

เทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณ  
ดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2558  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF GNSS SIGNAL QUALITY FOR AN ESTABLISHMENT OF GNS  
S CONTINUOUS OPERATING REFERENCE STATION (CORS)

Mr. Serm Chinnarat



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง
โดย	นายเสริม ชินรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด พลະการ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(พันโท ดร.สรวิศ สุขเวชัย)

เสริม ชินรัตน์ : เทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง (ANALYSIS AND ASSESSMENT OF GNSS SIGNAL QUALITY FOR AN ESTABLISHMENT OF GNSS CONTINUOUS OPERATING REFERENCE STATION (CORS)) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
 หลัก: ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 86 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม Global Navigation Satellite Systems (GNSS) เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นเบื้องต้นก่อนที่จะมีการประมวลผลและจัดตั้งโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS อัตโนมัติ โดยอาศัยซอฟต์แวร์ TEQC (Translate Edit and Quality Checking) ที่มีความสามารถในการตรวจสอบและประเมินคุณภาพความสมบูรณ์ของข้อมูลและความคลาดเคลื่อน จากค่ามาตรฐานที่อ้างอิงจาก IGS (International GNSS Service) ได้กำหนด ผลลัพธ์ของการรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องออกเป็นประเภทต่างๆ ซึ่งจะมีค่าประสิทธิภาพของข้อมูลอยู่ระหว่างจาก 65 – 95 ค่า Cycle Slip Ratio (CSR) จะมีค่าไม่เกิน 10 ค่าความคลาดเคลื่อนของคลื่นหลายวิถีในคลื่น L1 มีค่าอยู่ระหว่างจาก 0.30 - 0.56 และ ค่าความคลาดเคลื่อนของคลื่นหลายวิถีในคลื่น L2 มีค่าอยู่ระหว่างจาก 0.55 - 0.85 ตามลำดับ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดทำเกณฑ์มาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ประเภทต่าง ๆ เพื่อให้รองรับกับการใช้งานได้ทุกประเภท โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามาจากกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นหมุดในโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายหลัก รวมทั้งหมด 18 หมุด ปีที่ทำการสำรวจ พ.ศ.2556 ได้กำหนด อัตราการบันทึกข้อมูลที่ 15 วินาที และ และมุมกั้นฟ้าที่ 10 องศา ระยะเวลาบันทึกข้อมูล 24 ชั่วโมง ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากค่าความคลาดเคลื่อนของคลื่นหลายวิถีในคลื่น L1 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 - 0.50 ค่าความคลาดเคลื่อนของคลื่นหลายวิถีในคลื่นหลายวิถี L2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-0.70 ซึ่งค่าที่ได้ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์งานมาตรฐาน แต่จะมีเพียง 3 หมุดเท่านั้นที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์มาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

# # 5770511921 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS:

SERM CHINNARAT: ANALYSIS AND ASSESSMENT OF GNSS SIGNAL QUALITY FOR AN ESTABLISHMENT OF GNSS CONTINUOUS OPERATING REFERENCE STATION (CORS). ADVISOR: PROF.CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D., 86 pp.

This Research aims to explore approaches to analyze and evaluate the quality of GNSS signal to increase confidence prior to the processing and establishment of GNSS CORS with the use of the TEQC (Translate Edit and. Quality Checking) software. TEQC has an ability to monitor and assess the quality of GNSS data, its integrity and variability of error effect. According to the standard of the IGS (International GNSS Service), the result reveals that a sampling efficiency of observation station ranges from 65 to 95 and Cycle slip ratio (CSR) must be no greater than 10. In addition, the multipath effect on L1 and L2 value is between 0.03 to 0.56 and 0.55 to 0.85, respectively. In this Research, an analysis and evaluation of GNSS signal quality are classified using the standard to the processing and establishment of GNSS CORS for appropriate each job. The GNSS data sets collected by the Royal Thai Survey Department (RTSD) were used in this study. A total of 18 stations (including the zero and first order Thai geodetic network) were observed for a 24-hr time span in Nov 2013 with a 15-second sampling rate and 10-degrees cut-off angle. The results show that values of the multipath effect on L1 range from 0.25 to 0.5 while values of the multipath effect on L2 range from 0.25 to 0.7. Most of the stations are satisfied with the IGS standard, while only three stations are not satisfied.

Department: Survey Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Survey Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้โอกาส ความรู้และแนวคิด รวมไปถึงเทคนิควิธีการต่างๆในการนำเสนอ รวมทั้งวิธีการเขียนบทความวิจัย ซึ่งถือเป็นความรู้ที่มีคุณค่ายิ่ง

ขอขอบพระคุณ พ.อ.ชัยวัฒน์ พรหมทอง ผอ.กตฟ.ผท.ทหาร ที่สนับสนุนข้อมูลในงานวิจัยและให้ แนวทางในการปฏิบัติตัวทั้งในด้านการศึกษาและการทำงาน ซึ่งถือเป็นสิ่งที่มีคุณค่ายิ่งรวมถึงขอบพระคุณพี่น้องๆกำลังพล กตฟ.ผท.ทหาร ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาและความช่วยเหลือ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พันโท ดร.สรวิศ สุภเวชย์ ที่ให้ความรู้ ความเอาใจใส่ ในการศึกษาและการทำงานมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด พละการ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และพันโท ดร.สรวิศ สุภเวชย์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย จาก ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่กรุณาให้คำแนะนำพร้อมทั้งแนวคิดรวมถึงคำติชมต่างๆ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ที่ให้ความรู้ในการศึกษา ปลูกฝังการทำงานทางด้านการสำรวจและงานวิจัยรวมถึงขอบคุณมิตรภาพของพี่น้องๆนิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกคนที่คอยช่วยเหลือและคำปรึกษา

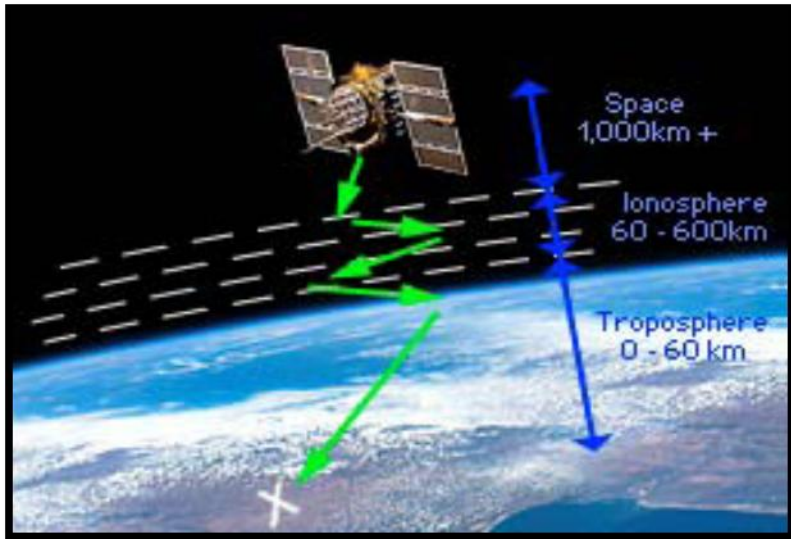
ขอขอบพระคุณ คุณแม่ นางนิยม จันทกลาง พี่ชาย นายสมกลิ่น ชินรัตน์ และภรรยา นางสาวศิริพร จิตรสมพร ที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือทุกทางเสมอ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป .....	17
บทที่ 1 บทนำ .....	18
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	18
1.2 วัตถุประสงค์.....	22
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	22
1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา .....	22
1.3.2 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
1.3.3 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	23
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน .....	25
1.4.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	25
1.4.2 รวบรวมข้อมูล จัดเตรียมและตรวจสอบข้อมูลรังวัดสัญญาณดาวเทียม.....	25
1.4.3 ขั้นตอนการประมวลผล.....	25
1.4.4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	25
1.4.5 เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ .....	25
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	25
1.5.1 ได้ทราบถึงวิธีการหรือเทคนิคในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง .....	25

1.5.2	เพื่อใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ประเภทต่างๆ.....	25
1.5.3	เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการคัดเลือกความเหมาะสมในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง.....	25
1.5.4	ได้ทราบถึงศักยภาพและความสามารถของซอฟต์แวร์ TEQC ในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS .....	25
1.5.5	ได้ทราบถึงศักยภาพและความสามารถของซอฟต์แวร์ TEQC ในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS .....	25
1.5.6	ใช้เป็นแนวทางและเพิ่มความเชื่อมั่นสำหรับการพัฒนาโครงการจัดตั้งโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง.....	25
บทที่ 2	แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	26
2.1	ระบบนำหน้ด้วยดาวเทียม (Navigation Satellite System, NSS) .....	26
2.2	ระบบดาวเทียม GPS .....	27
2.2.1	ข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange measurement) .....	28
2.2.2	ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase measurement) .....	29
2.3	ค่าความคลาดเคลื่อนในการรับสัญญาณดาวเทียม GPS .....	30
	ในงานรับด้วยระบบสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจพิจารณาได้เป็น 3 กลุ่ม คือ .....	30
1)	กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากวงโคจรและความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม.....	30
2)	กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนของการหักเหในชั้นบรรยากาศ การเกิดคลื่นหลายวิถี และการเกิดคลื่นหลุด.....	30
3)	กลุ่มสุดท้ายเกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณเช่นนาฬิกาเครื่องรับ และสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ.....	30





..... 30

2.4 คลื่นหลายวิถี (Multipath)..... 31

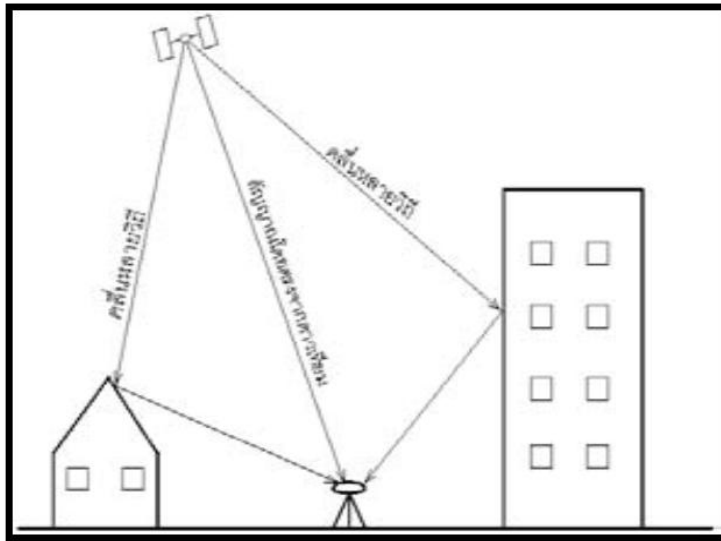
คลื่นหลายวิถีหมายถึงการแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อนบนพื้นผิวตั้งแต่หนึ่งครั้งขึ้นไป พื้นผิวที่สะท้อนอาจอยู่ในแนวตั้ง ราบ หรือเอียง เช่น ผงังกึก ถนน ผิวน้ำ หรือ ยานพาหนะ เป็นต้น ลักษณะของการเกิดคลื่นหลายวิถีสามารถจำแนกออกเป็น 3 ลักษณะ คือ ..... 31

1) แพร่กระจายจากพื้นผิวในบริเวณกว้างเช่น สัญญาณที่เดินทางผ่านกลุ่มวัสดุที่ทำจากโลหะ (Metallic)..... 31

2) การสะท้อนแบบกระจกเงาจากพื้นผิววัตถุที่อยู่ใกล้เสาอากาศ ..... 31

3) การขึ้นลงของความถี่ต่ำมากๆอันสืบเนื่องมาจากการสะท้อนบนพื้นน้ำ ..... 31

หรืออาจกล่าวได้ว่าข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสที่มีคลื่นหลายวิถีนั้นคือ ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดในขณะที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสรับสัญญาณที่เดินทางจากดาวเทียมโดยตรงและรับสัญญาณดาวเทียมที่สะท้อนพื้นผิวนอกข้างเสาอากาศก่อนที่จะเดินทางเข้าเครื่องรับสัญญาณ โดยทั่วไปสัญญาณดาวเทียมที่ส่งจากดาวเทียมที่อยู่ในระดับต่ำกว่าจะมีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถีมากกว่าดาวเทียมที่อยู่ในระดับสูง ..... 31



..... 31

จากหัวข้อ 2.2.1 ค่าที่วัดได้จากดาวเทียมจีพีเอสนั้นมีสองชนิด คือ ชูโดเรนจ์และเฟสของคลื่น  
 ส่งการเกิดคลื่นหลายวิถีนั้น เกิดขึ้นกับข้อมูลทั้งสองประเภท ดังต่อไปนี้..... 32

2.4.1 คลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชูโดเรนจ์ (Multipath on Pseudorange)..... 32

อิทธิพลของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในชูโดเรนจ์นั้นจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่เนื่องจากข้อมูลชูโด  
 เรนจ์มีความยาวคลื่นที่ยาว ในกรณีที่มีข้อมูลจีพีเอสที่ได้จากเครื่องรับแบบสองความถี่ เรา  
 สามารถหาขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชูโดเรนจ์ได้จากความสัมพันธ์ดังนี้  
 (Rizos, 1997)..... 32

2.4.2 คลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Multipath on Carrier Phase)..... 33

4) สำหรับการคำนวณหาตำแหน่งแบบจลน์ (Kinematic Position) อิทธิพลของคลื่นหลายวิธีนั้นจะส่งผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าการรังวัดแบบสถิต ขนาดของคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสจะแสดงให้เห็นได้จากลักษณะของค่าเศษเหลือที่ได้จากค่าต่างแบบ DoubleDifference จากการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least-Squares) เนื่องจากการรังวัดแบบสถิตของเส้นฐานสั้นๆ ด้วยวิธีการหาค่าต่างแบบ Double Difference จะสามารถลดขนาดของค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิดออกไปได้ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่นในชั้นบรรยากาศ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของเครื่องรับ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของดาวเทียม และค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรของดาวเทียม ดังนั้นค่าเศษเหลือของค่าต่างแบบ DoubleDifference ที่ได้จากการปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด จึงสะท้อนให้เห็นลักษณะของคลื่นหลายวิธีและสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสของคลื่นส่งอิทธิพลของคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสของคลื่นส่งจะมีผลต่อความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเฟส L1 ไม่เกิน 5 เซนติเมตร (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger et al. 2012) ดังนั้นในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียมครั้งนี้จึงทำการศึกษาลักษณะของคลื่นหลายวิธีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่ง ..... 34

2.5 ส่วนคลื่นหลุด(Cycle Slips)..... 34

นั้นเกิดจากการที่เครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจับคลื่นสัญญาณจากดาวเทียมได้ภายใต้สภาพการรับสัญญาณที่เป็นปกติ ซึ่งจะพบบ่อยในการทำงานจริง แต่สามารถลดจำนวนคลื่นหลุดได้โดยการยืนห่างจากเสาอากาศหรือพยายามไม่ให้มีวัตถุใดๆมาเกิดขวางสัญญาณดาวเทียมโดยรอบเสาอากาศ การเกิดคลื่นหลุดอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ลักษณะกายภาพของเครื่องกีดขวางของสัญญาณดาวเทียม ค่า Signal to Noise Ratio ต่ำ ประจุบนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรืออาจรวมถึงความผิดปกติของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม การปรับปรุงคลื่นหลุดมีอัลกอริทึมหลายรูปแบบที่ถูกเผยแพร่ แต่ในงานวิจัยนี้จะนำเสนออัลกอริทึมของ (Blewitt 1990) ที่ใช้ wide-lane code and phase linear combination เราสามารถหาคลื่นหลุดได้จากความสัมพันธ์ดังนี้..... 34

2.6 หลักการหาตำแหน่ง (Positioning Concept)..... 35

2.6.1 การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning)..... 35

2.6.2 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)..... 36

2.7 แนวคิดของการหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูง(Precise Point Positioning, PPP).... 37

2.7.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรดาวเทียม (Satellite orbit error)..... 38

ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมมีสาเหตุมาจากวงโคจรดาวเทียมที่มาจากข้อมูลดาวเทียมในสัญญาณที่รับได้นั้นเป็นวงโคจรที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้า โดยอาศัยรูปจำลองของแรงต่างๆ ที่กระทำต่อดาวเทียม รูปจำลองที่ใช้อาจจะไม่ถูกต้องหรือไม่ละเอียดเพียงพอเมื่อเทียบกับแรงจริงๆ ที่กระทำต่อดาวเทียมในขณะที่ทำการวัด ดังนั้นตำแหน่งของดาวเทียมจากอีพีเมอร์ซิสดาวเทียมที่ส่งกระจายลงมาพร้อมสัญญาณดาวเทียมนั้นจึงไม่ถูกต้อง..... 38

แนวทางการแก้ไข :เราสามารถลดความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมได้โดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่คำนวณหาได้หลังจากที่ดาวเทียมนั้นได้โคจรผ่านตำแหน่งนั้นๆ แล้ว โดยข้อมูลดังกล่าวถูกจัดทำโดยหน่วยงาน IGS และข้อมูลดังกล่าวก็สามารถดาวน์โหลดได้จากอินเทอร์เน็ตโดยหน่วยงานที่ชื่อว่า International GPS Service (IGS) ได้คอยจัดเตรียมข้อมูลดังกล่าวให้เรา ดาวนิโกลด์ได้บนอินเทอร์เน็ตโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆรูปที่ 9 แสดงถึงรายละเอียดข้อมูลที่ให้บริการและระยะเวลาที่เราสามารถเข้าไปดาวนิโกลด์ข้อมูลหลังจากเวลาที่เรทำการรับวัด (สำหรับ broadcast ephemeris แสดงให้เห็นรายละเอียดเพื่อใช้เปรียบเทียบเท่านั้น)..... 38

GPS Satellite Ephemerides / Satellite and Station Clocks		Sample Interval	Accuracy	Latency	Continuity	Availability
Broadcast (for comparison)	Orbits	1s	~100 cm	real time	Continuous	99.99%
	Sat. Clocks		~5 ns RMS; ~2.5 ns Sdev			
Ultra-Rapid (predicted half)	Orbits	15 min	~5 cm	predicted	4x daily, at 03, 09, 15, 21 UTC	95%
	Sat. Clocks		~3 ns RMS; ~1.5 ns Sdev			
Ultra-Rapid (observed half)	Orbits	15 min	~3 cm	3-9 hours	4x daily, at 03, 09, 15, 21 UTC	95%
	Sat. Clocks		~150 ps RMS; ~50 ps Sdev			
Rapid	Orbits	15 min	~2.5 cm	17-41 hours	daily, at 17 UTC	95%
	Sat. & Stn. Clocks	5 min	~75 ps RMS; ~25 ps Sdev			
Final	Orbits	15 min	~2 cm	12-18 days	weekly, every Thursday	99%
	Sat. & Stn. Clocks	Sat: 30 s; Stn.: 5 min	75 ps RMS; 20 ps Sdev			
Real-time	Orbits	5-60 s	~5 cm	25 seconds	Continuous	95%
	Sat. Clocks	5 s	300 ps RMS; 120 ps Sdev			

..... 38

2.7.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม (Satellite clock error)..... 39

ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมจะเกิดจากการเทียบเวลา และความถี่มาตรฐานที่  
แตกต่างกัน โดยข้อมูลความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ในข้อมูล  
ดาวเทียมที่ส่งลงมากับสัญญาณซึ่ง เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าจากสถานีควบคุม  
หลักเช่นเดียวกับวงโคจรดาวเทียม ..... 39

แนวทางการแก้ไข:โดยเราสามารถลดความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมได้จากข้อมูล  
ของหน่วยงาน IGS เช่นเดียวกับความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม ..... 39

2.7.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาของเครื่องรับสัญญาณ (Receiver clock error)..... 39

จะเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดเนื่องจากนาฬิกาที่อยู่ในตัวเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพราะเป็น  
แค่นาฬิกาธรรมดาทั่วไป ที่ทำจากควอตซ์ ที่มีความถูกต้องไม่สูงมากนัก ทำให้การจับเวลา  
มีความคลาดเคลื่อนไป ..... 39

แนวทางแก้ไข:สามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนตัวนี้ได้โดยการกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบ  
ค่าตัวหนึ่งในสมการ ..... 39

