

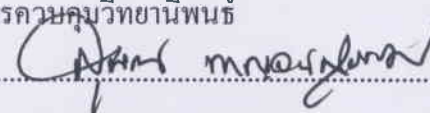
การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลอ้างอิงในการเดินอากาศ ตามเกณฑ์มาตรฐานของ  
องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ กรณีศึกษา: สนามบินนานาชาติอุตะเกา จังหวัดระยอง

กมลชนก เสนรัมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์  
คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
กรกฎาคม 2555  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ นางกมลชนก เสนรัมย์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. แก้ว นวลฉวี)

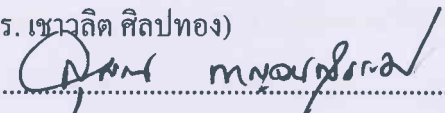
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ณรงค์ พลธีรภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ดร. เขวาลิต ศิลปทอง)

.....กรรมการ

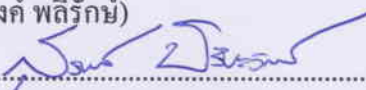
(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. แก้ว นวลฉวี)


.....กรรมการ

(ดร.ณรงค์ พลธีรภัย)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์)

คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะภูมิสารสนเทศศาสตร์

(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

วันที่ 2 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2555

## ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม คณบดีคณะ  
ภูมิสารสนเทศ ทรศ. ดร.แก้ว นวลฉวี และ ดร.ณรงค์ พลธิรักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาสละ  
เวลาให้คำปรึกษาแนะนำทางที่ถูกต้อง วิธีคิด การดำเนินงาน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วย  
ความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากแก่ตัวผู้วิจัย ผู้วิจัยรู้สึก  
ซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณพี่พงศ์สันต์ มิตรธาณันท์ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล เอกสารอ้างอิง รวมไปถึง  
คำแนะนำต่าง ๆ เกี่ยวกับงานวิจัย และการทำงาน รวมไปถึงพี่ ๆ จากบริษัทวิทยุการบินที่ให้ความรู้  
และข้อมูลต่าง ๆ อันมีประโยชน์และก่อให้เกิดงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้น

ขอขอบพระคุณ พันตรีวีรานุวัตร เสนรัมย์และ ร้อยเอกภิญโญ วรเกษตร สำหรับกำลังใจ  
และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ รวมไปถึงคำแนะนำในขั้นตอนการดำเนินงาน

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูคุณเวทิตาแด่  
บุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา  
และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

กมลชนก เสนรัมย์

52910122: สาขาวิชา: เทคโนโลยีภูมิศาสตร์; วท.ม. (เทคโนโลยีภูมิศาสตร์)

คำสำคัญ: สนามบินอุตะเถา/ เครื่องช่วยเดินอากาศ/ ICAO/ AIP Thailand

นางกมลชนก เสนรัมย์: การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลอ้างอิงในการเดินอากาศ ตามเกณฑ์มาตรฐานขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ กรณีศึกษา: สนามบินนานาชาติอุตะเถา จังหวัดระยอง (THE ACCURACY ASSESSMENT OF POSITIONAL ERROR OF AERONAUTICAL DATA DECLARED BY THE STANDARD CRITERIA OF INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION CASE STUDY : U-TAPAO INTERNATIONAL AIRPORT RAYONG PROVINCE) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุพรรณ กาญจนสุธรรม, D.Tech.Sc., แก้ว นวลฉวี, Ph.D, ณรงค์ พลีรักษ์, Ph.D, 80 หน้า.ปี พ.ศ. 2555.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดข้อมูลเชิงตำแหน่งของข้อมูลอ้างอิงในการเดินอากาศ ด้วยจีพีเอส และประเมินความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งอ้างอิงในการเดินอากาศกับตำแหน่งอ้างอิงของ AIP Thailand ที่ได้ประกาศใช้ในปี พ.ศ. 2552 ว่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศหรือไม่ โดยใช้วิธีการสำรวจรังวัดด้วยจีพีเอสแบบสถิต และแบบจลน์ในทันที ขอบเขตพื้นที่ที่ศึกษาคือสนามบินนานาชาติอุตะเถา จังหวัดระยอง

ผลการวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรังวัดกับข้อมูลที่ AIP Thailand ข้อมูลตำแหน่งอ้างอิงในการบินเข้าหาสนามบินเพื่อลงจอด ณ สนามบินอุตะเถาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศกำหนดโดยสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นพบว่า 1. AIP Thailand ได้ทำการประกาศใช้ค่าพิกัดในรูปแบบของค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ได้ทำการปิดค่าฟิลิปดาขึ้นให้กลายเป็นค่าลิปดาซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน Aeronautical data quality requirements (Latitude and Longitude) ที่ได้กำหนดไว้ให้การประกาศใช้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของเครื่องช่วยเดินอากาศอยู่ในระดับที่ 1/10 ของ Sec หรือที่ ทศนิยม 1 ตำแหน่งของฟิลลิปดา 2. ความคลาดเคลื่อนที่ปรากฏนั้นมีความหลากหลายของระยะทาง อาจเกิดจากปัจจัยแทรกซ้อนอื่น ที่มีอิทธิพลทำให้ตำแหน่งข้อมูลอ้างอิงในการเดินอากาศเกิดความคลาดเคลื่อนโดยเฉพาะตำแหน่ง MM และ Compass ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด 2. ไม่ได้ทำการรังวัดซ้ำในหลายช่วงเวลา 3. กระบวนการรังวัด รวมไปถึงค่าพิกัดหมุดอ้างอิงที่ใช้เนื่องจากกรรมแผนที่ทหารมีการปรับปรุงข้อมูลอยู่เป็นประจำ 4. เกณฑ์มาตรฐานที่นำมาใช้นั้นมีความละเอียดสูง หากแต่ค่าพิกัดที่ใช้ในการเดินอากาศนั้นเป็นค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่หยابกว่ามาก เช่น หากมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 1 ฟิลิปดา ก็จะส่งผลให้มีค่าคลาดเคลื่อนสูงถึง 30.33 เมตร ดังนั้นตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศเป็นข้อมูลที่สำคัญ จึงควรมีการรังวัดตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศอย่างสม่ำเสมอพร้อมทั้งศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้มีหน่วยวัดเป็นไปในทิศทางเดียวกันเพื่อสะดวกต่อการใช้งานและการตรวจสอบ

52910122: MAJOR: GIS TECHNOLOGY; SC.M. (GIS TECHNOLOGY)

KEYWORD: U-TAPAO INTERNATIONAL AIRPORT/ AIR NAVIGATION AIDS/ ICAO /  
AIP THAILAND

KAMONCHANOK SENRUNGSEE: THE SPATIAL ACCURACY ASSESSMENT OF  
AERONAUTICAL DATA DECLARED BY THE STANDARD CRITERIA OF  
INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. CASE STUDY: U-TAPAO  
INTERNATIONAL AIRPORT RAYONG PROVINCE. ADVISORY COMMITTEE:  
SUPAN KARNCHANASUTHAM, D.TECH.SC., KAEW NUALCHAWEE, PH.D., NARONG  
PLEERUX, PH.D., 80 P. 2012.

This research aims to measure the spatial data of aeronautical data using GPS and to assess the accuracy of the spatial data of aeronautical data and the reference position of AIP Thailand declared in 2009, according to the standard criteria of International Civil Aviation Organization. This research surveyed by using static and kinetic GPS. The case study area was U-tapao International Airport, Rayong province.

The result compared the survey data with the reference position of AIP Thailand, showed that the spatial data of landing at U-tapao International Airport has errors over the standard criteria of International Civil Aviation Organization. After checking the cause of errors found that 1. AIP Thailand declares the geographic coordinates, changes the second of arc into the minute of arc that does not follow the standard criteria of Aeronautical data quality requirements (latitude and longitude) which determines the geographic coordinates of navigation aids at 1/10 of Sec or at decimal 1 of Sec. 2. This error had variety of distance which may consist of other factors caused the spatial data of aeronautical data's error, especially in position of MM and Compass have the highest errors that were not measured repeat. 3. The Military Department always updates the measure process including the coordinate reference pins. 4. The standard criteria are high resolution, but the coordinates used in aeronautical data are raw data; for example, if it changes only 1 second of arc, it causes high error to 30.33 meters. Therefore, the position of navigation aids is an important data; we should survey the position of navigation aids regularly and study the error as the standard criteria for determining measured value in the same way that is convenient for working and checking as the standard defined.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	5
ขอบเขตของการวิจัย.....	5
ข้อจำกัดการวิจัย.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
พื้นที่ศึกษา.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
ลักษณะทั่วไปและที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา.....	9
สัณฐานของโลก.....	11
พื้นที่หลักฐาน.....	14
ระบบพิกัด.....	15
ทฤษฎีการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอส.....	18
หลักการทำงานของดาวเทียมจีพีเอส.....	20
ค่าตลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส.....	24
การรังวัดค่าพิกัดด้วยจีพีเอส.....	27
การออกแบบโครงข่ายและการรังวัด.....	29
การปรับแก้โครงข่ายแบบลีสท์สแควร์.....	31

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ.....	32
เทคโนโลยีการบินอากาศ.....	33
มาตรฐานองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) ว่าด้วยเรื่องความถูกต้อง เชิงตำแหน่งของข้อมูลการบิน.....	37
อุบัติเหตุทางการบินที่เกี่ยวข้องกับความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง.....	38
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	43
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	43
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	43
4 ผลการวิจัย.....	66
การรังวัดตำแหน่งอ้างอิงเครื่องช่วยเดินอากาศ.....	66
สาเหตุการคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศ.....	69
5 อภิปรายและสรุปผล.....	73
สรุปผลการวิจัย.....	73
อภิปรายผล.....	74
ข้อเสนอแนะ.....	74
บรรณานุกรม.....	76
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	80

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	รายละเอียดเทคนิคการรังวัดค่าพิกัดด้วยจีพีเอสแบบต่าง ๆ ..... 29
2-2	มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลการบิน..... 37
2-3	ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินอากาศของสนามบินภูเก็ต..... 42
3-1	หมวดหลักฐานงานรังวัดดาวเทียม GPS..... 44
3-2	ข้อมูลเชิงตำแหน่งด้านการบิน ของสนามบินนานาชาติอุตะเถา..... 45
3-3	ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดภูมิศาสตร์และระบบพิกัดฉาก..... 61
3-4	ผลการรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศ..... 62
3-5	ค่าพิกัดเครื่องช่วยเดินอากาศที่ AIP ประกาศใช้เมื่อปี พ.ศ. 2552..... 62
3-6	เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินอากาศของสนามบิน นานาชาติ อุตะเถา..... 64
4-1	การทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดทางราบ..... 67
4-2	ความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐาน..... 68
4-3	การเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ AIP ประกาศใช้กับค่าที่ได้จากการวิจัยโดยทำการปิดเศษ..... 70
4-4	การเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ AIP ประกาศใช้กับค่าที่ได้จากการวิจัยโดยทำการปิดเศษ..... 71
4-5	Aeronautical data quality requirements..... 72



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	4
1-2 พื้นที่ศึกษาบริเวณสนามบินนานาชาติอุตะเถา.....	8
2-1 แผนที่สนามบินอุตะเถา.....	11
2-2 สันฐานของโลกทางกายภาพและทางคณิตศาสตร์.....	12
2-3 รูปทรงจีโออยด์ เปรียบเทียบกับวงกลม.....	13
2-4 ค่าพิกัด ยีออเดติก.....	16
2-5 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์.....	17
2-6 ระบบพิกัดยูทีเอ็ม.....	18
2-7 ส่วนประกอบของดาวเทียมจีพีเอส.....	19
2-8 การโคจรรอบโลกของดาวเทียมจีพีเอส.....	20
2-9 วัฏระยะจากดาวเทียมถึงเครื่องรับสัญญาณจะได้ระยะเท่ากับรัศมีของวงกลม.....	21
2-10 ผิวทรงกลมตัดกันหมายถึงตำแหน่งที่อาจเป็นไปได้.....	21
2-11 ผิวทรงกลมตัดกัน 3 วง หมายถึงตำแหน่งเครื่องรับที่เป็นไปได้ 2 จุด.....	22
2-12 ผิวทรงกลมตัดกัน 4 วง ซึ่งจุดสีแดงหมายถึงตำแหน่งเครื่องรับ.....	22
2-13 การรังวัดระยะจากดาวเทียม.....	23
2-14 คลื่นหลายวิถีและคลื่นสัญญาณ โดยตรงจากดาวเทียม.....	25
2-15 รอยตัดที่เกิดจากการรังวัดที่มีเรขาคณิตไม่ดี.....	26
2-16 รอยตัดที่เกิดจากการรังวัดที่มีเรขาคณิตดี.....	27
2-17 การสร้างโครงข่ายจีพีเอสจากเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันจากแต่ละช่วงการรับสัญญาณ 30	
2-18 สถิติผู้เสียชีวิต ที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ จากกลุ่มเครื่องบินไอพ่นเชิงพาณิชย์ที่เกิดขึ้น ระหว่างปีค.ศ. 1987-2005.....	39
2-19 ตำแหน่งทางวิ่ง (Runway) ไม่สอดคล้องกับตำแหน่งจริงบนภูมิประเทศ.....	40
2-20 ตำแหน่งทางวิ่ง (Runway) ไม่สอดคล้องกับตำแหน่งจริงบนภูมิประเทศ.....	40
3-1 ตำแหน่งหมุดจีพีเอสหมายเลข 3427 และ 3436.....	44
3-2 ตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศในสนามบินนานาชาติอุตะเถา.....	46
3-3 ประมาณการช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม GPS แบบ Static.....	47

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-4 การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัยบริเวณใกล้เคียงสนามบินหมุดจีพีเอสหมายเลข 3427 หมุดจีพีเอสหมายเลข 3436 และ หมุด A 1.....	48
3-5 การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัยบริเวณใกล้เคียงสนามบินหมุดจีพีเอสหมุด 3427 หมุด 3436และ หมุด A ในคาบที่ 2.....	49
3-6 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด 3427 หมุด A และ หมุด D บริเวณ สนามบินอุตะเถา.....	50
3-7 การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัยบริเวณใกล้เคียงสนามบินหมุดจีพีเอสหมายเลข 3427 หมุด A และหมุด D ในคาบที่ 4.....	51
3-8 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด A หมุด B และ หมุด D ในคาบที่ 1.....	52
3-9 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด A หมุด B และ หมุด D ในคาบที่ 2.....	53
3-10 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด A หมุด C และ หมุด D ในคาบที่ 3.....	54
3-11 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด A หมุด C และ หมุด D ในคาบที่ 4.....	55
3-12 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด A หมุด B และ หมุด C ในคาบที่ 5.....	56
3-13 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด A หมุด B และ หมุด C ในคาบที่ 6.....	57
3-14 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด B หมุด C และ หมุด D ในคาบที่ 7.....	58
3-15 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด B หมุด C และ หมุด D ในคาบที่ 8.....	59
3-16 การรังวัดแบบ RTK.....	60
3-17 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	65

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีท่าอากาศยานอยู่ตามจังหวัดต่าง ๆ หลายจังหวัด เช่น เชียงใหม่ ขอนแก่น ภูเก็ต ระยอง เป็นต้น เพื่อเป็นการกระจายความเจริญสู่ภูมิภาค ทั้งยังมีบทบาทสำคัญต่อกิจการขนส่งทางอากาศของประเทศไทย ซึ่งมีจำนวนเที่ยวบิน ผู้โดยสาร และการขนถ่ายสินค้าอยู่ในปริมาณที่สูง รวมไปถึงเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจทั้งในส่วนของธุรกิจการบิน โดยตรง และโดยอ้อม เช่น เรื่องของการพัฒนาการอุตสาหกรรมท่องเที่ยวและการค้า เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดรายได้จำนวนมากให้กับประเทศ (ปรัชญา อุทัยเสน, 2550) และในสถานการณ์ปัจจุบัน วิธีการนำเครื่องบินเข้ามาลงที่ท่าอากาศยานมีประสิทธิภาพมากขึ้น การให้บริการเครื่องบินขึ้น – ลง ประกอบด้วยระบบ Global Positioning System (GPS) ซึ่งเป็นการใช้เทคโนโลยีดาวเทียมเข้ามาจัดระบบอำนวยความสะดวกให้กับสายการบิน และเป็นการแบ่งเส้นทางการบินเข้า – ออกของท่าอากาศยานอย่างชัดเจน ทำให้เกิดความปลอดภัย และลดต้นทุนของการจราจรทางอากาศมากขึ้น (นระ คมนามูล, 2551)

เนื่องจากระบบจีพีเอสสามารถทำงานได้ตลอดเวลาทุกสภาพอากาศ และยังมีความถูกต้องสูงในการค้นหาเป้าหมาย และยังสามารถมองทัศนวิสัยได้ไกลกว่าโดยอาศัยดาวเทียมในการค้นหาตำแหน่งเพื่อใช้สำหรับบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์ตลอดจนการบอกสภาพทัศนวิสัยที่เป็นอยู่ (พงศธร แก้วมณี, 2548) และเครื่องช่วยเดินอากาศ (Ground Based Navigation Aids) เป็นระบบที่ให้ข้อมูลเกี่ยวข้องกับทิศทาง การบินระยะทาง ทิศที่ตั้งของสนามบิน แนวในการร่อนลงสู่สนามบินนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการนำอากาศยานร่อนลงสู่พื้นทางวิ่งในสภาวะอากาศที่เลวร้าย เช่น ฝนตก หิมะตก หมอกลงจัด และฐานเมฆที่ปกคลุมบริเวณสนามบินต่ำ เป็นต้น เหตุการณ์ดังกล่าวจะทำให้ให้นักบินไม่สามารถมองเห็นทางวิ่งที่จะนำอากาศยานลงจอดได้ชัดเจน และเนื่องด้วยในขณะที่กำลังร่อนลงนั้นอากาศยานมีความเร็วใกล้จุดต่ำสุดที่เรียกว่า Near-Critical Speed จึงเป็นการลำบากที่จะนำอากาศยานไต่ระดับความสูงขึ้นไปใหม่อีกครั้ง เพราะจะก่อให้เกิดอันตรายอย่างยิ่งยวดเนื่องจากในปัจจุบันอากาศยานมีขนาดใหญ่ขึ้น ความเร็วสูงขึ้น และเหตุผลอีกประการหนึ่ง คือ ปัจจุบันจำนวนอากาศยานได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การควบคุมจราจรทางอากาศจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการจัดเส้นทางการบินที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงขึ้นมากว่าเดิม ซึ่งช่วยไม่ให้เกิดอุบัติเหตุเฉี่ยวชนกันในอากาศได้ ตัวอย่างเช่น จากรายงานผลการศึกษาของ หน่วยงานด้านความปลอดภัยในการบิน (Flight Safety Foundation: FSF) ของสหรัฐอเมริกา

ต่อการเกิดอุบัติเหตุในลักษณะการควบคุมการบินเข้าหาภูมิประเทศ (Controlled Flight Into Terrain: CFIT) พบว่าส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นระหว่างการบินเข้าหาสนามบินแบบไม่แม่นยำ (Non-Precision Approach: NPA) ด้วยวิทยุช่วยในการเดินอากาศ NDB, VOR, NDB/ DME, VOR/DME, LOC และ LOC/DME ที่ไม่ถูกต้อง หรือการออกแบบแผนที่ปฏิบัติการบิน (Instrument / Visual Flight Procedure Design) ที่ไม่ดีพอที่มีส่วนทำให้เกิดอุบัติเหตุ (Accident) และ อุบัติการณ์ (Incident) ทั่วโลกมานานกว่า 10 ปี (Gregory, 2000)

จากการศึกษาข้อมูลตำแหน่งอ้างอิงในการเดินอากาศ ของสนามบินภูเก็ต ที่ใช้เป็น ตำแหน่งอ้างอิงในการบินเข้าหาสนามบินเพื่อลงจอด มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินกว่าเกณฑ์ มาตรฐานที่องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization: ICAO) กำหนดคือได้ว่าเสี่ยงต่อความปลอดภัยในการเดินอากาศ ด้วยแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการ บินเข้าหาสนามบิน (Instrument Approach Procedure) เพื่อลงจอด (พงศสันต์ มิตรารักษ์, 2553) จะเห็นได้ว่าค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิงการเดินอากาศนั้นถือเป็นปัจจัยสำคัญอีกประการที่จะช่วยให้การ เดินอากาศดำเนินการไปได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาโดยทำการประเมินความถูกต้องของค่าพิกัด เข็มตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศของบริเวณสนามบินนานาชาติอุตะเถา จาก AIP Thailand ที่ ประกาศใช้เมื่อปี พ.ศ. 2552 ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ICAO ซึ่งหน่วยงานดังกล่าวมีหน้าที่ รับผิดชอบในการกำหนดมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบิน เช่น ตำแหน่งอ้างอิงในการ เดินอากาศประกอบด้วย ตำแหน่งจุดเริ่มต้นทางขึ้น-ลง (Runway Threshold) และตำแหน่งสถานี วิทยุช่วยในการเดินอากาศ เป็นต้น ซึ่งเครื่องช่วยเดินอากาศดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนด แบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบินด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด (Instrument Approach Procedure) เพื่อลงจอด ณ สนามบินต่าง ๆ (พงศสันต์ มิตรารักษ์, 2553)

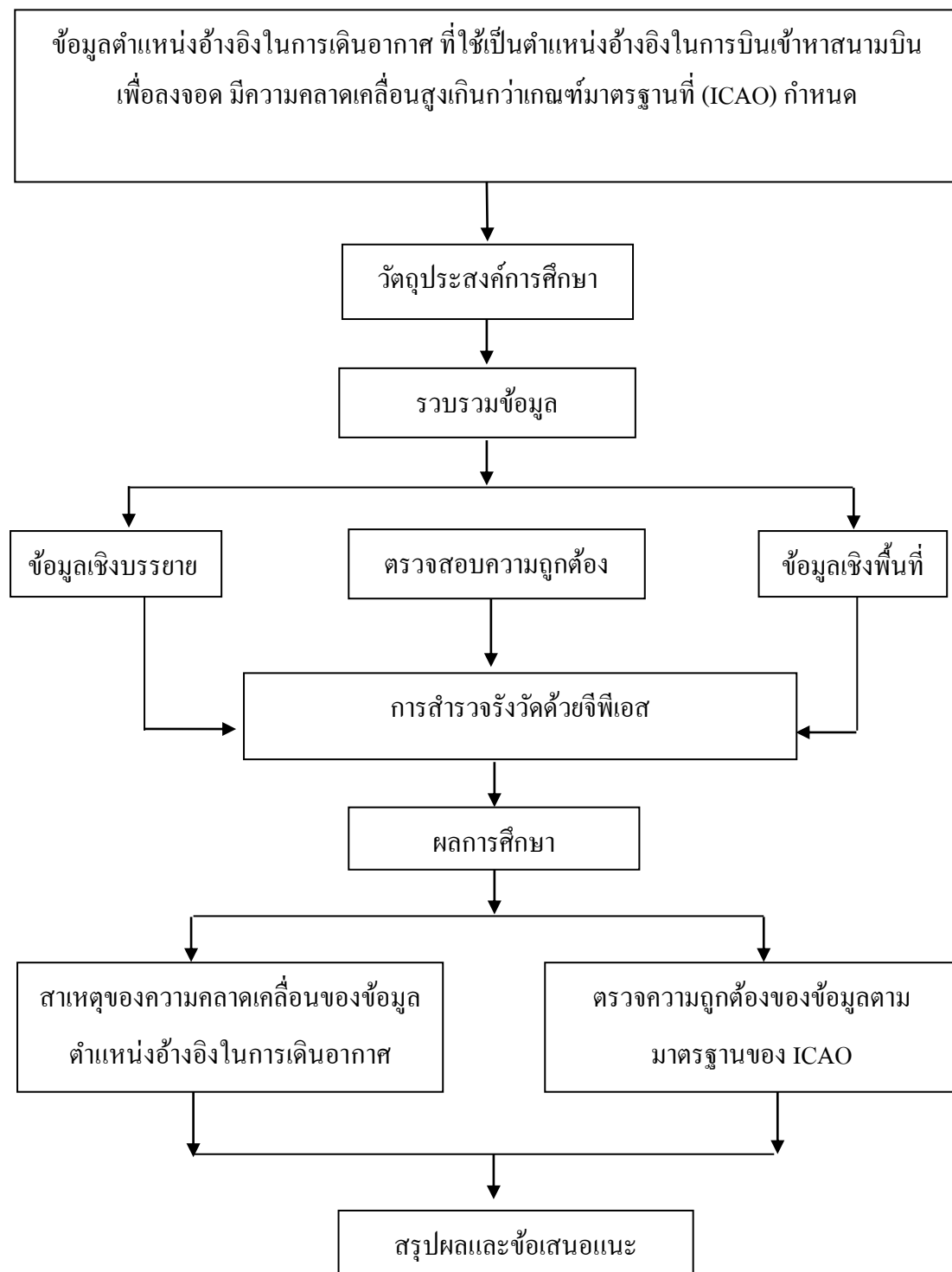
จากเหตุการณ์ปิดและยึดท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและท่าอากาศยานดอนเมืองเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 ซึ่งเป็นท่าอากาศยานนานาชาติที่ถือเป็นประตู เข้า-ออก และเป็นศูนย์กลาง การบินในภูมิภาคของประเทศไทยส่งผลให้ประเทศไทยได้รับความเสียหายเป็นมูลค่ามหาศาล เช่น ความเสียหายจากรายได้ในด้านต่าง ๆ ทั้งพืชผักนำเข้าเสียไม่สามารถขนส่งได้ ห้องโรงแรมที่ไม่มีแขก เข้าพัก ผู้ประกอบการต้องเสียค่าปรับแก่ลูกค้าเป็นเงินจำนวนมากเนื่องจากไม่สามารถส่งสินค้าไป ถึงลูกค้าได้ตรงเวลา รวมไปถึงการสูญเสียงบประมาณของทางราชการเพื่อช่วยเหลือผู้โดยสารที่ ตกค้าง และความเสียหายในระยะยาวนั้นเป็นค่าเสียโอกาสที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยเป็นการ สูญเสียตลาดเนื่องจากทำให้ขาดความมั่นใจในศักยภาพการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตทำให้หันไป สั่งซื้อจากประเทศอื่น ๆ เป็นการทดแทน (ยุทธศักดิ์ วัฒนาวัด, 2552) ส่งผลให้สนามบินนานาชาติ

