหนะ**

**6.3 ส่วนการแสดงผลเซตของพิกัดที่ได้จากการคำนวณ**

เมื่อผ่านหน้าจอของการกำหนดเส้นทางและการคำนวณหาเส้นทางแล้ว ต่อไปก็จะเป็นการเข้าสู่หน้าจอการแสดงผลที่ได้จากการคำนวณ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 6.6** ส่วนของการแสดงเซตผลพิกัดที่ได้จากการคำนวณ

คำอธิบายส่วนต่างๆของหน้าจอ

**- ส่วนแสดงลำดับของตำแหน่ง**

ส่วนนี้จะแสดงถึงลำดับของพิกัดที่ได้จากการคำนวณเพื่อไปใช้ในการควบคุมยานพาหนะ ซึ่งในส่วนนี้จะแสดงถึงพิกัด ละติจูด และ ลองติจูด

**- ปุ่มคำนวณหาระยะทางที่ใช้**

ปุ่มนี้เมื่อคลิกเมาส์แล้ว ผลจากการคำนวณหาระยะทางทั้งหมดที่ใช้ในการควบคุมยานพาหนะจะแสดงออกมาที่ ส่วนแสดงระยะทางที่ใช้ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

**- จุดรับค่าความเร็วหรือเวลาเพื่อใช้ในการคำนวณ**

ส่วนนี้จะให้เลือกว่าจะกำหนดเวลา หรือกำหนดความเร็ว ดังนี้

- ถ้าต้องการกำหนดเวลา ก็คลิกไปที่จุด Know Time แล้วจะสามารถกรอกค่าเวลาที่ต้องการได้โดยมีหน่วยเป็นนาที
- ถ้าต้องการกำหนดความเร็ว ก็คลิกไปที่จุด Know Velocity แล้วจะสามารถกรอกค่าความเร็วที่ต้องการได้โดยมีหน่วยเป็น กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง

**- ส่วนแสดงผลที่ได้จากการคำนวณ**

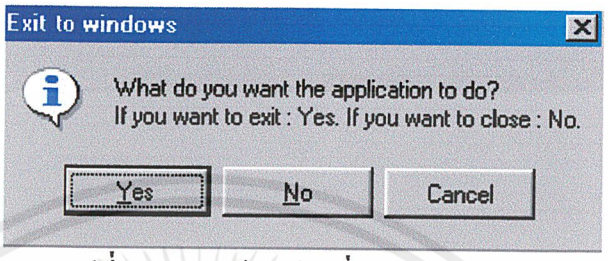
ส่วนนี้การแสดงผลจะต่างออกไป ขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้ได้กำหนดเวลา หรือกำหนดความเร็ว ถ้าผู้ใช้กำหนดเวลาแล้วคลิกปุ่ม OK ส่วนนี้ก็จะแสดงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทาง หรือว่าผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดความเร็วเอาไว้ ส่วนนี้ก็จะแสดงความเร็วเฉลี่ยที่ต้องใช้เพื่อให้การเดินทางใช้เวลาตามที่กำหนด

**- ปุ่มออกจากโปรแกรม**

เมื่อคลิกที่ปุ่มนี้จะเป็นการออกจากโปรแกรมโดยจะมีข้อความขึ้นดังรูป




**รูปที่ 6.7** แสดงข้อความเพื่อออกจากโปรแกรม

โดยจะมี 3 ปุ่มให้เลือกคือ Yes No Cancel โดยถ้าเลือก Yes นั้นจะเป็นการออกจากโปรแกรม แต่ถ้าเลือก No จะเป็นการปิดหน้าจอการคำนวณนั้นๆ โดยจะสามารถทำการเลือกเส้นทางได้ใหม่ แต่ถ้าเลือก Cancel จะเป็นการยกเลิกคำสั่งออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 7
# สรุปการทำงานและการพัฒนา

การทำงานของโครงงานนี้สามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งยังต้องการการพัฒนาอีกมากในการที่จะนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งต้องอาศัยความร่วนมือจากหลายฝ่าย แต่ถึงกระนั้นก็ยังมีข้อจำกัดหลายประการคือ

- การรับสัญญาณของเครื่องรับ GPS มีค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากค่าโค้ด (CODE) ที่ทำให้สัญญาณเกิดผิดพลาด
- สัญญาณจากดาวเทียว GPS มีค่าอ่อนทำให้ได้สัญญาณไม่ต่อเนื่องเพราะทัศนวิสัยของเครื่องรับ หรือเกิดจากชั้นบรรยากาศ
- ความเที่ยงตรงของระบบการทำแผนที่ ซึ่งต้องอาศัยความเที่ยงตรงสูง,มีความละเอียดมาก และต้องมีความชัดเจนสูง
- ส่วนของโปรแกรมจำเป็นต้องประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ทำให้ขาดความสะดวกในการใช้งาน

**แนวทางการพัฒนาในอนาคต**

- หากสามารถขยายประสิทธิภาพของเสาอากาศรับสัญญาณของเครื่อง GPS ได้จะทำให้การทำงานมีความสามารถมากขึ้น อาจทำงานในที่อับสัญญาณได้
- ยิ่งระบบการทำแผนที่มีความละเอียดมากเท่าใด ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จะยิ่งมีความถูกต้องมากขึ้นเท่านั้น
- การบังคับยานพาหนะโดยใช้เครื่อง GPS เป็นตัวควบคุมนั้น ยังต้องการความเที่ยงตรง ซึ่งต้องใช้การลงทุนที่สูงในการนำไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม

บรรพต ไชยกิจ และ นิลรัตน์ สุขสำราญ. 2541. "การประยุกต์ใช้งานดาวเทียมจีพีเอสกับระบบนำร่องรถยนต์." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เมธี มานันตพงศ์ และ อิศรา เพชรเลิศอนันต์. 2541." การศึกษาเกี่ยวกับเครื่องรับสัญญาณ GPS" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Jay Farrell and Matthew Bart, 1998, The Global Positioning System & Inertial Navigation, 1 st ed. New York : McGraw Hill

Kaplan, Elliott D, 1999. Understanding GPS principles and application. 1 st ed. Boston: Artevh House

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้