2.7.4 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการล่าช้าของสัญญาณในชั้นบรรยากาศ ..... 39

ไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay)..... 39

2.7.5 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Thoposhere delay) ..... 40

การหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger et al.  
2012) สามารถเขียนสมการได้ ดังนี้..... 41

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 43

วิธีดำเนินงานวิจัยการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้ง  
โครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง จะประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้ ..... 43

3.1 ขั้นตอนที่ 1 องค์ประกอบในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ..... 43

3.2 ขั้นตอนที่ 2 ข้อมูลในงานวิจัย..... 43

3.3 ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ..... 46

โปรแกรม TEQC (Translate Edit and Quality Checking) คือ โปรแกรมหลักในงานวิจัย สำหรับวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียมGNSSเพื่อใช้ศึกษาถึงผลกระทบ จากความคลาดเคลื่อนต่างๆ ในสัญญาณดาวเทียม GNSS ถูกพัฒนาขึ้นโดย Lou Estey and Stuart Wier จาก UNAVCO (University NAVSTAR Consortium) เป็นโปรแกรม ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการดอส (DOS) (Estey and Meertens 1999) ดังรูปที่ 13 .....	46
3.4 ขั้นตอนที่ 4 เกณฑ์มาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทต่างๆ.....	47
นำผลที่ได้ในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จากโปรแกรม TEQC ของพื้นที่ทดสอบ จำนวน 18 หมู่ของกรมแผนที่ทหารเปรียบเทียบกับค่า มาตรฐาน ในตารางที่ 2 สำหรับการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภท ต่างๆ .....	47
3.4.1 เกณฑ์ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 1 .....	48
3.4.2 เกณฑ์ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 2 .....	48
3.4.3 เกณฑ์ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 3 .....	48
3.4.4 เกณฑ์ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 4 .....	48
3.5 ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในรูปแบบกราฟ..	48
3.6 ขั้นตอนที่ 6 การประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูง.....	49
การประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งละเอียดสูง(Precise Point Positioning:PPP) จากโปรแกรม PANDA และค่าหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนจากการ วิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS กับค่าทางสถิติจากการ ประมวลผลแบบ PPP.....	49

โปรแกรม PANDA คือ โปรแกรมประมวลผลหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning:PPP) ได้รับการพัฒนา โดย Wuhan Univeristy เป็นการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบGNSS แบบจุดเดี่ยว ด้วยการใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise orbits) และค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise satellite clock corrections) โดยสามารถประมวลผลข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียวและแบบสองความถี่แบบสถิต (Static mode) สามารถแสดงค่าพิกัดได้ ในระบบพื้นหลักฐานอ้างอิงInternational Terrestrial Reference Frame (ITRF) ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ในทางราบจะต่ำกว่า 1 เซนติเมตร เทียบเท่าโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ เช่นโปรแกรม GIPSY OASIS II เป็นต้น เมื่อทำการรังวัดแบบสถิต ด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยข้อมูลการรังวัด (GPS rawobservation data) ที่ประมวลผลจะอยู่ในรูปแบบ RINEX (Receiver Independent EXchange format)..... 49

จุดประสงค์ สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ โปรแกรม PANDA เป็นโปรแกรมที่ประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในจุดทดสอบ และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS กับค่าทางสถิติ (Root Mean Square Error) จากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ..... 49

บทที่ 4 การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล..... 50

    4.1 ขั้นตอนการประมวลผล ..... 50

    4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ..... 55

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย..... 63

จากการวิจัยหัวข้อ เทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณ GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง จะแบ่งออกเป็น ผลการศึกษาข้อเสนอนี้ ซึ่งสามารถสรุปงานวิจัยได้ดังนี้ ..... 63

    5.1 ผลการวิจัย ..... 63

    5.2 ข้อเสนอแนะ..... 66

รายการอ้างอิง ..... 68

ภาคผนวก ก. ตารางแสดงสถานที่ตั้งพื้นที่จุดทดสอบ โครงข่ายอ้างอิงและหลักของกรมแผนที่ ทหาร จุดอ้างอิง (IGS NETWORK) และประเภทของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง.....	71
ภาคผนวก ข. ตารางแสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS รูปแบบกราฟ จากโปรแกรม QC2SKY.....	80
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	86





## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง.....	23
ตารางที่ 2 รายละเอียดเกณฑ์มาตรฐาน ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทต่างๆ .....	48
ตารางที่ 3 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จาก โปรแกรม TEQC จำนวน 18 หมู่ ของกรมแผนที่ทหาร ใช้ข้อมูลทดสอบ 24 ชม.....	52
ตารางที่ 4 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จาก โปรแกรม TEQC จำนวน 18 หมู่ ของกรมแผนที่ทหาร ใช้ข้อมูล 48 ชม.....	53
ตารางที่ 5 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จาก โปรแกรม TEQC จำนวน 5 สถานี ของ IGS ใช้ข้อมูลทดสอบ 24 และ 48 ชม.....	54
ตารางที่ 6 ผลลัพธ์ของการประมวลผลหาความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (PPP) โปรแกรม PANDA จำนวน 18 หมู่ ของกรมแผนที่ทหาร .....	55
ตารางที่ 7 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้ง สถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 3 จำนวน 18 หมู่ ของกรมแผนที่ทหาร .....	56
ตารางที่ 8 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้ง สถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 4 จำนวน 18 หมู่ ของกรมแผนที่ทหาร .....	57
ตารางที่ 9 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้ง สถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 1 จำนวน 18 หมู่ ของกรมแผนที่ทหาร.....	58
ตารางที่ 10 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้ง สถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 2 จำนวน 18 หมู่ ของกรมแผนที่ทหาร.....	59
ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน กับ ค่าสถิติจากการประมวลผลหาค่า ความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวละเอียดสูง จำนวน 18 หมู่ ของกรมแผนที่ทหาร.....	62
ตารางที่ 12 สรุปผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS โคจรข่ายจำนวน 18 หมู่ ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง.....	65

## สารบัญรูป

รูปที่ 1 พื้นที่ตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่องของแต่ละหน่วยงานในประเทศไทย ....	22
รูปที่ 2 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	25
รูปที่ 3 สถาปัตยกรรมของระบบดาวเทียมนำหน GNSS .....	27
รูปที่ 4 ตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียม GPS .....	28
รูปที่ 5 แสดงการแพร่กระจายของสัญญาณในชั้นบรรยากาศ .....	31
รูปที่ 6 แสดงการเกิดคลื่นหลายวิถี .....	32
รูปที่ 7 แสดงการหาตำแหน่งจุดเดี่ยว.....	37
รูปที่ 8 แสดงการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์.....	38
รูปที่ 9 รายละเอียดการให้บริการข้อมูลวงโคจรดาวเทียมของหน่วยงาน IGS.....	39
รูปที่ 10 อุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Leica.....	45
รูปที่ 11 อุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Trimble 5700.....	46
รูปที่ 12 อุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Trimble 5800.....	46
รูปที่ 13 การทำงานของโปรแกรม TEQC ทำงานบนระบบปฏิบัติการดอส.....	47
รูปที่ 14 แผนผังการทำงานหลักของโปรแกรม TEQC.....	47
รูปที่ 15 แสดงการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม GNSS ในรูปแบบกราฟ จากโปรแกรม QC2SKY ของจังหวัด ปัตตานี.....	60
รูปที่ 16 แสดงการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม GNSS ในรูปแบบกราฟ จากโปรแกรม QC2SKY ของจังหวัด กาญจนบุรี.....	61

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ได้เข้ามามีบทบาทในงานสำรวจมากขึ้น เช่น การทำแผนที่ งานผังเมือง การวางแผนบริหารจัดการ การติดตามการบิดเบี้ยวของตัวอาคาร การติดตามการเกิดแผ่นดินไหว การพยากรณ์อากาศ และ โดยเฉพาะงานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งสูง เช่น งานโครงข่ายหมุดควบคุมระดับประเทศและการติดตามการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก เป็นต้น ดังนั้นหลายประเทศจึงให้ความสำคัญได้มีการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมGNSS แบบต่อเนื่องขึ้นมากมาย เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ก่อตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องมากกว่า 160 สถานี ประเทศอังกฤษ ที่ก่อตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องมากกว่า 60 สถานี และประเทศญี่ปุ่น ที่ก่อตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องมากกว่า 1300 สถานี เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยได้เริ่มมีการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง (Continuously Operating Reference Station: CORS) ตั้งแต่ ปี 1996 โดยกรมโยธาธิการและผังเมือง (Department of Public Works and Town & Country Planning : DPT) เป็นโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องที่ประกอบไปด้วย 11 สถานีครอบคลุมประเทศไทย ต่อมาในปี 2005 กรมแผนที่ทหาร (the Royal Thai Survey Department : RTSD) ได้จัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่องขึ้นที่ดาตฟ้า โรงเรียนแผนที่ทหาร กรมแผนที่ทหาร โดยมีชื่อสถานีว่า RTSD นอกจากนั้น ได้มีหน่วยงาน the National Institute of Information and Communications Technology (NICT) ของประเทศญี่ปุ่นได้จัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่องขึ้น จำนวน 4 สถานี ในปี 2005 และกรมอุตุนิยมวิทยา (The Thai Meteorological Department : TMD) ก็ได้จัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่องขึ้น จำนวน 5 สถานี เพื่อเตือนภัยที่จะเกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวและสึนามิ ซึ่งการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแล้วเสร็จในปี 2007 จากนั้นในปี 2008 กรมที่ดิน ( the Department of Lands : DOL) เป็นหน่วยงานแรกของ

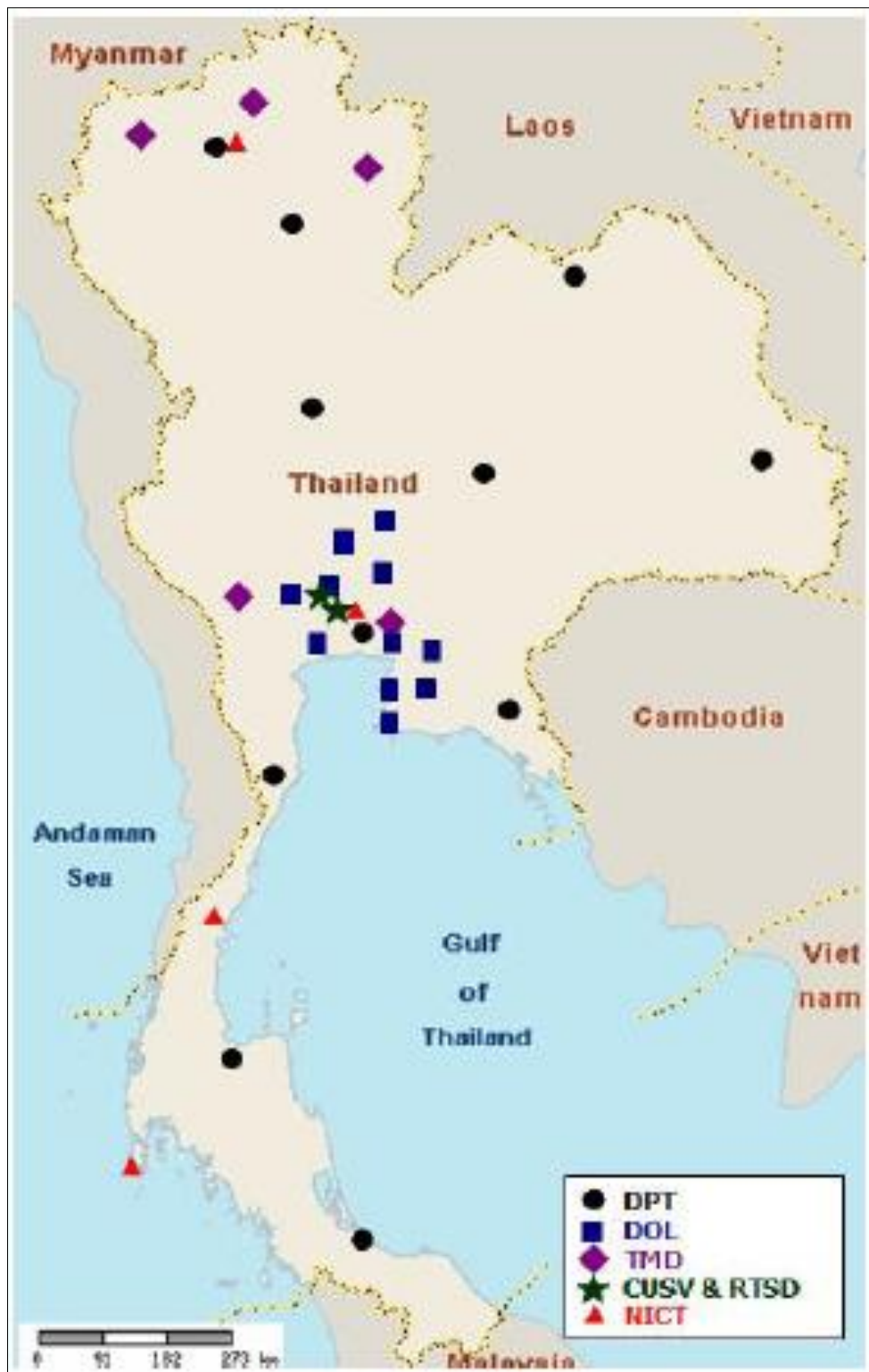
ประเทศไทยที่ใช้ระบบการสำรวจที่เรียกว่า Real Time Kinematic (N-RTK) ซึ่งในปัจจุบันระบบนี้ประกอบไปด้วยสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง จำนวน 11 สถานี และในปี 2008 การสนับสนุนจาก JPL และ UNAVCO ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่องในประเทศไทย โดยใช้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นสถานที่จัดตั้งและเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง IGS หนึ่งเดียวในประเทศไทย โดยมีชื่อสถานีว่า CUSV ดังแสดงในรูปที่ 1

แต่เนื่องจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง เป็นการรังวัดสัญญาณระบบดาวเทียม ที่สามารถปฏิบัติงานได้ทุกสภาพอากาศและทุกสภาพพื้นที่และยังให้ค่าที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งสูง อย่างไรก็ตามข้อมูลที่รังวัดด้วยระบบดาวเทียมอาจมีความคลาดเคลื่อนปนอยู่ เช่น ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม เป็นต้น แต่ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสามารถขจัดออกไปด้วยการใช้เทคนิคการหาค่าต่าง อย่างไรก็ตามงานรังวัดสัญญาณระบบดาวเทียมยังมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพรวมอยู่ด้วยที่เกิดจาก สถานีที่ตั้งสภาพแวดล้อม สิ่งกีดขวาง เป็นต้น ซึ่งข้อจำกัดทางด้านกายภาพทำให้มีพื้นผิวสะท้อนคลื่นอยู่รอบข้างเสาอากาศ ลักษณะของพื้นผิวสะท้อนอาจอยู่ในแนวราบ แนวตั้ง หรือแนวเอียง เช่น ผนังตึก ผิวถนน ผิวน้ำ เป็นต้น ข้อจำกัดดังกล่าวนี้ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่เรียกว่า คลื่นหลายวิถี ซึ่งมีอิทธิพลต่อความถูกต้องทางตำแหน่ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้อมูลสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องและยังมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการที่เครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจับคลื่นสัญญาณจากดาวเทียมได้ภายใต้สภาพการรับสัญญาณที่เป็นปกติ ซึ่งจะพบบ่อยในการทำงานจริง แต่สามารถลดจำนวนคลื่นหลุดได้โดยการยื่นห่างจากเสาอากาศหรือพยายามไม่ให้มีวัตถุใดๆมาเกิดขวางสัญญาณดาวเทียมโดยรอบเสาอากาศ การเกิดคลื่นหลุดอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ลักษณะกายภาพของเครื่องกีดขวางของสัญญาณดาวเทียม ค่า Signal to Noise Ratio ต่ำ ประจุบนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรืออาจรวมถึงความผิดปกติของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ในปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สามารถเพิ่มระดับความเชื่อมั่นในการเลือกพื้นที่ที่จะจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง เช่น การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพ

สัญญาณดาวเทียม GNSS จากสถานี IGS เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีที่เกิดจากการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมกับความถูกต้องทางตำแหน่ง ในประเทศไต้หวัน (Yeh, Hung et al.) ,การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพข้อมูลจากโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง ในเมืองจิลิน ของประเทศจีนและการวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณดาวเทียมระหว่าง GPS กับ GLONASS และความสัมพัทธ์ที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวจากเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน(Cai, Gao et al. 2014), การติดตามความสมบูรณ์ของข้อมูลจากโครงข่ายสถานีรับสัญญาณแบบต่อเนื่อง ISKANDARnet (Cai, Gao et al. 2014), การเปรียบเทียบพฤติกรรมของค่าพิกัดจากการประมวลผลหาค่าพิกัดจุดเดี่ยวความละเอียดถูกต้องสูงระหว่างโปรแกรมวิทยาศาสตร์กับการให้บริการประมวลผลแบบออนไลน์ (Krzan, Dawidowicz et al. 2014) เป็นต้น แต่เนื่องจากการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ต้องอาศัยองค์ประกอบหลายองค์ประกอบในการจัดตั้งสถานี เพื่อให้สามารถรับสัญญาณที่ดีสำหรับการคำนวณค่าแก้ไขกับ Real Time Network (RTN) ต่อไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง เพื่อหาความคลาดเคลื่อน ที่เป็นสาเหตุหลักทำให้คุณภาพสัญญาณดาวเทียมกับค่าความถูกต้องทางตำแหน่งลดลงไป ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยมาจากโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงและหลัก ของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 18 หมุด อัตราการบันทึกข้อมูลทุก 15 วินาที คาบการรับวัด 24 ชม.ระยะเวลา 7 วันต่อเนื่อง มุมกั้นฟ้าที่ 10 องศา โดยอาศัยโปรแกรม Translate Edit Quality Checking (TEQC) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Lou Estey and Stuart Wier จาก University NAVSTAR Consortium (UNAVCO) เทียบกับมาตรฐานของ International GNSS Service (IGS) ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มระดับความเชื่อมั่นในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง



รูปที่ 1 พื้นที่ตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่องของแต่ละหน่วยงานในประเทศไทย  
(Rizos and Satirapod 2010)

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาวิธีการหรือเทคนิคในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง
2. เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เกิดจากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS กับค่าทางสถิติจากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจุดเดี่ยวละเอียดสูง (Precise Point Positioning:PPP)
3. เพื่อศึกษาเป็นแนวทางปฏิบัติในการคัดเลือกความเหมาะสมในการเลือกพื้นที่การจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

### 1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

#### 1) องค์ประกอบในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ตามมาตรฐานทั่วไปในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง มีหลักการพิจารณาองค์ประกอบหลายด้าน ดังตารางที่ 1

#### ตารางที่ 1 องค์ประกอบในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

(Dow, Neilan et al. 2005)

องค์ประกอบที่ 1 Pre-installation Data Quality Assessment
องค์ประกอบที่ 2 Signal Quality
องค์ประกอบที่ 3 Authorisation to Build
องค์ประกอบที่ 4 Site Access
องค์ประกอบที่ 5 Site Security
องค์ประกอบที่ 6 Site Stability
องค์ประกอบที่ 7 Occupational Health and Safety
องค์ประกอบที่ 8 Power and Communications
องค์ประกอบที่ 9 Standardisation
องค์ประกอบที่ 10 Redundancy
องค์ประกอบที่ 11 Site Maintenance

ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้เน้นที่การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS (Pre-installation Data Quality Assessment) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการพิจารณาสำหรับการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

### 1.3.2 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

#### 1) โปรแกรม TEQC

เป็นโปรแกรมหลักในงานวิจัย มีหน้าที่ 3 ส่วนดังนี้ คือ แปลงข้อมูลรังวัด เพิ่มลดข้อมูลรังวัดและวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS

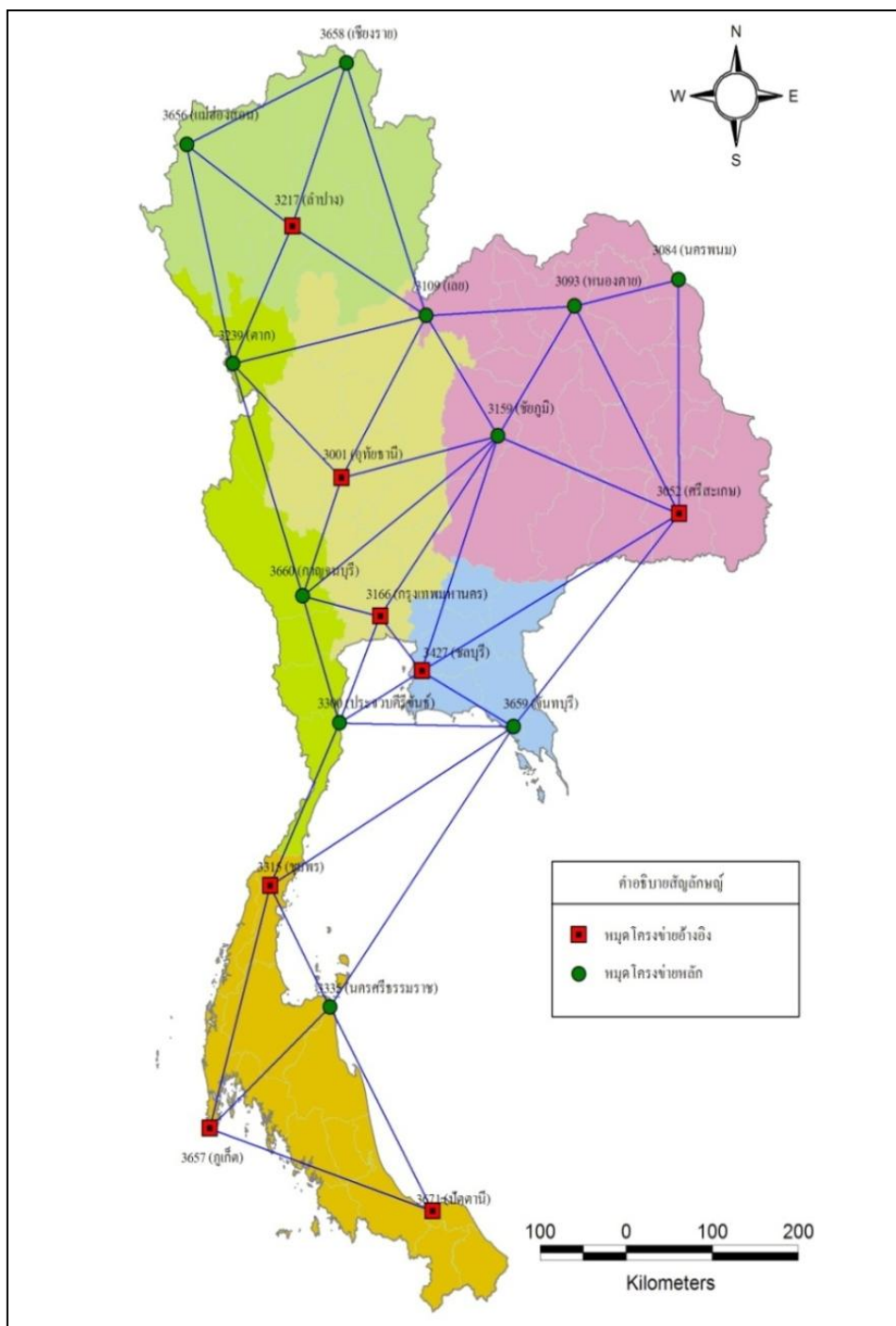
#### 2) โปรแกรม PANDA

ในงานวิจัยนี้ มีหน้าที่ประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจุดเดี่ยวละเอียดสูง (Precise Point Positioning:PPP) และหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับค่าสถิติ

### 1.3.3 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาคือ เป็นข้อมูลการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS ในโครงข่ายอ้างอิงและหลัก จำนวน 18 หมุด แบ่งเป็นหมุดในโครงข่ายอ้างอิง จำนวน 7 หมุดและหมุดในโครงข่ายหลัก จำนวน 11 หมุด ข้อมูลจากชุดปฏิบัติงานสนามรังวัดโครงข่ายดาวเทียม GPS ปีที่ทำการสำรวจ 2556 ของกรมแผนที่ทหาร อัตราการบันทึกข้อมูลทุก 15 วินาที คาบการรังวัด 24 ชม.ระยะเวลา 7 วันต่อเนื่อง มุมกันฟ้าที่ 10 องศา ดังแสดงในรูป 2





รูปที่ 2 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษา ประกอบไปด้วย หมุดในโครงข่ายอ้างอิงและหลัก จำนวน 18 หมุด ของกรมแผนที่ทหาร อัตราการบันทึกข้อมูลทุก 15 วินาที คาบการรังวัด 24 ชม.ระยะเวลา 7 วันต่อเนื่อง มุมกันฟ้าที่ 10 องศา

#### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 รวบรวมข้อมูล จัดเตรียมและตรวจสอบข้อมูลรังวัดสัญญาณดาวเทียม

1.4.3 ขั้นตอนการประมวลผล

1.4.4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.4.5 เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบถึงวิธีการหรือเทคนิคในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

1.5.2 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ประเภทต่างๆ

1.5.3 เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการคัดเลือกความเหมาะสมในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

1.5.4 ได้ทราบถึงศักยภาพและความสามารถของซอฟต์แวร์ TEQC ในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS

1.5.5 ได้ทราบถึงศักยภาพและความสามารถของซอฟต์แวร์ TEQC ในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS

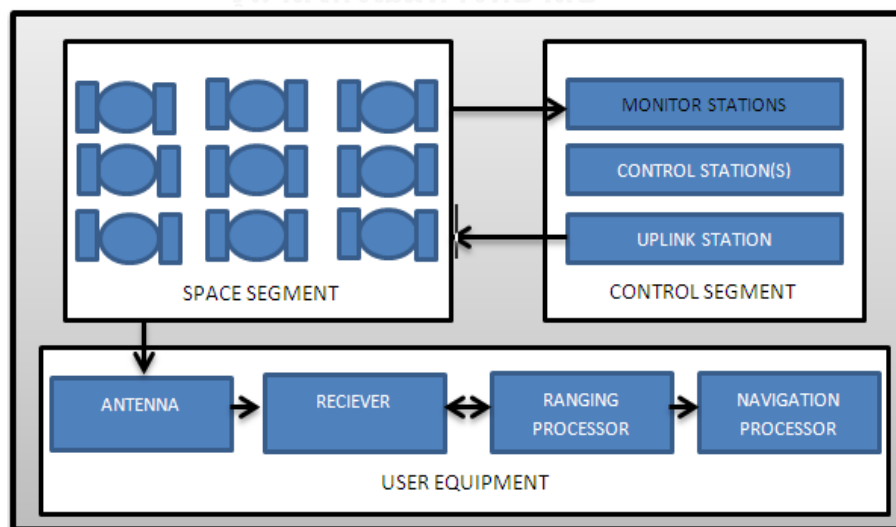
1.5.6 ใช้เป็นแนวทางและเพิ่มความเชื่อมั่นสำหรับการพัฒนาโครงการจัดตั้งโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบนำหน้ด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียม (Navigation Satellite System, NSS)

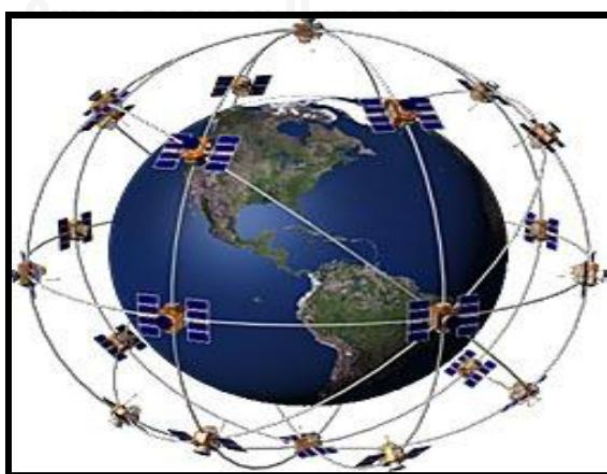
การหาค่าพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณดาวเทียมได้เป็นที่รู้จักและมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการสำรวจรังวัดแบบเดิม นั่นคือสามารถทำงานได้ทั้งกลางวันและกลางคืนตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่ขึ้น กับสถานที่และสภาพอากาศ มีความสะดวกในการทำงานเนื่องจากไม่จำเป็นต้องเลือกตำแหน่งหมุดให้มองเห็นกัน อีกทั้งไม่เสียค่าใช้จ่ายในการรับสัญญาณดาวเทียมมีแต่เพียงค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีทางการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จนได้มีการกำหนดคำเฉพาะขึ้น มาที่มีชื่อว่า Global Navigation Satellite Systems หรือเรียกโดยย่อว่า GNSS โดยเป็นคำที่ใช้แทนระบบการหาพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียม ที่ประกอบด้วยดาวเทียมหลายระบบรวมกัน (โดยปกติหมายถึง ต้องมีอย่างน้อย 2 ระบบขึ้นไป) ได้แก่ ระบบดาวเทียม GPS ของสหรัฐอเมริกา ระบบดาวเทียม GLONASS ของรัสเซีย ระบบดาวเทียม Galileo ของสหภาพยุโรป ระบบดาวเทียม Beidou (หรือ Compass) ของประเทศจีน ระบบดาวเทียม IRNSS ของอินเดีย ระบบดาวเทียม DORIS ของฝรั่งเศส ระบบดาวเทียม QZSS ของญี่ปุ่น ซึ่งทุกระบบจะมีส่วนประกอบพื้นฐาน 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนอวกาศ(Space segment) ส่วนควบคุม (Control segment) และส่วนผู้ใช้ (User segment) (Hofmann, Lichtenegger et al. 2008) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สถาปัตยกรรมของระบบดาวเทียมนำหน้ GNSS

## 2.2 ระบบดาวเทียม GPS

ระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System, GPS) เป็นระบบที่ใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณดาวเทียม GPS ถูกพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหม (The United States Department of Defense, DoD) ประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 เพื่อประโยชน์ทางการทหารและหน่วยงานราชการของสหรัฐอเมริกา โดยให้การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุลงมายังพื้นโลก เมื่อเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รับสัญญาณจากดาวเทียมได้แล้วจะนำเอาข้อมูลต่างๆ ที่ได้ไปประมวลผลหาตำแหน่งที่ต้องการระบบดาวเทียม GPS ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนอวกาศ ส่วนควบคุม และส่วนผู้ใช้ โดยส่วนควบคุมจะมีสถานีติดตามภาคพื้นดินที่กระจายอยู่บนพื้นโลกเพื่อคอยติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ซึ่งทำให้สามารถคำนวณวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมที่ช่วงเวลาต่างๆ ได้ จากนั้น ส่วนควบคุมก็จะทำนายวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมทุกดวงในระบบล่วงหน้าแล้วส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังส่วนอวกาศซึ่งก็คือตัวดาวเทียม ดาวเทียมก็จะทำการส่งข้อมูลเหล่านี้ออกมาพร้อมกับคลื่นวิทยุมายังโลก ในส่วนของผู้ใช้เมื่อต้องการจะทราบตำแหน่งของจุดใดๆ ก็เพียงนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปตั้ง ตรงจุดที่ต้องการหาตำแหน่ง แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลก็จะทราบตำแหน่งที่ต้องการในส่วนอวกาศประกอบด้วยตัวดาวเทียมและสัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียม โดยระบบออกแบบให้มีจำนวนดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวง โคจรอยู่ในวงโคจร 6 ระนาบ แต่ละระนาบมีจำนวนดาวเทียม 4 ดวง โดยทุกระนาบทำมุมกับระนาบศูนย์สูตร 55 องศา และทำมุมระหว่างกัน 60 องศา มีวงโคจรเหนือพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร และมีคาบการโคจรประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที (Leick, Rapoport et al. 2015) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียม GPS

หลักการพื้นฐานของการรังวัดสัญญาณระบบดาวเทียมจีพีเอส จะเป็นการหาค่าพิกัดของจุดที่ต้องการทราบค่า ในงานวิจัยครั้งนี้ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณระบบดาวเทียมกับค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง ดังนั้นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยเป็นข้อมูลจากการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เพื่อใช้คำนวณหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งกับคุณภาพสัญญาณระบบดาวเทียมจีพีเอส มี 2 ชนิด คือ ข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange measurement) และ ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase measurement)

### 2.2.1 ข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange measurement)

ซูโดเรนจ์ คือ ระยะทางที่วัดจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ ในการวัดระยะทางนี้เครื่องรับจะสร้างรหัส PRN (Pseudo Random Noise) ซึ่งใช้ในดาวเทียมขึ้นมาเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้จากการรับสัญญาณ รหัสที่สร้างขึ้นจะเลื่อนไปมาจนกระทั่งมีรหัสสัมพันธ์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้รับ ค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสองคือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุเดินทางจากดาวเทียมในขณะที่รหัสสร้างขึ้นในเครื่องรับ โดยการเอาความเร็วของคลื่นส่งวิทยุคูณกับเวลาจะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ โดยเหตุที่รหัสที่ส่งจากดาวเทียมได้มาจากนาฬิกาของดาวเทียมในขณะที่รหัสที่สร้างขึ้นในเครื่องรับก็ได้มาจากนาฬิกาเครื่องรับ ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของเวลาอันเนื่องมาจากความแตกต่างของนาฬิกาทั้งสองไม่ได้ จึงทำให้ซูโดเรนจ์ที่วัดได้นี้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริง ระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ นอกจากนั้นซูโดเรนจ์ยังมีผลกระทบเนื่องจากการหักเหของคลื่น ในชั้นไอโอโนสเฟียร์และชั้น โทรโพสเฟียร์โดยตรงอีกด้วย โดยมีสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและมีหน่วยเป็นระยะทางดังนี้คือ

$$P(Li) = \rho + c(dt - dT) + d(orb) + d(tro) + d(ion) + \epsilon \quad (1)$$

โดยที่

$P(Li)$  คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\rho$  คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)

$c$  คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

$dt$  คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

$dT$  คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)

$d(orb)$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)

$d(tro)$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)

$d(ion)$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง Li

$\epsilon$  คือ ความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ เช่น คลื่นหลายวิถี สัญญาณรบกวน (เมตร)

### 2.2.2 ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase measurement)

การวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับเป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมา กับเฟสของคลื่นความถี่  $f_0$  ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานั้นแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) กับส่วนที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) ในการรับสัญญาณนั้นเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่ส่งลงมา จำนวนเต็มรอบสามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยจำนวนเต็มนี้มีชื่อเรียกว่า Ambiguity หรือ เลขปริศนา โดยสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสคือ

$$\phi(Li) = \rho + c(dt - dT) + d(orb) + d(tro) - d(ion) + \lambda i \times Ni + \epsilon \quad (2)$$

โดยที่

$\phi(Li)$  คือ ชูโตเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\rho$  คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)

$c$  คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

$dt$  คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

$dT$  คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)

$d(orb)$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)

$d(tro)$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)

$d(ion)$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\lambda i$  คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง Li (เมตร)

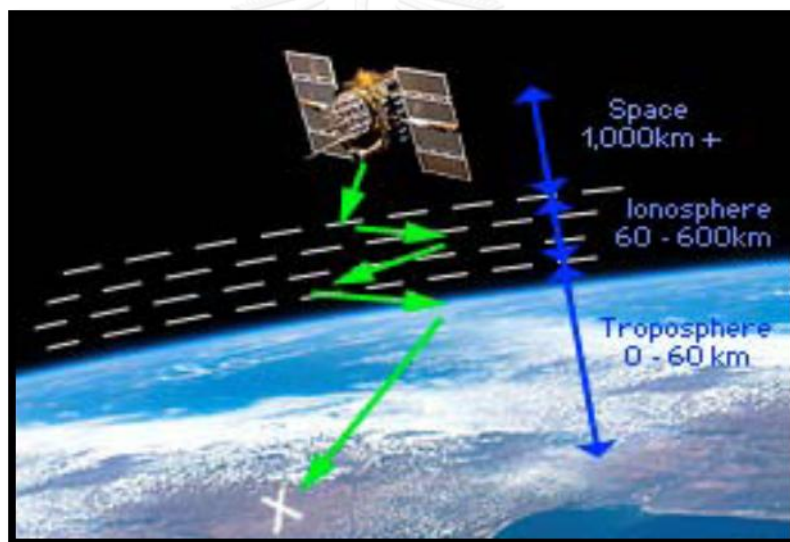
$Ni$  คือ Ambiguity หรือ เลขปริศนา ของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\epsilon$  คือ ความคลาดเคลื่อนอื่นๆ เช่น คลื่นหลายวิถี สัญญาณรบกวน (เมตร) เป็นต้น

## 2.3 ค่าความคลาดเคลื่อนในการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS

ในงานรังวัดด้วยระบบสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจพิจารณาได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1) กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากวงโคจรและความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม
- 2) กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนของการหักเหในชั้นบรรยากาศ การเกิดคลื่นหลายวิถี และการเกิดคลื่นหลุด
- 3) กลุ่มสุดท้ายเกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณเช่นนาฬิกาเครื่องรับ และสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ



รูปที่ 5 แสดงการแพร่กระจายของสัญญาณในชั้นบรรยากาศ

ลักษณะการแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณในชั้นบรรยากาศสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 5 จากรูปแสดงให้เห็นถึงการเดินทางของคลื่นสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมจีพีเอส ก่อนจะมาถึงเครื่องรับสัญญาณซึ่งมีการหักเหของสัญญาณเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นทำการศึกษาลักษณะการเกิดคลื่นหลายวิถี(Multi-Path)และคลื่นหลุด(Cycle slip)ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณดาวเทียมและค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง สำหรับการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียมในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง ดังนั้นจึงขอกกล่าวถึง

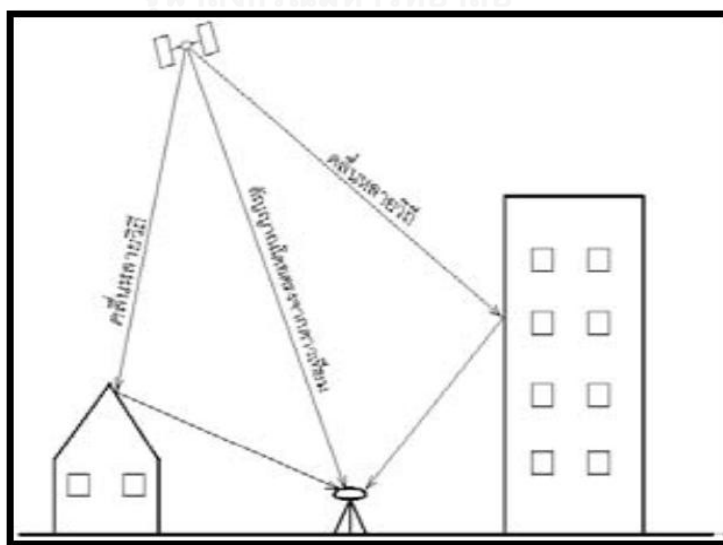
ค่าคลาดเคลื่อนที่การเกิดคลื่นหลายวิถี(Multi-Path)และคลื่นหลุด(Cycle slip)โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 2.4 คลื่นหลายวิถี (Multipath)

คลื่นหลายวิถีหมายถึงการแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อนบนพื้นผิวตั้งแต่หนึ่งครั้งขึ้นไป พื้นผิวที่สะท้อนอาจอยู่ในแนวตั้ง ราบ หรือเอียง เช่น ผังตึก ถนน ผิวหน้า หรือยานพาหนะเป็นต้น ลักษณะของการเกิดคลื่นหลายวิถีสามารถจำแนกออกเป็น 3 ลักษณะคือ

- 1) แพร่กระจายจากพื้นผิวในบริเวณกว้างเช่น สัญญาณที่เดินทางผ่านกลุ่มวัสดุที่ทำจากโลหะ (Metallic)
- 2) การสะท้อนแบบกระจกเงาจากพื้นผิววัตถุที่อยู่ใกล้เสาอากาศ
- 3) การขึ้นลงของความถี่ต่ำมากๆอันสืบเนื่องมาจากการสะท้อนบนพื้นน้ำ