อุตะเภากลายเป็นสนามบินสำรองในการรองรับผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการให้ได้รับความสะดวกสูงสุดและสามารถบรรเทาเหตุการณ์เฉพาะหน้าได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสนามบินนานาชาติอุตะเภานั้นเป็นสนามบินที่อยู่ใกล้กับกรุงเทพมหานครเป็นอย่างมากใช้เวลาเดินทางโดยรถยนต์จากสนามบินนานาชาติอุตะเภามาไปยังกรุงเทพมหานครนั้นเพียง 2 ชั่วโมง และแม้ว่าจะเป็นสนามบินยุทธศาสตร์ทางทหารหากแต่ยังได้ถูกคัดเลือกให้นำมาพัฒนาเป็นโครงการศูนย์กลางการผลิตและขนส่งทางอากาศยานนานาชาติ เพราะเป็นสนามบินที่ทันสมัยและมีขนาดใหญ่ที่สุดสนามบินหนึ่งในภูมิภาคอีกด้วย (ชวน หลีกภัย, 2541) โดยสามารถรองรับเครื่องบินไอพ่นขนาดใหญ่ที่สุด ที่มีอยู่ในปัจจุบันทั้งของทางทหารและพลเรือนให้ขึ้นลงได้ ทั้งยังสามารถที่จะรับเครื่องบินโดยสารไอพ่นความเร็วเหนือเสียงได้ด้วย โดยมีลานจอดเครื่องบินจำนวน 4 แห่ง แต่ละแห่งมีขนาด 190,000 ตารางหลา และเครื่องบินสามารถเติมเชื้อเพลิงได้จากท่อส่งเชื้อเพลิงที่ติดตั้งอยู่ตามแนวจอดเครื่องบิน โดยมีหลุมน้ำมันใต้ลานจอด ๆ ละ 9 ถึงขนาดความจุถึงน้ำมันถึงละ 180,000 ลิตร สามารถเติมน้ำมันได้ด้วยแรงดันจ่าย 1,400 ลิตร/ นาที ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการบินครบครัน (กองการบินทหารเรือ กองเรือยุทธการ, 2553) อย่างไรก็ตามสนามบินนานาชาติอุตะเภานั้นยังไม่มีการศึกษาความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อตรวจวัดและประเมินความถูกต้องของตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศ

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อตรวจวัดข้อมูลเชิงตำแหน่งของข้อมูลอ้างอิงในการเดินอากาศของสนามบินนานาชาติอุตะเภาด้วยจีพีเอส
2. เพื่อประเมินความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งอ้างอิงในการเดินอากาศตามเกณฑ์มาตรฐานที่ ICAO กำหนด

### กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อให้ทราบถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลในการเดินอากาศตามเกณฑ์มาตรฐานของ ICAO ของสนามบินนานาชาติอุตะเถา
2. สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบความถูกต้องค่าพิกัดของเครื่องช่วยเดินอากาศภายในสนามบินอื่น ๆ ได้

## ขอบเขตของการวิจัย

ทำการตรวจสอบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิงเครื่องช่วยเดินอากาศที่ AIP Thailand ประกาศใช้ ในปี พ.ศ. 2552 ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ICAO โดยใช้เทคโนโลยีจีพีเอส แบบ RTK, และ Static โดยพื้นที่ศึกษา ได้แก่ บริเวณสนามบินนานาชาติอุตะเถา ตั้งอยู่ที่ ตำบลพลา อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง ลองจิจูด 1005957.20 E ละติจูด 124058.88 N อยู่เหนือระดับทะเลปานกลาง 18 เมตร โดยเครื่องช่วยเดินอากาศที่ทำการสำรวจนั้นประกอบไปด้วย

1. วิทยุประกาศาร NDB (Non-Directional Beacon)
2. เครื่องช่วยการเดินอากาศ DVOR/ DME (Doppler Very High Frequency Omni-Directional Range/ Distance Measuring Equipment)
3. เครื่องช่วยการเดินอากาศ LOC/ DME (Localizer/ Distance Measuring Equipment)
4. เครื่องช่วยการเดินอากาศ GS (Glide Slope)
5. เครื่องช่วยการเดินอากาศ MM (Middle Marker)
6. เครื่องช่วยการเดินอากาศ Compass
7. เครื่องช่วยการเดินอากาศ TACAN
8. จุดเริ่มต้นทางวิ่ง THR 18 (Threshold 18)
9. จุดเริ่มต้นทางวิ่ง THR 36 (Threshold 36)

## ข้อจำกัดของการวิจัย

การรังวัดตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศในสนามบินอุตะเถานั้นใช้เทคโนโลยีจีพีเอส แบบ RTK เนื่องจากจุดที่ต้องการทราบค่าอยู่ในบริเวณสนามบิน ซึ่งมีการขึ้นลงของเครื่องบินอยู่ตลอดเวลา ประกอบกับสภาพอากาศ และ ช่วงเวลาในการขออนุญาตเข้าไปสำรวจยังสนามบินนานาชาติอุตะเถามีจำกัดทำให้ไม่สามารถทำการสำรวจแบบวิธี Static

## นิยามศัพท์เฉพาะ

เครื่องช่วยการเดินอากาศ (Navigation Aids: NAVAID) หมายถึง วิทยุช่วยในการเดินอากาศ ที่ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ เพื่อให้ข้อมูลในการเดินอากาศกับอากาศยาน ได้ทราบถึงตำแหน่งที่ตั้งสนามบิน ทิศทางในการบินเข้า/ออก ระยะทางห่างจากสนามบิน และมุมร่อนในการบินลดระดับได้อย่างปลอดภัย

องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization: ICAO) หมายถึง หน่วยงานชำนาญการพิเศษของสหประชาชาติ ที่จัดตั้งขึ้นเพื่อวางกฎระเบียบข้อบังคับ สำหรับกิจกรรมการบินระหว่างประเทศ ระหว่างชาติ

AIP (Aeronautical Information Publication) หมายถึง สิ่งพิมพ์ข้อมูล/ ข่าวสารด้านการที่จัดทำขึ้นสำหรับแต่ละประเทศ หรือร่วมกับเจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจที่ประกอบด้วย ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเดินอากาศ ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการเดินทางในอากาศ

สถานีวิทยุ NDB: Non Directional Beacon หรือวิทยุประกาศเป็นสถานีวิทยุช่วยบอกมุมให้กับเครื่องบิน แต่มุมที่บอกนี้เป็นมุมทางวิทยุ: Radio Bearing คือมุมที่เกิดขึ้นระหว่างแนวของเครื่องบินที่กำลังบินอยู่กับที่ตั้งของสถานี ไม่ใช่มุมทางภูมิศาสตร์ของโลก

สถานีวิทยุ Compass Locator หมายถึง สถานีวิทยุที่บอกมุมทางวิทยุให้กับเครื่องบิน เช่นเดียวกับ NDB ส่วนมากติดตั้งอยู่ตามสนามบินเพื่อบอกมุมให้กับเครื่องบินที่ใกล้เข้ามาสู่สนามบินแล้ว และมีกำลังออกอากาศต่ำกว่า NDB จึงมีประโยชน์ต่อเมื่อเครื่องบินเข้าใกล้สนามบินแล้วเท่านั้น

สถานีวิทยุ VOR: Very High Frequency Omni-Directional Range ใช้บอกมุมทางภูมิศาสตร์ของโลกให้กับเครื่องบิน โดยส่งคลื่นวิทยุออกไปเป็นมุมต่าง ๆ 360 องศารอบสถานี

สถานีวิทยุ DME: Distance Measuring Equipment ใช้บอกระยะทางให้กับเครื่องบิน ระยะทางที่บอกนี้เป็นระยะทางระหว่างสถานีกับตำแหน่งที่เครื่องบินกำลังบินอยู่ การติดตั้งสถานี VOR มักติดตั้งร่วมกับสถานี DME ในอาคารเดียวกันเรียกว่าสถานีวิทยุ VOR/DME ทำให้เครื่องบินได้รับประโยชน์ทั้งด้านมุม และระยะทาง ในเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเดินอากาศอย่างยิ่ง

สถานีวิทยุ TACAN: Tactical Air Navigation หมายถึง สถานีที่ใช้ประโยชน์สำหรับเครื่องบินทหารโดยเฉพาะ แต่มีเครื่องบินพลเรือนบางแบบนำมาติดตั้งไว้ใช้บอก Azimuth และระยะทางให้กับเครื่องบิน โดยใช้ความถี่ที่สูงกว่า VOR มาก

Localizer หมายถึง เครื่องส่งวิทยุที่ตั้งอยู่ด้านปลายทางวิ่ง โดยส่งคลื่นวิทยุออกไปเพื่อบอกแนวถึงกลางทางวิ่ง



Glide Slope หมายถึง เครื่องส่งวิทยุซึ่งตั้งอยู่ข้างทางวิ่ง ส่งคลื่นวิทยุออกไปเพื่อบอก มุมร่อนให้กับเครื่องบิน (โดยทั่วไปประมาณ 3 องศา) หากเครื่องบินทำมุมร่อนได้ถูกต้องตามที่ เครื่องส่งออกไป มาตรวัดจะชี้ตรงกลาง

Middle Marker (MM) หมายถึง เครื่องส่งวิทยุที่ตั้งอยู่ประมาณ 3,500 ฟุต จะส่งคลื่นเป็น รูปกรวยพุ่งเข้าสู่อากาศ เมื่อเครื่องบินอยู่เหนือ MM หลอดไฟสี่มุมบนแผงหน้านักบินจะติด และจะ ได้ยินสัญญาณเตือนให้รู้ว่าเครื่องบินอยู่ห่างจากหัวทางวิ่ง 3,500 ฟุต

PDOP (Position Dilution of Precision) หมายถึง ความแม่นยำของตำแหน่งสามมิติ เป็น ตัวบ่งชี้คุณภาพของเรขาคณิตดาวเทียม ในการกระจายตัวของดาวเทียมบนท้องฟ้า ซึ่งจะใช้วัดความ ถูกต้องของตำแหน่ง หากค่าPDOP สูง ค่าพิกัดที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสูง และค่า PDOP ที่ใช้ในการรับวัดสัญญาณ ไม่ควรมากกว่า 6.0

## **พื้นที่ศึกษา**

ดำเนินการศึกษาข้อมูลบริเวณสนามบินนานาชาติอุตะเถา จังหวัดระยอง ห่างจากจังหวัด ประมาณ 30 กิโลเมตร และอยู่ห่าง จากกรุงเทพมหานคร ประมาณ 190 กิโลเมตร ปัจจุบันเป็นที่ตั้ง ของ กองการบินทหารเรือ กองเรือยุทธการ และ การทำอากาศยานอุตะเถา ดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-2 พื้นที่ศึกษาบริเวณสนามบินนานาชาติอู่ตะเภา (ThailandMap, 2553)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลอ้างอิงในการเดินอากาศ ตามเกณฑ์มาตรฐานขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ บริเวณสนามบินนานาชาติอุตะเกา จังหวัดระยองนั้น ได้ทำการค้นคว้าและศึกษาเรื่องต่าง ๆ ตามหัวข้อดังต่อไปนี้ คือ

1. พื้นที่ศึกษา
2. ลักษณะของโลก
3. พื้นหลักฐาน
4. ระบบพิกัด
5. ทฤษฎีการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอส
6. หลักการทำงานของดาวเทียมจีพีเอส
7. ค่าความคลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส
8. การรังวัดค่าพิกัดด้วยจีพีเอส
9. การออกแบบโครงข่ายและการรังวัด
10. การปรับแก้โครงข่ายแบบลิสต์สแควร์
11. องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ
12. เทคโนโลยีการเดินอากาศ
13. มาตรฐานองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศว่าด้วยเรื่องของความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลการบิน
14. อุบัติเหตุทางการบินที่เกี่ยวข้องกับความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง

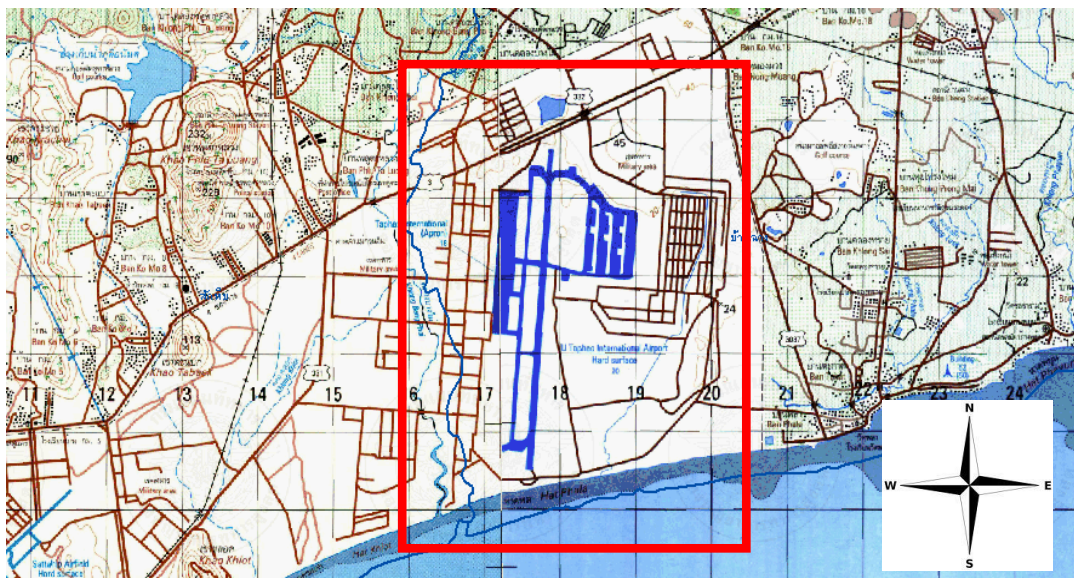
### ลักษณะทั่วไปและที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

สนามบินนานาชาติอุตะเกาส่งตั้งขึ้นตามโครงการร่วมกันระหว่างไทย-สหรัฐฯ โครงการนี้ได้เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2505 เพื่อให้ทันกับการคุกคามที่กำลังก่อตัวมายังประเทศไทย จากการรุกรานของคอมมิวนิสต์ต่อประเทศลาวและเวียดนามใต้ ซึ่งประเทศไทยได้เตรียมการป้องกัน ได้แก่ การขยายกิจการส่งกำลังทหารซึ่งรวมทั้งคลังสรรพาวุธ คลังเชื้อเพลิง ยานพาหนะ วัสดุก่อสร้าง และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จะสนองความต้องการของกำลังรบไทยและพันธมิตร ในการป้องกันประเทศจากการโจมตีจากภายนอก ส่งผลให้สนามบินแห่งนี้ได้รับการปรับปรุงให้ใช้ได้เต็มที่ สำหรับการขนส่ง

ทางอากาศในการลำเลียงหน่วยรบไปยังจุดยุทธศาสตร์ต่าง ๆ ในประเทศไทย ตามความต้องการ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเตรียมย้ายอาวุธยุทโธปกรณ์ จากตำบลชนถ่าย ไปยังหน่วยต่าง ๆ ในสนามจึงจำเป็นต้องสร้างถนนขึ้นใหม่ และในขณะเดียวกันก็ได้ปรับปรุงเส้นทางที่มีอยู่ให้ดีขึ้น อีกด้วย หลังจากที่ได้พิจารณากันอย่างรอบคอบถึงการคุกคามของคอมมิวนิสต์ที่มีต่อ ประเทศไทย และเอเชียอาคเนย์แล้ว เจ้าหน้าที่ไทยและสหรัฐฯ ก็ได้ตกลงใจสร้างสนามบินอุตะเถานี้ขึ้นในปี พ.ศ. 2508 แผนแบบการสร้างสนามบินและการขนย้ายสถานที่ต่าง ๆ ของทหารเรือที่อยู่ใกล้เคียงกัน นั้น เพื่อความประสงค์ขั้นสุดท้ายในการสนับสนุนการปฏิบัติการยุทธร่วมและผสม จากผลสรุป ในการนี้และจากข้อพิจารณาอื่น ๆ จะเห็นได้ว่า การป้องกันประเทศอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องเพิ่มฐานขนถ่ายทางอากาศและทำเทียบเรือตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกในการส่งกำลัง

สนามบินนานาชาติอุตะเถานี้เป็นสนามบินที่มีความสำคัญแห่งหนึ่ง ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของกองการบินทหารเรือ ตั้งอยู่ที่ ตำบลพลลา อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง ลองจิกูด 1005957.20 E ละติจูด 124058.88 N อยู่เหนือระดับทะเลปานกลาง 18 เมตร ห่างจากจังหวัดประมาณ 30 กม. และอยู่ห่าง จากกรุงเทพมหานคร ประมาณ 190 กิโลเมตร ปัจจุบันเป็นที่ตั้งของ กองการบินทหารเรือ กองเรือยุทธการ และการทำอากาศยานอุตะเถา

สนามบินนานาชาติอุตะเถาสามารถรองรับเครื่องบินไอพ่นขนาดใหญ่ที่สุด ที่มีอยู่ในปัจจุบันทั้งของทางทหารและพลเรือนให้ขึ้นลงได้ ทั้งยังสามารถที่จะรับเครื่องบินโดยสารไอพ่นความเร็วเหนือเสียงได้ด้วย โดยมีลานจอดเครื่องบินจำนวน 4 แห่ง แต่ละแห่งมีขนาด 190,000 ตารางหลา และเครื่องบินสามารถเติมเชื้อเพลิงได้จากท่อส่งเชื้อเพลิงที่ติดตั้งอยู่ตาม แนวจอดเครื่องบิน โดยมีหลุมน้ำมันใต้ลานจอดๆละ 9 ถึงขนาดความจุถึงน้ำมันถึงละ 180,000 ลิตร สามารถเติมน้ำมันได้ด้วยแรงดันง่าย 1,400 ลิตร/นาที มีทางวิ่ง (Runway) ขนาด 3,505 x 60 เมตร พื้นที่ลานจอดอากาศยาน 432,300 ตารางเมตร อาคารที่พักผู้โดยสารมีขนาด 2,610 ตารางเมตร สามารถบริการผู้โดยสารได้ 400 คน ลานจอดรถให้บริการได้ 100 คัน ตลอดจนถึงอำนวยความสะดวกด้านการบินครบครัน (กองการบินทหารเรือ กองเรือยุทธการ, 2553) ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 แผนที่สนามบินอุตะเกา ะวาง 51342 และ 51343 ลองจิจูด 1005957.20 E ละติจูด 124058.88 N (ตัดแปลงจากกรมแผนที่ทหารมาตราส่วน 1: 50,000 )

### ลักษณะของโลก

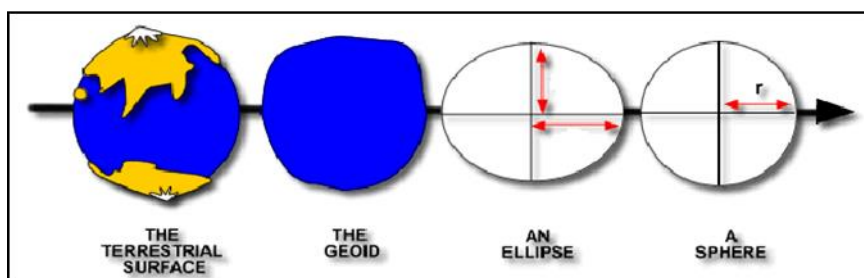
โลกมีลักษณะเหมือนลูกฟุตบอลเช่นเดียวกับดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ หรือมีลักษณะแบบสเฟียรอยด์ (Spheroid) ที่ป่องตรงกลาง แต่แฟบที่ขั้วทั้งสองเล็กน้อย ข้อพิสูจน์สมัยใหม่ที่แสดงว่าโลกกลมก็คือ การถ่ายภาพโลกจากดาวเทียมที่แสดงให้เห็นว่าโลกมีลักษณะกลมจริง ๆ ข้อพิสูจน์อื่น ๆ ที่แสดงว่าโลกกลม ได้แก่

1. การเดินทางรอบโลกไปในทิศเดียวได้ตลอด
2. เงาของโลกในเวลาเกิดจันทรุปราคา มีลักษณะกลม
3. ดาวเคราะห์ทั้งหลายต่างมีทรงกลม ดังนั้นโลกก็ควรจะมีลักษณะกลมเช่นเดียวกันด้วย
4. แผนที่ซึ่งใช้กันทุกวันมีรากฐานการคำนวณจากค่าความเชื่อว่า โลกกลมและปรากฏว่าแผนที่สมัยใหม่มีความถูกต้องจริง ๆ ดังนั้นโลกจึงมีทรงกลมแบบสเฟียรอยด์แน่นอน
5. วัตถุก้อนเดียวกัน เมื่อซังตามที่แตกต่างกัน บนพื้นผิวโลกจะมีน้ำหนักเท่า ๆ กัน แสดงว่าวัตถุก้อนนั้นอยู่ห่างจากแรงดึงดูดจากศูนย์กลางของโลกในรัศมีที่เท่ากัน จึงแสดงว่าโลกต้องมีลักษณะเป็นทรงกลม
6. เมื่อถ่ายภาพโลกจากที่สูงมาก ๆ จะเห็นส่วนโค้งวงกลมของผิวโลก เช่น ภาพที่ถ่ายจากดาวเทียมจะเห็นโลกมีลักษณะกลมอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น (อัมชา ก.บัวเกษร, 2542)

พื้นผิวที่แท้จริงของโลกมีลักษณะขรุขระ สูงต่ำไม่ราบเรียบและความลาดชันไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะแตกต่างกันไปตลอดทั่วทั้งผิวโลก เนื่องจากสถานะที่แท้จริงของโลกมีความหนาแน่นของมวลสารไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นงานด้านยื่อเดซีจึงแบ่งลักษณะของโลกออกเป็น 2 ประเภทคือ (อัจฉริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล, 2551) ดังภาพที่ 2-1

1. ลักษณะของโลกทางกายภาพ หมายถึง แนวเขตระหว่างผิวดินหรือผิวน้ำกับบรรยากาศรอบผิวโลก ค่าพิกัดตำแหน่งของหมุดหลักฐานจากการทำงานรังวัดชั้นสูงใช้แสดงลักษณะส่วนที่เป็นพื้นดินได้อย่างหยาบ ๆ

2. ลักษณะของโลกทางคณิตศาสตร์ ได้จากการจินตนาการว่าพื้นผิวระดับของมหาสมุทร พื้นผิวทะเลที่ยื่นเข้าไปในส่วนที่เป็นพื้นดินเป็นสารเนื้อเดียวกัน พื้นผิวระดับที่ครอบคลุมโลกทั้งหมดนี้มีชื่อเรียกว่า จีออยด์ (Geoid) แต่เนื่องจากจีออยด์ มีรูปร่างที่ขรุขระไม่ราบเรียบ ดังนั้นในการคำนวณงานจึงต้องหารูปทรงเรขาคณิต คือ รูปทรงรีอ้างอิง (Reference Ellipsoid) ดังภาพที่ 2-2



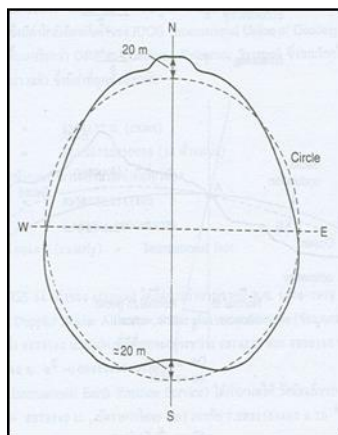
ภาพที่ 2-2 ลักษณะของโลกทางกายภาพและทางคณิตศาสตร์ (Hofmann, Lichtenegger, and Collins, 1992)

### 2.1 ภูมิประเทศบนพื้นผิวโลก (Earth Terrestrial Surface)

เป็นพื้นผิวทางกายภาพแท้จริงบนพื้นผิวโลก ทั้งที่เป็นพื้นดินและพื้นน้ำ พื้นผิวดังกล่าวเป็นพื้นผิวที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ อีกทั้งการรังวัดหาระยะทางหรือขนาดของพื้นที่ ก็กระทำบนพื้นผิวดังกล่าว แต่เนื่องจากความไม่มีรูปแบบที่แน่นอนของภูมิประเทศบนพื้นผิวโลก ทำให้ไม่เหมาะที่จะใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล, 2543)

2.2 จีออยด์ ซึ่งใช้ระดับทะเลปานกลางอ้างอิง เป็นพิภพสมมติซึ่งเป็นผิวที่เกิดขึ้นโดยการวัดแรงดึงดูดของโลก พื้นที่มีแรงคู่เท่ากันเรียก Equipotential Surface พื้นผิวจีออยด์ นี้จะไม่ทับกับระดับน้ำทะเล เพราะน้ำทะเลมีขึ้นลงและมีการไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเพราะแต่ละ

จุดมีค่าระดับต่างกันแต่พื้นผิวจีออยด์ และระดับทะเลปานกลางแตกต่างกันน้อยเมื่อเทียบกับรัศมีของโลก แนวทิศทางของแรงดึงดูดของโลกจะตั้งได้ฉากกับผิว จีออยด์ ถ้าหากสมมติว่าให้น้ำในแม่น้ำคลอง ทะเล มหาสมุทรต่อเนื่องถึงกันหมด ให้น้ำไหลได้อย่างอิสระและไม่มีน้ำขึ้นลง เมื่อผิวน้ำนิ่งแล้ว ผิวน้ำนั้นจะเป็นผิวของจีออยด์ (ธีระ ลีลิตวารางกูร และคณะ, 2548) ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 รูปทรงจีออยด์ เปรียบเทียบกับวงกลม (ยรรยง ทรัพย์สุขอำนาจ, 2542)

2.3 รูปทรงรี (Ellipsoid) เป็นพิภพสมมติทางคณิตศาสตร์ที่นักสำรวจได้กำหนดขึ้นมา เพื่อให้ใกล้เคียงกับผิวของพิภพจริงมากที่สุด จุดประสงค์เพื่อให้แผนที่ถูกต้องทั้งสามมิติ พิกัดนี้ใช้พิสูจน์หากฎ สูตรต่าง ๆ เพื่อการคำนวณทิศทางและตำแหน่งให้ถูกต้อง เพื่อใช้เป็นจุดบังคับแผนที่บนรูปทรงรี (ธีระ ลีลิตวารางกูร และคณะ, 2548) อีกทั้งรูปทรงยังแตกต่างจากรูปทรงกลมเพียงเล็กน้อย จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นพื้นผิวในการรังวัด และในงานการแผนที่ที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง เช่น แผนที่ระดับชุมชนเมือง แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วนใหญ่มาก และแผนที่นำร่อง เป็นต้น และจากผลลัพธ์จากการคำนวณจึงมีความใกล้เคียงกับพื้นผิวจีออยด์มากที่สุด ดังนั้นจึงทำให้มีรูปทรงรีที่เป็นตัวแทนของสัณฐานโลกในการคำนวณมีเป็นจำนวนมาก เนื่องจากแต่ละพื้นที่บนโลกมีความโค้งนูนของจีออยด์ ที่แตกต่างกัน (อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล, 2543)

2.4 รูปทรงกลม (Sphere) เป็นอีกรูปทรงหนึ่งซึ่งใช้แทนสัณฐานของโลก ที่มีความซับซ้อนน้อยกว่ารูปทรงรี ทำให้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ง่ายขึ้น โดยมีตัวแปรเพียงตัวเดียวคือรัศมีจากจุดศูนย์กลาง ( $r$ ) แต่รูปทรงกลมไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการคำนวณพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่บนผิวโลก และไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นการแทนทางเรขาคณิตที่ใช้แทนสัณฐานของโลกทั้งโลก

## พื้นหลักฐาน

ในการทำงานรังวัดชั้นสูง ค่าที่วัดได้จะใช้อ้างอิงกับพื้นผิวจีออยด์และต้องทำการคำนวณปรับแก้โครงข่ายบนรูปทรงรีอ้างอิงของประเทศหรือภูมิภาคนั้น ๆ ผลที่ได้จากการปรับแก้คือปริมาณที่อ้างอิงอยู่บนรูปทรงรี ดังนั้นงานทางด้านการคำนวณจำเป็นจะต้องหารูปทรงรีที่มีขนาด รูปร่างและทิศทางการวางตัวให้แนบสนิทกับพื้นผิวจีออยด์ของประเทศหรือภูมิภาคนั้น ๆ ให้มากที่สุด ซึ่งรูปร่างและทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีประกอบกันนี้เรียกว่า พื้นหลักฐาน (Datum) (ศรายุทธ อยู่สำราญ, 2543) เช่น

### 1. พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ( Indian 1975 Datum )

ในปี พ.ศ. 2518 ได้มีการปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 โดยรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ในโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ของประเทศไทยและประเทศพม่าเพื่อใช้ในการปรับแก้ให้ได้ค่าพิกัดของผลลัพธ์ที่ถูกต้องที่สุด โดยรวมเอาค่าที่ได้รังวัดเพิ่มเติมภายหลังจากการปรับแก้ปี พ.ศ. 2497 เข้ารวมกับค่าที่มีอยู่เดิมด้วย ซึ่งในการปรับแก้มีข้อมูลดังต่อไปนี้

- 1.1 ข้อมูลการรังวัดพื้นดินประกอบด้วยหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 จำนวน 426 สถานี
- 1.2 ข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมโดยวิธีดอปเพลอร์

ในระหว่างปี พ.ศ. 2514 - 2516 ได้มีการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมโดยวิธีดอปเพลอร์ จำนวน 12 สถานี หากแต่ค่าพิกัดที่คำนวณได้มีเพียง 9 สถานีเท่านั้น ที่นำเข้ามาใช้ในการปรับแก้ในครั้งนี้ เนื่องจากมีค่าข้อมูลของวงโคจรของดาวเทียมที่รังวัดได้ไม่เพียงพอ การรังวัดโยงยึดกับหมุดหลักฐานชั้นที่ 3 ซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการปรับแก้ ซึ่งจะเลือกแต่หมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 เท่านั้น โดยใช้หมุดที่เขาสะแกกรัง (หมุดสามเหลี่ยมหมายเลข 91) จังหวัดอุทัยธานี เป็นหมุดหลักฐานค่าพิกัดตายตัว และกำหนดให้เป็นจุดศูนย์กลางกำเนิดของพื้นหลักฐานโดยเรียกชื่อพื้นหลักฐานใหม่นี้ว่า พื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 หรือ พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 (Indian 1975 Datum)

พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 (Indian 1975 Datum) มีข้อมูลเกี่ยวกับขนาด ลัทธิฐาน และตำแหน่งสัมพันธ์กับจีออยด์ดังนี้

ศูนย์กลางกำเนิดพื้นหลักฐาน	: หมุดสามเหลี่ยมเขาสะแกกรัง (หมายเลข 91)
ละติจูด	: $15^{\circ} 22' 56''.0487$ เหนือ
ลองจิจูด	: $100^{\circ} 00' 56''.1906$ ตะวันออก
ความสูงจีออยด์ที่ศูนย์กลางกำเนิด	: -20.46 เมตร
ชื่อรูปทรงรี	: เอเวอเรสต์ 1830 ( $a = 6377276.345$ m., $f = 1 / 300.8017$ )



## 1.2 พื้นหลักฐาน WGS84 (World Geodetic System 1984)

ปัจจุบันในงานทางด้านรังวัดและการสำรวจนิยมใช้เทคนิคการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS (Global Positioning System) ซึ่งค่าพิกัดที่ได้จากการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐานดาวเทียมที่ชื่อว่า พื้นหลักฐาน WGS84 มีค่าความถูกต้องของค่าพิกัดอยู่ในเกณฑ์  $\pm 1-2$  เมตร ในการคำนวณงานของพื้นหลักฐานจะอ้างอิงกับรูปทรงรี WGS84 ระบบพิกัดของพื้นหลักฐาน WGS84 จะเป็นไปตามคุณสมบัติสากลที่ IERS (The International Earth Rotation Service) กำหนดไว้ดังนี้

1.2.1 จุดศูนย์กลางกำเนิดของระบบพิกัดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสาร โลกซึ่งรวมถึงมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศด้วย

1.2.2 มาตรฐานคือระบบอ้างอิงท้องถิ่นซึ่งมีความหมายตามทฤษฎีสัมพัทธภาพความถ่วงของโลก

1.2.3 ทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีเป็นไปตามข้อกำหนดโดย BIH (Bureau International de l'Heure) ณ ช่วงเวลา 1984.0

1.2.4 การวางตัวของรูปทรงรีเมื่อกาลเวลาเปลี่ยนไปจะไม่มี ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก

พื้นหลักฐาน WGS84 เริ่มใช้เป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงสากลเมื่อปี ค.ศ. 1987 โดยใช้ข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมในระบบทรานซิท (Transit) เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดพื้นหลักฐาน WGS84 (อนุเทศ ภาณุมาศตระกูล, 2543) มีองค์ประกอบดังนี้

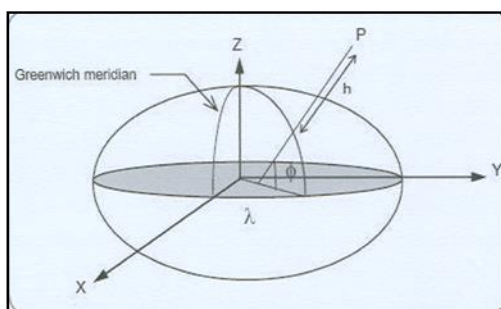
รูปทรงรี:	WGS84
ขนาดของครึ่งแกนยาว (a)	: 6,378,137.0 เมตร
อัตราการยุบตัว ( $1/f$ )	: 298.257223563
อัตราความเร็วเชิงมุม ( $\omega$ )	: $7292115.0 \times 10^{-11}$ radians / second
ค่าสัมประสิทธิ์มวลสารของโลก	: $(3986004.418 \pm 0.008) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$

## ระบบพิกัด

โลกมีทรงกลมทำให้การกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ บนโลกนั้นต้องถ่ายทอดตำแหน่งจากพื้นที่จริงลงมาสู่แผนที่ด้วยระบบพิกัด โดยระบบพิกัดแผนที่ คือ การอ้างอิงตำแหน่งของโลกที่ถ่ายทอดมาสู่ลักษณะแบนราบ ซึ่งมี 2 ระบบดังนี้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

### 1. ระบบพิกัดทางยิปโซเดติก (Geodetic Coordinate)

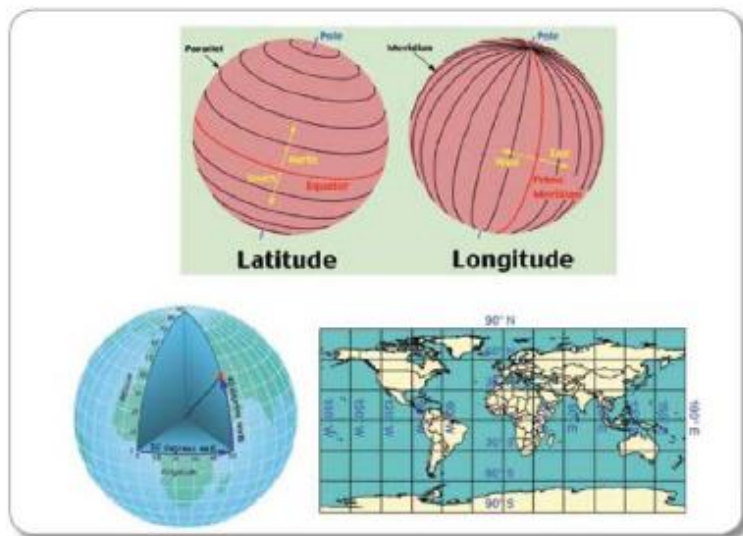
รูปทรงรี เป็นรูปทรงที่นำมาใช้ประมาณลักษณะของโลกสำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง โดยทั่วไปมักเรียกว่า ทรงรี หรือสเฟียร์รอยด์ ซึ่งถูกสร้างจากการหมุนวงรีรอบแกนโท (แกนหมุนของโลก) การกำหนดรูปทรงต้องอาศัยตัวแปรอย่างน้อย 2 ตัว คือ ความยาวแกนโท (b) และค่าความยาวกึ่งแกนเอก (a) จากตัวแปรทั้งสองทำให้สามารถคำนวณหาตัวแปรอื่น ๆ ได้ เช่น อัตราการยุบตัว (Flattening) และค่าการเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity) เป็นต้น ดังนั้นในการกำหนดรูปทรงรีขึ้นมาจำเป็นต้องรู้ค่าตัวแปร อย่างน้อย 2 ตัว จากที่ได้กำหนดรูปทรงรีขึ้นจากตัวแปร 2 ตัว ทำให้สามารถกำหนดพิกัดที่อยู่บนรูปทรงรีได้ โดยใช้ตัวแปรอีก 3 ตัว คือ ละติจูด ( $\phi$ ) ลองจิจูด ( $\lambda$ ) และความสูง (h) โดยที่ค่าละติจูดและลองจิจูดจะถูกกำหนดตามทิศทางของแนวเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวทรงรี ดังภาพที่ 2-4 ค่าพิกัดในระบบนี้เรียกว่า ค่าพิกัดยิปโซเดติก หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinates) ดังภาพที่ 2-5 ซึ่งเป็นค่าพิกัดที่เป็นพื้นฐานของงานสำรวจจริงวัดและงานทำแผนที่ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)



ภาพที่ 2-4 แสดงค่าพิกัด ยิปโซเดติก (Geodetic Coordinate) (ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์, 2552)

ยิปโซเดติกละติจูด (Geodetic Latitude) คือ ง่ามมุมบนระนาบเมริเดียน ที่เกิดจากการทำมุมระหว่างแนวเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวรูปทรงรีของจุดที่พิจารณา กับระนาบศูนย์สูตรของรูปทรงรีที่ใช้อ้างอิงระบบพิกัด

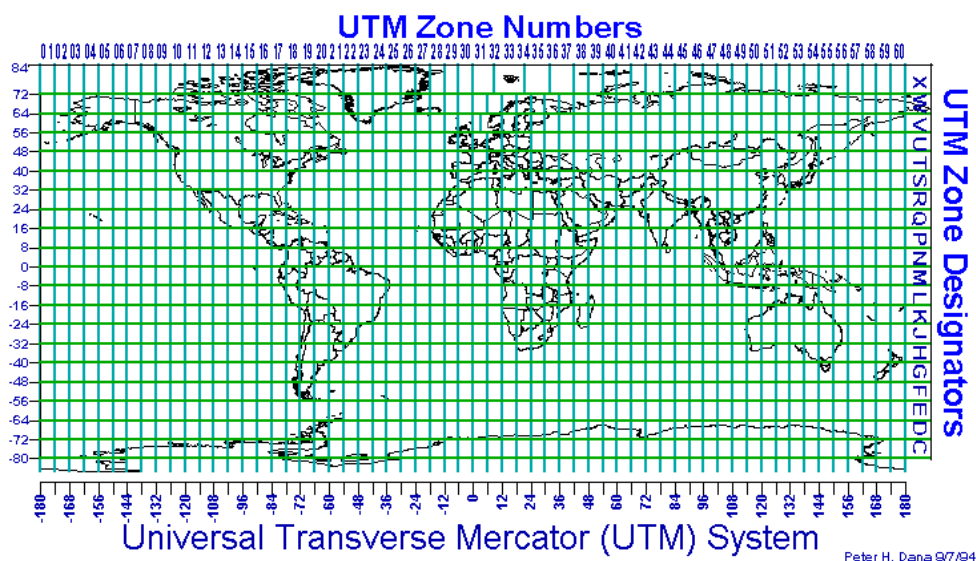
ยิปโซเดติกลองจิจูด (Geodetic Longitude) คือ ง่ามมุมตามระนาบศูนย์สูตรของรูปทรงรี (Ellipsoid) ที่เกิดจากการทำมุมระหว่างระนาบเมริเดียน ที่ผ่านจุดที่พิจารณา กับระนาบเมริเดียนหลัก ความสูงเหนือพื้นรูปทรงรี (Ellipsoidal Height) คือ ความสูงในแนวเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวทรงรีของจุดที่พิจารณาเมื่อเทียบกับพื้นผิวของรูปทรงรีที่ใช้อ้างอิง



ภาพที่ 2-5 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์, 2552)

## 2. ระบบพิกัดยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator Coordinate Systems)

เป็นระบบที่ปรับมาจากระบบเส้นโครงแผนที่แบบทรานส์เวิร์สเมอร์เคเตอร์ ใช้รักษารูปร่างทรงกระบอก โดยมีรัศมีทรงกระบอกสั้นกว่ารัศมีของลูกโลก ผิวทรงกระบอกจะผ่านเข้าไปตามแนวเมริเดียนของโซน 2 แนว คือ ตัดเข้ากับตัดออกเรียกลักษณะนี้ว่า เส้นตัด (Secant) ทำให้ความถูกต้องมีมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณสองข้างเมริเดียนกลาง โดยมีข้อกำหนดในรายละเอียดต่าง ๆ เพื่อถือเป็นเกณฑ์มาตรฐานเพื่อใช้งานครอบคลุมทั่วทั้งโลก โดยให้ใช้หน่วยเป็นเมตร พื้นที่ในแต่ละโซนถูกแบ่งย่อยเป็นขอบเขตสี่เหลี่ยม พร้อมกำหนดอักษรโรมันกำกับไว้ตั้งแต่ C ถึง X (ยกเว้น I กับ O) ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM Coordinate Systems) (CSAR Web Staff, 2007)

### ทฤษฎีการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอส

ปัจจุบันการหาค่าพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียมได้เข้ามามีบทบาทในงานสำรวจรังวัดที่สามารถทำได้รวดเร็วทุกสภาพอากาศตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระบบที่ประกอบไปด้วยเครือข่ายของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก และส่งสัญญาณรหัสข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวได้ด้วยการรังวัดจากจุดนั้น ๆ ไปยังดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งเป็นดาวเทียมนำหนของสหรัฐอเมริกา โดยหลักการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดตำแหน่งใช้วิธีการวัดระยะจากจุดที่ต้องการทราบค่าไปยังดาวเทียมโดยมีสถานีภาคพื้นดินติดตามอยู่การเคลื่อนที่ของดาวเทียมตลอดเวลา ทำให้รู้ว่าจะวงโคจรหรือตำแหน่งของดาวเทียมที่เวลาต่าง ๆ ข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรจะถูกบันทึกไว้ในตัวดาวเทียมและกระจายข้อมูลนี้กลับลงมาในรูปของคลื่นวิทยุ หากต้องการทราบค่าพิกัดตำแหน่งของจุดใดก็นำเครื่องรับสัญญาณไปวางไว้ที่จุดนั้นแล้วนำข้อมูลที่รังวัดได้มาคำนวณหาตำแหน่งของจุดที่เครื่องรับวางอยู่ต่อไป ความถูกต้องของพิกัดตำแหน่งอยู่ในระดับเมตรจนถึงเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับวิธีการ เทคนิค และเครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดเป็นสำคัญ (อัจฉริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล, 2551)

ระบบดาวเทียมจีพีเอสประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ดังภาพที่ 2-7 (เสาวริน กันหา, 2551)



ภาพที่ 2-7 ส่วนประกอบของดาวเทียมจีพีเอส (เสาวริน กันหา, 2551)

1. ส่วนอวกาศ ประกอบด้วย ดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวง แต่ละดวงโคจรรอบโลกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ดังภาพที่ 2-8) ความสูงของวงโคจรอยู่ห่างจากพื้น โลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร (11,000 ไมล์) มีระนาบของวงโคจร 6 ระนาบ แต่ละระนาบมีดาวเทียม 4 ดวง และเอียงทำมุม 55 องศา กับเส้นศูนย์สูตร (Equator) ความถี่ที่ใช้ในการบอกตำแหน่งค่าพิกัดของดาวเทียมแต่ละดวงมี 2 ความถี่ คือ 1,575.42 MHz และ 1,227.60 MHz

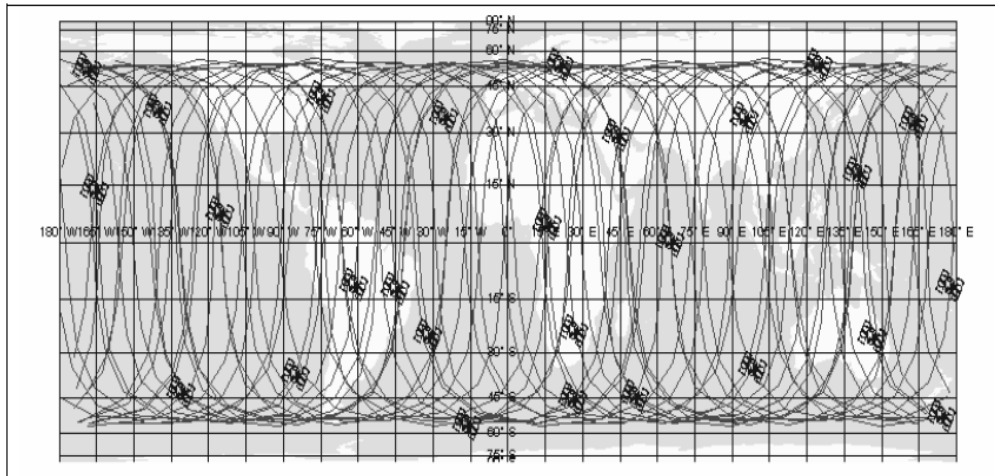
#### 2. ส่วนสถานีควบคุม (Control Station Segment)

สถานีควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบดาวเทียมจีพีเอส ได้แก่ การติดต่อสื่อสาร (Tracking) กับดาวเทียม ทำการคำนวณผล (Computation) เพื่อบอกตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง และส่งข้อมูลที่ไปยังดาวเทียมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่ทันสมัยอยู่เสมอ ประกอบด้วย

2.1 สถานีสังเกตการณ์ (Monitor Stations) จำนวน 5 แห่งซึ่งตั้งอยู่ที่เมือง Colorado เมือง Diego Garcia เมือง Ascension Island เมือง Kwajalein และเมือง Hawaii

2.2 งานส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (Ground Antenna) จำนวน 3 จุด ตั้งอยู่ที่เมือง Ascension Island เมือง Diego Garcia และเมือง Kwajalein

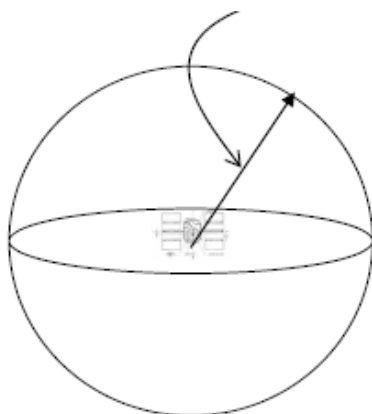
2.3 สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station: MCS) ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศ Schriever AFB รัฐ Colorado ประเทศสหรัฐอเมริกา



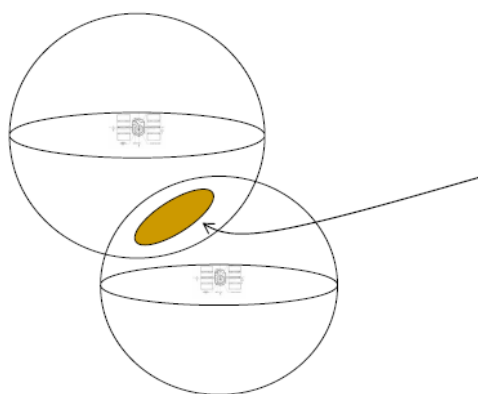
ภาพที่ 2-8 การโคจรรอบโลกของดาวเทียมจีพีเอส (เสาวริน กันหา, 2551)

### หลักการทำงานของดาวเทียมจีพีเอส

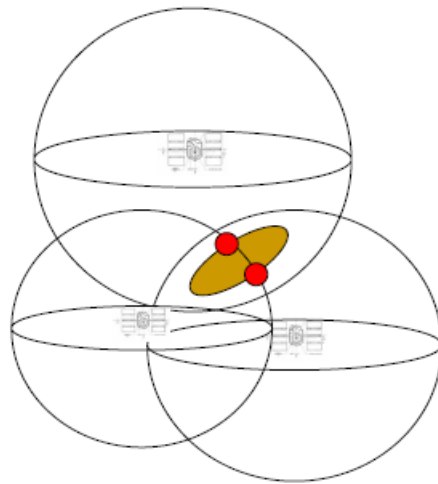
1. Satellites Triangulation คือ การทำรังวัดโดยการทำเป็นรูปสามเหลี่ยมหลักการจะอาศัยตำแหน่งของดาวเทียมในอวกาศเป็นจุดอ้างอิง แล้ววัดระยะจากดาวเทียม 4 ดวง และใช้หลักการทางเรขาคณิตในการคำนวณหาตำแหน่งบนพื้นโลก (เสาวริน กันหา, 2551) และการที่วัดระยะจากดาวเทียม 4 ดวงนั้นเนื่องจากการรู้แค่ระยะทางเพียงเส้นเดียวจะไม่ได้ประโยชน์มากนัก (ภาพที่ 2-9) หากแต่ถ้าได้ค่าจากดาวเทียมอีกหนึ่งดวงก็จะสามารถบอกตำแหน่งได้ครบลง เนื่องจากตำแหน่งที่ต้องการจะอยู่ในบริเวณที่ผิวของทรงกลมทั้งสองตัดกัน (ภาพที่ 2-10) และถ้าเครื่องรับสัญญาณบอกค่าระยะทางไปยังดาวเทียมดวงที่สาม (ภาพที่ 2-11) ตำแหน่งที่ต้องการก็จะ เป็นจุดตัดกันของผิวทรงกลมทั้งสาม (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2540) ซึ่งก็เพียงพอต่อการหาพิกัดบนพื้นผิวโลก เพราะค่าพิกัดที่ได้สองจุดมีจุดหนึ่งไม่สามารถหาค่าพิกัดได้ เนื่องจากเป็นจุดที่ลอยอยู่ในอวกาศหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ทำให้ผู้ใช้สามารถหาค่าพิกัดได้ด้วยการรังวัดดาวเทียมเพียง 3 ดวง (ปริญญา ทวีวัฒน์, 2553) แต่จะทำการคำนวณตำแหน่งเชิง 2 มิติเท่านั้น คือ ละติจูด ลองจิจูดของเครื่องได้ และหากรับสัญญาณได้ตั้งแต่ 4 ดวง (ภาพที่ 2-12) ขึ้นไปก็จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งเชิง 3 มิติ คือ ละติจูด ลองจิจูด และความสูงได้ในลักษณะของการ เล็งสกัดด้วยความยาวด้าน (Trilateration) (อัจฉริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล, 2551)



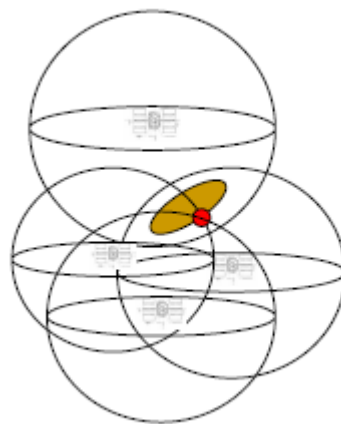
ภาพที่ 2-9 วัดระยะจากดาวเทียมถึงเครื่องรับสัญญาณจะได้ระยะเท่ากับรัศมีของวงกลม  
(วิชัย เชียงวีระชน, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2-10 ได้ผิวทรงกลมตัดกันหมายถึงตำแหน่งที่อาจจะเป็นไปได้ (วิชัย เชียงวีระชน, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2-11 ได้ผิวทรงกลมตัดกัน 3 วง หมายถึงตำแหน่งเครื่องรับที่เป็นไปได้ 2 จุด และมี 1 ตำแหน่งที่เป็นไปได้มากที่สุด (วิชัย เข็ญงวีระชน, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2-12 ได้ผิวทรงกลมตัดกัน 4 วง ซึ่งจุดสีแดงหมายถึงตำแหน่งเครื่องรับ (วิชัย เข็ญงวีระชน, ม.ป.ป.)