หรืออาจกล่าวได้ว่าข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสที่มีคลื่นหลายวิธินั้นคือ ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดในขณะที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสรับสัญญาณที่เดินทางจากดาวเทียมโดยตรงและรับสัญญาณดาวเทียมที่สะท้อนพื้นผิวนอกข้างเสาอากาศก่อนที่จะเดินทางเข้าเครื่องรับสัญญาณ โดยทั่วไปสัญญาณดาวเทียมที่ส่งจากดาวเทียมที่อยู่ในระดับต่ำกว่าจะมีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถีมากกว่าดาวเทียมที่อยู่ในระดับสูง



รูปที่ 6 แสดงการเกิดคลื่นหลายวิถี



ในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงการเกิดคลื่นหลายวิถีซึ่งประกอบไปด้วยแนวทางเดินของสัญญาณที่เดินทางมาเข้าเครื่องรับโดยตรง และสัญญาณที่สะท้อนวัตถุก่อนที่จะเดินทางถึงเครื่องรับ จากหัวข้อ 2.2.1 ค่าที่วัดได้จากดาวเทียมจีพีเอสนั้นมีสองชนิด คือ ซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่งการเกิดคลื่นหลายวิธินั้น เกิดขึ้นกับข้อมูลทั้งสองประเภท ดังต่อไปนี้

#### 2.4.1 คลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์ (Multipath on Pseudorange)

อิทธิพลของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในซูโดเรนจ์นั้นจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากข้อมูลซูโดเรนจ์มีความยาวคลื่นที่ยาว ในกรณีที่มีข้อมูลจีพีเอสที่ได้จากเครื่องรับแบบสองความถี่ เราสามารถหาขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์ได้จากความสัมพันธ์ดังนี้ (Rizos, 1997)

$$MP1 + k1 = P1 - (9525 / 2329) \times \phi1 + (7200 / 2329) \times \phi2 \quad (3)$$

$$k1 = (n1 - 0.9697 \times n2) / 1.2844 \quad (4)$$

เมื่อ

$MP1$  คือ ขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์จากคลื่นส่ง L1

$\phi1$  และ  $\phi2$  คือ ค่าเฟสของคลื่นส่ง L1 และ L2

$n1$  คือ จำนวนลูกคลื่นเต็มลูกของคลื่นส่ง L1

$n2$  คือ จำนวนลูกคลื่นเต็มลูกของคลื่นส่ง L2

$P1$  คือ ซูโดเรนจ์ของคลื่นส่ง L1

$k1$  คือ ฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่และจำนวนลูกคลื่นเต็มลูกหรือเลข

ปริศนาของคลื่นส่ง L1

ตัวแปรต่างๆในสมการข้างต้นมีหน่วยเป็นเมตรและถ้าไม่มีคลื่นหลุดเกิดขึ้นในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ค่าของตัวแปร  $K_1$  จะมีค่าคงที่ จากสมการที่ (3) จะเห็นได้ว่าหากต้องการหาขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์ ( $MP_1$ ) จะต้องขจัดค่า  $K_1$  ออกไปก่อน และจากการศึกษาของ Han และ Rizos พบว่าหากมีข้อมูลซูโดเรนจ์เป็นจำนวนมากหรือใช้ข้อมูลในช่วงเวลายาวนาน ค่า  $K_1$  ในสมการที่ (4) สามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ทางด้านขวามือทั้งหมดจากสมการที่ (3) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า  $K_1$  ที่ได้จากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม

ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในช่วงเวลาอย่างน้อย 12-24 ชั่วโมง เมื่อต้องการหาขนาดของคลื่นหลายวิถี (MP<sub>1</sub>) ณ เวลาใดๆ ดังสมการต่อไปนี้ (Han and Rizos 1997)

$$k1 = \Sigma(MP1 + k1) / (1 / n) \quad (5)$$

$n$  = จำนวนข้อมูลทั้งหมดใน 12-24 ชั่วโมง

ดังนั้นขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดเรดาร์หาได้จากผลต่างของสมการที่ (3) และ (5) ดังแสดงให้เห็นในสมการที่ 6

$$MP1 = P1 - (9525 / 2329) \times \phi1 + (7200 / 2329) \times \phi2 - \Sigma(MP1 + k1) / (1 / n) \quad (6)$$

โดยทั่วไปคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในชุดเรดาร์จะมีขนาดประมาณ 10-20 เมตร แต่ก็อาจเพิ่มขึ้นได้ถึง 100 เมตร ถ้าเสาอากาศถูกวางอยู่ใกล้กับอาคารสูง (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger et al. 2012)

#### 2.4.2 คลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Multipath on Carrier Phase)

สำหรับคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลชุดเรดาร์ ลักษณะเฉพาะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมีดังนี้

- 1) ถ้าในขณะที่รับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสมีคลื่นหลายวิถีเกิดขึ้นอาจส่งผลให้ข้อมูลของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่กำลังรับวัดอยู่จะผิดเพี้ยนไปจากเดิม
- 2) ในกรณีที่เรขาคณิตของดาวเทียมจีพีเอสมีการเปลี่ยนแปลงไปในขณะทำการรับวัดจะส่งผลให้มุมตกกระทบของสัญญาณที่ไปกระทบกับพื้นผิวรอบข้างเสาอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย
- 3) ในกรณีที่ทำการรับวัดแบบสถิตเป็นเวลานานและไม่มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมรอบๆ เสาอากาศ คลื่นหลายวิถีจะเกิดขึ้นเป็นช่วงๆ และจะเกิดขึ้นซ้ำอีกในรอบ 1 วันดาราคติ (Sidereal Day: ใน 1 วันมี 23 ชั่วโมง 56 นาที 4 วินาที) ดังนั้นในทางทฤษฎีค่าเลื่อนเวลา (Time Shift) ของการเกิดคลื่นหลายวิถีในวันถัดไปควรมีค่าประมาณ 236 วินาที

4) สำหรับการคำนวณหาตำแหน่งแบบจลน์ (Kinematic Position) อิทธิพลของคลื่นหลายวิถีนั้นจะส่งผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าการรังวัดแบบสถิต ขนาดของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสจะแสดงให้เห็นได้จากลักษณะของค่าเศษเหลือที่ได้จากค่าต่างแบบ DoubleDifference จากการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least-Squares) เนื่องจากการรังวัดแบบสถิตของเส้นฐานสั้นๆ ด้วยวิธีการหาค่าต่างแบบ Double Difference จะสามารถลดขนาดของค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิดออกไปได้ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่นในชั้นบรรยากาศ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของเครื่องรับ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของดาวเทียม และค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรของดาวเทียม ดังนั้นค่าเศษเหลือของค่าต่างแบบ DoubleDifference ที่ได้จากการปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด จึงสะท้อนให้เห็นลักษณะของคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสของคลื่นส่งอิทธิพลของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นในข้อมูลเฟสของคลื่นส่งจะมีผลต่อความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเฟส L1 ไม่เกิน 5 เซนติเมตร (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger et al. 2012) ดังนั้นในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียมครั้งนี้จึงทำการศึกษาลักษณะของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นกับข้อมูลซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่ง

## 2.5 ส่วนคลื่นหลุด(Cycle Slips)

นั้นเกิดจากการที่เครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจับคลื่นสัญญาณจากดาวเทียมได้ภายใต้สภาพการรับสัญญาณที่เป็นปกติ ซึ่งจะพบบ่อยในการทำงานจริง แต่สามารถลดจำนวนคลื่นหลุดได้โดยการยืนห่างจากเสาอากาศหรือพยายามไม่ให้มีวัตถุใดๆมากีดขวางสัญญาณดาวเทียมโดยรอบเสาอากาศ การเกิดคลื่นหลุดอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ลักษณะกายภาพของเครื่องกีดขวางของสัญญาณดาวเทียม ค่า Signal to Noise Ratio ต่ำ ประจุบนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรืออาจรวมถึงความผิดปกติของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม การปรับปรุงคลื่นหลุดมีอัลกอริทึมหลายรูปแบบที่ถูกเผยแพร่ แต่ในงานวิจัยนี้จะนำเสนออัลกอริทึมของ (Blewitt 1990) ที่ใช้ wide-lane code and phase linear combination เราสามารถหาคลื่นหลุดได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$L\delta = \rho + (I \times f_1 \times f_2) / (f_1^2 - f_2^2) + \lambda\delta \times b\delta ; \lambda\delta = c / (f_1 - f_2) \quad (7)$$

$$P\delta = \rho + (I \times f_1 \times f_2) / (f_1^2 - f_2^2) \quad (8)$$

$$b\delta = (1 / \lambda\delta) \times (L\delta - P\delta) \quad (9)$$

เมื่อ

$L\delta$	คือ wide-lane carrier phase (L1-L2)
$\rho$	คือ Geometric Delay ;รวมทั้งผลกระทบที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนนาฬิกา ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรือผลกระทบอื่นๆ
$I$	คือ ความล่าช้าในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
$f1, f2$	คือ carrier phase frequency (L1-L2)
$c$	คือ ความเร็วแสง
$\lambda\delta$	คือ wide-lane wave length
$b\delta$	คือ wide-lane bias ;รวมทั้ง Cycle Slip

ซึ่งในงานวิจัยการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง การหาค่าคลื่นหลุดเป็นอัตราส่วนระหว่าง  $b\delta$  (wide-lane bias รวมทั้ง Cycle Slip) ที่เกิดขึ้นจากสมการที่ (9) กับข้อมูลรังวัด ดังนั้น การหาค่าคลื่นหลุดจึงนำค่าที่เกิดขึ้นมาหาความสัมพันธ์ดังสมการที่ (10)

$$CSR = 1000 \times (slp / O) \quad (10)$$

เมื่อ

$O$  คือ ข้อมูลรังวัดสัญญาณดาวเทียม

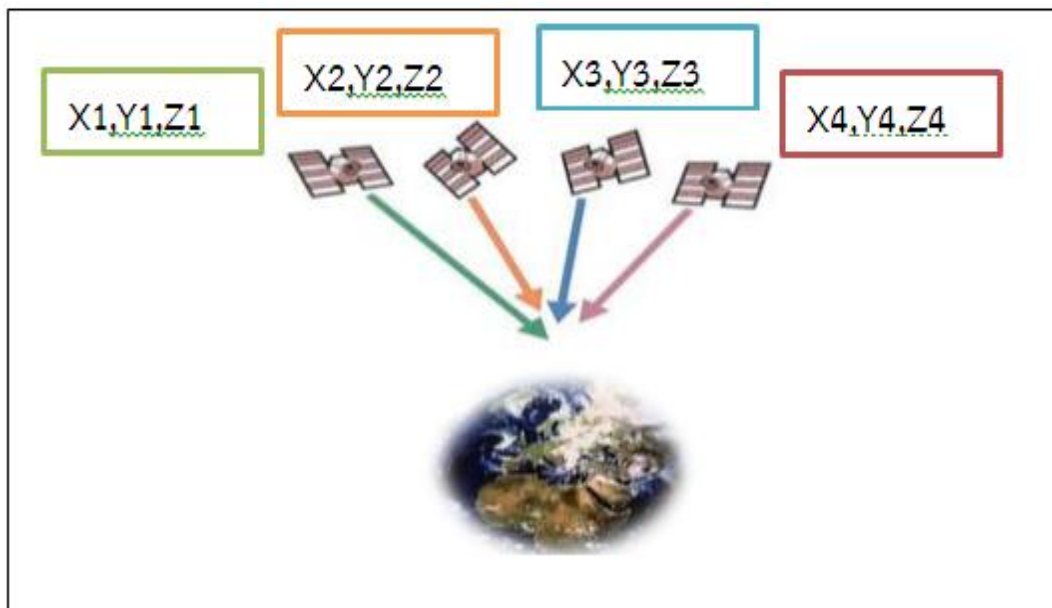
$slp$  คือความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ(กระโดด)

## 2.6 หลักการหาตำแหน่ง (Positioning Concept)

หลักการหาตำแหน่งของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส สามารถแบ่งออกเป็นสองวิธี ดังต่อไปนี้

### 2.6.1 การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning)

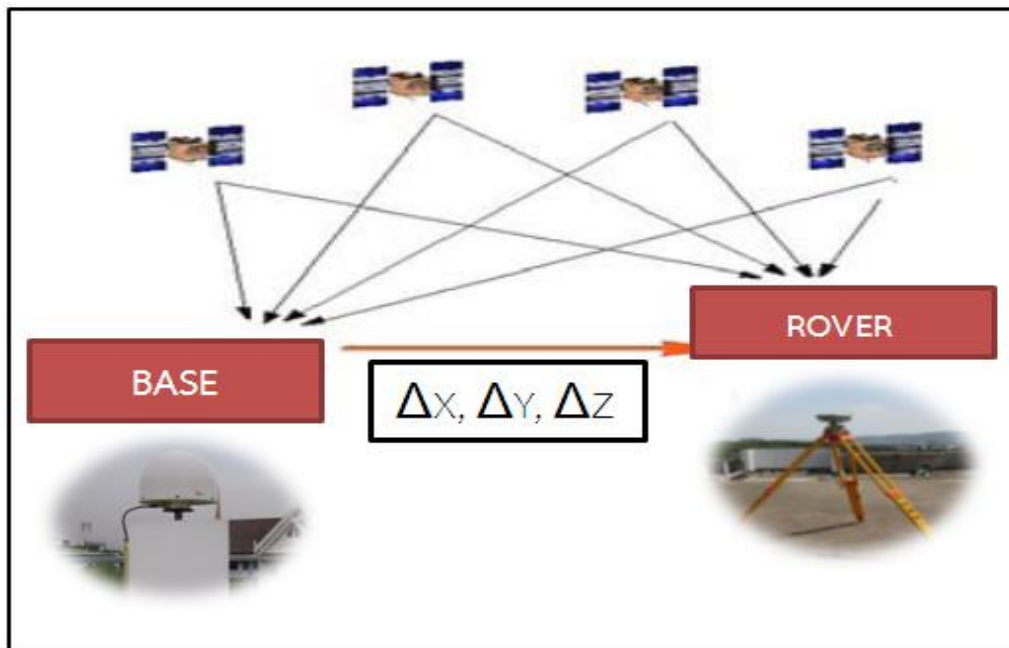
วิธีนี้เป็นการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ของจุดที่นำเครื่องรับสัญญาณไปวาง ดังนั้นจึงต้องการเครื่องรับแบบนำหนเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น เมื่อนำเครื่องรับไปวางบนจุดที่ต้องการหาตำแหน่งและรับสัญญาณดาวเทียมได้ครบ 4 ดวง ก็จะสามารถหาตำแหน่งของจุดนั้นได้ทันที เหตุที่ต้องใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงนั้นเนื่องจากมีตัวไม่ทราบค่า 4 ตัว คือ ค่าพิกัดของจุด 3 ตัว (X,Y,Z) และค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาอีก 1 ตัว (ดูรูปที่ 7) ความถูกต้องของวิธีการนี้อยู่ระหว่าง 10 - 25 เมตร เมื่อใช้รหัส C/A



รูปที่ 7 แสดงการหาดำแหน่งจุดเดี่ยว

## 2.6.2 การหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

เป็นการหาดำแหน่งเปรียบเทียบกันระหว่างจุดสองจุด จึงให้ความถูกต้องของตำแหน่งดีกว่าการหาดำแหน่งจุดเดี่ยว วิธีนี้ต้องทราบค่าพิกัดของจุดอย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการหาดำแหน่งของจุดอื่นๆ ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องรับอย่างน้อย 2 เครื่องเพื่อวางบนหมดที่ทราบค่าพิกัด เรียกจุดนี้ว่าสถานีฐาน (Base Station) ส่วนเครื่องรับอื่นนำไปวางตามจุดที่ต้องการหาดำแหน่งเปรียบเทียบกับสถานีฐาน เรียกจุดนี้ว่าสถานีรีโมท (Remote Station) หลักการหาดำแหน่งคือ เครื่องรับที่สถานีฐานและสถานีรีโมทจะต้องรับวัดไปยังดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและที่ขณะเวลาเดียวกัน (ดูรูปที่ 8) เพื่อให้ค่าคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบ (Systematic Error) เช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของเครื่องรับและค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของดาวเทียม หักล้างกันไปจนเกือบหมด เนื่องจากมีลักษณะที่คล้ายกันและมีขนาดเท่าๆกันเมื่อคำนวณค่าต่างของตำแหน่งทั้งสอง ส่งผลให้ความถูกต้องของการหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์ให้ความถูกต้องในระดับ 2-5 เมตร ในการวัดแบบซูโดเรนจ์และหากต้องการความละเอียดสูงในระดับเซนติเมตรก็ใช้วิธีการวัดเฟสกับการหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์



รูปที่ 8 แสดงการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

## 2.7 แนวคิดของการหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูง(Precise Point Positioning, PPP)

ในการที่จะหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงจากข้อมูลการรังวัดสัญญาณระบบดาวเทียม เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าจากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณระบบดาวเทียม จะต้องพยายามลดค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นให้มากที่สุด โดยเฉพาะค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ถ้าเป็นการหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงโดยใช้ 2 ความถี่ ค่าคลาดเคลื่อนตัวนี้จะถูกขจัดออกไปได้ ในสมการ (1) และ (2) เทอมของ  $d_{\text{ion/Li}}$  หรือความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถถูกกำจัดออกไปได้โดยการใช้แบบจำลอง Ionosphere-Free Combination (L3) โดยการสร้างสมการขึ้นจากการผสมผสานกันระหว่างข้อมูล L1 และ L2 (Leick, 1995) แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลการรังวัดสัญญาณระบบดาวเทียมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามาจากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณระบบดาวเทียมกับค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูง จึงต้องใช้ข้อมูลซูโดเรนจ์ และเฟสของคลื่นส่ง มาใช้ในการคำนวณร่วมกัน นอกจากนี้การคำนวณหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูง ยังมีความคลาดเคลื่อนต่างๆ ดังนี้

### 2.7.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรดาวเทียม (Satellite orbit error)

ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมมีสาเหตุมาจากวงโคจรดาวเทียมที่มาจากข้อมูลดาวเทียมในสัญญาณที่รับได้นั้นเป็นวงโคจรที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้า โดยอาศัยรูปจำลองของแรงต่างๆ ที่กระทำต่อดาวเทียม รูปจำลองที่ใช้ อาจจะไม่ถูกต้องหรือไม่ละเอียดเพียงพอเมื่อเทียบกับแรงจริงๆ ที่กระทำต่อดาวเทียมในขณะที่ทำการวัด ดังนั้นตำแหน่งของดาวเทียมจากอีพิเมอร์สิสดาวเทียมที่ส่งกระจายลงมาพร้อมสัญญาณดาวเทียมนั้นจึงไม่ถูกต้อง

แนวทางการแก้ไข : เราสามารถลดความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมได้โดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่คำนวณหาได้หลังจากที่ดาวเทียมนั้นได้โคจรผ่านตำแหน่งนั้นๆ แล้ว โดยข้อมูลดังกล่าวถูกจัดทำโดยหน่วยงาน IGS และข้อมูลดังกล่าวก็สามารถดาวน์โหลดได้จากอินเทอร์เน็ต โดยหน่วยงานที่ชื่อว่า International GPS Service (IGS) ได้คอยจัดเตรียมข้อมูลดังกล่าวให้เราดาวน์โหลดได้บนอินเทอร์เน็ตโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ รูปที่ 9 แสดงถึงรายละเอียดข้อมูลที่ให้บริการ และระยะเวลาที่เราสามารถเข้าไปดาวน์โหลดข้อมูลหลังจากเวลาที่เรทำการรับวัด (สำหรับ broadcast ephemeris แสดงให้เห็นรายละเอียดเพื่อใช้เปรียบเทียบเท่านั้น)

GPS Satellite Ephemerides / Satellite and Station Clocks		Sample Interval	Accuracy	Latency	Continuity	Availability
Broadcast (for comparison)	Orbits	1s	~100 cm	real time	Continuous	99.99%
	Sat. Clocks		~5 ns RMS; ~2.5 ns Sdev			
Ultra-Rapid (predicted half)	Orbits	15 min	~5 cm	predicted	4x daily, at 03, 09, 15, 21 UTC	95%
	Sat. Clocks		~3 ns RMS; ~1.5 ns Sdev			
Ultra-Rapid (observed half)	Orbits	15 min	~3 cm	3-9 hours	4x daily, at 03, 09, 15, 21 UTC	95%
	Sat. Clocks		~150 ps RMS; ~50 ps Sdev			
Rapid	Orbits	15 min	~2.5 cm	17-41 hours	daily, at 17 UTC	95%
	Sat. & Stn. Clocks	5 min	~75 ps RMS; ~25 ps Sdev			
Final	Orbits	15 min	~2 cm	12-18 days	weekly, every Thursday	99%
	Sat. & Stn. Clocks	Sat: 30 s; Stn.: 5 min	75 ps RMS; 20 ps Sdev			
Real-time	Orbits	5-60 s	~5 cm	25 seconds	Continuous	95%
	Sat. Clocks	5 s	300 ps RMS; 120 ps Sdev			

รูปที่ 9 รายละเอียดการให้บริการข้อมูลวงโคจรดาวเทียมของหน่วยงาน IGS

(Dow, Neilan et al. 2005)

### 2.7.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม (Satellite clock error)

ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมจะเกิดจากการเทียบเวลา และความถี่มาตรฐานที่แตกต่างกัน โดยข้อมูลความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ในข้อมูลดาวเทียมที่ส่งลงมาที่สัญญาณซึ่ง เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าจากสถานีควบคุมหลัก เช่นเดียวกับวงโคจรดาวเทียม

แนวทางการแก้ไข: โดยเราสามารถลดความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมได้จากข้อมูลของหน่วยงาน IGS เช่นเดียวกับความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม

### 2.7.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาของเครื่องรับสัญญาณ (Receiver clock error)

จะเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดเนื่องจากนาฬิกาที่อยู่ในตัวเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เพราะเป็นแค่นาฬิกาธรรมดาทั่วไป ที่ทำจากควอตซ์ ที่มีความถูกต้องไม่สูงมากนัก ทำให้การจับเวลามีความคลาดเคลื่อนไป

แนวทางแก้ไข: สามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนตัวนี้ได้โดยการกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าตัวหนึ่งในสมการ

### 2.7.4 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการล่าช้าของสัญญาณในชั้นบรรยากาศ

#### ไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay)

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะเป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่สูงจากผิวโลกตั้งแต่ 50–1000 กม. ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ห่างจากผิวโลกมากที่สุดรวมถึงเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดอีกด้วย สิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือความสามารถหักเหคลื่นวิทยุซึ่งในชั้นบรรยากาศอื่นไม่มีคุณสมบัตินี้อยู่ การแพร่กระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์เข้าหาชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานเข้าสู่โมเลกุลของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ให้เกิดการไอออไนซ์ (ionization) ของโมเลกุลชั้น การไอออไนซ์ คือ ขบวนการดึงอิเล็กตรอนออกจากอะตอม ซึ่งอะตอมที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะมีลักษณะทางไฟฟ้าเป็นประจุไฟฟ้าบวก นอกจากนี้ยังได้ประจุไฟฟ้าลบและอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมาก ปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ จัดว่ามีพฤติกรรมไม่คงที่แน่นอนคือ มีค่าขึ้นๆลงๆ ตลอดตามการเปลี่ยนแปลงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่มีการแพร่กระจายรังสีสูงสุดในช่วงกลางวัน และต่ำสุดในช่วงกลางคืน ทำให้ระยะเวลาในการเดินทางของคลื่นเปลี่ยนไป



แต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวัน เนื่องจากอิเล็คตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศทำให้สัญญาณของจีพีเอส ไม่สามารถเดินทางได้ด้วยความเร็วแสง และเนื่องจากผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ การเดินทางของสัญญาณจีพีเอส จะขึ้นอยู่กับ Refractive index ( $n$ ) ในสัญญาณจีพีเอส ที่ประกอบด้วยข้อมูลรหัสและเฟสของคลื่นส่งจะมี Refractive index 2 ชนิดคือ  $n_g$  กับ  $n_\phi$  โดย  $n_g$  คือ Refractive index ของกลุ่มคลื่น ในที่นี้ก็คือข้อมูลรหัสที่มีการกล้ำสัญญาณบนเฟสของคลื่นส่ง ดังนั้น  $n_g$  จึงเป็นตัวแทนของข้อมูลซูโดเรนจ์ และ  $n_\phi$  คือ Refractive index ของเฟส ซึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง โดยสรุป  $n_g$  จะมีค่ามากกว่า 1 และ  $n_\phi$  จะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ ซึ่งจะมีผลทำให้การเดินทางของรหัสมีความล่าช้ากว่าปกติและการเดินทางของเฟสของคลื่นส่งเร็วกว่าปกติด้วย สาเหตุนี้เองที่ทำให้ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในสมการที่ (1) และ (2) มีเครื่องหมายตรงข้ามกัน

แนวทางการแก้ไข :ในงานวิจัยนี้จะทดลองใช้แบบจำลอง Ionosphere-free code and phase เพื่อใช้ลดผลกระทบจากการล่าช้าของสัญญาณในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นการสร้างสมการขึ้นใหม่ จากการใช้สมการพื้นฐานในการหาระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณด้วยซูโดเรนจ์ (สมการที่ 1) และการวัดเฟสของคลื่นส่ง (สมการที่ 2) มาบวกกันและหารด้วย 2 ซึ่งจะแสดงได้ดังสมการ

$$\epsilon p(L1) = (P(L1) + \phi(L1)) / 2 \quad (11)$$

โดยที่

$\epsilon p(L1)$  คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จาก Ionosphere-free code and phase (เมตร)

$P(L1)$  คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง  $L1$  (เมตร)

$\phi(L1)$  คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง  $L1$  (เมตร)

### 2.7.5 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Thoposhere delay)

การหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นส่งแต่ขึ้นอยู่กับความกดดันบรรยากาศ อุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนประกอบคือ ส่วนประกอบแห้งและส่วนประกอบชื้น โดยส่วนประกอบแห้งจะมีขนาด 90 % ของการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ส่วนประกอบชื้นจะขึ้นอยู่กับความกดดันของไอน้ำในอากาศ ประมาณ 10 % ของการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ การหักเหในแนวตั้งมีค่าประมาณ 2 – 3 เมตร และเพิ่มมากขึ้นในแนวราบ ที่มุมสูงใกล้ 0 องศา การหักเหมีค่าประมาณ 20 – 30 เมตร ถึงแม้

อิทธิพลของส่วนประกอบแห้งจะมีขนาดใหญ่กว่าส่วนชื้น แต่การคำนวณส่วนแห้งจะมีค่าความถูกต้องมากกว่าส่วนชื้น ความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์  $\pm 1\%$

การหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Hofmann-Wellenhopf, Lichtenegger et al. 2012) สามารถเขียนสมการได้ ดังนี้

$$\Delta^{Trop} = \int (n - 1) ds \quad (12)$$

ถ้าให้  $n$  เป็นดัชนีการหักเหในชั้นบรรยากาศ  
นิยาม

$$N^{Trop} = 10^6 (n - 1) \quad (13)$$

$$\Delta^{Trop} = 10^{-6} \int N^{Trop} ds \quad (14)$$

สามารถแสดงถึงการแยกส่วนประกอบแห้งและส่วนประกอบชื้น ได้ดังนี้

$$N^{Trop} = N_d^{Trop} + N_w^{Trop} \quad (15)$$

โดยที่

$N_d^{Trop}$  คือ อิทธิพลของส่วนประกอบแห้ง

$N_w^{Trop}$  คือ อิทธิพลของส่วนประกอบชื้น

ฉะนั้น

$$\Delta_d^{Trop} = 10^{-6} \int N_d^{Trop} ds \quad (16)$$

$$\Delta_w^{Trop} = 10^{-6} \int N_w^{Trop} ds \quad (17)$$

และ

$$\begin{aligned}\Delta^{TRop} &= \Delta_d^{Trop} + \Delta_w^{Trop} \\ &= 10^{-6} \int N_d^{Trop} ds + 10^{-6} \int N_w^{Trop} ds \quad (18)\end{aligned}$$

เมื่อ

$$N_d^{Trop} = 77.6 \frac{P}{T}$$

$$N_w^{Trop} = 77.6 \frac{4810e}{T^2}$$

โดยที่

P คือ ความกดดันบรรยากาศ (มิลลิบาร์)

T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

e คือ ความดันของไอน้ำ (มิลลิบาร์)

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัยการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง จะประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

#### 3.1 ขั้นตอนที่ 1 องค์ประกอบในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

การพิจารณาองค์ประกอบในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง มีการพิจารณาหลายองค์ประกอบ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตในส่วนขององค์ประกอบทางด้านการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS (Pre-installation data quality assessment) ดังตารางที่ 1.1 เป็นองค์ประกอบสำหรับศึกษาวิจัยในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

#### 3.2 ขั้นตอนที่ 2 ข้อมูลในงานวิจัย

ข้อมูลงานวิจัยมาจากโครงข่ายหมุดหลักฐาน GPS ของกรมแผนที่ทหาร ที่ประกอบไปด้วยหมุดหลักฐานในโครงการ GEODYSSSEA จำนวน 2 หมุด คือ CHON (ชลบุรี) และ PHUK (ภูเก็ต) รวมกับหมุดในโครงการ THAICA จำนวน 5 หมุด คือ OTRI (ลำปาง) UTHA (อุทัยธานี) SRIS (ศรีสะเกษ) BANH (ชุมพร) และ PAT2 (ปัตตานี) รวมกับข้อมูลจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GPS แบบถาวรซึ่งกรมแผนที่ทหาร จัดตั้งขึ้นที่โรงเรียนแผนที่ RTSD รวมเป็นจำนวน 8 หมุด เรียกว่าโครงข่ายอ้างอิง (Reference Network) จากนั้น ในปี พ.ศ. 2547 กรมแผนที่ทหาร จึงได้ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียมบนโครงข่ายหลัก (Primary Network) เพิ่มเติมอีกเป็นจำนวน 11 หมุด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบความบิดเบี้ยวของโครงข่าย ได้แก่ MHSN (แม่ฮ่องสอน) CHTK (เชียงราย) LOEI (เลย) NKTМ (หนองคาย) NKPH (นครพนม) CHAI (ชัยภูมิ) KCNB (กาญจนบุรี) HUAH (ประจวบคีรีขันธ์) CHTB (จันทบุรี) และ CHRI (นครศรีธรรมราช) ดังรูปที่ 1.2

ในการรังวัดโครงข่ายหลักใช้วิธีการรังวัดแบบ Static คาบการทำงานละ 24 ชั่วโมง ต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน อัตราการบันทึกข้อมูลทุก 15 วินาที มุมกันท้องฟ้า 10 องศา ซึ่งในปัจจุบัน กรมแผนที่ทหารได้มีโครงการจะจัดตั้งโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ให้ครอบคลุม

ประเทศไทย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการทดสอบกับข้อมูลกับหมุดในโครงข่ายอ้างอิงและหลัก ของ กรมแผนที่ทหาร ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกสนามรังวัดสัญญาณดาวเทียมด้วย จุดประสงค์คือทดสอบหา ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในสัญญาณดาวเทียม เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของที่ตั้งหมุดแต่ละ พื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้มีการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนจากคลื่นเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ IGS เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นสำหรับการพิจารณาพื้นที่ที่จะมีการจัดตั้งสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องและยังศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เกิดจากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS กับค่าทางสถิติจากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจุดเดี่ยวละเอียดสูง (Precise Point Positioning:PPP) เพื่อศึกษาเป็นแนวทางปฏิบัติในการคัดเลือกความเหมาะสมในการเลือกพื้นที่การจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

การสำรวจรังวัดสัญญาณดาวเทียมบนหมุดหลักฐานในโครงข่ายอ้างอิง (Reference Network) และโครงข่ายหลัก (Primary Network) มีจำนวน 19 หมุด โดยมีการรังวัดในสนามจำนวน 18 หมุด และใช้ข้อมูลจากสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS แบบถาวรที่โรงเรียนแผนที่ อีก 1 หมุด เครื่องมือที่รังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิดสองความถี่ ในการทำงานนี้ได้ใช้เครื่องมือ 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Leica SR520 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Trimble 5700 และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Trimble 580 ดังรูปที่ 8 9 และ 10 ตามลำดับ

- 1) การจัดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Leica SR520 ในสนาม



รูปที่ 10 อุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Leica

2) การจัดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Trimble 5700 ในสนาม



รูปที่ 11 อุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Trimble 5700

3) การจัดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Trimble 5800 ในสนาม



รูปที่ 12 อุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Trimble 5800

### 3.3 ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS

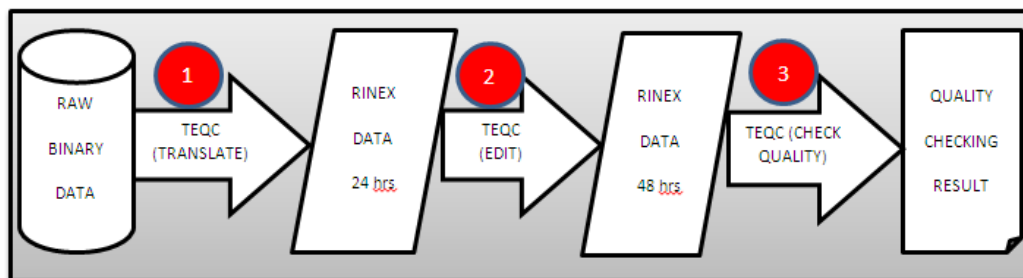
โปรแกรม TEQC (Translate Edit and Quality Checking) คือ โปรแกรมหลักในงานวิจัยสำหรับวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS เพื่อใช้ศึกษาถึงผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนต่างๆ ในสัญญาณดาวเทียม GNSS ถูกพัฒนาขึ้นโดย Lou Estey and Stuart Wier จาก UNAVCO (University NAVSTAR Consortium) เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการดอส (DOS) (Estey and Meertens 1999) ดังรูปที่ 13

```

Command Prompt
00:05:30.000 12:12:45.000
2013 Oct 21 2013 Oct 21
=====
QC of RINEX file(s) : PAT22941.13o
Input BaseNO file(s) : PAT22941.13o
=====
#-character ID : 1 <name = GPS3671> <# = 9956>
Receiver type : TRIMBLE 5700 <# = 022039956> <#u = NP 2.30 / SP 2.30>
Antenna type : TRM41279-00
Time of start of window : 2013 Oct 21 00:05:30.000
Time of end of window : 2013 Oct 21 12:12:45.000
Time line window length : 12.12 hours <# = 12.12 hours>
Antenna UGC #4 <xyz> : -1224149.2212 6214343.7229 740675.5400 <m>
Antenna UGC #4 <xyz> : M 6.4 deg 27.10 72.2 1.101 deg 00.37.90
Antenna UGC #4 <xyz> : M 6.706310 deg 101.143002 deg
Antenna UGC #4 height : 21.1075 m
Igc - header! position : 30 m
Observation interval : 15.0000 seconds
Total satellite w/ obs : 25
NAVSTAR GPS SUs w/ obs : 3 6 16 22 27 30 31
NAVSTAR GPS SUs w/o obs :
Rcv tracking capability : 12 SUs
Poss. # of obs epochs : 2910
Epochs w/ observations : 2910
Possible obs > 10.0 deg : 34749
Possible obs > 10.0 deg : 26700
Completed obs > 10.0 deg : 25360
Deleted obs > 10.0 deg : 3
Moving average MPI : 0.316470 m
Position average MPI : 0.404135 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rcv clock drift : 0
Total Rcv clock drift : 0.0000000 mm
Rate of Rcv clock drift : 0.0000 m/s
Avg time between epochs : Inf minutes
Equiv no. of epochs : 2.1242 epochs
Report use > Chan : 10.000 minutes<#>
Other misc. ep. events : 0 <# = 10> <expect "" = 1.50>
IOD #1 obs > 10.0 deg : 0
IOD #1 obs > 10.0 deg : 0
IOD #2 obs > 10.0 deg : 0
IOD #2 obs > 10.0 deg : 0
IOD #3 obs > 10.0 deg : 0
IOD #3 obs > 10.0 deg : 0
= or unknown observation
First epoch Last epoch hrs dt Hsept #have % mpi mp2 o/slips
SUM 13 10 21 00:05 13 10 21 12:12 12.12 15 26700 25360 95 0.32 0.40 2018
    
```

รูปที่ 13 การทำงานของโปรแกรม TEQC ทำงานบนระบบปฏิบัติการดอส(UNAVCO,2015)

การทำงานของโปรแกรมประกอบ 3 ขั้นตอนนี้ คือการแปลงค่าข้อมูลรังวัดแต่ละเครื่องรับ(Translate) การเพิ่มหรือลดค่าข้อมูลรังวัด (Edit) และการตรวจสอบหรือประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม (Checking Quality) ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แผนผังการทำงานหลักของโปรแกรม TEQC

### 3.4 ขั้นตอนที่ 4 เกณฑ์มาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS

#### แบบต่อเนื่องประเภทต่างๆ

นำผลที่ได้ในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จากโปรแกรม TEQC ของพื้นที่ทดสอบ จำนวน 18 หมู่ด ของกรมแผนที่ทหารเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ในตารางที่ 2 สำหรับการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทต่างๆ

#### ตารางที่ 2 รายละเอียดเกณฑ์มาตรฐาน ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS

##### แบบต่อเนื่องประเภทต่างๆ (IGS,2013)

Type GNSS CORS	Observation length (hrs)	MP <sub>1</sub> (m)	MP <sub>2</sub> (m)	Cycle slip (CSR)	DATA EFFICIENCY (%)	PPP ANALYSIS (RMSEs)
1	48	<0.3	<0.55	<10	>95	< 15 mm
2	48	<0.43	<0.65	<10	>85	< 30 mm
3	24	<0.50	<0.75	<10	>75	< 1 cm
4	24	<0.56	<0.85	<10	>65	< 5 cm

ในงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์และประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้องพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนเป็นปัจจัยหลักและรวมถึงการวิเคราะห์ค่าทางตำแหน่งจากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งละเอียดถูกต้องสูงสำหรับการพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ที่จะใช้จัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

แต่อย่างไรก็ตามการนำเกณฑ์ของ IGS มาเป็นมาตรฐานในการจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง มีเกณฑ์ที่สูงเนื่องจากการนำไปใช้ประโยชน์ที่ต้องอาศัยความละเอียดถูกต้องสูง

ดังนั้นสิ่งที่งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์และสังเคราะห์ขึ้นตามเกณฑ์อ้างอิงของ IGS คือการปรับประยุกต์เกณฑ์อ้างอิงของ IGS เพื่อให้รองรับกับงานทางด้านอื่นๆด้วย เพราะเนื่องจากในการจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ในแต่ละโครงการจัดตั้งโครงข่ายการจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ของแต่ละประเทศไม่สามารถที่จะจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องให้มีมาตรฐานเทียบเท่าสถานี IGS ได้ทุกสถานี ดังนั้นจึงต้องมี



การแบ่งประเภทของเกณฑ์งานเพื่อให้รองรับกับงานแต่ละประเภทรวมถึงความเหมาะสมกับประโยชน์ที่นำไปใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 3.4.1 เกณฑ์ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 1  
ใช้ในงานทางด้านการจัดทำกรอบอ้างอิงของโลกและกรอบอ้างอิงนานาชาติ ใช้ในงานทางด้านที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง เป็นต้น
- 3.4.2 เกณฑ์ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 2  
ใช้ในการจัดทำเป็นระบบพิกัดโลกและพิกัดท้องถิ่น เป็นต้น
- 3.4.3 เกณฑ์ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 3  
ใช้ในการทำเป็นระบบพิกัดท้องถิ่นและการทำ Network RTK เป็นต้น
- 3.4.4 เกณฑ์ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 4  
ใช้ในทำ Network RTK รวมถึงงานระดับทางด้านการก่อสร้าง เป็นต้น

### 3.5 ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในรูปแบบกราฟ

**โปรแกรม QC2SKY** คือโปรแกรมที่มีความสามารถวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในรูปแบบกราฟ ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย M. Roggero (2004) เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการดอส (DOS) ซึ่งในงานวิจัยนี้โปรแกรม QC2SKY เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS และสามารถที่จะบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับทิศทางและระดับความสูง

#### จุดประสงค์

คือการใช้เทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS เพื่อพิจารณาสภาพแวดล้อมที่สัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นว่าอยู่ที่ระดับความสูงของดาวเทียมเท่าไร และเกิดขึ้นที่ทิศทางไหน โดยอาศัยโปรแกรม QC2SKY เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

### 3.6 ขั้นตอนที่ 6 การประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง

การประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP) จากโปรแกรม PANDA และค่าหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS กับค่าทางสถิติจากการประมวลผลแบบ PPP

**โปรแกรม PANDA** คือ โปรแกรมประมวลผลหาค่าพิกัดแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP) ได้รับการพัฒนา โดย Wuhan University เป็นการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GNSS แบบจุดเดี่ยว ด้วยการใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise orbits) และค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise satellite clock corrections) โดยสามารถประมวลผลข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียวและแบบสองความถี่แบบสถิต (Static mode) สามารถแสดงค่าพิกัดได้ในระบบพื้นหลักฐานอ้างอิง International Terrestrial Reference Frame (ITRF) ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ในทางราบจะต่ำกว่า 1 เซนติเมตร เทียบเท่าโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ เช่นโปรแกรม GIPSY OASIS II เป็นต้น เมื่อทำการรังวัดแบบสถิต ด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยข้อมูลการรังวัด (GPS raw observation data) ที่ประมวลผลจะอยู่ในรูปแบบ RINEX (Receiver Independent EXchange format)

**จุดประสงค์** สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ โปรแกรม PANDA เป็นโปรแกรมที่ประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในจุดทดสอบ และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS กับค่าทางสถิติ (Root Mean Square Error) จากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง

## บทที่ 4

### การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

ในการพิจารณาพื้นที่สำหรับจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องมีองค์ประกอบในการพิจารณาหลายองค์ประกอบเช่น ระบบความปลอดภัยของพื้นที่ ความมั่นคงของตัวอาคาร และระบบไฟฟ้ารวมถึงคุณภาพของสัญญาณดาวเทียมเป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS (Pre-installation data quality assessment) เป็นหนึ่งองค์ประกอบในการพิจารณาพื้นที่ที่จะจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงแบ่งกระบวนการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

#### 4.1 ขั้นตอนการประมวลผล

การประมวลผลเพื่อวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการพิจารณาจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยใช้โปรแกรม TEQC ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับหมุดในโครงข่ายอ้างอิงและหลัก จำนวน 18 หมุด ของกรมแผนที่ทหารโดยใช้ข้อมูล 24 กับ 48 ชม. ดังตารางที่ 3 กับ 4 ตามลำดับ สถานีอ้างอิง IGS (International GNSS Service) 5 สถานี ดังตารางที่ 5 และการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง โดยโปรแกรม PANDA ดังตารางที่ 6 ตามลำดับดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จากโปรแกรม TEQC จำนวน 18 หมุด ของกรมแผนที่ทหาร ใช้ข้อมูลทดสอบ 24 ชม.