2. วัดระยะทางระหว่างเครื่องรับ GPS กับดาวเทียม GPS ใช้หลักการเดียวกันกับการหา ระยะในทางฟิสิกส์กล่าวคือ ระยะทางหาได้จากผลคูณของความเร็วกับเวลาที่ไ้ใช้การเคลื่อนที่ มีสูตร การคำนวณดังนี้ ดังสมการ 2-1



$$S = vt$$

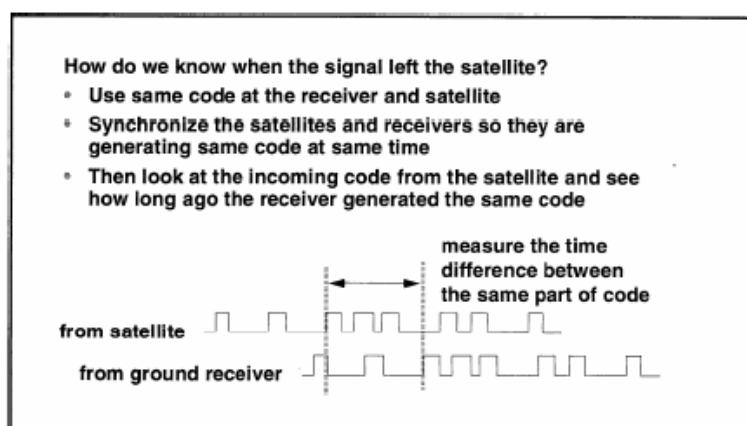
เมื่อ  $S$  คือระยะทางจากดาวเทียม

สมการ 2-1

$V$  คือความเร็วแสง 186,000 ไมล์ต่อนาที

$T$  คือเวลาในการเคลื่อนที่

ในการคำนวณเวลานั้นเครื่องรับจำเป็นต้องรู้เวลาที่สัญญาณถูกส่งออกมาจากดาวเทียม ซึ่งการหาเวลานั้นจะทำการสร้าง Pseudo Random Code (PRC) ที่เหมือนกันขึ้นมาพร้อม ๆ กัน (ปริญา ทวีวัฒน์, 2553) ซึ่ง PRC เป็นพื้นฐานของระบบจีพีเอส ซึ่งในทางฟิสิกส์ถือได้ว่าเป็นเพียงแค่รหัสเชิงเลขที่ซับซ้อน หรือเป็นค่าเปิดและปิดสัญญาณอย่างต่อเนื่อง การเปิดและปิดสัญญาณนั้นไม่แน่นอนจนดูเหมือนเป็นคลื่นรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์แบบสุ่ม ข้อดีของความซับซ้อนของคลื่น PRC จะช่วยให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสมั่นใจได้ว่าจะไม่เกิดความผิดพลาดในการเทียบสัญญาณกับคลื่นประเภทอื่นเนื่องจากรูปแบบของ PRC จะซับซ้อนมากจนไม่มีคลื่นประเภทอื่นใดจะเหมือนได้ และเนื่องจากดาวเทียมแต่ละดวงมี PRC ของตนเองไม่เหมือนกันจึงประกันได้ว่าเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะไม่ผิดพลาดไปรับสัญญาณดาวเทียมดวงอื่นอีกด้วย ดังนั้นดาวเทียมทั้งหมดสามารถใช้ความถี่เดียวกันโดยไม่รบกวนซึ่งกันและกัน และยังทำให้ระบบจีพีเอสยากต่อการถูกรบกวนในขณะที่ทำการรังวัดเวลาที่ใช้ในเดินทางของสัญญาณจีพีเอส (วิชัย พะวิขุณี, 2553) โดยเครื่องรับจะตรวจสอบรหัสที่ได้เพื่อเปรียบเทียบว่าใช้เวลานานเท่าใด รหัสที่ได้รับจึงจะตรงกับรหัสของเครื่องรับ แล้วนำเวลาไปคูณกับความเร็วแสงจะได้ระยะจากดาวเทียม (ปริญา ทวีวัฒน์, 2553) ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 การรังวัดระยะจากดาวเทียม (Trimble Navigation Limited, 1996)

### 3. การรังวัดเวลา

การคำนวณค่าพิกัดให้แม่นยำนั้นขึ้นอยู่กับ การรังวัดเวลาที่มีความถูกต้อง แม้วารหัสจะถูกสร้างมาพร้อม ๆ กันจากดาวเทียมเครื่องรับสัญญาณ แต่อาจจะมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ เนื่องจากนาฬิกาที่ใช้รังวัดเวลาให้มีความถูกต้องสูงในระดับเศษหนึ่งส่วนร้อยล้านวินาทีนั้นมีราคาสูงมาก ซึ่งทำให้ไม่สามารถจะใช้กับเครื่องรับสัญญาณ GPS ทั่ว ๆ ไปได้ เป็นเหตุให้ต้องทำการรังวัดดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงพร้อม ๆ กัน เพื่อนำไปแก้สมการหาค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดเวลา (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2540)

### ค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส (GPS Observation Errors)

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552) ได้กล่าวว่า ค่าคลาดเคลื่อนที่อยู่ในข้อมูลจีพีเอสสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

#### 1. ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม ประกอบไปด้วย

##### 1.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม

ซึ่งข้อมูลวงโคจรจะได้จากการคำนวณของสถานีควบคุมหลัก ซึ่งอาศัยข้อมูลนำหนที่มาพร้อมกับคลื่นสัญญาณดาวเทียม ซึ่งอาจมีแรงต่าง ๆ มากกระทำกับดาวเทียม ทำให้การคำนวณตำแหน่งนั้นยังมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่

##### 1.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม

เกิดจากการเทียบเวลา และความถี่มาตรฐานที่แตกต่างไปจากเวลาจีพีเอส และอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนระยะยาวที่เกิดจากความไม่เสถียรของมาตรฐานความถี่ที่เรียกว่า 드리ฟท์ของนาฬิกา (Clock Drift) และอัตรา 드리ฟท์ของนาฬิกาอีกด้วย (Clock Drift Rate)

#### 2. ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม มีดังนี้

##### 2.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับ

เนื่องจากความเสถียรภาพนั้นต่ำกว่านาฬิกาที่ใช้ในดาวเทียมมาก ส่งผลให้ขนาดของค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นมีผลต่อระยะที่วัดได้ ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับนั้นถือเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดสำหรับการหาค่าตำแหน่งจุดเดียว

##### 2.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ

ข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากสัญญาณจีพีเอสจะเป็นระยะทางที่วัดระหว่างจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวส่งคลื่นสัญญาณในดาวเทียมกับจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม แต่ทั้งสองจุดนั้น ไม่ใช่จุดเดียวกันเนื่องจากมีค่าต่างระหว่างสองจุด

อยู่ เนื่องจากจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์แปรเปลี่ยนตามทิศทางและความแรงของคลื่นที่เข้ามายังเสาอากาศ ซึ่งส่งผลให้ตำแหน่งมีการแปรเปลี่ยนไป

### 2.3 ค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ

ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว เช่น อัตราส่วนระหว่างความแรงของสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (Signal of Thumb) และ Tracking Bandwidth เป็นต้น

### 2.4 ค่าคลาดเคลื่อนจากพิกัดของสถานีฐาน

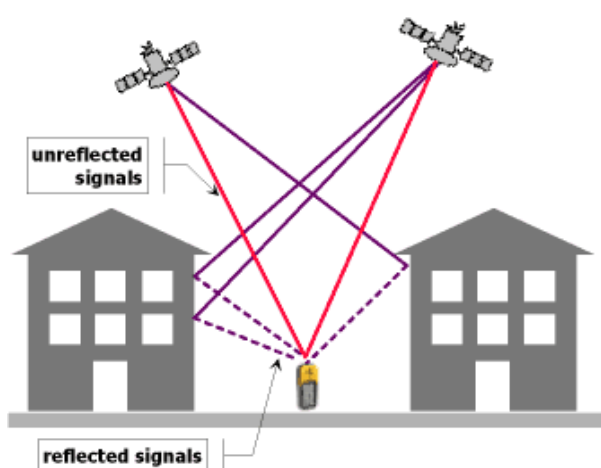
ค่าคลาดเคลื่อนนี้จะเกิดขึ้นกับวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์เท่านั้น เนื่องจากต้องทราบตำแหน่งสัมบูรณ์อย่างน้อยที่สุดหนึ่งจุด เพื่อใช้หาจุดอื่น ๆ ซึ่งจุดที่ทราบตำแหน่งเรียกกันทั่วไปว่า สถานีฐานในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสเพื่อหาค่าระยะเส้นฐานจะทำการตรึงค่าพิกัดของสถานีฐานไว้ ดังนั้นค่าที่คลาดเคลื่อนจากการตรึงส่งผลให้ค่าระยะเส้นฐานคำนวณผิดพลาดไป

## 3. ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ

3.1 การล่าช้าเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Delay) ซึ่งชั้นบรรยากาศของโลกมีอยู่สองชั้นที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่น คือชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) และชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere)

### 3.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี (Multipath Error)

คลื่นหลายวิถี คือ การแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อนตั้งแต่หนึ่งครั้งขึ้นไป โดยพื้นผิวที่สะท้อนอาจอยู่ในแนวตั้ง ราบ หรือเอียง เช่น ผนังตึก ถนน ผิวน้ำ หรือยานพาหนะ เป็นต้น ความคลาดเคลื่อนนี้มีลักษณะตามภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 คลื่นหลายวิถีและคลื่นสัญญาณ โดยตรงจากดาวเทียม (The GPS System, n.d.)

#### 4. ค่าคลาดเคลื่อนอื่น ๆ มีดังนี้

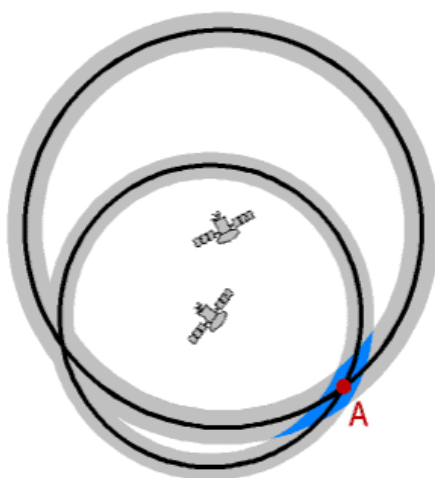
##### 4.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด

เกิดจากมีสิ่งกีดขวางมาบังเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณหรืออาจเกิดจากการที่มีคลื่นรบกวนขนาดใหญ่ เช่น เกิดความแปรปรวนขนาดใหญ่ในชั้นไอโอโนสเฟียร์ เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องได้ ทำให้ค่าปริศนาของคลื่นส่งเปลี่ยนไปจากเดิม

##### 4.2 ค่าเลขปริศนา

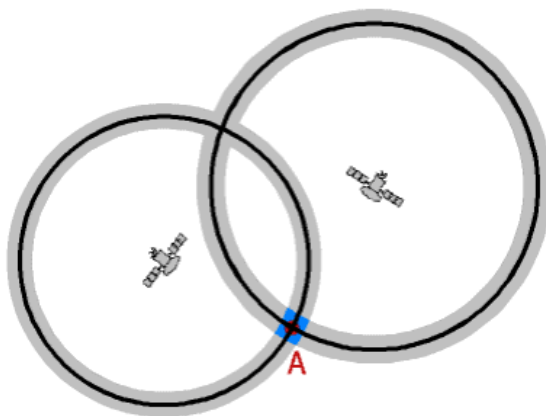
ค่าเลขปริศนาแต่ละค่าจะเป็นค่าคงที่ที่ทราบได้ที่มีการรับสัญญาณอย่างต่อเนื่องและไม่เกิดคลื่นหลุด การหาค่าเลขปริศนาจะทำในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล ซึ่งขั้นตอนการหาค่าเลขปริศนานั้นเรียกกันโดยทั่วไปว่า การแยกความกำกวม (Ambiguity Resolution: AR)

5. ความคลาดเคลื่อนของระบบจีพีเอสเนื่องจาก เรขาคณิตของวงโคจรดาวเทียม (Geometric Dilution of Precision; GDOP) เกิดจากการรั้งวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่มีวงโคจรใกล้เคียงมาคำนวณหาระยะทางและหาจุดตัด ซึ่งจะทำให้เกิดรอยตัดที่ใหญ่ คือพื้นที่ความเป็นไปได้ของค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงตามภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 รอยตัดที่เกิดจากการรั้งวัดที่มีเรขาคณิตไม่ดี (The GPS System, n.d.)

ในทางกลับกันถ้านำสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่มีวงโคจรเกือบตั้งฉากกันมาคำนวณรอยตัดของระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะปรากฏรอยตัดเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก นั่นคือค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความละเอียดถูกต้องสูงตามภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-16 รอยตัดที่เกิดจากการรังวัดที่มีเรขาคณิตดี (The GPS System, n.d.)

### การรังวัดค่าพิกัดด้วยจีพีเอส

เทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยจีพีเอส มี 2 ลักษณะดังนี้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

#### 1. การหาค่าพิกัดแบบจุดเดียว (Single Point Positioning)

โดยทั่วไปจะเรียกรังวัดหาค่าพิกัดแบบจุดเดียว โดยย่อว่า SPP วิธีนี้เป็นการรังวัดที่ใช้ เครื่องรับสัญญาณเพียง 1 เครื่อง ไปวางตรงจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด ซึ่งจะใช้ข้อมูลซูดอร์นจ์ (Pseudorange) มาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดแบบทันที ด้วยข้อมูลซูดอร์นจ์ เป็นข้อมูลพื้นฐานที่รับ ได้กับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ทุกชนิด ดังนั้นจึงนิยมใช้เครื่องรับสัญญาณแบบมือถือ (Handheld Receiver) นำมาหาค่าพิกัดในลักษณะนี้เนื่องจากมีราคาถูก ส่วนค่าความถูกต้องที่ได้รับ จากวิธีการนี้จะอยู่ระหว่าง 10 - 20 เมตร

#### 2. การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

เป็นการรังวัดที่ใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งจะตั้งอยู่ที่จุดที่ ทราบค่าพิกัด เช่น หมุดหลักฐานกรมแผนที่ทหาร หรือหมุดหลักฐานกรมที่ดิน เป็นต้น ส่วน เครื่องรับอีกเครื่องหนึ่งจะถูกนำไปตั้งบนจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด ผลที่ได้จากการทำงานใน ลักษณะนี้ คือ ตำแหน่งเปรียบเทียบระหว่างจุดที่หนึ่งกับจุดสองหรือเป็นเส้นฐานที่มีทิศทางระหว่าง จุดที่นำเครื่องรับทั้งสองไปตั้ง วิธีการนี้สามารถใช้ได้ทั้งข้อมูลซูดอร์นจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ในการประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัด ในกรณีที่ใช้ข้อมูลซูดอร์นจ์ในการหาค่าพิกัด โดยทั่วไปเรียกรังวัดนี้ว่า Pseudorange Based Differential GPS (DGPS) ค่าความถูกต้องที่ได้รับจากการรังวัดด้วยวิธีนี้อยู่ ระหว่าง 0.5 – 5 เมตร และในกรณีที่ใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งในการคำนวณหาค่าพิกัด ค่าความถูก ต้องที่ได้จะอยู่ระหว่าง 1 – 5 เซนติเมตร ซึ่งการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาคำนวณหาค่าพิกัดนั้นจะ

ใช้ได้กับเครื่องรับสัญญาณแบบรับวัดเท่านั้น วิธีการรับวัดในสนามเพื่อหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ปฏิบัติกันในปัจจุบันสามารถแบ่งเป็นวิธี ดังนี้

### 2.1 การรับวัดแบบสถิต (Static Survey)

วิธีการนี้ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งจะถูกตั้งไว้ที่หมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วหรือเรียกว่าสถานีฐาน (Based) ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองจะถูกนำไปตั้งรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดหรือเรียกว่าสถานีจร (Rover) วิธีนี้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีฐาน และสถานีจร จะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน อย่างน้อย 4 ดวง และต้องตั้งอยู่กับที่เป็นระยะเวลาหนึ่งโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1 – 2 ชั่วโมง วิธีการนี้เป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด คือ อยู่ระหว่าง 5 มิลลิเมตร – 2.5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 20 กิโลเมตร)

### 2.2 การรับวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static Survey)

วิธีการนี้เหมือนกับวิธีการรับวัดแบบสถิตทุกประการ เพียงแต่ระยะเวลาในการรับสัญญาณจะสั้นลงเหลือประมาณ 10 – 20 นาที วิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องระหว่าง 1 – 3 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร)

### 2.3 การรับวัดแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematic Survey)

วิธีการนี้ถูกเรียกว่า RTK ซึ่งหลักการทํางานของวิธีการรับวัดหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทํางานแบบจลน์ในทันทีนั้นคล้ายคลึงกับวิธีการแบบสถิต คือ ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งตั้งอยู่บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองถูกนำไปตั้งรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด แต่กรณีของวิธีการหาค่าพิกัดแบบจลน์ในทันทีนั้นสามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่สองได้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารระหว่างเครื่องรับทั้งสอง ซึ่งอาจเป็นเครื่องรับและส่งคลื่นวิทยุหรือโทรศัพท์มือถือ การหาค่าพิกัดของตำแหน่งจุดต่างๆ ด้วยวิธีนี้ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีฐาน และสถานีจร ต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 5 ดวง และเครื่องรับสัญญาณที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น วิธีการนี้สามารถให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1-5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร) ซึ่งธีรทัต เจริญกัลป์ญญาตา เกลิมชนม์ สติระพจน์ และวันชัย นันทสุรศักดิ์ (ม.ป.ป.) ได้ทำการศึกษาเรื่องการประเมินค่าความถูกต้องจากการรับวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบ RTK โดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย กล่าวว่า การรับวัดแบบ RTK มีข้อดีคือ ใช้เวลารับวัดค่อนข้างเร็ว การประมวลผลข้อมูลจะทำพร้อมกับการรับวัดส่งผลให้ได้ค่าตำแหน่งในทันที แต่ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ

ของตำแหน่งจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างสถานีฐานและสถานีผู้ใช้เพิ่มขึ้น และผลที่ได้จากค่าพิกัดในทางราบนั้นมีความถูกต้องสูงในระดับ 1-3 เซนติเมตร

ค่าความถูกต้องของการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส มีรายละเอียดดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 รายละเอียดเทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยจีพีเอสแบบต่าง ๆ (ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

วิธีการที่ใช้	อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำงาน	กรรมวิธีการทำงานในสนาม	ค่าความถูกต้องที่ได้รับ
SPP	เครื่องรับทุกชนิด แต่ทั่วไปมักใช้แบบมือถือ	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องไปตามจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดได้ แต่ต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	10 – 20 ม.
Static	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียวหรือสองความถี่	ตั้งเครื่องรับทั้งสองอยู่กับที่ 1-2 ชั่วโมง และในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	5 มม. – 2.5 ซม.
Rapid Static	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียวหรือสองความถี่	ตั้งเครื่องรับทั้งสองอยู่กับที่ 10 – 20 นาที และในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	1 – 3 ซม.
RTK	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดสองความถี่เท่านั้นและอุปกรณ์สื่อสารใช้ได้ทั้งเครื่องรับส่งวิทยุหรือโทรศัพท์มือถือ	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องไปตามจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดได้ แต่ต้องรอจุดละประมาณ 1-2 นาที และในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 5 ดวง และต้องรับค่าปรับแก้จากสถานีฐานได้	1-5 ซม.

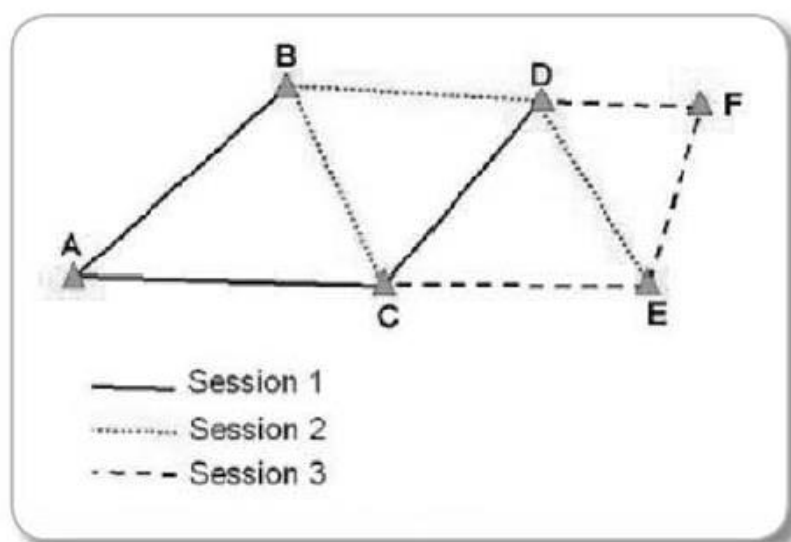
### การออกแบบโครงข่ายและการรังวัด

โครงข่ายของประเทศไทย เป็นโครงข่ายที่มีข้อมูลมากที่สุด แต่ค่าพิกัดที่ใช้ยังคงมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ถูกต้อง เป็นปริมาณในทางราบประมาณ 1.5 เมตร และทางตั้งประมาณ 4 เมตร เมื่อเทียบกับระบบการรังวัด ที่ให้ความถูกต้องในระดับเซนติเมตร หรือแม้กระทั่งการหาค่าพิกัดจาก

จุดเดียวในปัจจุบัน สามารถให้ความถูกต้องในระดับต่ำกว่าเมตร ดังนั้นระบบค่าพิกัดอ้างอิงของโครงข่ายประเทศไทย ควรจะได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้มีความถูกต้องสูงขึ้น (อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล, 2543)

โดยการออกแบบโครงข่ายและการรังวัดสัญญาณดาวเทียม ในการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยจีพีเอส นั้นมีสิ่ง ที่ควรให้ความสำคัญคือ (อัจฉริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล, 2551)

1. การเลือกจุดควบคุม
2. การลดและป้องกันความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น
3. ระยะเวลาที่เหมาะสมในการรังวัด
4. ทุกสถานีในโครงข่ายจะต้องมีการต่อเชื่อมกันและ โยงยึดเข้ากับสถานีควบคุมที่มีความละเอียดถูกต้องสูงเพียงพอที่จะสร้างความเชื่อมั่นในระดับ 95 %
5. สถานีควบคุมควรมีการจัดวางตัวกระจายครอบคลุมพื้นที่ และมีจำนวนมากเพียงพอที่จะควบคุมโครงข่ายได้อย่างเหมาะสม ทางราบ 2 สถานี ทางดิ่ง 3 สถานีและต้องทราบค่าพิกัดที่อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐานเดียวกัน
6. เลือกค่ารังวัดหรือเส้นฐานที่เป็นอิสระ ซึ่งหากการเลือกค่าการรังวัดหรือเส้นฐานไม่เป็นอิสระประกอบเข้ามาในโครงข่ายจะส่งผลกระทบต่อ การปรับแก้คือ ทำให้ค่า Degree of freedom ผิดไป ทำให้การคำนวณทางสถิติคลาดเคลื่อน ดังภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2-17 การสร้างโครงข่ายจีพีเอสจากเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันจากแต่ละช่วงการรับสัญญาณ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)



7. ทำการรังวัดข้อมูลให้มากเพียงพอจะเป็นการเพิ่มความถูกต้อง รวมไปถึงการรังวัดซ้ำในช่วยเวลาที่แตกต่างกันจะเพิ่มศักยภาพในการลดค่าคลาดเคลื่อนอันเป็นระบบ เช่น คลื่นสะท้อน (Multipath), Orbit Bias การหักเหในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ แม้ว่าการรังวัดจะกระทำคนละวันก็ควรรังวัดต่างเวลากัน เพื่อที่จะได้รับข้อมูลจากดาวเทียมที่แตกต่างกัน

8. ตรวจสอบเครื่องมือสม่ำเสมอ ตรวจสอบก่อนการรังวัดไม่เกิน 30 วัน และตรวจสอบซ้ำอีกครั้งในระยะเวลาไม่เกิน 10 วัน หลังจากการปฏิบัติงาน และเพื่อการใช้งานในระยะยาว ควรตรวจสอบทุก ๆ 30 วัน สำหรับการรังวัดประเภทอื่น ๆ ควรตรวจสอบเครื่องมือทุก ๆ 6 เดือน

9. ออกแบบเส้นฐานให้มีลักษณะการเชื่อมต่อให้เป็น โครงข่ายที่มีจำนวนรูปปิดย่อย ๆ ภายในให้มากที่สุด (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

### การปรับแก้โครงข่ายแบบลิสต์สแควร์

เมื่อนำเส้นฐานที่ได้มาประกอบกันเป็น โครงข่าย จะต้องทำการปรับแก้โครงข่ายด้วยกำลังสองน้อยที่สุดโดยวิธีสมการค่าสังเกต

1. แบบจำลองการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ในการปรับแก้เพื่อหาตำแหน่งค่าพิกัดทั้งทางราบและทางตั้งของ GPS แบบลิสต์สแควร์ วิธีการของสมการค่าสังเกตจะสามารถกระทำได้ง่ายกว่าวิธีการของสมการเงื่อนไขที่ต้องมีการคิดและตรวจสอบไม่ให้เห็นใจที่สร้างขึ้นมีความซ้ำซ้อน ข้อด้อยของวิธีสมการค่าสังเกตคือ จะทำให้เกิดระบบสมการสำหรับการคำนวณที่มีขนาดใหญ่ แต่ปัญหาดังกล่าวในปัจจุบันแทบจะไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน เพราะทรัพยากรทางด้านหน่วยความจำ และระบบการประมวลผลของคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพมาก และพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว

สมการค่าสังเกตนี้ สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันของค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าที่ปรับแก้แล้วได้ (อัญริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล, 2551) ดังสมการที่ 2-2

$$La = F(Xa)$$

สมการที่ 2-2

เมื่อ  $La$  เป็นค่าสังเกตของเส้นฐาน  $Xa$  เป็นตัวแปรของค่าพิกัดที่ได้จากการปรับแก้ เป็นตัวแปรของค่าพิกัดที่ได้จากการปรับแก้จากสมการค่าสังเกต ฟิสิกส์และวิเคราะห์อย่างถี่ถ้วน ค่าทางสถิติที่จำเป็นต้องตรวจสอบ มีดังนี้คือ

2. ค่าความแปรปรวนร่วม (Variance Covariance) ค่าความแปรปรวนร่วม เป็นการแสดงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อตัวแปรอื่นเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากข้อมูลรบกวนที่มีความสัมพันธ์กันในสมการค่าตั้งเกด

3. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติจากผลการปรับแก้แบบลีสท์สแควร์ (กนก วีรวงศ์, 2549) เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จำเป็น เพื่อการวิเคราะห์ผลข้อมูลและค่าพิกัดตำแหน่ง สิ่งสำคัญที่เป็นหัวใจของการปรับแก้โครงข่ายคือ การปรับแก้เพื่อตรวจสอบความเข้ากันของข้อมูลการรังวัดภายในโครงข่ายเอง และการปรับแก้เพื่อโยงยึดเข้ากับหมุดควบคุม ซึ่งผลที่ได้จากการปรับแก้ทั้งสองลักษณะควรได้รับการพินิจและวิเคราะห์อย่างถี่ถ้วน ค่าทางสถิติที่จำเป็นต้องตรวจสอบ มีดังนี้คือ

3.1 The Network Variance Unit Weight (Variance Factor) และ Degree of Freedom โดยค่า Variance Factor จะต้องน้อยกว่า 1.5 และเข้าใกล้ 1.0

3.2 The RMS ค่ารากกำลังที่สองของเศษคงเหลือที่น้อยสุดและมากที่สุด

3.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัด

3.4 ค่าผลการทดสอบ Tau Criterion ค่าที่เกินเกณฑ์ ควรจะขจัดออกจากการปรับแก้

3.5 การทดสอบ Chi Square เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองปริมาณความคลาดเคลื่อนที่มีอยู่มีความเหมาะสมเมื่อมีการกำหนดค่าควบคุมจากภายนอก

3.6 การตรวจสอบค่าพิกัดและค่าคลาดเคลื่อนของแต่ละสถานี โดยค่าความคลาดเคลื่อนควรคำนวณที่ 95 % (1.96 Sigma)

3.7 การตรวจสอบ Error Ellipsoid รูปร่างที่ใกล้เคียงวงกลมและมีขนาดเล็ก แสดงถึงสถานะที่ดีของโครงข่าย รูปร่างที่ไม่แน่นอน และมีขนาดใหญ่ชี้ให้เห็นถึงปัญหาของความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่และโครงข่ายที่ไม่ดี

3.8 การตรวจสอบค่าพิกัดของจุดควบคุม โดย การปรับแก้แบบ Free Adjustment หรือ Minimally Constrained Adjustment เพื่อตรวจสอบความเข้ากันได้ของข้อมูลการรังวัด และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดที่ได้กับค่าพิกัดของสถานีควบคุมที่ทราบค่าพิกัดแล้ว เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดของสถานีควบคุม

## องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ

องค์การถาวรผู้ซึ่งได้รับมอบหมายให้บริหารหลักการของสนธิสัญญาว่าด้วยการบินพลเรือนระหว่างประเทศคือ International Civil Aviation Organization: ICAO ซึ่งได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการเมื่อ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2487 หลังจากการประชุมคอนเวนชัน ที่เมืองชิคาโก สหรัฐอเมริกา ได้รับสัตยาบันจาก 26 ประเทศ ปัจจุบันมีประเทศคู่สัญญาทั้งสิ้น 183 ประเทศ (ข้อมูลปี พ.ศ. 2537)

โดยมีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่ เมืองมอนทรีออล ประเทศแคนาดา และมีสำนักงานภูมิภาค 7 แห่ง คือ กรุงเทพมหานคร ไคโร ดาการ์ ลิมา เม็กซิโก-ซิตี ไนโรบี และปารีส สำนักงานองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศประจำภาคพื้นเอเชียและแปซิฟิกมาตั้งที่กรุงเทพมหานคร เมื่อ 3 มกราคม พ.ศ. 2498 ถือได้ว่าประเทศไทยมีความสำคัญมากในบทบาทการบินพลเรือนสากล จุดมุ่งหมายขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ คือ เพื่อพัฒนากฎระเบียบระหว่างประเทศเพื่อควบคุมการบินพลเรือนในทุกแขนง พัฒนาหลักการและวิชาการของการเดินอากาศนานาชาติ อุปถัมภ์โครงการศึกษาวิจัย และการพัฒนาการขนส่งทางอากาศ ทั้งนี้ก็เพื่อ

1. ทำให้เกิดความแน่ใจในการเจริญเติบโตอย่างปลอดภัยและความเป็นระเบียบของการบินพลเรือนนานาชาติทั่วทั้งโลก
  2. ส่งเสริมศิลปะการออกแบบเครื่องบินและการปฏิบัติงานการบินในทางสันติภาพ
  3. ส่งเสริมการพัฒนาเส้นทางการบิน ท่าอากาศยาน และสิ่งอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศสำหรับการบินพลเรือนนานาชาติ
  4. ดำเนินงานให้รับกับความต้องการของพลโลกในการขนส่งทางอากาศที่ปลอดภัย สม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพ และประหยัด
  5. ป้องกันการสูญเปล่าทางเศรษฐกิจอันเนื่องมาจากการแข่งขันกันที่ไม่มีเหตุผล
  6. รับรองว่าสิทธิของประเทศสมาชิกจะได้รับความเคารพและให้ความยุติธรรมแก่ประเทศสมาชิกทุกประเทศในการเปิดสายการบินระหว่างประเทศ
  7. หลีกเลี่ยงการถูกเหยียดหยามกันระหว่างประเทศสมาชิก
  8. ส่งเสริมความปลอดภัยของการบินในเส้นทางบินนานาชาติ
  9. ส่งเสริมการพัฒนาเรื่องราวทั้งหมดของวิชาการที่เกี่ยวกับการบินพลเรือนนานาชาติ
- องค์การ ICAO มีสภา (Assembly) เป็นหลักขององค์การ และมีคณะมนตรีบริหาร (Council) ประกอบด้วยผู้แทนของประเทศสมาชิก 33 ประเทศ ซึ่งเลือกตั้งทุก ๆ 3 ปี โดยสภาองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศประเทศไทยในฐานะสมาชิก ICAO มีหน้าที่รับผิดชอบให้ความปลอดภัยในบริการขนส่งทางอากาศ 6 ด้าน คือ ด้านจราจรทางอากาศ ด้านสื่อสารการบิน ด้านสนามบิน ด้านอู่คณิมวิทยา ด้านค้นหาและช่วยเหลืออากาศยาน รวมทั้งด้านข่าวสารการบิน (นระ คมนามูล, 2551)

## เทคโนโลยีการเดินทางอากาศ

นระ คมนามูล (2551) ได้กล่าวไว้ในหนังสือเทคโนโลยีการบินและกิจการท่าอากาศยานว่า เทคโนโลยีเกี่ยวกับการบินอย่างหนึ่งที่เจริญขึ้นมาคู่กับเครื่องบิน คือ ระบบนำทางเครื่องบินใน

อากาศ (Navigators System) งานของการนำทางเครื่องบิน คือ บันทึกตำแหน่งของเครื่องบิน ณ เวลาหนึ่ง และประมาณหาความคืบหน้าจากจุดหนึ่งไปจนกระทั่งพบจุดข้างหน้าเครื่องช่วยสำหรับนำทางเครื่องบิน แม้ว่าจะทันสมัยเพียงใดก็จะหน้าที่เพียงสองอย่างข้างต้นเท่านั้น การหาตำแหน่งง่าย ๆ สามารถทำได้โดยวิธี

1. การบินโดยการยึดเอาสิ่งเด่น ๆ บนพื้นดินที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเป็นเครื่องนำทางหรือที่เรียกกันว่า “Iron Compass” หรือ “Pilotage”
2. การคำนวณหาความคืบหน้าจากความเร็ว และทิศทางของเครื่องบิน หรือที่เรียกกันว่า “Dead Reckoning” สามารถทำได้โดยการคำนวณอย่างง่าย ๆ หรืออาศัยอุปกรณ์พิเศษ เช่น Doppler หรือ Inertial Navigators

#### 1. เครื่องช่วยเดินอากาศ (Air Navigation Aids)

ช่วยในการบอกที่ตั้งของต้นทาง ปลายทาง และทิศทางที่จะออกจากต้นทางหรือทิศทางที่จะเข้าสู่ปลายทาง รวมถึงยังบอกระยะทางอีกด้วย (ไพร์ตัน ยิมวิลัย, 2548) โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของอุปกรณ์ คือ (นระ คมนามูล, 2551)

1.1 เครื่องช่วยเดินอากาศชนิดมองเห็นด้วยตา Visual Aids อุปกรณ์ประเภทนี้เป็นอุปกรณ์ประเภทให้แสงสว่าง จะช่วยได้ในระยะใกล้หรือในขณะที่ทำการร่อนลงสู่สนามบิน ติดตั้งสำหรับช่วยในการนำเครื่องบินร่อนลงสู่สนามบิน ซึ่งนักบินจะต้องเชื่อมั่นในการมองเห็นและด้วยความรู้สึกของตัวเองมากที่สุด เนื่องจากนักบินจะไม่คอยแต่เฝ้ามองหน้าปัดเครื่องวัดในขณะที่จะนำเครื่องบินร่อนลงแตะพื้นทางวิ่ง กรณีนี้เครื่องช่วยเดินอากาศชนิดมองเห็นด้วยตาจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งด้วยวิธีการจัดให้ลำแสงสว่างทำมุมที่ต้องการสำหรับให้เครื่องบินร่อนลง นักบินสามารถอาศัยการมองแสงไฟของเครื่องช่วยเดินอากาศชนิดนี้ นำเครื่องบินลงสู่สนามบินได้ ซึ่งเครื่องช่วยเดินอากาศประเภทนี้ประกอบไปด้วย

1.1.1 ไฟส่องทางวิ่ง (Runway Lights) เป็นดวงโคมไฟฟ้าแสงสีปกติ ติดตั้งไว้กับพื้นดินสองข้างตามแนวขอบหรือแนวกึ่งกลางของทางวิ่ง เพื่อให้ให้นักบินนำเครื่องบินร่อนลงหรือวิ่งขึ้นในแนวกึ่งกลางของทางวิ่ง

1.1.2 ไฟแสดงปลายสุดทั้งสองของทางวิ่ง (Threshold Lights และ Runway End Lights) เป็นโคมไฟฟ้าชนิดติดตั้งอยู่ปลายทางวิ่ง และตำแหน่งสุดเขตทางวิ่ง ทั้งสองชนิดเป็นไฟชุดเดียวกัน แต่จะมองเห็นเป็นคนละสีในทิศทางตรงกันข้าม โดยการติดตั้งจะติดตั้งด้านที่เป็นสีแดงหันเข้าสู่แนวทางวิ่ง ส่วนสีเขียวจะหันออกนอกแนวปลายวิ่ง

1.1.3 ไฟส่องทางขับ (Taxiway Lights) เป็นโคมไฟฟ้าสีน้ำเงิน ติดตั้งไว้สองข้างทาง หรือ แนวกึ่งกลางทางขับ

1.1.4 ไฟหมุนบอกตำแหน่งของเครื่องบิน Rotating Lights โดยมากติดตั้งไว้บนหลังคาหอบังคับการบินเนื่องจากเป็นสิ่งก่อสร้างที่สูงที่สุดในบริเวณสนามบิน เพื่อให้ให้นักบินมองหาตำแหน่งของสนามบินได้

1.1.5 ไฟบอกมุมร่อน (Visual Approach Slope Indicator System: VASIS) เป็นเครื่องช่วยเดินอากาศสำหรับช่วยนักบินในการนำเครื่องบินร่อนลงสู่ทางวิ่ง เป็นแบบใช้แสง

1.1.6 ระบบไฟบอกระยะประชิด (Approach Light System: ALS) ติดตั้งอยู่ปลายทางวิ่งด้านที่เครื่องบินร่อนลง ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อนำร่องเครื่องบินให้เข้ามาหาหัวทางวิ่งของสนามบินในการร่อนลงสู่สนามบิน

1.2 เครื่องช่วยเดินอากาศชนิดใช้การส่งคลื่นวิทยุ: Radio Air Navigation Aids เป็นอุปกรณ์ประเภทเครื่องส่งวิทยุในลักษณะที่สัญญาณที่ส่งออกไปนั้น เมื่อเข้าเครื่องรับแล้วสัญญาณที่ได้รับจะแปรไปปรากฏบนหน้าปัดเป็นตัวเลขหรือเข็มวัดชี้บอกเป็นทิศทางหรือระยะทางที่ถูกต้อง ซึ่งการบินที่ระดับสูงในระหว่างเดินทางนั้น นักบินอาจมองลงมาไม่เห็นอะไรเลย จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยอุปกรณ์ต่าง ๆ รับสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดิน เพื่อให้ทราบทิศทางและระยะทางบินที่ถูกต้อง เครื่องช่วยเดินอากาศประเภทนี้ประกอบไปด้วย

1.2.1 สถานีวิทยุ NDB (Non Directional Beacon) หรือวิทยุประกาศเป็นสถานีวิทยุช่วยบอกมุมให้กับเครื่องบิน แต่มุมที่บอกนี้เป็นมุมทางวิทยุ (Radio Bearing) คือมุมที่เกิดขึ้นระหว่างแนวของเครื่องบินที่กำลังบินอยู่กับที่ตั้งของสถานี ไม่ใช่มุมทางภูมิศาสตร์ของโลก

1.2.2 สถานีวิทยุ Compass Locator เป็นสถานีวิทยุที่บอกมุมทางวิทยุให้กับเครื่องบินเช่นเดียวกับ NDB ส่วนมากติดตั้งอยู่ตามสนามบินเพื่อบอกมุมให้กับเครื่องบินที่ใกล้เข้ามาสู่สนามบินแล้ว และมีกำลังออกอากาศต่ำกว่า NDB จึงมีประโยชน์ต่อเมื่อเครื่องบินเข้าใกล้สนามบินแล้วเท่านั้น

1.2.3 สถานีวิทยุ DF (Direction Finding) เป็นประเภทบอกมุมให้กับเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศสามารถรู้ได้ว่าขณะนั้นเครื่องบินอยู่ที่มุมใด นักบินจะต้องควบคุมเครื่องบินให้บินไปตามคำบอกกล่าวของผู้ควบคุมจราจรทางอากาศ ฉะนั้นสถานีวิทยุ DF จึงให้ประโยชน์เฉพาะในกรณีที่นักบินบินหลงทางหรือในกรณีที่ทัศนวิสัยต่ำ

1.2.4 สถานีวิทยุ VOR (Very High Frequency Omni-Directional Range) ใช้บอกมุมทางภูมิศาสตร์ของโลกให้กับเครื่องบินโดยส่งคลื่นวิทยุออกไปเป็นมุมต่าง ๆ 360 องศารอบสถานี

1.2.5 สถานีวิทยุ DME (Distance Measuring Equipment) ใช้บอกระยะทางให้กับเครื่องบิน ระยะทางที่บอกนี้เป็นระยะทางระหว่างสถานีกับตำแหน่งที่เครื่องบินกำลังบินอยู่ การ

ติดตั้งสถานี VOR มักติดตั้งร่วมกับสถานี DME ในอาคารเดียวกันเรียกว่าสถานีวิทยุ VOR/ DME ทำให้เครื่องบินได้รับประโยชน์ทั้งด้านมุม และระยะทาง ในเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเดินอากาศอย่างยิ่ง

1.2.6 สถานีวิทยุ TACAN (Tactical Air Navigation) เป็นสถานีที่ใช้ประโยชน์สำหรับเครื่องบินทหาร โดยเฉพาะ แต่มีเครื่องบินพลเรือนบางแบบนำมาติดตั้งไว้ใช้บอก Azimuth และระยะทางให้กับเครื่องบิน โดยใช้ความถี่ที่สูงกว่า VOR มาก

1.2.7 สถานีวิทยุ ILS (Instrument Landing System) ช่วยให้นักบินสามารถนำเครื่องบินให้ร่อนลงสู่สนามในแนวกึ่งกลางทางวิ่งและทำมุมร่อนที่ถูกต้อง ซึ่งระบบนี้ประกอบไปด้วย

1.2.7.1 Localizer เป็นเครื่องส่งวิทยุที่ตั้งอยู่ด้านปลายทางวิ่ง โดยส่งคลื่นวิทยุออกไปเพื่อบอกแนวกึ่งกลางทางวิ่ง

1.2.7.2 Glide Slope เป็นเครื่องส่งวิทยุซึ่งตั้งอยู่ข้างทางวิ่ง ส่งคลื่นวิทยุออกไปเพื่อบอกมุมร่อนให้กับเครื่องบิน (โดยทั่วไปประมาณ 3 องศา) หากเครื่องบินทำมุมร่อนได้ถูกต้องตามที่เครื่องส่งออกไป มาตรวัดจะชี้ตรงกลาง

1.2.7.3 Outer Marker (OM) เป็นเครื่องส่งวิทยุที่อยู่ห่างประมาณ 5 ไมล์ จะส่งคลื่นเป็นรูปกรวยพุ่งเข้าสู่อากาศ เมื่อเครื่องบินอยู่เหนือ OM หลอดไฟสีฟ้าบนแผงหน้านักบินจะติด และจะได้ยินสัญญาณเตือนให้รู้ว่าเครื่องบินอยู่ห่างจากหัวทางวิ่ง 5 ไมล์

1.2.7.4 Middle Marker (MM) เป็นเครื่องส่งวิทยุที่ตั้งอยู่ประมาณ 3,500 ฟุต จะส่งคลื่นเป็นรูปกรวยพุ่งเข้าสู่อากาศ เมื่อเครื่องบินอยู่เหนือ MM หลอดไฟสีส้มบนแผงหน้านักบินจะติด และจะได้ยินสัญญาณเตือนให้รู้ว่าเครื่องบินอยู่ห่างจากหัวทางวิ่ง 3,500 ฟุต

1.2.7.5 Outer Marker Compass Locator ตั้งอยู่ในอาคารเดียวกับ Outer Marker ซึ่งจะบอกให้นักบินรู้ว่าระบบ ILS ของสนามบินแห่งนี้อยู่ด้านไหนของสนามบิน

1.2.7.6 Middle Marker Compass Locator ตั้งอยู่ในอาคารเดียวกับ Middle Marker ใช้ประโยชน์เดียวกับ Outer Marker Compass Locator แต่จะมีรหัสต่างกัน

1.2.7.7 เรดาร์ปฐมภูมิ (Primary Radar: PR) ได้แก่พวก Air Route Surveillance (ARSR) เป็นสถานที่ช่วยในการควบคุมจราจรทางอากาศ พนักงานจะรู้ได้ว่าเครื่องบินกำลังทำการบินอยู่ตำแหน่งใด เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดอุบัติเหตุชนกันในอากาศ

1.2.7.8 เรดาร์ทุติยภูมิ (Secondary Radar: SR) หรือที่เรียกว่า Air Traffic Control Radar Beacon System (ATCRBS) ใช้ในการควบคุมจราจรทางอากาศเช่นกัน แต่จะ

สามารถรู้ได้ว่าภาพเครื่องบินที่เห็นอยู่บนจอภาพพร้อมๆกันนั้น ภาพใดเป็นเครื่องบินใด อยู่ที่ระยะ ความสูงเท่าใด

1.2.7.9 เรดาร์ระยะประชิด (Precision Approach Radar: PAR) ให้ประโยชน์ในการนำเครื่องบินร่อนลงสู่สนามบิน โดยให้พนักงานควบคุมจราจรทางอากาศเป็นผู้บอกให้นักบินทราบว่าขณะนี้เครื่องบินทำมุมร่อนต่ำหรือสูงเกินไป เพื่อให้แก้ไขมุมให้ถูกต้อง

### มาตรฐานองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) ว่าด้วยเรื่องความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลการบิน

องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ได้กำหนดเกณฑ์ความแม่นยำของข้อมูลเชิงตำแหน่ง (ICAO, 2002) และได้แบ่งระดับความสำคัญของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ใช้อ้างอิงในการเดินอากาศไว้ ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลการบิน ที่มา (ICAO, 2002)

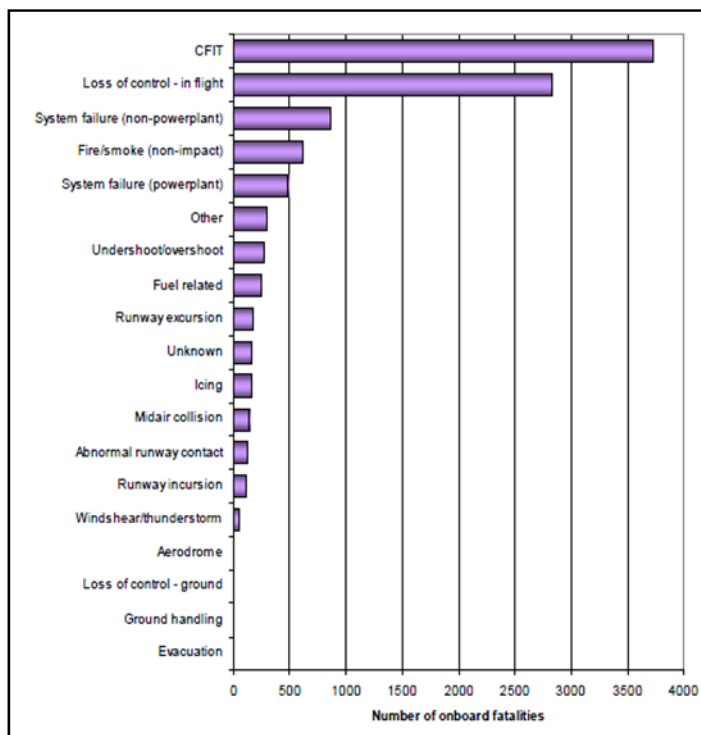
Latitude and Longitude	Accuracy data type	Integrity classification
En-route NAVAIDS and fixs, holding, STAR/SID point	100 m surveyed/calculated	$1 \times 10^{-5}$ essential
NAVAIDS located at the aerodrome/heliport	3 m surveyed	$1 \times 10^{-5}$ essential
Obstacle in the circling area and at the aerodrome/heliport	3 m surveyed	$1 \times 10^{-5}$ essential
Significant obstacles in the approach and take-off area	3 m surveyed	$1 \times 10^{-5}$ essential
Final approach fixs/points and other essential fixs/points comprising instrument approach procedures	3 m surveyed/calculated	$1 \times 10^{-5}$ essential
Runway threshold	1 m surveyed	$1 \times 10^{-8}$ critical
Runway end (flight path alignment point)	1 m surveyed	$1 \times 10^{-8}$ critical

## อุบัติเหตุทางการบินที่เกี่ยวข้องกับความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง

หน่วยงานด้านความปลอดภัยในการบินของสหรัฐอเมริกา (Flight Safety Foundation: FSF) ได้กล่าวว่าอุบัติเหตุจากการควบคุมเครื่องบินเข้าหาภูมิประเทศ Control Flight Into Terrain (CFIT) มีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปีนับแต่ปี ค.ศ. 1950 ซึ่งจากสถิติการเกิดอุบัติเหตุ CFIT ที่เกิดขึ้นทั่วโลก ในระหว่างปี ค.ศ. 1988 – 1997 มีจำนวน 39 เหตุการณ์ ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตถึง 2,800 คน ซึ่งเป็นอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในช่วงสุดท้ายของการบินเข้าหาสนามบินที่ตำแหน่งของเครื่องบินอยู่ในแนวเดียวกับทางวิ่ง และส่วนใหญ่เครื่องบินอยู่ต่ำกว่าแนวร่อน 3 องศา ซึ่งเป็นการเกิดในระหว่างการควบคุมการบินตามขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบินแบบไม่แม่นยำ (Gregory, 2000; NTSB, 2000)

หน่วยงานด้านความปลอดภัยเพื่อการขนส่ง ของออสเตรเลีย (Australian Transport Safety Bureau: ATSB) ได้สรุปผล และเปิดเผยเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วกันว่า การเกิดอุบัติเหตุลักษณะ CFIT นั้นมีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งในการควบคุมการบินเข้าหาสนามบินแบบไม่แม่นยำ และการบินเข้าหาสนามบินแบบแม่นยำ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 ด้วยขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบินแบบไม่แม่นยำ นั้นเป็นการควบคุมการบินที่ซับซ้อน ที่นักบินต้องควบคุมการบินในลักษณะบินลดระดับทีละขั้น (Step-Down) หรือแบบขั้นบันได อีกทั้งนักบินจำนวนมากไม่คุ้นเคย จึงมีแนวโน้มของความผิดพลาดได้มากกว่า ดังภาพที่ 2-18 แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุในการเดินอากาศในลักษณะต่างๆ เปรียบเทียบกันจำนวนผู้เสียชีวิต ที่เกิดขึ้นในประเทศออสเตรเลีย ระหว่างปี ค.ศ. 1987 – 2007 และปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุของอุบัติเหตุ CFIT (ATSB, 2007)