Station name	Observed length (hrs)	Expected number of observations (#expt)	Actual number of observations (#have)	Data efficiency (%)	MP1 (m)	MP2 (m)	Number of cycle slips (O/slps)
BANH	24.00	50958	40570	80	0.53	1.01	217
CHAI	24.00	49553	47700	96	0.31	0.35	1539
CHON	24.00	50648	48262	95	0.14	0.13	877
CHRI	24.00	48899	36145	74	0.58	0.92	193
CHTB	24.00	50808	38015	75	0.55	0.76	247
HUAH	24.00	50792	41521	82	0.53	0.73	451
KCNB	24.00	49964	40466	81	0.72	1.02	224
LOEI	24.00	43750	43255	99	0.34	0.40	7209
MHSN	24.00	6926	6452	93	0.33	0.43	6452
MSTK	24.00	49268	41187	84	0.41	0.66	408
NKPH	24.00	49501	43629	88	0.4	0.59	693
NKTM	24.00	51671	42258	82	0.42	0.61	381
OTRI	24.00	48947	47263	97	0.31	0.39	11816
PAT2	24.00	26700	25360	95	0.32	0.40	2818
PHUK	24.00	52170	49569	95	0.15	0.24	718
SRIS	24.00	50221	42318	84	0.36	0.54	1008
UTHA	24.00	49397	44014	89	0.35	0.51	917
UDON	24.00	49324	47879	97	0.30	0.33	3990

ตารางที่ 4 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จากโปรแกรม TEQC จำนวน 18 หมุด ของกรมแผนที่ทหาร ใช้ข้อมูล 48ชม.

Station name	Observed length (hrs)	Expected number of observations (#expt)	Actual number of observation (#have)	Data efficiency (%)	MP1 (m)	MP2 (m)	Number of cycle slips (O/slps)
BANH	48.00	102268	85440	84	0.52	0.91	228
CHAI	48.00	99692	96640	97	0.31	0.35	1342
CHON	48.00	101440	96273	95	0.19	0.19	917
CHRI	48.00	97950	73402	75	0.59	0.92	199
CHTB	48.00	101912	77215	76	0.55	0.78	244
HUAH	48.00	101667	84004	83	0.53	0.72	418
KCNB	48.00	100311	82038	82	0.73	0.73	246
LOEI	48.00	93410	91931	98	0.33	0.4	4179
MHSN	48.00	86143	77228	90	0.33	0.47	990
MSTK	48.00	98950	83558	84	0.41	0.66	373
NKPH	48.00	99435	88501	89	0.41	0.6	602
NKTM	48.00	103692	85498	82	0.42	0.62	365
OTRI	48.00	98224	95632	97	0.31	0.4	3085
PAT2	48.00	104038	75887	73	0.32	0.41	1133
PHUK	48.00	104516	98862	95	0.15	0.22	810
SRIS	48.00	100787	86101	85	0.36	0.55	926
UTHA	48.00	99088	97104	98	0.35	0.53	2774
UDON	48.00	99306	89334	90	0.3	0.33	884

ตารางที่ 5 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จากโปรแกรม TEQC จำนวน 5 สถานี ของ IGS ใช้ข้อมูลทดสอบ 24 และ 48 ชม.

Station name	Observed length (hrs)	Expected number of observations (#expt)	Actual number of observation (#have)	Data efficiency (%)	MP1 (m)	MP2 (m)	cycle slips (O/slps)
CUSV (Thailand)	24.00	25229	24239	96	0.46	0.37	3030
PBRI (India)	24.00	26614	26098	98	0.22	0.21	2175
WUHN (China)	24.00	24732	21811	88	0.34	0.36	1039
IISC (India)	24.00	27579	26107	95	0.31	0.40	207
TNML (Taiwan)	24.00	25665	25092	98	0.27	0.28	322
CUSV (Thailand)	48.00	50465	49021	97	0.47	0.37	2228
PBRI (India)	48.00	53244	52590	99	0.23	0.22	2287
WUHN (China)	48.00	49490	44687	95	0.35	0.37	876
IISC (India)	48.00	55163	52901	96	0.31	0.40	209
TNML (Taiwan)	48.00	51336	50321	98	0.27	0.27	390

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์ของการประมวลผลหาคความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (PPP) โปรแกรม PANDA จำนวน 18 หมด ของกรมแผนที่ทหาร

Sta	Coordinate			Standard Deviation(m)		
	x-ecef	y-ecef	z-ecef	SD <sub>x</sub>	SD <sub>y</sub>	SD <sub>z</sub>
BANH	-988985.4466	6191316.3608	1166580.7209	0.019	0.013	0.001
CHAI	-1283028.6059	6001605.5336	1731192.1569	0.005	0.004	0.003
CHON	-1190208.5600	6097682.7823	1438406.1497	0.004	0.004	0.003
CHRI	-1050863.7609	5893813.9007	2193418.5144	0.016	0.039	0.009
CHTB	-1318613.9143	6087816.4850	1366593.1479	0.021	0.015	0.001
HUAH	-1078744.7807	6133361.4090	1373229.4112	0.011	0.007	0.001
KCNB	-1021921.7777	6104984.7133	1532936.2618	0.037	0.054	0.031
LOEI	-1177660.4497	5977457.3261	1882543.4458	0.005	0.004	0.001
MHSN	-834443.9611	5964417.1429	2093566.4293	0.006	0.005	0.003
MSTK	-912434.2834	6041795.563	1823363.0832	0.009	0.014	0.003
NKPH	-1520611.2209	5887264.4824	1919685.3855	0.007	0.001	0.001
NKTM	-1076519.3596	6204160.5927	1011427.6843	0.010	0.003	0.00
OTRI	-986192.0828	5975733.3159	1993725.8266	0.016	0.006	0.001
PAT2	-1224111.8096	6214332.1687	748673.8685	0.016	0.009	0.003
PHUK	-912741.6832	6253870.4682	855385.0965	0.010	0.008	0.004
SRIS	-1534865.3976	5971007.0736	1629559.9983	0.006	0.002	0.002
UDON	-1380724.4039	5931000.6087	1890808.7335	0.011	0.012	0.002
UTHA	-1069535.2862	6057468.8386	1681107.8178	0.007	0.009	0.003

#### 4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

- 1) การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จากโปรแกรม TEQC ข้อมูลทดสอบ 24 ชม ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 3 ดังตารางที่ 7 และประเภทที่ 4 ดังตารางที่ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 3 จำนวน 18 หมู่ของกรมแผนที่ทหาร

Station name (Test)	Observed length (hrs)	Type Of GNSS CORS	MP1 (m) <0.50	MP2 (m) <0.75	CSR <10	Data efficiency >75
BANH	24	3	0.53	1.01	4.60	80
CHAI	24	3	0.31	0.35	0.65	96
CHON	24	3	0.14	0.13	1.14	95
CHRI	24	3	0.58	0.92	5.18	74
CHTB	24	3	0.55	0.76	4.05	75
HUAH	24	3	0.53	0.73	2.22	82
KCNB	24	3	0.72	1.02	4.46	81
LOEI	24	3	0.34	0.40	0.14	99
MHSN	24	3	0.33	0.43	0.15	93
MSTK	24	3	0.41	0.66	2.45	84
NKPH	24	3	0.4	0.59	1.44	88
NKTM	24	3	0.42	0.61	2.62	82
OTRI	24	3	0.31	0.39	0.08	97
PAT2	24	3	0.32	0.40	0.35	96
PHUK	24	3	0.15	0.24	1.39	95
SRIS	24	3	0.36	0.54	0.99	84
UTHA	24	3	0.35	0.51	1.09	89
UDON	24	3	0.30	0.33	0.25	97



ตารางที่ 8 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้ง สถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 4 จำนวน 18 หมู่ด ของกรมแผนที่ทหาร

Station name (Test)	Observed length (hrs)	Type Of GNSS CORS	MP1 (m) <0.56	MP2 (m) <0.85	CSR <10	Data efficiency >65
BANH	24	4	0.53	1.01	4.60	80
CHAI	24	4	0.31	0.35	0.65	96
CHON	24	4	0.14	0.13	1.14	95
CHRI	24	4	0.58	0.92	5.18	74
CHTB	24	4	0.55	0.76	4.05	75
HUAH	24	4	0.53	0.73	2.22	82
KCNB	24	4	0.72	1.02	4.46	81
LOEI	24	4	0.34	0.40	0.14	99
MHSN	24	4	0.33	0.43	0.15	93
MSTK	24	4	0.41	0.66	2.45	84
NKPH	24	4	0.4	0.59	1.44	88
NKTM	24	4	0.42	0.61	2.62	82
OTRI	24	4	0.31	0.39	0.08	97
PAT2	24	4	0.32	0.40	0.35	96
PHUK	24	4	0.15	0.24	1.39	95
SRIS	24	4	0.36	0.54	0.99	84
UTHA	24	4	0.35	0.51	1.09	89
UDON	24	4	0.30	0.33	0.25	97

จากตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้ง สถานีรับสัญญาณดาวเทียมประเภทที่ 3 ผลปรากฏว่า มี 5 หมู่ดทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ สถานี BANH CHRI CHTB HUAH และ KCNB จากตารางที่ 8 ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมประเภทที่ 4 ผลปรากฏว่า มี 3 หมู่ดทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือสถานี BANH CHRI และ KCNB เพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนเกินค่ามาตรฐาน

2) การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 1 ดังตารางที่ 9 และประเภทที่ 2 ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 1 จำนวน 18 หมู่ของกรมแผนที่ทหาร

Station name (Test)	Observed length (hrs)	Type Of GNSS CORS	MP1(m) <0.3	MP2(m) <0.55	CSR <10	Data efficiency >95
BANH	48	1	0.52	0.91	4.39	84
CHAI	48	1	0.31	0.35	0.75	97
CHON	48	1	0.19	0.19	1.09	95
CHRI	48	1	0.59	0.92	5.03	75
CHTB	48	1	0.55	0.78	4.10	76
HUAH	48	1	0.50	0.72	2.40	83
KCNB	48	1	0.73	0.73	4.07	82
LOEI	48	1	0.33	0.4	0.24	98
MHSN	48	1	0.33	0.47	1.01	90
MSTK	48	1	0.41	0.65	2.68	85
NKPH	48	1	0.41	0.6	1.66	89
NKTM	48	1	0.42	0.62	2.74	82
OTRI	48	1	0.31	0.4	0.32	97
PAT2	48	1	0.32	0.41	0.88	85
PHUK	48	1	0.15	0.22	1.23	95
SRIS	48	1	0.36	0.55	1.08	85
UTHA	48	1	0.35	0.53	0.36	98
UDON	48	1	0.3	0.33	1.13	90

ตารางที่ 10 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ประเภทที่ 2 จำนวน 18 หมู่ของกรมแผนที่ทหาร

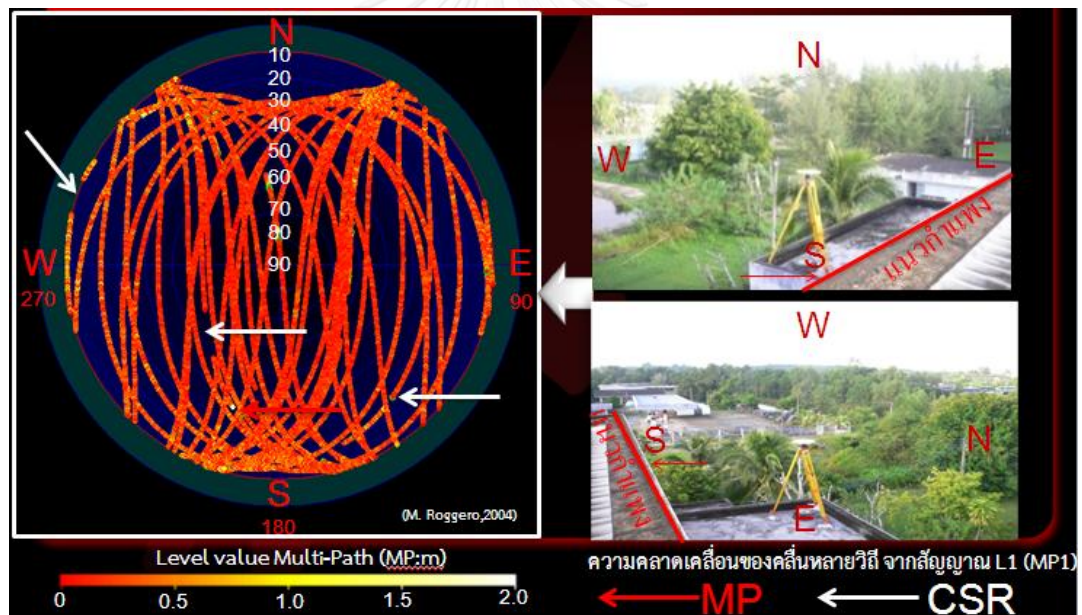
Station name (Test)	Observed length (hrs)	Type Of GNSS CORS	MP1(m) <0.43	MP2(m) <0.65	CSR <10	Data efficiency >85
BANH	48	2	0.52	0.91	4.39	84
CHAI	48	2	0.31	0.35	0.75	97
CHON	48	2	0.19	0.19	1.09	95
CHRI	48	2	0.59	0.92	5.03	75
CHTB	48	2	0.55	0.78	4.10	76
HUAH	48	2	0.50	0.72	2.40	83
KCNB	48	2	0.73	0.73	4.07	82
LOEI	48	2	0.33	0.4	0.24	98
MHSN	48	2	0.33	0.47	1.01	90
MSTK	48	2	0.41	0.65	2.68	85
NKPH	48	2	0.41	0.6	1.66	89
NKTM	48	2	0.42	0.62	2.74	82
OTRI	48	2	0.31	0.4	0.32	97
PAT2	48	2	0.32	0.41	0.88	85
PHUK	48	2	0.15	0.22	1.23	95
SRIS	48	2	0.36	0.55	1.08	85
UTHA	48	2	0.35	0.53	0.36	98
UDON	48	2	0.3	0.33	1.13	90

จากตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมประเภทที่ 1 ผลปรากฏว่ามี 16 หมู่ทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์

มาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS คือสถานี BANH CHAI CHRI CHTB HUAH KCNB LOEI MHSN MSTK NKPH NKTM OTRI PAT2 SRIS UTHA และ UDON ในส่วนของการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม ประเภทที่ 2 จากตารางที่ 10 ผลปรากฏว่า มี 5 หมดทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS คือสถานี BANH CHRI CHTB HUAH และ KCNB เพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนเกินค่ามาตรฐานของเกณฑ์งาน

3) การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในรูปแบบกราฟ จากโปรแกรม QC2SKY ในการพิจารณาพื้นที่จัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ดังรูปที่ 15 กับ 16 ตามลำดับ

- ตัวอย่างการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม ของจังหวัด ปัตตานี

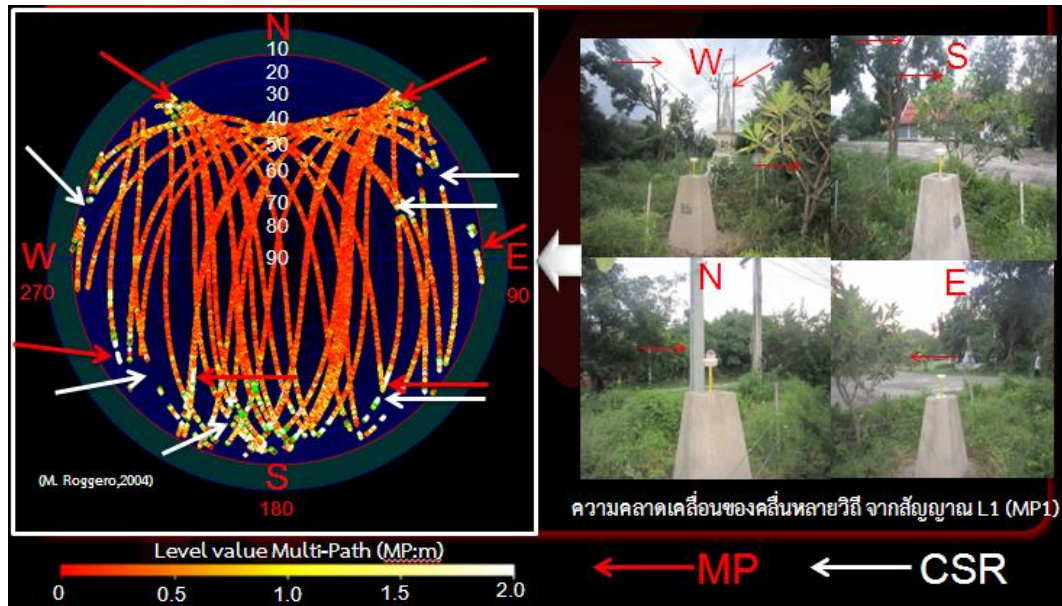


รูปที่ 15 แสดงการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม GNSS ในรูปแบบกราฟ จากโปรแกรม QC2SKY ของจังหวัด ปัตตานี

จากภาพถ่ายที่แสดงที่ตั้งจุดทดสอบ ซึ่งพบว่าพื้นที่ทดสอบอยู่บนดาดฟ้า มีสิ่งกีดขวางอยู่ทางด้านฝั่งทิศใต้เท่านั้นและคลื่นหลายวิถีของสัญญาณ L1 จะพบว่าลักษณะของกราฟจะมีความต่อเนื่อง ซึ่งจะพบความไม่ต่อเนื่องบางส่วนเท่านั้น และส่วนใหญ่จะเกิดที่ทิศใต้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับภาพถ่าย สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จากโปรแกรม

TEQC ที่มีค่า MP1 เท่ากับ 0.32 เมตร MP2 เท่ากับ 0.41 เมตรและ CSR เท่ากับ 0.88 ซึ่งมีค่าน้อยเหมาะสมในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

- ตัวอย่างการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียมของจังหวัด กาญจนบุรี



รูปที่ 16 แสดงการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม GNSS ในรูปแบบกราฟจากโปรแกรม QC2SKY ของจังหวัด กาญจนบุรี

ภาพถ่ายที่แสดงที่ตั้งจุดทดสอบ ซึ่งพบว่าพื้นที่ทดสอบ มีสิ่งกีดขวางอยู่ทุกทิศทาง ทิศใต้เป็นต้นไม้ ทิศเหนือมีสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ทิศตะวันตกมีอาคาร ทิศตะวันออกมีเสาไฟฟ้าและคลื่นหลายวิถีของสัญญาณ L1 จะพบว่าลักษณะของกราฟจะไม่มีอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะพบความต่อเนื่องจะพบเมื่อระดับของดาวเทียมมีมุมสูงๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับภาพถ่าย สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จากโปรแกรม TEQC ที่มีค่า MP1 เท่ากับ 0.73 เมตร MP2 เท่ากับ 0.73 เมตรและ CSR เท่ากับ 4.07 ซึ่งมีค่าสูง ไม่เหมาะสมในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

- 4) การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS กับค่าสถิติจากการประมวลผลจุดเดี่ยว (PPP) ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน กับ ค่าสถิติจากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวละเอียดสูง จำนวน 18 หมุด ของกรมแผนที่ทหาร

Sta	TEQC				PANDA			
	MP1 (m)	MP2 (m)	CSR	Data efficiency	Standard Deviation(SD)			RMSEs (m)
					SDx (m)	SDy (m)	SDz (m)	
BANH	0.53	1.01	4.60	80	0.019	0.013	0.001	0.023
CHAI	0.31	0.35	0.65	96	0.005	0.004	0.003	0.007
CHON	0.14	0.13	1.14	95	0.004	0.004	0.003	0.007
CHRI	0.58	0.92	5.18	74	0.016	0.039	0.009	0.043
CHTB	0.55	0.76	4.05	75	0.021	0.015	0.001	0.026
HUAH	0.53	0.73	2.22	82	0.011	0.007	0.001	0.013
KCNB	0.72	1.02	4.46	81	0.037	0.054	0.031	0.068
LOEI	0.34	0.40	0.14	99	0.005	0.004	0.001	0.006
MHSN	0.33	0.43	0.15	93	0.006	0.005	0.003	0.009
MSTK	0.41	0.66	2.45	84	0.009	0.014	0.003	0.017
NKPH	0.4	0.59	1.44	88	0.007	0.001	0.001	0.007
NKTM	0.42	0.61	2.62	82	0.010	0.003	0.00	0.011
OTRI	0.31	0.39	0.08	97	0.016	0.006	0.001	0.018
PAT2	0.32	0.40	0.35	96	0.016	0.009	0.003	0.029
PHUK	0.15	0.24	1.39	95	0.010	0.008	0.004	0.014
SRIS	0.36	0.54	0.99	84	0.006	0.002	0.002	0.007
UDON	0.35	0.51	1.09	89	0.011	0.012	0.002	0.016
UTHA	0.30	0.33	0.25	97	0.007	0.009	0.003	0.012

จากตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์จุดประสงค์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยโปรแกรม TEQC กับ ค่าทางสถิติจากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวละเอียดสูง โดยโปรแกรม PANDA ผลปรากฏว่าจุดทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนสูงมีผลทำให้ค่าความแม่นยำทางตำแหน่ง(Precision)มีความคลาดเคลื่อนสูงสังเกตได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation:SD)และทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นไปด้วยซึ่งสังเกตจากค่ากำลังสองเฉลี่ย(Root Mean Square Error:RMSEs) ที่มีค่าสูงขึ้น ซึ่งค่าทางสถิติมีค่าสูงขึ้น หมายถึงคุณภาพสัญญาณดาวเทียมมีค่าไม่ดี เช่นสถานีที่ไม่สามารถจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องได้ มี 3 สถานี ได้แก่ สถานี BANH จังหวัดชุมพร สถานี CHRI จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานี KBNC จังหวัดกาญจนบุรี ที่มีความคลาดเคลื่อนสูงส่งผลทำให้ค่า RMSEs มีค่าสูงถึง 0.023 0.043 และ 0.072 เมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสถานีที่สามารถจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องได้ทั้ง 4 ประเภท ซึ่งมี 2 สถานี ได้แก่ สถานี CHON จังหวัดชลบุรีและสถานี PHUK จังหวัดภูเก็ต ที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำส่งผลให้ค่า RMSEs มีค่า 0.007 และ 0.014 เมตร ตามลำดับ

ดังนั้นการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยโปรแกรม TEQC กับค่า RMSEs จากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง โดยโปรแกรม PANDA มีผลแปรผันตามกัน จะทำให้จุดทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนสูงจะทำให้ค่า RMSEs มีค่าสูงตามไปด้วย ในอีกหนึ่งถ้าจุดทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำจะทำให้ค่า RMSEs มีค่าต่ำ ซึ่งหมายความว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในสัญญาณดาวเทียม GNSS นั้น ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพสัญญาณดาวเทียมและค่าแม่นยำทางตำแหน่ง(precision) โดยรวมถึงค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง(accuracy) ด้วย ซึ่งค่า RMSEs ที่เกิดจากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวละเอียดสูงเป็นเกณฑ์ตัวหนึ่งในการพิจารณาพื้นที่ที่จะใช้จัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยหัวข้อ เทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณ GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง จะแบ่งออกเป็น ผลการศึกษาที่ข้อเสนอนี้ ซึ่งสามารถสรุปงานวิจัยได้ดังนี้

#### 5.1 ผลการวิจัย

การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง จุดมุ่งหมายเพื่อช่วยเพิ่มความมั่นใจและรวมถึงการพิจารณาถึงความเหมาะสมของพื้นที่ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง โปรแกรม TEQC เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS การเพิ่มเทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS จากโปรแกรม QC2SKY เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับทิศทางและระดับของความคลาดเคลื่อนในสัญญาณดาวเทียม GNSS ในรูปแบบกราฟ พร้อมทั้งการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจากโปรแกรม PANDA เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนในสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทต่างๆ สำหรับพื้นที่ศึกษาในโครงข่ายอ้างอิงและหลักจำนวน 18 หมู่ด ของกรมแผนที่ทหาร เป็นจุดทดสอบ และสถานีของ IGS จำนวน 5 สถานี เป็นสถานีอ้างอิง ซึ่งสามารถ สรุปผลได้จากตารางที่ 12 ดังนี้



ตารางที่ 12 สรุปผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS โคจรข่าย  
จำนวน 18 หมุด ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

Station name	Observed length:48 hrs					Observed length:24 hrs					PPP ANALYSIS (RMSEs)
	Type CORS	MP1 (m)	MP2 (m)	CSR	Data efficiency	Type CORS	MP1 (m)	MP2 (m)	CSR	Data efficiency	
BANH	1,2	0.52	0.91	4.39	84	3,4	0.53	1.01	4.60	80	0.023
CHAI	1,2	0.31	0.35	0.75	97	3,4	0.31	0.35	0.65	96	0.007
CHON	1,2	0.19	0.19	1.09	95	3,4	0.14	0.13	1.14	95	0.007
CHRI	1,2	0.59	0.92	5.03	75	3,4	0.58	0.92	5.18	74	0.043
CHTB	1,2	0.55	0.78	4.10	76	3,4	0.55	0.76	4.05	75	0.026
HUAH	1,2	0.50	0.72	2.40	83	3,4	0.50	0.73	2.22	82	0.013
KCNB	1,2	0.73	0.73	4.07	82	3,4	0.72	1.02	4.46	81	0.068
LOEI	1,2	0.33	0.4	0.24	98	3,4	0.34	0.40	0.14	99	0.006
MHSN	1,2	0.33	0.47	1.01	90	3,4	0.33	0.43	0.15	93	0.009
MSTK	1,2	0.41	0.65	2.68	85	3,4	0.41	0.66	2.45	84	0.017
NKPH	1,2	0.41	0.6	1.66	89	3,4	0.4	0.59	1.44	88	0.007
NKTM	1,2	0.42	0.62	2.74	82	3,4	0.42	0.61	2.62	82	0.011
OTRI	1,2	0.31	0.4	0.32	97	3,4	0.31	0.39	0.08	97	0.018
PAT2	1,2	0.32	0.41	0.88	85	3,4	0.32	0.40	0.35	96	0.029
PHUK	1,2	0.15	0.22	1.23	95	3,4	0.15	0.24	1.39	95	0.014
SRIS	1,2	0.36	0.55	1.08	85	3,4	0.36	0.54	0.99	84	0.007
UTHA	1,2	0.35	0.53	0.36	98	3,4	0.35	0.51	1.09	89	0.016
UDON	1,2	0.3	0.33	1.13	90	3,4	0.30	0.33	0.25	97	0.012

จากตารางที่ 12 สรุปผลการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง จากการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยโปรแกรม TEOC ผลปรากฏว่ามี 3 หมดทดสอบที่ไม่สามารถจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องได้ ประกอบไปด้วยหมด BANH จังหวัดชุมพร หมด CHRI จังหวัดนครศรีธรรมราช หมด KCNB จังหวัดกาญจนบุรี มี 2 หมดทดสอบที่สามารถจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องได้ทุกประเภท คือ สถานี CHON จังหวัดชลบุรี และสถานี PHUK จังหวัดภูเก็ต มี 1 หมดทดสอบที่สามารถจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 3 และ 4 ได้ คือ สถานี HUAH จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มี 1 หมดทดสอบที่สามารถจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 4 ได้อย่างเดียว คือ สถานี CHTB จังหวัดเชียงใหม่ และประจวบคีรีขันธ์ และมี 11 หมดทดสอบที่สามารถจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องประเภทที่ 2,3 และ 4 ได้ คือ สถานี CHAI จังหวัดชัยภูมิ สถานี LOEI จังหวัดเลย สถานี MHSN จังหวัดแม่ฮ่องสอน สถานี MSTK จังหวัดจันทบุรี สถานี NKPH จังหวัดนครพนม สถานี NKTM จังหวัดหนองคาย สถานี OTRI จังหวัดลำปาง สถานี PAT2 จังหวัดปัตตานี และสถานี SRIS จังหวัดศรีสะเกษ เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนเกินมาตรฐานในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

ซึ่งจากตารางที่ 12 ในการพิจารณาพื้นที่ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ประเภทต่างๆ สิ่งที่มีความสำคัญที่สุดในงานวิจัยคือการนำเกณฑ์มาพิจารณาในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องแต่ละประเภท ในงานวิจัยนี้พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนจาก คลื่นหลุด(CSR) คลื่นหลายวิถี(MP) ความสมบูรณ์ของข้อมูล(DATA EFFICIENCY)และยังรวมถึงค่าสถิติที่บ่งบอกระดับความเชื่อมั่นทางตำแหน่ง(RMSEs) จากการประมวลผลทางตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงอีกด้วยเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในจุดที่มีการทดสอบ โดยเกณฑ์ในการพิจารณาพื้นที่ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องได้อ้างอิงจากมาตรฐานของ IGS เป็นหลัก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

**5.2.1** ความแตกต่างด้านเครื่องมือและข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบบางหุ่ดสามารถรับสัญญาณดาวเทียม GPS ได้อย่างเดียว บางจุดรับสัญญาณดาวเทียม GPS กับ GLONASS ซึ่งทำให้การทดสอบมีข้อเปรียบเทียบในเรื่องของการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม

**5.2.2** โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย แบ่งออกเป็น 2 โปรแกรมหลัก ดังนี้

**5.2.2.1** TEQC เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS กับ GLONASS เท่านั้น และรองรับรูปแบบของข้อมูลรังวัดมาตรฐานสูงสุดที่รุ่น 2.11 (RINEX V.2.11)

**5.2.2.2** PANDA เป็นโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจุดเดี่ยวละเอียดสูง (PPP) ซึ่งในงานวิจัยใช้หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าทางสถิติ แต่ยังมีโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถประมวลผลแบบสัมพัทธ์แล้วสามารถใช้หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าทางสถิติได้ เช่น โปรแกรม BERNESE

**5.2.3** การเลือกเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในโครงการในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง งานวิจัยนี้จัดทำมาตรฐานในการพิจารณาพื้นที่ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง โดยอ้างอิงจากเกณฑ์ของ IGS โดยแบ่งประเภทออกเป็น 4 ประเภทตามคุณลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ โดยมีการพิจารณาทั้งค่าความคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี คลื่นหลุด ความสมบูรณ์ของข้อมูล และรวมถึงการวิเคราะห์ระดับความถูกต้องทางตำแหน่งจากการประมวลผลหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในมาตรฐานสำหรับการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องที่จัดทำขึ้น รวมทั้งได้มีการทดสอบกับสถานีอ้างอิง (IGS Station) และสถานีถาวรในประเทศเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในเกณฑ์ดังกล่าว ดังนั้นการนำเกณฑ์งานมาตรฐานไปใช้ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS

แบบต่อเนื่อง การปรับประยุกต์ใช้งานเพื่อให้เหมาะสมกับโครงการย่อมเป็นสิ่งสำคัญและควรพิจารณาอย่างรอบคอบเพราะมาตรฐานของเกณฑ์งานอ้างอิงจากมาตรฐานของ IGS เป็นหลัก ซึ่งการพิจารณาพื้นที่ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องต้องมีการพิจารณาองค์ประกอบด้านอื่นด้วย



## รายการอ้างอิง

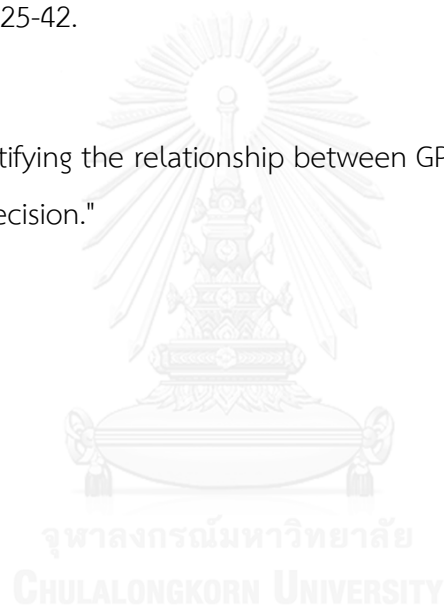
- Blewitt, G. (1990). "Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena." Geophysical Research Letters 17(3): 199-202.
- Cai, C., et al. (2014). "An analysis on combined GPS/COMPASS data quality and its effect on single point positioning accuracy under different observing conditions." Advances in Space Research 54(5): 818-829.
- Dow, J., et al. (2005). "The International GPS Service: celebrating the 10th anniversary and looking to the next decade." Advances in Space Research 36(3): 320-326.
- Estey, L. H. and C. M. Meertens (1999). "TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data." GPS solutions 3(1): 42-49.
- Han, S. and C. Rizos (1997). Multipath effects on GPS in mine environment. 2th International Congress on the International Society for Mine Surveying, Fremantle, Australia.
- Hofmann-Wellenhof, B., et al. (2012). Global positioning system: theory and practice, Springer Science & Business Media.
- Hofmann, B., et al. (2008). GNSS-global navigation satellite systems, Springer-Verlag.
- Krzan, G., et al. (2014). Comparison of position determination accuracy conducted by PPP technique using web-based online service and dedicated scientific

software. Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE, Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property.

Leick, A., et al. (2015). GPS satellite surveying, John Wiley & Sons.

Rizos, C. and C. Satirapod (2010). "Contribution of GNSS CORS infrastructure to the mission of modern geodesy and status of GNSS CORS in Thailand." Engineering Journal 15(1): 25-42.

Yeh, T.-K., et al. "Identifying the relationship between GPS data quality and positioning precision."





ภาคผนวก

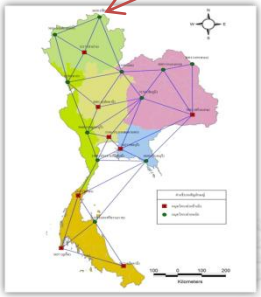

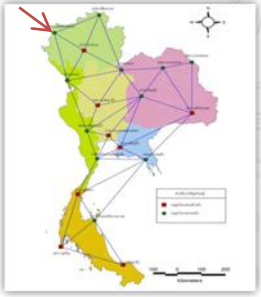



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



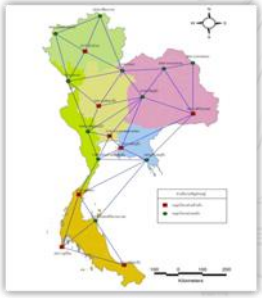



ภาคผนวก ก. ตารางแสดงสถานที่ตั้งพื้นที่จุดทดสอบ โครงข่ายอ้างอิงและหลักของกรมแผนที่ทหาร  
จุดอ้างอิง (IGS NETWORK) และประเภทของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

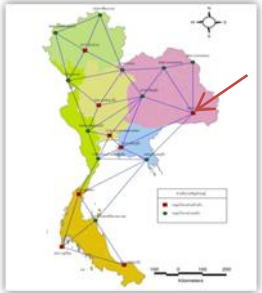

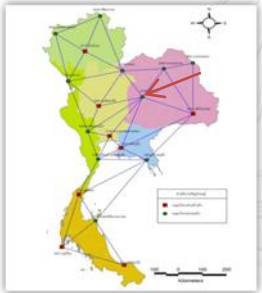

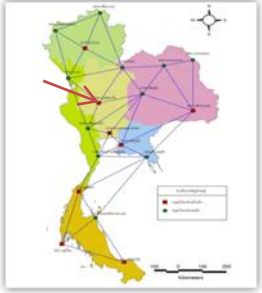

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

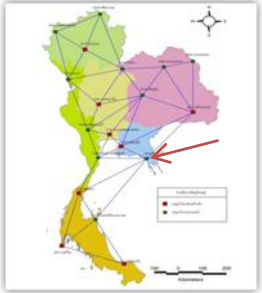

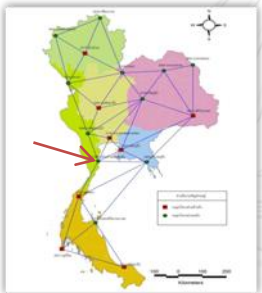

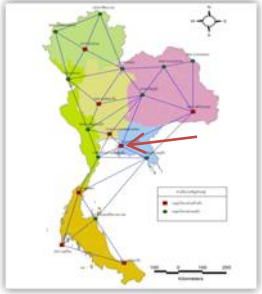



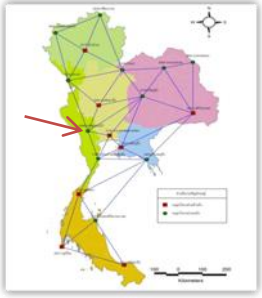

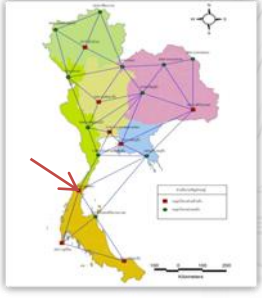

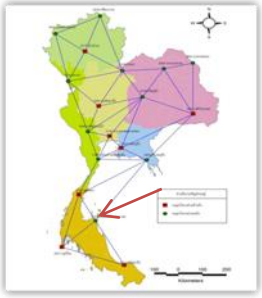

ตารางภาคผนวกที่ ก.1 แสดงหมายเลขหมุด เครื่องมือและรูปสถานที่ตั้ง (จุดทดสอบ)