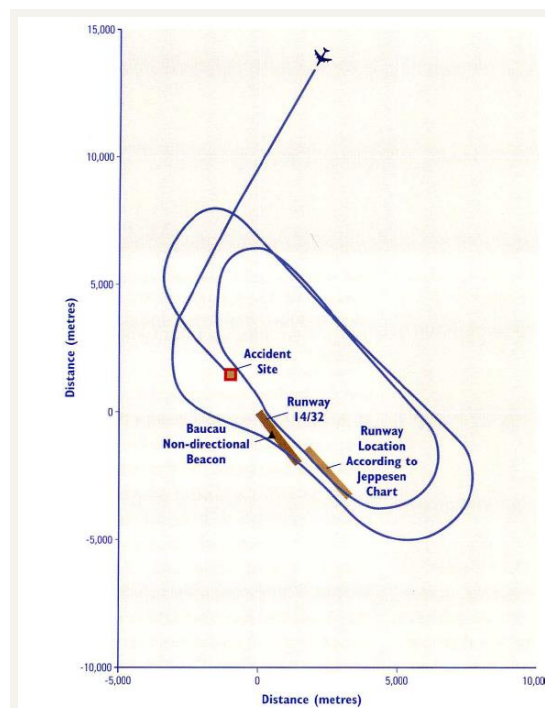


ภาพที่ 2-18 สถิติผู้เสียชีวิต ที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ จากกลุ่มเครื่องบินไอพ่นเชิงพาณิชย์ที่เกิดขึ้น ระหว่างปีค.ศ. 1987 - 2005 (ATSB, 2007)

และในปี ค.ศ. 2003 อุบัติเหตุเครื่องบินขนส่งสินค้า Ilyushin 76TD ตกขณะลงจอด ณ สนามบิน Cakung Airport เขตเบาเกา (Baucau Destrict) สาธารณรัฐประชาธิปไตยติมอร์-เลสเต (Timor-Leste) เป็นเหตุให้ฝูงชนเข้ากับภูมิประเทศอย่างรุนแรง และเกิดเพลิงลุกไหม้ตามมาภายหลัง ส่งผลให้นักบินและลูกเรือทั้งหมด จำนวน 6 คน เสียชีวิตในที่เกิดเหตุ ซึ่งหน่วยงานด้านความปลอดภัยในการขนส่งของประเทศออสเตรเลีย (Australian Transport Safety Bureau: ATSB) ได้ทำการสอบสวนอุบัติเหตุจากการควบคุมการบินเข้าหาภูมิประเทศได้ข้อสรุปว่า เกิดจากการบินในครั้งนั้นเป็นการบินเข้าหาสนามบินด้วยแบบแผนวิธีปฏิบัติการบินแบบไม่แม่นยำ โดยนักบินต้องทำการบังคับทิศทางการบินให้เข้าหาสถานีอ้างอิงภาคพื้นดิน NDB อันเป็นสถานีบอกตำแหน่งและทิศทางของเครื่องบินให้นักบินได้รับรู้สถานะของตัวเอง และแบบแผนวิธีปฏิบัติที่ใช้ควบคู่กับการบินครั้งนี้ แสดงตำแหน่งทางวิ่ง (Runway) ไม่สอดคล้องกับตำแหน่งจริงบนภูมิประเทศ ดังภาพที่ 2-19 และ 2-20 (ATSB, 2004)



ภาพที่ 2-19 ตำแหน่งทางวิ่ง (Runway) ไม่สอดคล้องกับตำแหน่งจริงบนภูมิประเทศ (ATSB, 2004)



ภาพที่ 2-20 ตำแหน่งทางวิ่ง (Runway) ไม่สอดคล้องกับตำแหน่งจริงบนภูมิประเทศ (ATSB, 2004)

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการวิจัยเกี่ยวกับโครงข่ายหมุดหลักฐาน GPS ใหม่ของกรมแผนที่ทหาร ภายหลังจากเกิดแผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 ที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย และแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน จากการที่แผ่นเปลือกโลกได้รับอิทธิพลจากแรงเคลื่อนไหวของธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic Activity) ส่งผลให้ตำแหน่งพิกัดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์บนพื้นผิวเปลือกโลกมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย (ชัยวัฒน์ พรหมทอง และคณะ, 2549)

จากการตรวจวัดพบว่า ในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว มีการเคลื่อนตัวที่ไม่เท่ากันในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย มีขนาดมากสุดในบริเวณ จ.ภูเก็ต มีขนาดประมาณ 28 ซม. จ.กรุงเทพมหานคร ขนาดประมาณ 8 ซม. และในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ประมาณ 3 ซม. ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ และหลังการเกิดแผ่นดินไหว ผลกระทบที่เกิดขึ้นยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง จากการตรวจวัดเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2008 พบว่าที่ จ.ภูเก็ต มีขนาดการเคลื่อนตัวถึง 66.4 ซม. บริเวณภาคกลาง ประมาณ 20 ซม. และบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ประมาณ 8 ซม. (เอกภพ ภาณุมาศตระกูล และคณะ, 2551) ส่งผลให้มีการศึกษาเรื่องการประเมินความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินทางอากาศหลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ พ.ศ. 2547 กรณีศึกษา: สนามบินภูเก็ต โดยใช้ข้อมูลทดสอบ คือ ตำแหน่งอ้างอิงในการเดินทางประกอบด้วย ตำแหน่งจุดเริ่มต้นทางขึ้น/ลง (Runway Threshold) และ ตำแหน่งสถานีวิทยุช่วยในการเดินทาง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดแบบแผนขั้นตอนปฏิบัติการบินเข้าหาสนามบินด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด (Instrument Approach Procedure) เพื่อลงจอด ณ สนามบินภูเก็ต ที่ประกาศใช้งานอยู่ในปัจจุบัน กับเกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ ICAO กำหนด

ผลการศึกษา พบว่าข้อมูลตำแหน่งอ้างอิงในการบินเข้าหาสนามบินเพื่อลงจอด ณ สนามบินภูเก็ต ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ ICAO กำหนดไว้ ดังตารางที่ 2-3 ทั้งขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนที่ปรากฏไม่มีความสอดคล้องกับการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ที่นักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาไว้ จึงทำให้เกิดข้อสันนิษฐานได้ว่าน่าจะมีปัจจัยแทรกอื่น ที่ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในลักษณะดังกล่าว เช่น ปัจจัยเรื่องคลื่นสัญญาณวิทยุรบกวน (Signal Radio Interference) ปัจจัยเรื่องคลื่นหลายวิถี (Signal Multi Path Interference) หรือ การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิธี เป็นต้น (พงศสันต์ มิตราชนันท์, 2553)

ตารางที่ 2-3 ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินทางอากาศของสนามบินภูเก็ต  
(พงศสันต์ มิตรธาพันธ์, 2553)

Positions	Error positional		Diff from hypothesis		ICAO Requirement (m.)
	Azimuth	Distance (m.)	Azimuth	Distance (m.)	
ARP	253.02°	13.339	-	-	30.0
THR-09	290.65°	2.379	41.40°	1.379	1.0
THR-27	339.27°	5.113	90.02°	4.113	1.0
DVOR/DME	331.21°	159.989	81.96°	156.989	3.0
LLZ/DME	165.39°	10.775	-83.86°	7.775	3.0
GS	51.63°	58.922	-197.62°	55.922	3.0
MM	62.49°	27.319	-186.76°	24.319	3.0

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการประเมินความถูกต้องของข้อมูลค่าพิกัดเชิงตำแหน่งข้อมูลการบิน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องกับมาตรฐานข้อกำหนดขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศด้วยวิธีการรังวัดตรวจสอบที่มีความถูกต้องสูง โดยการนำเทคนิคของการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS ในสนามมาผนวกกับหลักการปรับแก้ข้อมูลการรังวัด ในการหาค่าพิกัดของหมุดหลักฐานมีรายละเอียดวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ชุดเครื่องมือรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส จำนวน 3 ชุด ซึ่งแต่ละชุดประกอบไปด้วย

1. เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ชนิดสองความถี่ ยี่ห้อ LEICA รุ่น GX 1230
2. แบตเตอรี่ภายนอก
3. งานรับสัญญาณพร้อมสายอากาศ LEICA รุ่น AX1202 GG
4. ชุดอุปกรณ์รับส่งสัญญาณวิทยุปรับแก้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งเพื่อใช้ในการรังวัด

สัญญาณจีพีเอสแบบ RTK

5. ชุดขาตั้งกล้องสำหรับงานรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส
6. โปรแกรมประมวลผล LEICA Geo Office

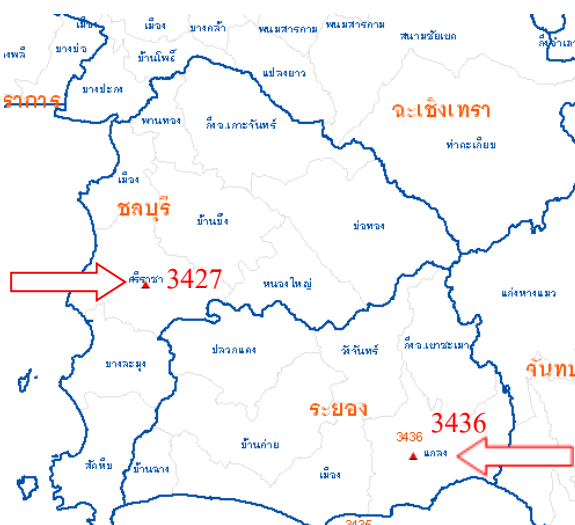
#### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ทำการรวบรวมข้อมูลพื้นที่ศึกษา โดยมีข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้
  - 1.1 ลักษณะพื้นที่ศึกษาบริเวณสนามบินนานาชาติอุตะเถา ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 2
  - 1.2 หมุดหลักฐานดาวเทียมจีพีเอสที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาวิจัย โดยใช้หมุดจีพีเอสของกรมแผนที่ทหารจำนวน 2 หมุดซึ่งค่าพิกัดแสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 หมุดหลักฐานงานรังวัดดาวเทียม GPS (กรมแผนที่ทหาร, 2550)

หมายเลขหมุด	ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84		หมายเหตุ
	ลองจิจูด (E)	ละติจูด (N)	
GPS 3427	101° 02' 40.96096''	13° 07' 13.90524''	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น A
3436	101° 36' 54.31412''	12° 45' 14.52166''	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น B

และหมุดที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ หมุดจีพีเอสหมายเลข 3427 และ 3436 และได้ทำการรังวัดเมื่อปี พ.ศ. 2550 ดังภาพที่ 3-2

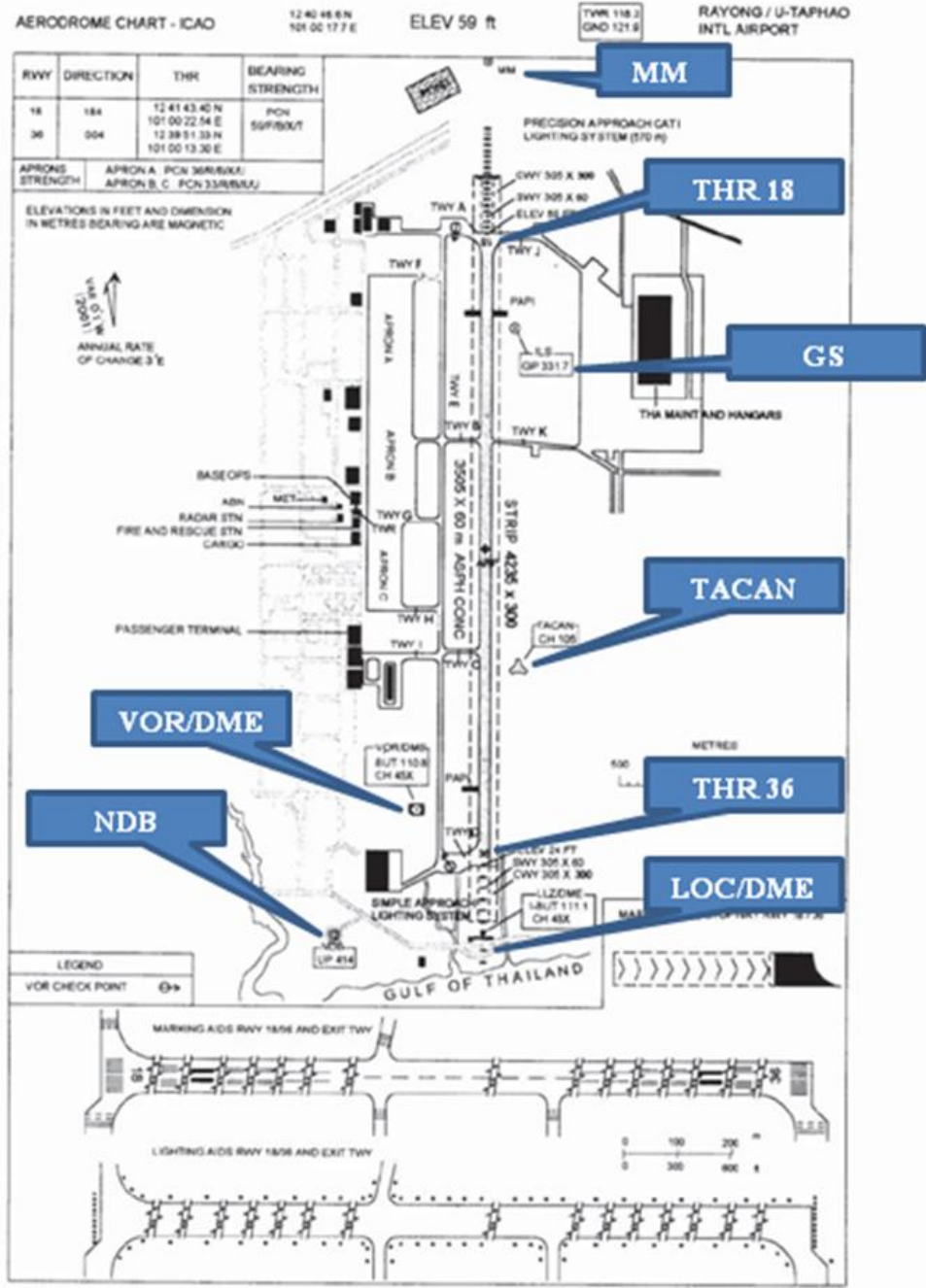


ภาพที่ 3-1 ตำแหน่งหมุดจีพีเอสหมายเลข 3427 และ 3436

1.3 ข้อมูลค่าพิกัดเชิงตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศ ของสนามบินนานาชาติอุตะเถา ที่ประกาศใช้ใน AIP-Thailand เมื่อปี พ.ศ. 2552 สำหรับใช้เป็นข้อมูลศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องกับมาตรฐานของ ICAO รายละเอียดดังตารางที่ 3-2 และตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศในบริเวณสนามบินนานาชาติอุตะเถา ดังภาพที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลเชิงตำแหน่งด้านการบิน ของสนามบินนานาชาติอุตะเถา ที่มา AIP-Thailand  
(กรมการบินพลเรือน, 2552)

รายละเอียด	ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84		ช่วงเวลาในการ ประกาศใช้
	Latitude (N)	Longitude (E)	
NDB	12 39.7' N	100 59.7' E	2552
DVOR/DME	12 40.0' N	101 00.0' E	2552
LOC/DME	12 39.6' N	101 00.2' E	2552
GS	12 41.5' N	101 00.4' E	2552
MM	12 42.1' N	101 00.0' E	2552
Compass	12 42.1' N	101 00.0' E	2552
TACAN	12 40.5' N	101 00.4' E	2552
(THR 18)	12 41' 43.40" N	101 00' 22.54" E	2552
(THR 36)	12 39' 51.33" N	101 00' 13.30" E	2552



Department of Civil Aviation

ภาพที่ 3-2 ตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศในสนามบินนานาชาติอุตะเถา (AIP Thailand, 2552)



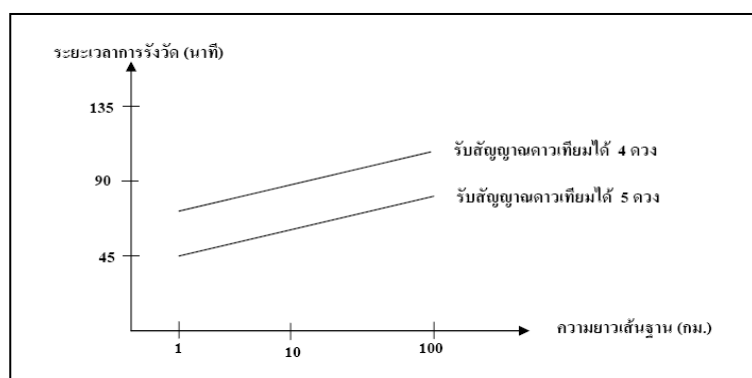
## 2. การเก็บข้อมูลภาคสนาม

2.1 ตรวจสอบมุมสูงและเวลาของดาวเทียม (Elevation and Time) ระหว่างวันปฏิบัติงาน โดยมีมุมสูงที่กำหนดไว้ต่ำกว่า  $15^\circ$  (Cut Off Elevation) หมายถึง ตำแหน่งดาวเทียมดวงใด ๆ ที่อยู่สูงเป็นมุมน้อยกว่า  $15^\circ$  กับระนาบของจานรับสัญญาณจะไม่รับสัญญาณจากดาวเทียมในขณะนั้น เนื่องจากมุมสูงที่ต่ำกว่า  $15^\circ$  จะมีต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ มาบดบังสัญญาณจากดาวเทียมทำให้สัญญาณที่ได้รับไม่เหมาะต่อการนำมาประมวลผลและมีจำนวนดาวเทียมไม่น้อยกว่า 4 ดวง (อัจฉริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล, 2551)

2.2 การรังวัดสัญญาณจีพีเอส โดยการรังวัดต้องสามารถรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 4 ดวงพร้อมกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 45 นาที โดยมีค่า PDOP ไม่เกิน 7 หากมากกว่า 7 จะให้ค่าความถูกต้องในการหาตำแหน่งต่ำลง จะต้องเพิ่มระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมให้มากขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อน 1 PPM (กรมแผนที่ทหาร, 2539)

### 2.3 ทำการรังวัดสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีแบบสถิต (Static)

เป็นวิธีการทำงานที่เครื่องรับไม่มีการเคลื่อนที่ ระยะเวลาที่รับสัญญาณเป็นเวลานานเพียงพอที่จะนำมาหาค่าพิกัดที่ต้องการทราบได้ถูกต้อง และระยะเวลาที่รับสัญญาณจึงขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นฐานและจำนวนดาวเทียมที่รังวัด ข้อมูลการรังวัดบางครั้งอาจมีข้อผิดพลาด เช่น เกิดคลื่นหลุด (Cycle Slip) ดังนั้นจึงควรเผื่อเวลาการรังวัดให้มากขึ้น (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2548) โดยระยะเวลาประมาณการในการรังวัดดังภาพที่ 3-3



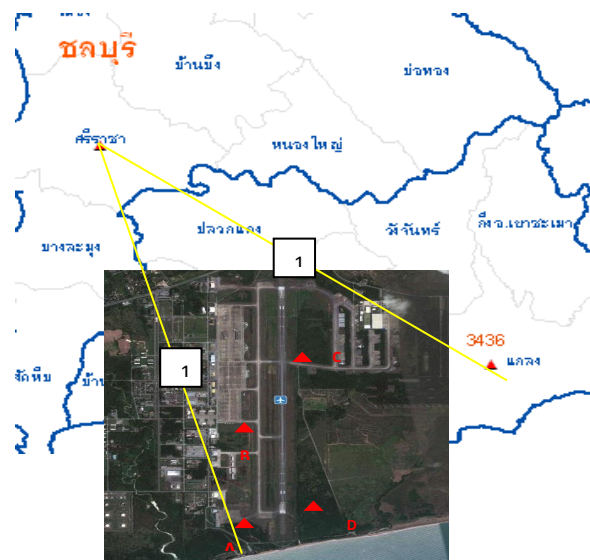
ภาพที่ 3-3 ประมาณการช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม GPS แบบ Static (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2548)

#### 2.3.1 โครงข่ายหลัก

ทำการรังวัดเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิชัย กับโครงข่าย GPS ของกรมแผนที่ทหาร โดยกำหนดสถานีควบคุมโครงข่ายงานวิชัยไว้ในบริเวณใกล้เคียงสนามบินเพื่อสะดวกต่อการรังวัด

ตรวจสอบโครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้น GCP ขยายโครงข่าย GPS โดยสถานีอ้างอิงได้แก่หมุด จีพีเอสหมายเลข 3427 บริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และหมุดจีพีเอสหมายเลข 3436 บริเวณ อำเภอแกลง จังหวัดระยอง ซึ่งใช้เป็นโครงข่ายหลัก จากนั้นทำการโยงยึดค่าพิกัดมายัง หมุด A ด้วยวิธีการรังวัด Static ซึ่งจะให้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งอยู่ระหว่าง 5 มิลลิเมตร – 2.5 เซนติเมตร โดยตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม แบ่งออกเป็น 4 คาบ (Session) เพื่อนำเส้นฐานที่ได้มาประมวลผล ปรับแก้โครงข่าย ดังนี้

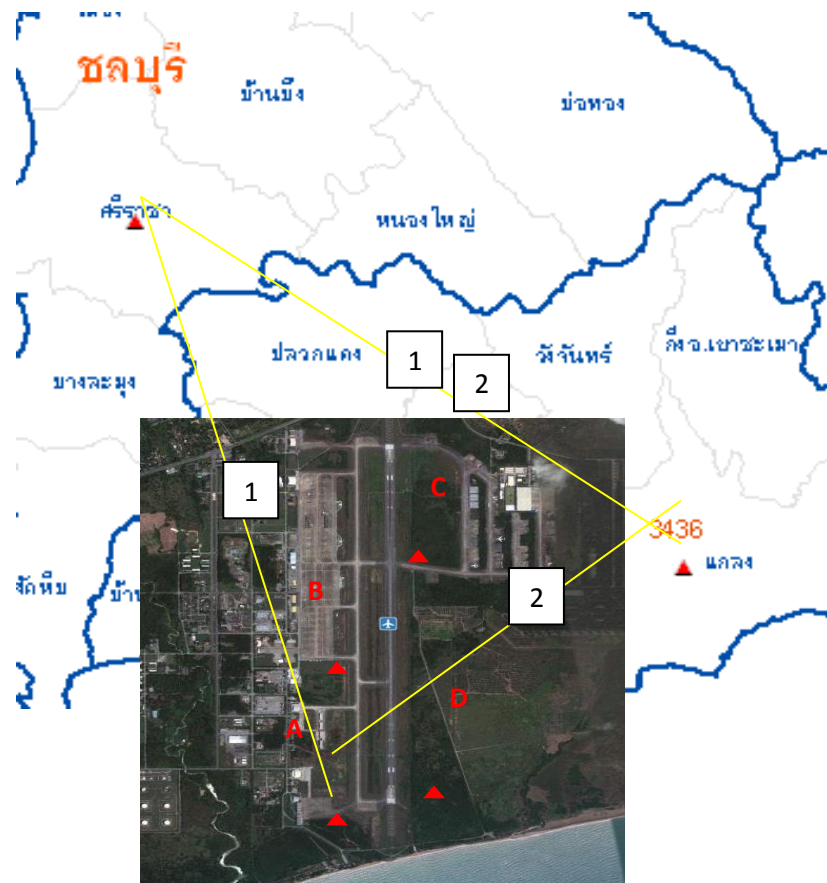
คาบที่ 1 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด 3427 หมุด 3436 และ หมุด A บริเวณสนามบินอู่ตะเภา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ 3427 – A และ 3427 – 3436 ดังภาพที่ 3- 4



ภาพที่ 3-4 การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัยบริเวณใกล้เคียงสนามบินหมุดจีพีเอสหมายเลข 3427

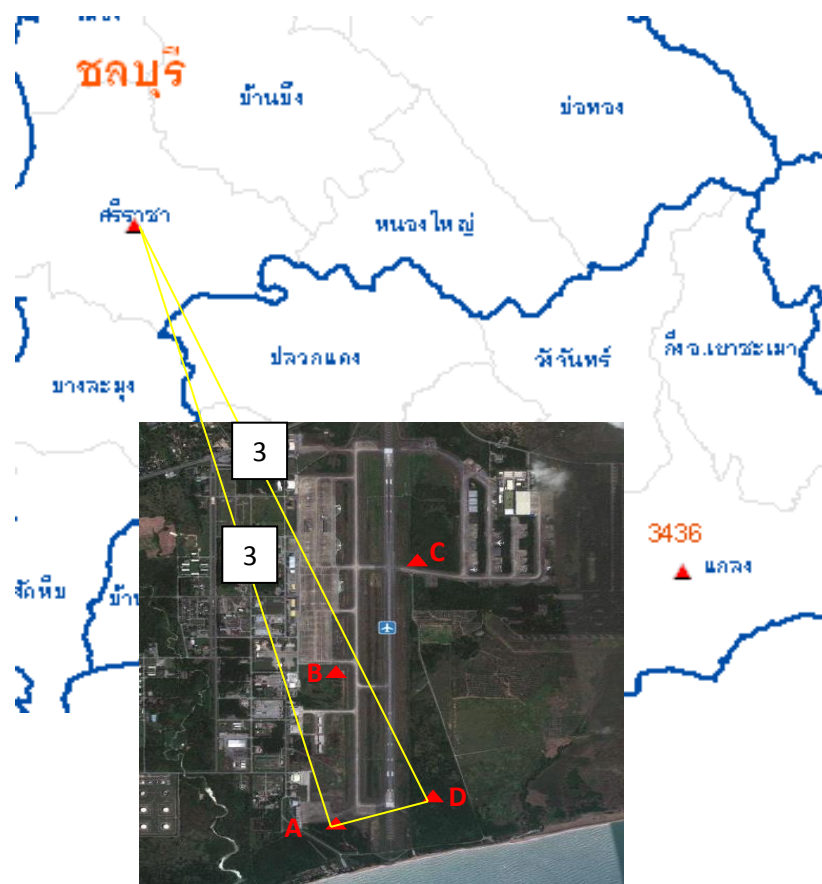
หมุดจีพีเอสหมายเลข 3436 และ หมุด A ในคาบที่ 1