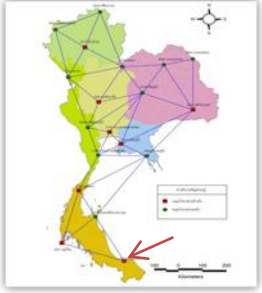



หมายเลขหมุด	ชื่อสถานที่ตั้ง	เครื่องมือ(เครื่องรุ่น)	รูปสถานที่ตั้ง
MSTK	 เชียงราย	Trimble5700	
MHSN	 แม่ฮ่องสอน	Trimble5700	
OTRI	 ลำปาง	Trimble5800	

หมายเลข หมวด	ชื่อสถานที่ตั้ง	เครื่องมือ(เครื่องรุ่น)	รูปสถานที่ตั้ง
LOEI	 เลข	Trimble5700 Base	
UDON	 อุดรธานี	Trimble5700	
NKPH	 นครพนม	Trimble5700	

หมายเลข หมวด	ชื่อสถานที่ตั้ง	เครื่องมือ(เครื่องรุ่น)	รูปสถานที่ตั้ง
SRIS	 ศรีสะเกษ	Trimble5700	
CHAI	 ชัยภูมิ	Trimble5700	
UTHA	 อุทัยธานี	Trimble5700	

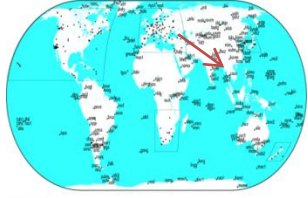

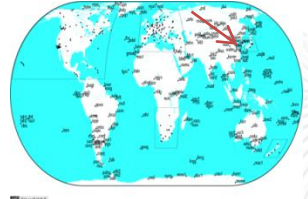

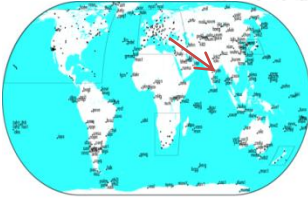

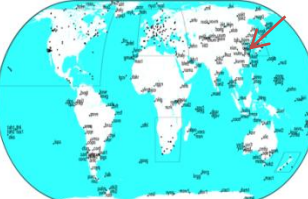



หมายเลข หมวด	ชื่อสถานที่ตั้ง	เครื่องมือ(เครื่องรุ่น)	รูปสถานที่ตั้ง
CHTB	 จันทบุรี	Trimble5800	
HUAH	 ประจวบคีรีขันธ์	Trimble5700	
CHON	 ชลบุรี	Leica SR520	

หมายเลข หมวด	ชื่อสถานที่ตั้ง	เครื่องมือ(เครื่องรุ่น)	รูปสถานที่ตั้ง
KCNB	 กาญจนบุรี	Trimble5800	
BANH	 ชุมพร	Trimble5700	
CHRI	 นครศรีธรรมราช	Trimble5700	

หมายเลข หมู่	ชื่อสถานที่ตั้ง	เครื่องมือ(เครื่องรุ่น)	รูปสถานที่ตั้ง
PAT2	 ปัตตานี	Trimble5700	
PHUK	 ภูเก็ต	Leica SR520	

จากตารางภาคผนวกที่ ก.1 แสดงหมายเลขหมู่ เครื่องมือและรูปสถานที่ตั้ง ของพื้นที่ในจุดทดสอบ  
ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นโครงข่ายอ้างอิงและหลัก มีจำนวน 18 หมู่

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 หมายเลขหมุด สถานที่ปฏิบัติงาน และรูปสถานที่ตั้ง (สถานีอ้างอิง)

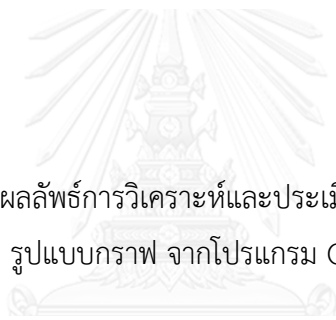
หมายเลขหมุด	ชื่อสถานที่ตั้ง	เครื่องมือ(เครื่องรุ่น)	รูปสถานที่ตั้ง
CUSV		TRIMBLE NETR5  (THAILAND)	
WUHN		TRIMBLE NETR9  (CHINA)	
PBRI		LEICA GRX1200+GNSS  (INDIA)	
TNML		AOA BENCHMARK ACT  TAIWAN	
IISC		ASHTECH UZ-12  (INDIA)	

ตารางภาคผนวกที่ ก.3 ประเภทของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

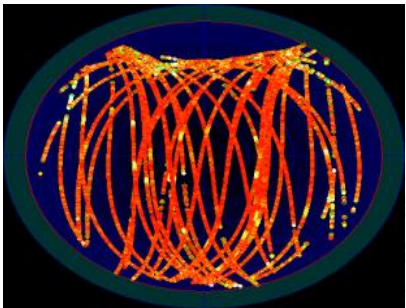
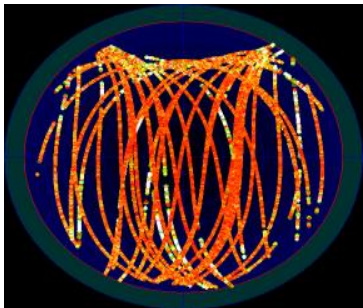
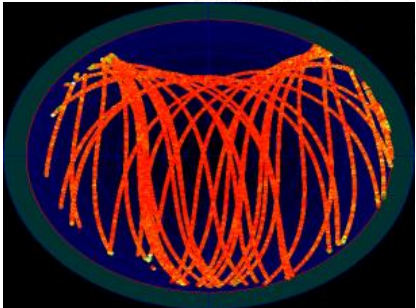
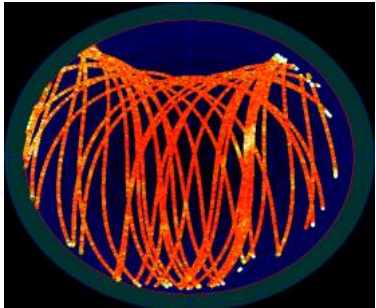
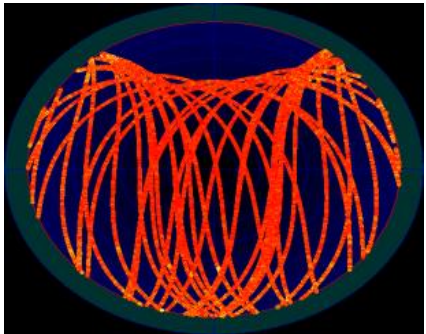
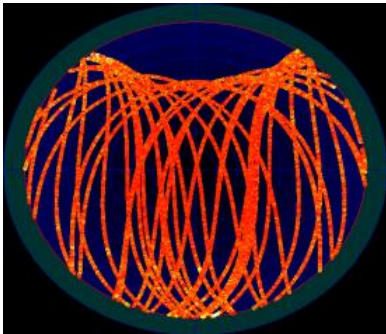
ประเภท	การทดสอบ	ระยะทาง (km)	คุณลักษณะ	
	GNSS CORSS 1	ใช้ข้อมูล ทดสอบ 48 ชม.	500- 1500	สนับสนุน IGS ใช้ทำ เป็นระบบพิกัดของ โลก
	GNSS CORSS 2	ใช้ข้อมูล ทดสอบ 48 ชม.	80-500	ใช้ทำเป็นระบบพิกัด ของโลกและระบบ พิกัดท้องถิ่น
	GNSS CORSS 3	ใช้ข้อมูล ทดสอบ 24 ชม.	20-80	ใช้ทำระบบพิกัด ท้องถิ่นและ Network RTK
	GNSS CORSS 4	ใช้ข้อมูล ทดสอบ 24 ชม.	20-80	Network RTK งาน ระดับ และงาน ก่อสร้าง

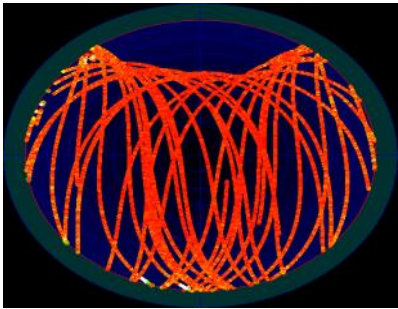
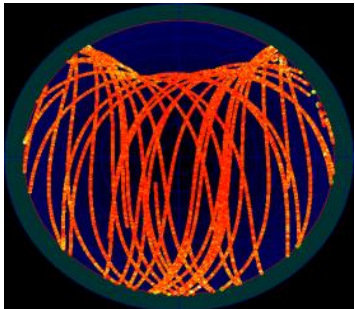
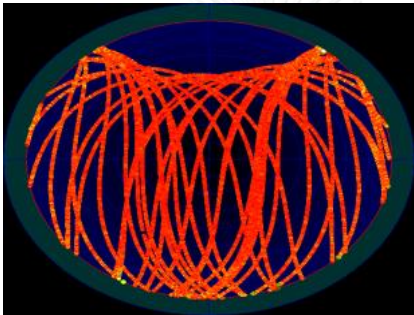
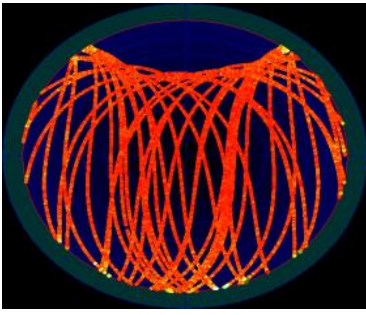
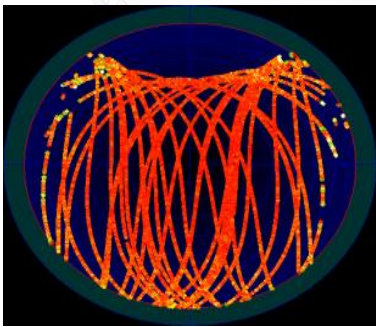
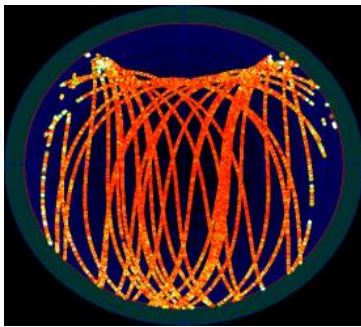
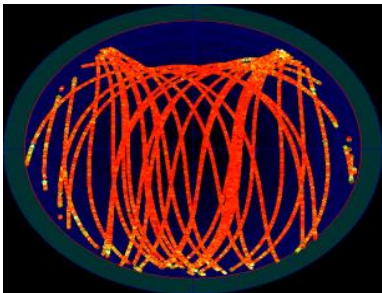
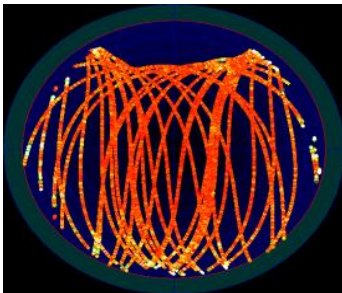


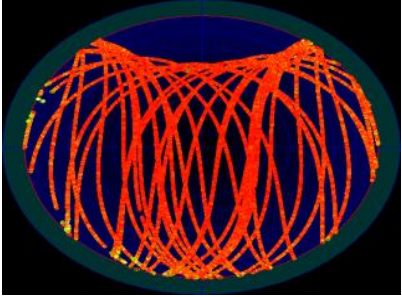
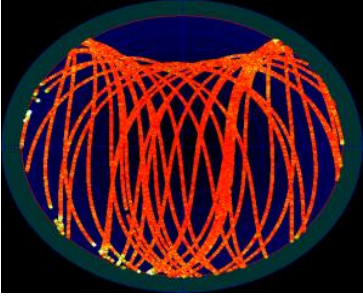
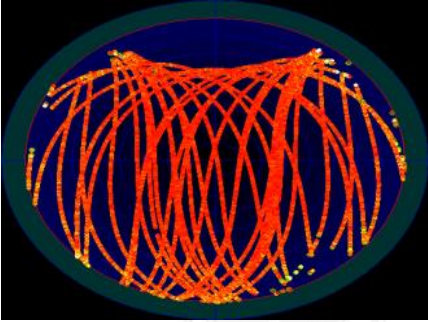
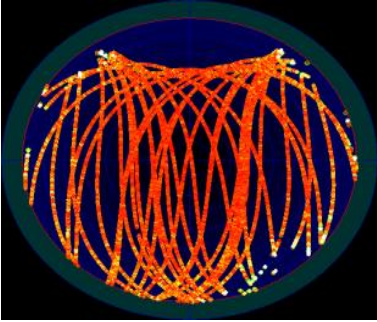
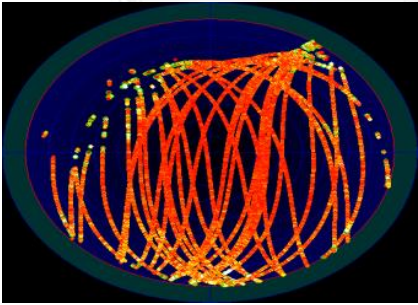
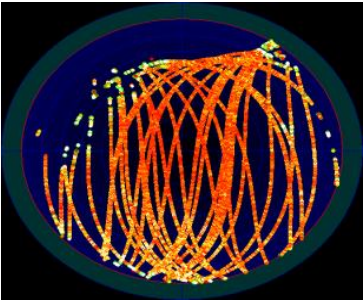
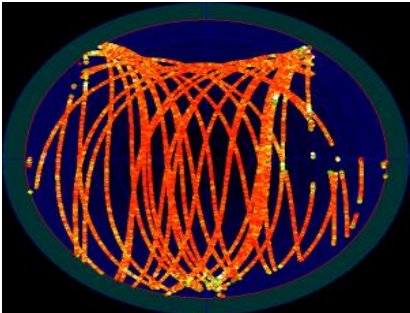
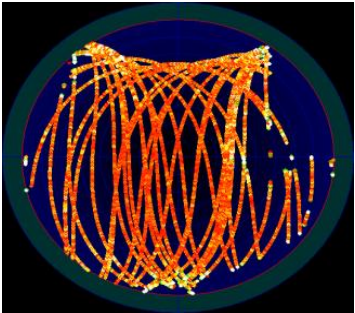
ภาคผนวก ข. ตารางแสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS  
รูปแบบกราฟ จากโปรแกรม QC2SKY

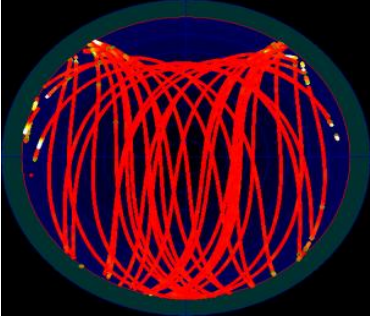
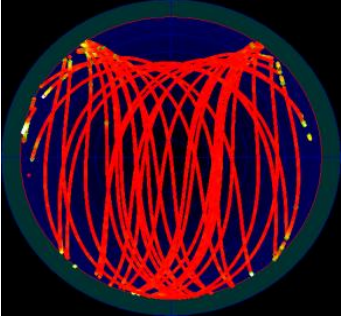
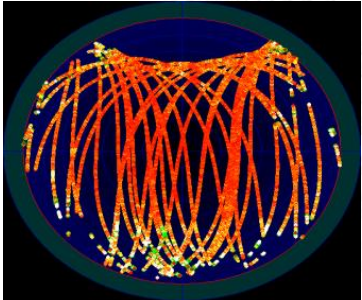
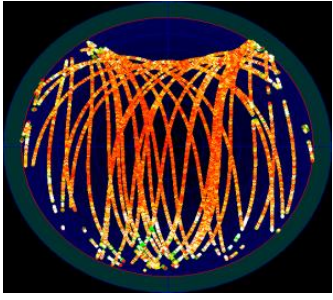
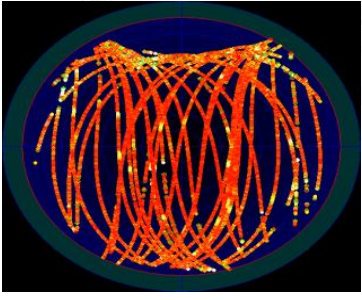
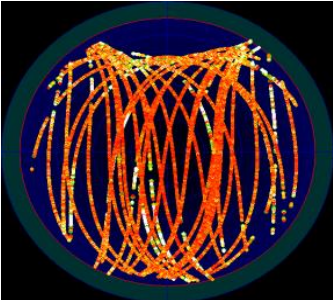
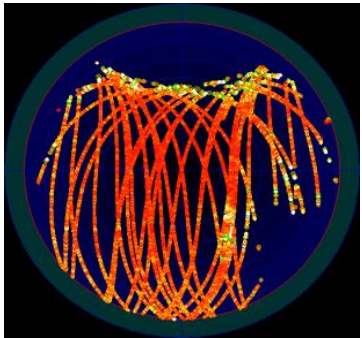
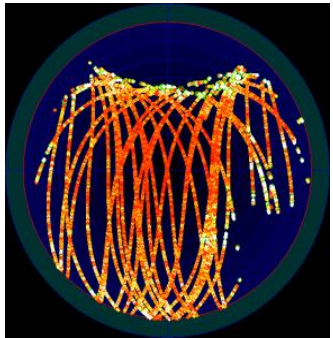


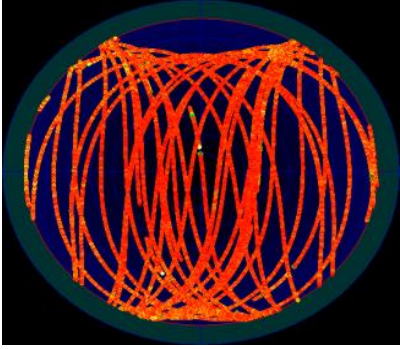
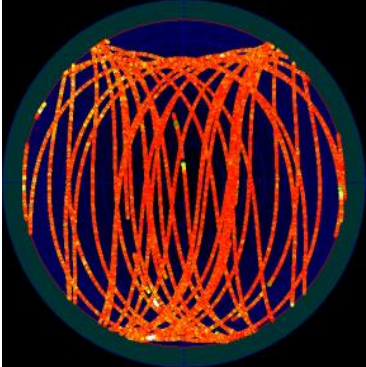
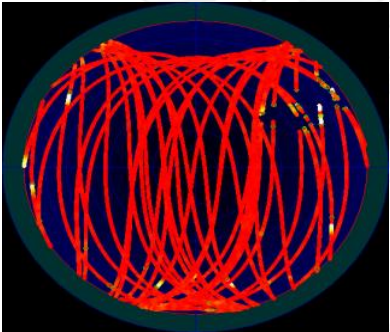
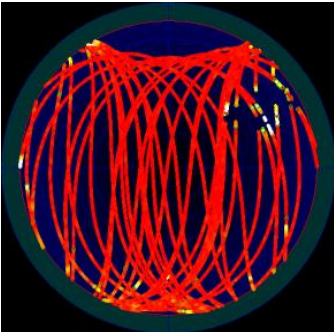
ตารางภาคผนวกที่ ข.1 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยรูปแบบกราฟ จากโปรแกรม QC2SKY โคจรข่ายอ้างอิงและหลัก จำนวน 18 หมู่ต ของกรมแผนที่ทหาร

Station	QC2SKY	
	MP1	MP2
เขียงราย MSTK		
แม่ฮ่องสอน MHSN		
ลำปาง OTRI		

Station	MP1	MP2
เลข LOEI		
อุดรธานี UDON		
นครพนม NKPH		
ศรีสะเกษ SRIS		

MP1	MP2	MP1
<p>ชัยภูมิ CHAI</p>		
<p>อุทัยธานี UTHA</p>		
<p>จันทบุรี CHTB</p>		
<p>ประจวบคีรีขันธ์ HUAH</p>		

MP1	MP2	MP1
<p>ชลบุรี CHON</p>		
<p>กาญจนบุรี KCNB</p>		
<p>ชุมพร BANH</p>		
<p>นครศรีธรรมราช CHRI</p>		

MP1	MP2	MP1
ปัตตานี PAT2		
ภูเก็ต PHUK		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางภาคผนวกที่ ข.1 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยรูปแบบกราฟ จากโปรแกรม QC2SKY โค้งข่ายอ้างอิงและหลัก จำนวน 18 หมุด ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งจะแสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนกับพื้นที่ที่ใช้ทดสอบในการจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง ในการวิเคราะห์หาความเหมาะสมของพื้นที่ในการจัดตั้งเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ร.ท.เสริม ชินรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 6 มกราคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัด ชัยภูมิ

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมสำรวจ เมื่อปี พ.ศ. 2555 จากโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

- เทคนิคการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม GNSS ในการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง, งานประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2559