คาบที่ 2 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด 3427 หมุด 3436 และ หมุด A บริเวณสนามบินอู่ตะเภา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ 3436 – A ดังภาพที่ 3- 5



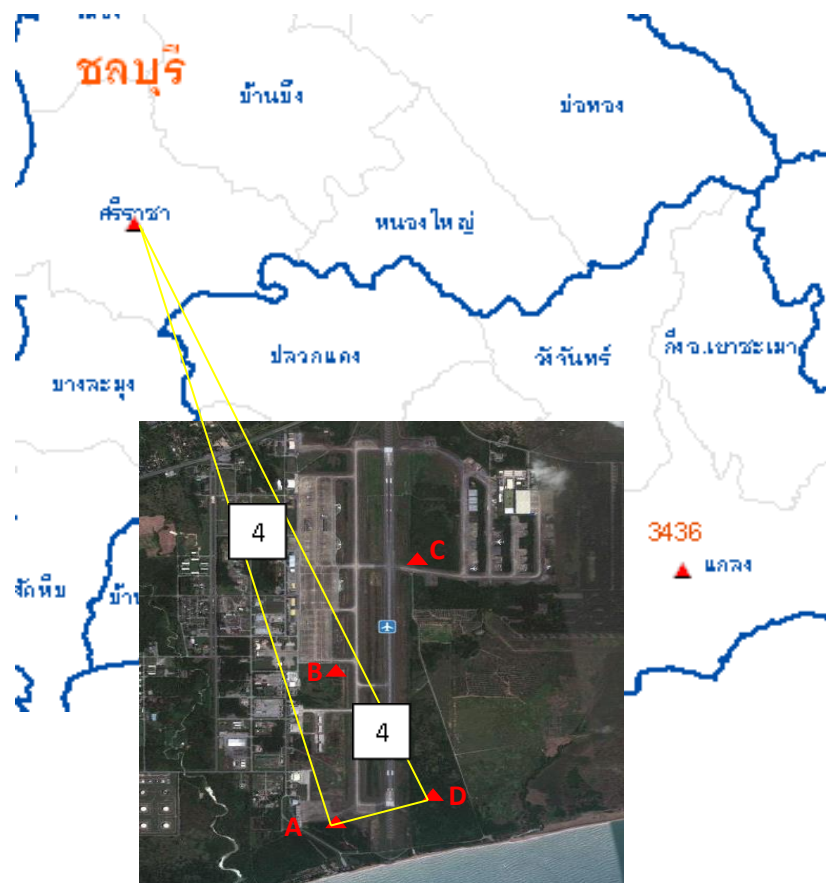
ภาพที่ 3-5 การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัยบริเวณใกล้เคียงสนามบินหมุดจีพีเอสหมุด 3427 หมุด 3436 และ หมุด A ในคาบที่ 2

คาบที่ 3 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด 3427 หมุด A และ หมุด D บริเวณสนามบินอุตะเถา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ 3427 – A และ 3427 – D ดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัยบริเวณใกล้เคียงสนามบินหมุดจีพีเอสหมายเลข 3427 หมุด A และหมุด D ในคาบที่ 3

คาบที่ 4 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด 3427 และ หมุด A บริเวณสนามบิน  
อู่ตะเภา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ 3436 – A ดังภาพที่ 3- 7



ภาพที่ 3-7 การเชื่อมต่อโครงข่ายงานวิจัยบริเวณใกล้เคียงสนามบินหมุดจีพีเอสหมายเลข 3427  
หมุด A และหมุด D ในคาบที่ 4

### 2.3.2 โครงข่ายรอง

ทำการรังวัดโครงข่ายจุดควบคุมภาคพื้นดิน ซึ่งในโครงข่ายรองนี้จะใช้สถานี  
อ้างอิง A เป็นสถานีควบคุม โดยใช้วิธีการรังวัดดาวเทียมแบบ Rapid Static ซึ่งจะให้ความถูกต้อง  
เชิงตำแหน่งอยู่ระหว่าง 1-3 เซนติเมตร สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร ในการรังวัดครั้งนี้  
ได้แบ่งการรังวัดสัญญาณดาวเทียมออกเป็นคาบเวลา (Session) คาบละ 30 นาที โดยตั้งเครื่องรับ  
สัญญาณดาวเทียม แบ่งออกเป็น 8 คาบ (Session)

คาบที่ 1 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด A หมุด B และ หมุด D  
บริเวณสนามบินอู่ตะเภา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ A- B และ A-D ดังภาพที่ 3- 8



ภาพที่ 3-8 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด A หมุด B และ หมุด D ในคาบที่ 1

คาบที่ 2 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด A หมุด B และ หมุด D บริเวณสนามบินอุตะเถา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ A-B และ B-D ดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด A หมุด B และ หมุด D ในคาบที่ 2

คาบที่ 3 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด A หมุด C และ หมุด D บริเวณสนามบินอุตะเถา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ A - C และ A-D ดังภาพที่ 3- 10



ภาพที่ 3-10 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอู่ตะเภา โดยใช้ หมุด A หมุด C และ หมุด D ในคาบที่ 3

คาบที่ 4 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด A หมุด C และ หมุด D บริเวณสนามบินอู่ตะเภา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ A - D และ C-D ดังภาพที่ 3- 11





ภาพที่ 3-11 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด A หมุด C และ หมุด D ในคาบที่ 4

คาบที่ 5 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด A หมุด B และ หมุด C บริเวณ สนามบินอุตะเถา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ A - B และ A-C ดังภาพที่ 3- 12



ภาพที่ 3-12 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอู่ตะเภา โดยใช้ หมุด A หมุด B และ หมุด C ในคาบที่ 5

คาบที่ 6 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด A หมุด B และ หมุด C บริเวณ สนามบินอู่ตะเภา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ A - B และ B-C ดังภาพที่ 3- 13



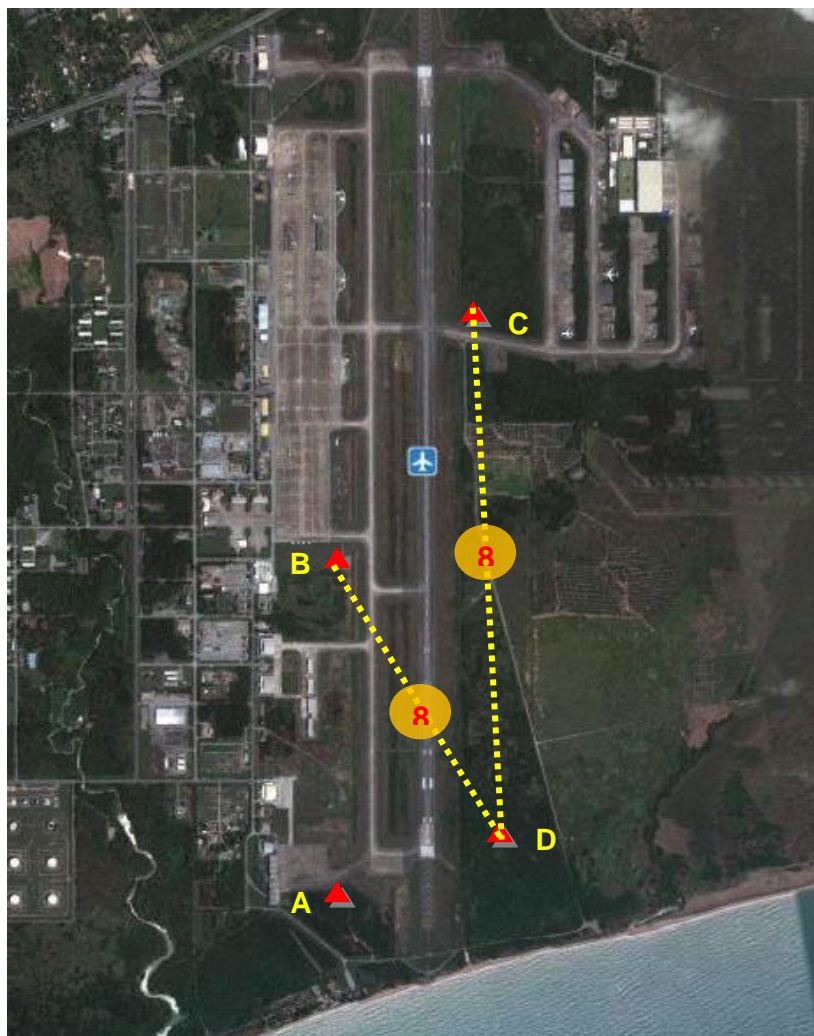
ภาพที่ 3-13 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอู่ตะเภา โดยใช้ หมุด A หมุด B และ หมุด C ในคาบที่ 6

คาบที่ 7 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด B หมุด C และ หมุด D บริเวณ สนามบินอู่ตะเภา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ B - D และ B-C ดังภาพที่ 3- 14



ภาพที่ 3-14 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอู่ตะเภา โดยใช้ หมุด B หมุด C และ หมุด D ในคาบที่ 7

คาบที่ 8 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่หมุด B หมุด C และ หมุด D บริเวณ สนามบินอู่ตะเภา จะได้เส้นฐานจำนวน 2 เส้นฐาน คือ B - D และ D-C ดังภาพที่ 3- 15

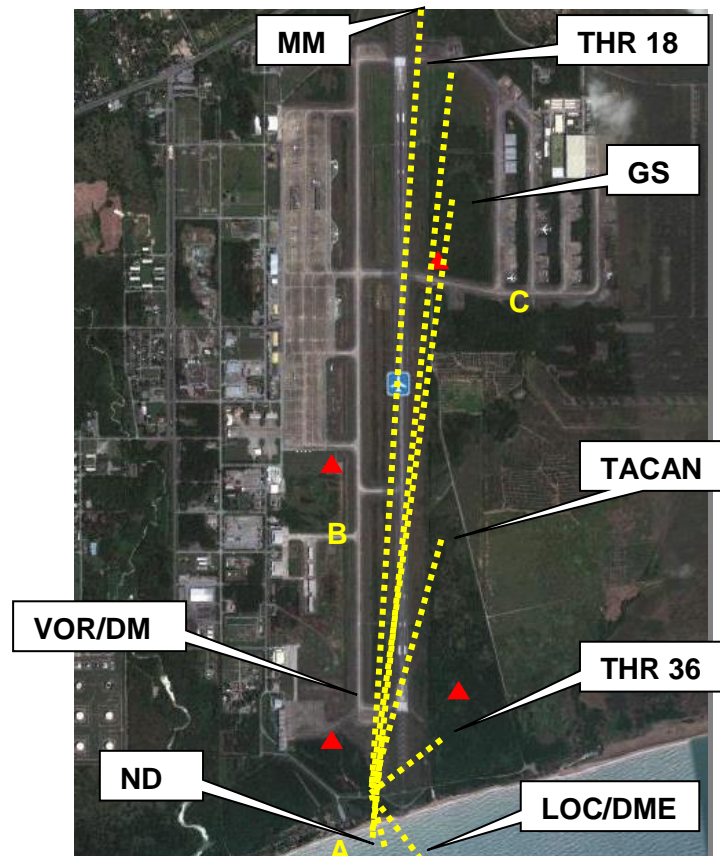


ภาพที่ 3-15 การรังวัดโครงข่ายรองภายในสนามบินอุตะเถา โดยใช้ หมุด B หมุด C และ หมุด D ในคาบที่ 8

#### 2.4 ทำการรังวัดแบบ RTK (Real Time Kinematic Survey)

วิธีนี้จะใช้เครื่องรังวัดอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งตั้งอยู่บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองถูกนำไปตั้งรับสัญญาณบริเวณจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด ซึ่งจะเหมือนกับวิธีการแบบ Static หากแต่จะแตกต่างกัน คือ เครื่องรับสัญญาณเครื่องที่สองนั้นสามารถเคลื่อนย้ายได้ เครื่องรับสัญญาณที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น วิธีการนี้สามารถให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1-5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร) (อัจฉริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล, 2551) ซึ่งจะใช้ในกรณีที่ทำการรังวัดภายในสนามบิน บริเวณเครื่องช่วย

เดินอากาศ เนื่องจากมีการขึ้นลงของเครื่องบินตลอดเวลาทำให้ไม่สามารถทำการรังวัดด้วยวิธีแบบ Static ได้ ในการวิจัยนี้ทำการตั้งสถานีฐานไว้ที่ หมุด A แล้วจึงทำการรังวัด RTK ไปยังเครื่องช่วยเดินอากาศต่าง ๆ ดังภาพที่ 3-16



ภาพที่ 3-16 การรังวัดแบบ RTK (Real Time Kinematic Survey)

### 3. การตรวจสอบและการประมวลผลข้อมูล

ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของงานรังวัดหมุดควบคุมนั้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ Federal Geodetic Control Committee: FGCC ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล, 2543)

3.1 ตรวจสอบชื่อสถานีและความสูงของงานรับสัญญาณ

3.2 ตรวจสอบข้อมูลเส้นฐานเบื้องต้น เช่น ค่า Ratio และค่า เบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3 ตรวจสอบวงรอบเข้าบรรจบ (Loop Closure) เพื่อตรวจสอบความเข้ากันของเส้นฐานเมื่อเข้าบรรจบตัวเอง

3.4 ตรวจสอบการปรับแก้แบบอิสระ (Free Adjustment) โดยโปรแกรม LEICA Geo Office

4. ทำการประเมินผลความถูกต้องเชิงตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศ

4.1 ทำการแปลงค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดและค่าพิกัดที่ AIP ประกาศไว้ที่เป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ให้เป็นระบบพิกัดฉากซึ่งสามารถนำมาทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งมีหน่วยเป็นเมตรได้

ระบบพิกัดทางยี่ห้อเดซีหรือระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ ( $\phi, \lambda, h$ ) จะมีความสัมพันธ์กับระบบพิกัดฉาก ( $X, Y, Z$ ) ตามสูตรในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดภูมิศาสตร์และระบบพิกัดฉาก

ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ $\implies$ ระบบพิกัดฉาก    ระบบพิกัดฉาก $\implies$ ระบบพิกัดภูมิศาสตร์	
$X = (N + h) \cos(\phi) \cos(\lambda)$	$\tan(\lambda) = Y / X$
$Y = (N + h) \cos(\phi) \sin(\lambda)$	$\tan(\phi) = (Z + e^2 N \sin \phi) / (X^2 + Y^2)^{1/2}$
$Z = \{(1 - e^2)N + h\} \sin(\phi)$	$h = (X^2 + Y^2)^{1/2} / \cos \phi - N$
โดยที่ $N = a / \{(1 - e^2 \sin^2(\phi))^{1/2}\}$	
$e^2 = 2f - f^2$	
$h = N + H$	

เมื่อทำการแปลงค่าพิกัดด้วยโปรแกรม Geotran จะได้ค่าดังตารางที่ 3-4 และ 3-5

ตารางที่ 3-4 ผลการรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศ

Position	ข้อมูลการรังวัดค่าพิกัด		ข้อมูลการรังวัดค่าพิกัด (UTM)	
	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (N)	Longitude (E)
NDB	12 39' 42.60160" N	100 59' 39.68689" E	1400566.2284	716599.7169
DVOR/DME	12 40' 00.05174" N	101 00' 01.67616" E	1401107.6257	717259.2361
LOC/DME	12 39' 36.63244" N	101 00' 12.11795" E	1400390.2557	717579.8791
GS	12 41' 30.30729" N	101 00' 25.54161" E	1403887.1379	717958.1357
MM	12 42' 17.95068" N	101 00' 25.43878" E	1405351.4260	717943.7525
Compass	12 42' 17.59820" N	101 00' 25.38513" E	1405340.5801	717942.2171
TACAN	12 40' 29.05848" N	101 00' 24.23313" E	1402004.3636	717933.1329
THR 18	12 41' 44.21797" N	101 00' 22.64812" E	1404314.0079	717867.5302
THR 36	12 39' 50.44237" N	101 00' 13.25526" E	1400814.9630	717610.9479

ตารางที่ 3-5 ค่าพิกัดเครื่องช่วยเดินอากาศที่ AIP ประกาศใช้เมื่อปี พ.ศ. 2552

Position	ข้อมูลการรังวัดค่าพิกัด		ข้อมูลการรังวัดค่าพิกัด (UTM)	
	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (N)	Longitude (E)
NDB	12 39.7' N	100 59.7' E	1400548.2714	716669.6666
DVOR/DME	12 40.0' N	101 00.0' E	1401105.6481	717208.6634
LOC/DME	12 39.6' N	101 00.2' E	1400370.7905	717576.4684
GS	12 41.5' N	101 00.4' E	1403877.3352	717911.6885
MM	12 42.1' N	101 00.0' E	1404978.2193	717178.9692
Compass	12 42.1' N	101 00.0' E	1404978.2193	717178.9692
TACAN	12 40.5' N	101 00.4' E	1402033.2469	717925.875
THR 18	12 41' 43.40" N	101 00' 22.54" E	1404288.8427	717864.4612
THR 36	12 39' 51.33" N	101 00' 13.30" E	1400842.2545	717612.0889



4.2 จากนั้นทำการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่ AIP  
ประกาศใช้กับค่าพิกัดของจุดเดียวกันจากการรังวัดด้วยวิธีจีพีเอส ดังตารางที่ 3-6

Point Number	=	จำนวนจุดที่ทำการทดสอบ
Point Description	=	คำอธิบายจุดที่ทำการทดสอบ
Longitude (AIP)	=	ค่าพิกัดลองจิจูดจาก AIP Thailand
Longitude (GPS)	=	ค่าพิกัดลองจิจูดจากการรังวัด
Diff in Longitude	=	Longitude (AIP) - Longitude (GPS)
(Diff in Longitude) <sup>2</sup>	=	(Longitude (AIP) - Longitude (GPS)) <sup>2</sup>
Latitude (AIP)	=	ค่าพิกัดละติจูดจาก AIP Thailand
Latitude (GPS)	=	ค่าพิกัดละติจูดจากการรังวัด
Diff in Latitude	=	Latitude (AIP) - Latitude (GPS)
(Diff in Latitude) <sup>2</sup>	=	(Latitude (AIP) - Latitude (GPS)) <sup>2</sup>
Error of Position	=	$\sqrt{((\text{Diff in Longitude})^2 + (\text{Diff in Latitude})^2)}$

4.3 จากนั้นใช้สมการ Least Square Regression Method ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Error of Position} = \sqrt{(\text{Diff in X})^2 + (\text{Diff in Y})^2} \quad \text{สมการที่ 3-1}$$

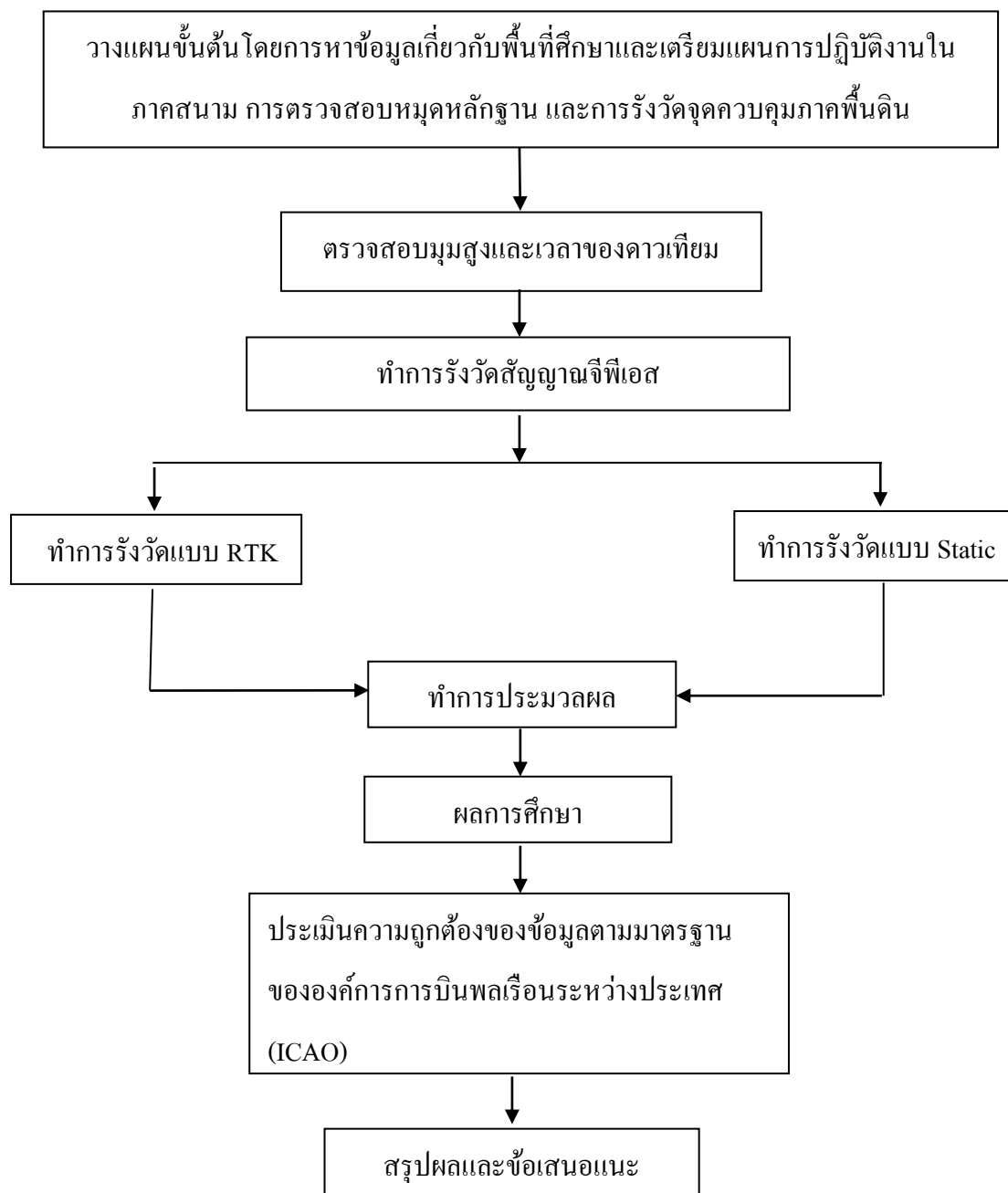
เพื่อใช้ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศที่  
AIP ได้ประกาศใช้กับตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศที่ได้จากการรังวัด

4.4 นำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ ICAO กำหนด  
ไว้ ดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ตารางเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินอากาศของ  
สนามบินนานาชาติ อุตะภา

Point description	Coordinate Diff (m.)	ICAO Requirement (m.)
NDB	72.21783	3
DVOR/DME	50.61135	3
LOC/DME	19.76175	3
GS	47.47036	3
MM	850.98574	3
Compass	844.89804	3
TACAN	29.78124	3
THR 18	25.35165	1
THR 36	27.31534	1

### ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 3-17 ขั้นตอนการดำเนินงาน

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีจีพีเอส เพื่อประเมินความถูกต้องของตำแหน่งอ้างอิงในการเดินอากาศที่ประกาศใน AIP หน้าที่ VTBU AD2-8 10 DEC 08, VTBU AD2-7 30 JUL 09 และหน้าที่ VTBU AD2-4 10 DEC 08 ในปี พ.ศ. 2552 พื้นที่ศึกษาบริเวณสนามบินนานาชาติอุตะเถา จังหวัดระยอง โดยทำการรังวัดตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศและนำมาวิเคราะห์ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ICAO โดยผลของการวิจัยมีดังต่อไปนี้

#### การรังวัดตำแหน่งอ้างอิงเครื่องช่วยเดินอากาศ

การรังวัดตำแหน่งเครื่องช่วยเดินอากาศในสนามบินอุตะเถานั้นใช้เทคโนโลยีจีพีเอสแบบ RTK เนื่องจากจุดที่ต้องการทราบค่าอยู่ในบริเวณสนามบิน ซึ่งมีการขึ้นลงของเครื่องบินอยู่ตลอดเวลา ประกอบกับสภาพอากาศ และช่วงเวลาในการขออนุญาตเข้าไปสำรวจยังสนามบินนานาชาติอุตะเถามีจำกัดทำให้ไม่สามารถทำการสำรวจแบบวิธี Static ได้ซึ่งวิธีการรังวัดแบบ RTK นั้นในปัจจุบันให้ค่าความละเอียดถูกต้องสูงอยู่ในระดับเซนติเมตร ทั้งยังสามารถทราบค่าพิกัดได้ทันที (จริญญา สุขแก้ว, 2544) ซึ่งการทำงานของวิธีการรังวัดแบบ RTK นั้นมีลักษณะการทำงานคล้ายกับการรังวัดด้วยเครื่อง Total Station (สนอง มิ่งสมร, 2542)

โดยผลการรังวัดที่ได้นั้นแสดงในรูปแบบค่าพิกัดขั้วออกเดคิก หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ดังนั้นจำเป็นต้องทำการแปลงค่าพิกัดที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบของค่าพิกัดฉาก (UTM) ซึ่งสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนที่มีหน่วยเป็นเมตรได้ จากนั้นทำการแปลงค่าพิกัดที่ AIP ได้ประกาศไว้เป็นค่าพิกัดแบบภูมิศาสตร์ให้เป็นแบบฉากแสดงดังตารางที่ 4-1 เพื่อทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดทางราบเพื่อใช้ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศที่ AIP ได้ประกาศใช้กับตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศที่ได้จากการรังวัดด้วยสมการ Least Square Regression Method ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 การทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดทางราบ

Point Description	Latitude	Latitude	Diff in	Longitude	Longitude	Diff in	Error of Position
	(AIP)	(GPS)	Latitude (m.)	(AIP)	(GPS)	Longitude (m.)	
NDB	1400548.2714	1400566.2284	- 17.957	716669.6666	716599.7169	69.9497	72.2178
DVOR/DME	1401105.6481	1401107.6257	- 1.9776	717208.6634	717259.2361	- 50.5727	50.6114
LOC/DME	1400370.7905	1400390.2557	- 19.4652	717576.4684	717579.8791	- 3.4107	19.7618
GS	1403877.3352	1403887.1378	- 9.8027	717911.6885	717958.1357	- 46.4472	47.4704
MM	1404978.2193	1405351.4260	- 373.2067	717178.9692	717943.7525	- 764.7833	850.9857
Compass	1404978.2193	1405340.5801	- 362.3608	717178.9692	717942.2171	- 763.2479	844.8980
TACAN	1402033.2469	1402004.3636	28.8833	717925.875	717933.1329	- 7.2579	29.7812
THR 18	1404288.8427	1404314.0079	- 25.1652	717864.4612	717867.5302	- 3.069	25.3517
THR 36	1400842.2545	1400814.9630	27.2915	717612.0889	717610.9479	1.141	27.3153

และเมื่อได้ค่าความคลื่อนระหว่างตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศที่ AIP ได้ประกาศใช้กับตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศที่ได้จากการรังวัดจากนั้นนำเกณฑ์มาตรฐานของ ICAO มาเปรียบเทียบกับว่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 แสดงความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐาน

Point Description	Error of Position (m.)	ICAO Requirement (m.)
NDB	72.2178	3
DVOR/DME	50.6114	3
LOC/DME	19.7618	3
GS	47.4704	3
MM	850.9857	3
Compass	844.8980	3
TACAN	29.7812	3
THR 18	25.3517	1
THR 36	27.3153	1

Point Description คือ ตำแหน่งของเครื่องช่วยการเดินอากาศ

Diff in Latitude คือ ค่าความต่างทางดิ่ง

Diff in Longitude คือ ค่าความต่างทางระนาบ

Error of Position คือ ค่าความคลาดเคลื่อนทางการกระจัด

ICAO Requirement คือ มาตรฐานความคลาดเคลื่อนที่ AIP ประกาศใช้

จากตารางที่ 4-2 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ AIP ประกาศใช้กับค่าที่ได้จากการวิจัยพบที่มีความคลาดเคลื่อนเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ ICAO กำหนด และเมื่อนำค่าพิกัดที่รังวัดได้จากการวิจัยและค่าพิกัดที่ AIP ประกาศใช้มาพิจารณาทางด้านความแม่นยำตามตารางที่ 2-1 Aeronautical data quality requirement (Latitude and Longitude) ที่ระบุในเอกสารคู่มือการรังวัดพิกัดภูมิศาสตร์ World Geodetic System-1984 (WGS-84) (Doc 9674) พบว่าตำแหน่งอ้างอิงในการเดินอากาศของสนามบินอุตะเกาที่เป็นปัญหาสำคัญในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ตามลำดับดังนี้

1. สถานี MM มีความคลาดเคลื่อน เป็นระยะทาง 850.98 เมตร
2. สถานี Compass มีความคลาดเคลื่อน เป็นระยะทาง 844.89 เมตร
3. สถานี NDB มีความคลาดเคลื่อน เป็นระยะทาง 72.21 เมตร
4. สถานี DVOR/DME มีความคลาดเคลื่อน เป็นระยะทาง 50.61 เมตร
5. สถานี GS มีความคลาดเคลื่อน เป็นระยะทาง 47.47 เมตร
6. สถานี TACAN มีความคลาดเคลื่อน เป็นระยะทาง 29.78 เมตร
7. THR 36 มีความคลาดเคลื่อน เป็นระยะทาง 27.31 เมตร
8. THR 18 มีความคลาดเคลื่อน เป็นระยะทาง 25.35 เมตร
9. สถานี LOC/DME มีความคลาดเคลื่อน เป็นระยะทาง 19.76 เมตร

### สาเหตุการคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศ

จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศที่ AIP ได้ประกาศใช้ และ ค่าที่ได้จากการรังวัดนั้นมีความคลาดเคลื่อนสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ ICAO กำหนดไว้ ดังนั้นจึงได้ทำการตรวจสอบหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยผลที่ได้เกิดจากการการที่ AIP ได้ทำการคำนวณค่าฟิลิปดาที่เป็นทศนิยมให้กลายเป็นค่าลิปดาซึ่งก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากค่าพิกัดภูมิศาสตร์แต่ละองศานั้นมีรายละเอียดดังนี้ (ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย, 2546)

$$1 \text{ องศา} = 60 \text{ ลิปดา}$$

$$1 \text{ ลิปดา} = 60 \text{ ฟิลิปดา}$$

$$1 \text{ ลิปดา} = 1.85 \text{ กิโลเมตร}$$

$$1 \text{ ฟิลิปดา} = 30.33 \text{ เมตร}$$

ดังนั้นจึงทำการนำค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ทำการปิดเศษทศนิยมให้เท่ากับที่ AIP ประกาศใช้จะได้ดังตารางที่ 4-3 จากนั้นทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งเพื่อใช้ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศที่ AIP ประกาศใช้กับตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศที่ได้จากการรังวัด แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ AIP ประกาศใช้กับค่าที่ได้จากการวิจัยโดยทำการปิดเศษ

Position	ข้อมูลการรังวัดค่าพิกัด (AIP)		ข้อมูลการรังวัดค่าพิกัด (การวิจัย)	
	Latitude (N)	Longitude (E)	Latitude (N)	Longitude (E)
NDB	12 39.7' N	100 59.7' E	12 39.7' N	100 59.7' E
DVOR/DME	12 40.0' N	101 00.0' E	12 40.0' N	101 0.0' E
LOC/DME	12 39.6' N	101 00.2' E	12 39.6' N	101 0.2' E
GS	12 41.5' N	101 00.4' E	12 41.5' N	101 0.4' E
MM	12 42.1' N	101 00.0' E	12 42.3' N	101 0.4' E
Compass	12 42.1' N	101 00.0' E	12 42.3' N	101 0.4' E
TACAN	12 40.5' N	101 00.4' E	12 40.5' N	101 0.4' E
THR 18	12 41' 43.40" N	101 00' 22.54" E	12 41' 44.22" N	101 00' 22.65" E
THR 36	12 39' 51.33" N	101 00' 13.30" E	12 39' 50.44" N	101 00' 13.26" E



ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ AIP ประกาศใช้กับค่าพิกัดที่ได้จากการวิจัย

Point Description	Latitude	Latitude	Diff in	Longitude	Longitude	Diff in
	(AIP)	(GPS)	Latitude	(AIP)	(GPS)	Longitude
NDB	12 39.7' N	12 39.7' N	0.0'	100 59.7' E	100 59.7' E	0.0'
DVOR/DME	12 40.0' N	12 40.0' N	0.0'	101 00.0' E	101 0.0' E	0.0'
LOC/DME	12 39.6' N	12 39.6' N	0.0'	101 00.2' E	101 0.2' E	0.0'
GS	12 41.5' N	12 41.5' N	0.0'	101 00.4' E	101 0.4' E	0.0'
MM	12 42.1' N	12 42.3' N	-0.2'	101 00.0' E	101 0.4' E	-0.4'
Compass	12 42.1' N	12 42.3' N	-0.2'	101 00.0' E	101 0.4' E	-0.4'
TACAN	12 40.5' N	12 40.5' N	0.0'	101 00.4' E	101 0.4' E	0.0'
THR 18	12 41' 43.40" N	12 41' 44.22" N	-0.8"	101 00' 22.54" E	101 00' 22.65" E	-0.1
THR 36	12 39' 51.33" N	12 39' 50.44" N	0.8"	101 00' 13.30" E	101 00' 13.26" E	0.05

และจากตารางที่ 4-4 ค่าพิกัดที่ได้จากการวิจัยมาทำการปิดเศษทศนิยมของลิปดา ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ AIP ประกาศใช้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่ามีความสอดคล้องกันจะมีเพียง 4 จุด เท่านั้นที่พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นดังนี้

1. สถานี MM
2. สถานี Compass
3. THR 36
4. THR 18

ส่งผลให้ทำการตรวจสอบเกณฑ์มาตรฐาน Aeronautical data quality requirements (latitude and longitude พบว่าบริเวณตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศนั้นไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ Aeronautical data quality requirements (Latitude and Longitude) ที่ประกาศให้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของเครื่องช่วยเดินอากาศอยู่ในระดับที่ 1/10 ของ Sec หรือที่ ทศนิยม 1 ตำแหน่งของลิปดา ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 Aeronautical data quality requirements (latitude and longitude)

Latitude and Longitude	Accuracy data type	Publication Resolution
NAVAIDS located at the aerodrome/heliport	3 m surveyed	1/10 sec
Runway threshold	1 m surveyed	1/100 sec

ที่มา (ICAO, 2002)

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดและประเมินความถูกต้องข้อมูลเชิงตำแหน่งของ เครื่องช่วยเดินอากาศบริเวณสนามบินนานาชาติอุตะเกาที่ AIP ได้ประกาศใช้เพื่อเปรียบเทียบกับ เกณฑ์มาตรฐานที่ ICAO กำหนด ด้วยเทคโนโลยีจีพีเอส ซึ่งจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้อง เนื่องจาก ICAO ได้มีการกำหนดมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลการบินไว้เพื่อความ ปลอดภัยในการเดินอากาศซึ่งผลการศึกษาพบว่าตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศนั้นมีความ คลาดเคลื่อนสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ ICAO กำหนดดังนี้

#### สรุปผลการวิจัย

1. เครื่องช่วยเดินอากาศที่ AIP ประกาศใช้อ้างอิงในการลงจอดของสนามบินนานาชาติอุ ตะเกานั้น มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ ICAO กำหนดในทุกตำแหน่งที่ทำการ รังวัดซึ่งเป็นค่าที่ละเอียด โดยจากการวิเคราะห์ค่าพิกัดที่พบว่าเกิดจากการปัดเศษค่าฟิลิปดาให้เป็น ค่าลิปดาตามที่ AIP ประกาศใช้ซึ่งเป็นค่าพิกัดที่หยابกว่าส่งผลให้เกิดความแตกต่างของค่าพิกัด เครื่องช่วยเดินอากาศจากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

2. ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดมาคำนวณให้มีค่าพิกัดตามที่ AIP ประกาศใช้นั้นมีค่าพิกัดที่ สอดคล้องกันจะมีเพียง 4 ตำแหน่ง ได้แก่ สถานี MM สถานี Compass THR 36 และ THR 18 เท่านั้นที่พบว่ามีความคลาดเคลื่อนแต่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานและจากการคำนวณนี้เองพบว่า บริเวณ ตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศนั้นไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ในตาราง Aeronautical data quality requirements (latitude and longitude) โดยระบุในเอกสารคู่มือการรังวัด พิกัดภูมิศาสตร์ World Geodetic System-1984 (WGS-84) (Doc 9674) ที่ประกาศให้ค่าพิกัด ภูมิศาสตร์ของเครื่องช่วยเดินอากาศอยู่ในระดับที่ 1/10 ของ Sec หรือที่ ทศนิยม 1 ตำแหน่งของ ฟิลลิปดา

3. ความคลาดเคลื่อนที่ปรากฏนั้นมีความหลากหลายของระยะทาง อาจเกิดจากปัจจัยแทรก ตัวอื่น ที่มีอิทธิพลทำให้ตำแหน่งข้อมูลอ้างอิงในการเดินอากาศ เกิดความคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะ ตำแหน่ง MM และ Compass ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด เช่น ปัจจัยด้านคลื่นสัญญาณวิทยุ ครอบคลุม ระยะเวลาในการรังวัดที่ไม่ได้ทำการรังวัดซ้ำในหลายช่วงเวลา

4. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากระบบการรังวัด รวมไปถึงค่าพิกัดหมุดอ้างอิงที่ใช้เป็นคนละปี อาจเป็นไปได้ว่าค่าพิกัดที่ใช้ซ้ำนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกรรมแผนที่ทหารจะมีการปรับปรุงข้อมูลอยู่เป็นประจำซึ่งจะเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น

5. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากระบบการรังวัด รวมไปถึงค่าพิกัดหมุดอ้างอิงที่ใช้เป็นคนละปี อาจเป็นไปได้ว่าค่าพิกัดที่ใช้ซ้ำนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกรรมแผนที่ทหารจะมีการปรับปรุงข้อมูลอยู่เป็นประจำซึ่งจะเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น

6. เกณฑ์มาตรฐานที่นำมาใช้นั้นมีความละเอียดสูง หากแต่ค่าพิกัดที่ใช้ในการเดินอากาศยานเป็นค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่หยาบกว่ามาก เช่น หากมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 1 ฟุตปดา ก็จะส่งผลให้มีค่าคลาดเคลื่อนสูงถึง 30.33 เมตร ดังนั้นจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

## อภิปรายผล

จากการศึกษาพบว่าผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาวิจัยของ พงศ์สันต์ มิตรานันท์ (2553) ที่ได้ทำการรังวัดตรวจสอบตำแหน่งเครื่องช่วยการเดินอากาศที่สนามบินภูเก็ต ซึ่งสรุปไว้ว่าข้อมูลตำแหน่งอ้างอิงในการเดินอากาศ ของสนามบินภูเก็ต มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยขนาดและทิศทางการเบี่ยงเบนนั้นไม่สอดคล้องกับ ผลการศึกษาตรวจสอบการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 (ชัยวัฒน์ พรหมทอง และคณะ, 2549, 2550; สรัทธ บำรุงวงศ์ และคณะ, 2550) และความคลาดเคลื่อนนั้นหลากหลายทั้งภาคทิศ และระยะทาง อาจเกิดจากปัจจัยแทรกตัวอื่น เช่น ปัจจัยด้านคลื่นสัญญาณวิทยุรบกวน (Signal Radio Interference) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่ ที่มีการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุทั้งแบบ (Amplitude Modulation: AM) และ (Frequency Modulation: FM) ที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้โดยตรงต่อการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS ดังนั้น

## ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากตำแหน่งของเครื่องช่วยเดินอากาศ หรือตำแหน่งอ้างอิงภาคพื้นดิน เป็นข้อมูลที่มีสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยในการลงจอด ดังนั้นหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบ จึงควรมีการรังวัดตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะสนามบินที่มีการขึ้นลงของเครื่องบินอย่างหนาแน่น และสนามบินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่อาจจะได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก

2. การปิดเศษทศนิยมของค่าพิกัดในตำแหน่งฟิลิปดาให้เป็นลิปดาตามประกาศของ AIP นั้น เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่เกิดขึ้น ดังนั้นหน่วยงานที่จะนำข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ ประกาศ AIP ไปใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มค่าต่างๆ ควรศึกษาผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น โดยเฉพาะข้อมูลสนามบินอุตะเกาะควรมีการรังวัดตรวจสอบและปรับปรุงข้อมูลใน AIP ให้มีความละเอียดมากขึ้น โดยจะสอดคล้องกับความละเอียดที่ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐาน ที่ผลการศึกษาพบว่าตำแหน่งอ้างอิงในการบินลงจอดมีความคลาดเคลื่อนเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

3. ในการรังวัดตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดเครื่องช่วยการเดินอากาศ ควรทำการรังวัดซ้ำหลายช่วงเวลา เพื่อเป็นการศึกษาความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นว่ามีทิศทางเดียวกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

4. ในตำแหน่ง ของ MM และ Compass ควรมีการรังวัดตรวจสอบอีกครั้งเนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงเกินกว่าตำแหน่งอื่น ๆ มาก ซึ่งอาจจะมีผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในสนามบิน

5. ควรมีการรังวัดด้วยกล้อง Total Station เพื่อเป็นการกำจัดปัจจัยแทรกตัวอื่น เช่น ปัจจัยด้านคลื่นสัญญาณวิทยุรบกวน(Signal Radio Interference) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่บริเวณสนามบินซึ่งมีการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุทั้งแบบ(Amplitude Modulation: AM) และ (Frequency Modulation: FM) ที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้โดยตรงต่อการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS

## บรรณานุกรม

- กนก วีรวงศ์. (2549). *การปรับแก้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด*. กรุงเทพฯ: ม.ป.ท.
- กรมแผนที่ทหาร. (2539). *ระเบียบกองยี่ออเดซี่และยี่ออฟลิคส์ว่าด้วยการวางหมุดหลักฐานทางราบ พ.ศ. 2539*. กรุงเทพฯ: กองยี่ออเดซี่และยี่ออฟลิคส์ กรมแผนที่ทหาร.
- กองการบินทหารเรือ กองเรือยุทธการ. (2553). *สนามบินอู่ตะเภา*. วันที่ค้นข้อมูล 25 ธันวาคม 2553, เข้าถึงได้จาก <http://www.navy.mi.th/flynavy/document/history/utapao.php>.
- การทำอากาศยานอู่ตะเภา. (2552). *สนามบินอู่ตะเภา*. วันที่ค้นข้อมูล 25 ธันวาคม 2553, เข้าถึงได้จาก [http://www.utapao.com/main\\_th.php](http://www.utapao.com/main_th.php).
- จริญญา สุขแก้ว. (2544). *ประสิทธิภาพของการนำสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบ อาร์ทีเคมาใช้ในการปฏิบัติงาน: ศึกษาเปรียบเทียบการทำแผนที่รูปถ่ายทางอากาศและกองรังวัดและทำแผนกรรมที่ดิน*. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, สาขารัฐศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2540). ความถูกต้องที่ได้รับจากฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์จีพีเอสเชิงพาณิชย์, *วิศวกรรมสาร*, 65-68.
- \_\_\_\_\_. (2546). *การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยวัฒน์ พรหมทอง, เกรียงไกร บุญเติม และพลภัทร เทียนไทย. (2549). *โครงข่ายหมุดหลักฐาน GPS ใหม่ของกรมแผนที่ทหาร ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว*. เอกสารวิชาการ. กองยี่ออเดซี่และยี่ออฟลิคส์ กรมแผนที่ทหาร. วันที่ค้นข้อมูล 10 พฤศจิกายน 2552, เข้าถึงได้จาก <http://203.146.189.74/researchdb>.
- ชวน หลีกภัย. (2541). *โครงการศูนย์กลางการผลิตและขนส่งทางอากาศยานนานาชาติ: เตรียมประเทศไทยสู่ศูนย์กลางด้านการบินและธุรกิจ ศตวรรษที่ 21*.
- ธีรทัต เจริญกาลัญญาตา, เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และวันชัย นันทสุรศักดิ์. (2552). *การประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในพื้นที่โดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย: การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ*. กรุงเทพฯ: อิมแพ็ค คอนเวนชันเซ็นเตอร์ เมืองทองธานี.
- ธีระ ลีลิตวารงกูร, กิติเดช สันติชัยอนันต์ และ ธนัช สุขวิมลเสรี. (2548). *การกำหนดพิกัดตำแหน่งหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, 28(2), 239 - 253.

- นระ คมนามูล. (2551). เทคโนโลยีการบินและกิจการทำอากาศยาน. (ม.ป.ท.)
- ปริญญา ทวีวัฒน์. (2553). การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดจีพีเอสในระบบปรับแก้ผลต่าง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์. คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- แผนที่ประเทศไทย. (2553.). วันที่ค้นข้อมูล 11 มีนาคม 2555, เข้าถึงได้จาก  
[http://www.99bayresort.com/images/1118207372/ThailandMap\\_02.jpg](http://www.99bayresort.com/images/1118207372/ThailandMap_02.jpg).
- ปรัชญา อุทัยเสน.(2550, 23 เมษายน). มองโลกแล้วย้อนมองเรา: ทำอากาศยาน 2 แห่งสำหรับ  
 กรุงเทพฯ: ประชาชาติธุรกิจ.
- พงสันต์ มิตราชนันท์. (2553). การประเมินความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลการเดินทางอากาศ  
 หลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ พ.ศ. 2547: กรณีศึกษา สนามบินภูเก็ต. วิทยานิพนธ์  
 วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์. คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์,  
 มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พงศธร แก้วมณี. (2548). ระบบการลงจอดและระบบนำร่องของเครื่องบิน. วารสารเซมิคอนดักเตอร์  
 อิเล็กทรอนิกส์, 271, 240 - 245.
- ไพรัตน์ ยิ้มวิสัย. (2548). ระบบควบคุมจราจรทางอากาศจัดเส้นทางบนฟากฟ้า. วารสารอวกาศ,  
 20 (217), 37 - 48.
- ยุทธศักดิ์ คณาสวัสดิ์. (2552). การเปิดทำอากาศยานสุวรรณภูมิบริหารราคาแพงในด้าน BCP.  
 วารสารส่งเสริมการลงทุน, 20(3), 31 - 40.
- ขรรจง ทรัพย์สุขอำนวย. (2546). ระบบการหาตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยความเทียม เล่ม 1. (ม.ป.ท.)
- วิชัย เชียงวีรชน. (ม.ป.ป.). การรังวัดพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียม [ภาพนิ่ง]. กรุงเทพฯ:  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- \_\_\_\_\_. (2548). การสำรวจรังวัด : ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิชัย พะวิฑูณี. (2553). จำนวนจุดควบคุมทางดิ่งที่เหมาะสมสำหรับหาค่าความสูงออร์โทเมตริกด้วย  
 ดาวเทียมจีพีเอส กรณีศึกษาภาคกลางและภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์  
 วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์, คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์,  
 มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ศรายุทธ อยู่ตำราญ. (2543). การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นที่หลักฐานประเทศไทย:  
 WGS84 กับอินเดียน 1975. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรม  
 สำรวจ, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- เสาวริน กันหา. (2551). *ระบบติดตามยานพาหนะ โดยใช้จีพีเอสและการทำนายตำแหน่งด้วย  
กาลมานอัลกอริธึม*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรม  
โทรคมนาคม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สัญญา สราภิรมย์. (2549). เอกสารประกอบการสอนวิชาการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีสุรนารี.
- สนอง มิ่งสมร. (2542). เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรมหลักสูตรการนำเทคโนโลยี  
การรังวัดสมัยใหม่มาใช้ในการทำแผนที่ สำหรับหัวหน้างานรังวัด. กรุงเทพมหานคร :  
กองฝึกอบรมที่ดิน.
- สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร. (2535). *เส้นโครงแผนที่*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.  
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ :  
กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน),  
2552.
- อัจฉริยะ มีชัยพิทักษ์สกุล. (2551). *การบูรณาการข้อมูลหมวดหลักฐานจีพีเอสเพื่อสร้าง โครงข่าย  
หมวดหลักฐานที่มีความถูกต้องสูงสำหรับประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการ, บัณฑิตวิทยาลัย,  
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต.
- อัมชา ก.บัวเกษร. (2542). *ภูมิศาสตร์กายภาพ 1. คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์: มหาวิทยาลัย  
บูรพา*.
- อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล. (2543). *โครงข่ายจีพีเอสที่มีความถูกต้องสูง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรม  
ศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสำรวจ, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกภพ ภาณุมาศตระกูล, เฉลิมชนม์ สติระพจน์, ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ และชัยวัฒน์ พรหมทอง.  
(2552). ผลกระทบจากการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ต่อการปรับแก้  
โครงข่ายในประเทศไทย. ใน การประชุมวิชาการ เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ  
แห่งชาติ ประจำปี 2552.
- Accident report. p 22-30. ICAO Journal Number 1, 2005.
- Australian Transport Safety Bureau (ATSB). (2005). *Improvised approach has catastrophic  
consequences for Ilyushin 76 freighter*.
- Australian Transport Safety Bureau (ATSB).(2007). *Aviation Research and Analysis Report  
B2006/0352 Final CFIT:Australia in context 1996 to 2005*.



- B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger, and J.Collins.(1992). *Global Positioning System*.  
NewYork: Springer-Verlag Wien.
- Courtesy ATSB. (2004). *Ilyushin of safety*. Flight Safety Australia Journal, Vol.8 No.4 July-August  
2004. p30-33.
- CSAR Web Staff, (2007). *About the Universal Transverse Mercator coordinate system*. Retrieved  
December 23, 2010, from <http://www.cibolasar.org/UTMConverter.shtml>.
- Gregory J.W. (2000).*Non-precision Instrument Approach Procedure Design Philosophy*. Obstacle  
Clearance Panel(OCP) VNAV Working group meeting. Madrid, Spain. International Civil  
Aviation Organization.
- International Civil Aviation Organization. (2002). *Doc9674, World Geodetic System-1984 (WGS-84)*  
*Manual*. (2 th.ed.).
- Michael Kennedy. (2002). *The Global Positioning System and GIS*. (2 th.ed) London: Taylor &  
Francis.
- National Transportation Safety Board (NTSB). (2000). *Aircraft accident report Controlled flight into  
terrain, Korean air flight 801 Boeing 747-300, HL7468 Nimitz Hill Guam August 6, 1997*.
- Position Accuracy Handbook. (1999). Minnesota: Land Management Information Center.
- The GPS System. (n.d) Retrieved August 8, 2009, from [http://www.kowoma.de/en/gps/  
errors.htm](http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm).
- Trimble Navigation Limited. (1996). *Mapping Systems General Refernce*. Sunnyvale : Trimble  
Navigation Limited.