

การหาการเคลื่อนตัวและความลึกถือของรอยเลื่อนสะกายในพม่าโดยใช้ข้อมูลจีพีเอส



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

Determination of movement and locking depth of the Sagaing fault in Myanmar using
GPS observations

Miss Tattawan Langtim



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

การหาการเคลื่อนตัวและความถี่คอของรอยเลื่อนสะ
ภายในพม่าโดยใช้ข้อมูลจีพีเอส

โดย

นางสาวทศพรพรรณ หลั่งทิม

สาขาวิชา

วิศวกรรมสำรวจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชรินทร์ ทินนโชติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชงทิศ ฉายากุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.ธีทัต เจริญกาลัญญา)

พัทธวรรณ หลังทิม : การหาการเคลื่อนตัวและความลึกล็อกของรอยเลื่อนสะกายในพม่าโดยใช้ข้อมูลจีพีเอส (Determination of movement and locking depth of the Sagaing fault in Myanmar using GPS observations) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 77 หน้า.

รอยเลื่อนสะกายเป็นรอยเลื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งจัดเป็นรอยเลื่อนที่มีพลังและสำคัญที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยรอยเลื่อนสะกายนั้นมีพฤติกรรมที่มักจะสะสมพลังงานเป็นเวลานานและสร้างเป็นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่เคยส่งผลกระทบต่อด้านแรงสั่นสะเทือนถึงประเทศไทย บริเวณกรุงเทพฯ ฯ ด้วยเหตุนี้จึงทำการศึกษาพฤติกรรมของรอยเลื่อนสะกาย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบรอยเลื่อนสะกาย และการหาตัวแปรอัตราการเคลื่อนตัว (movement rate) ความลึกล็อก (locking depth) รวมถึงการศึกษาพฤติกรรมของเปลือกโลกรอยเลื่อนสะกายที่เป็นรอยเลื่อนสำคัญในพม่า ซึ่งพม่าได้มีการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสตามขวางของรอยเลื่อนไว้ 8 สถานีอ้างอิง โดยติดตั้งทางตอนใต้และทางตอนเหนือของรอยเลื่อน ได้แก่ สถานี GYBU IGLE WAAW และสถานี SATG ที่ติดตั้งไว้ทางตอนใต้ ส่วนสถานีที่ติดตั้งไว้ทางตอนเหนือ ได้แก่ สถานี HAKA KANI SWBO และสถานี SDWN การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสตั้งแต่ปี 2011 - 2014 เป็นเวลาสามปีอย่างต่อเนื่อง โดยประมวลผลด้วยโปรแกรม Bernese ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูงของสถานีทั้ง 8 สถานี เพื่อนำมาใช้ในการหาตัวแปรร่วมกับ Arc tangent profile ด้วยสคริป iat ซึ่งผลการศึกษาการหาอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายพบว่าทางตอนเหนือของรอยเลื่อนสะกายมีอัตราการเคลื่อนตัวสูงสุดอยู่ที่ 1 เซนติเมตร ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทางตอนใต้ของรอยเลื่อนนั้นมีอัตราการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ 2 เซนติเมตร ไปทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้เช่นกัน สำหรับสถานีที่อยู่ทางตะวันตกของรอยเลื่อนมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือส่วนสถานีทางด้านตะวันออกเฉียงมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งจะพบว่าเป็นรอยเลื่อนที่มีการเคลื่อนตัวตามแนวราบแบบเฉียบขวา และสำหรับผลของความลึกล็อกและค่า Far-field velocity ของรอยเลื่อนสะกายจะพบว่า บริเวณทางตอนเหนือมีค่าความลึกล็อกอยู่ที่ประมาณ 2 กิโลเมตรและมีค่า Far-field velocity ประมาณ 6 เซนติเมตรต่อปี ส่วนทางตอนใต้นั้นมีค่าความลึกล็อกอยู่ที่ประมาณ 7 กิโลเมตรและมีค่า Far-field velocity ประมาณ 3 เซนติเมตรต่อปี ซึ่งอัตราการเคลื่อนตัวและความลึกล็อกนั้นสามารถใช้สันนิษฐานเกี่ยวกับแรงสั่นสะเทือนที่จะเกิดจากแผ่นดินไหวได้

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5770185021 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS: SAGAING FAULT, LOCKING DEPTH, GPS, ARCTANGENT PROFILE

TATTAWAN LANGTIM: Determination of movement and locking depth of the Sagaing fault in Myanmar using GPS observations. ADVISOR: PROF. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D., 77 pp.

The Sagaing fault is strike-slip fault the large, which is a fault with the power and most important in the Southeast Asian region by the Sagaing fault has behavior that usually accumulates power for a long time and created a massive earthquake that ever impact the vibration to area Bangkok of Thailand, this reason studied the behavior of the Sagaing fault.

This thesis aims to examine Sagaing fault, which is a major active fault in Myanmar, determine its movement rate and locking depth, and study its behavior. Myanmar has set up 8 GPS stations in northern and southern of the Sagaing fault. The GYBU IGLE WAAW and SATG stations, which are in the south, while the HAKA KANI SWBO and SDWN stations, which are in the north. Using GPS continuous observation from 2011 to 2014, this study processed data with the Bernese software to analyze the accurate positions of all 8 stations in an attempt to find out the behavior of the fault movement and used the data for movement rate calculation using Arctangent profile with iat clips. The results for movement rate of Sagaing fault is found to northern of fault has moving maximum 1 cm. to the southeast and southern of fault that has moving maximum 2 cm. to the southeast. The station is located west of the fault is moving toward the northeast and the station is located east of the fault is moving to the southeast. For result the locking depth and far-field velocity of area fault in the northern has locking depth values 2 km. and far-field velocity about 6 cm/yr. The southern has locking depth values 7 km. and far-field velocity about 3 cm/yr. Determination of movement rate and locking depth can be applied in the prediction of future Earthquake magnitude.

Department: Survey Engineering Student's Signature

Field of Study: Survey Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ และได้สละเวลาในการให้ความรู้ คำแนะนำ รวมถึงช่วยในการวางแผนและแนะแนวทางการปฏิบัติในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบผลสำเร็จได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ชรินทร์ ทินนโชติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธงทิศ ฉายากุล และ อาจารย์ ดร.ธีทัต เจริญกาศัญญูตา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้องที่ได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่สำคัญที่ทำให้ปริญญาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ๆ และ เพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ให้คำแนะนำและแลกเปลี่ยนความรู้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมา

ท้ายที่สุดนี้ ผลประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอมอบให้บิดา มารดา และ คณาจารย์สาขาภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน ด้วยความเคารพอย่างสูง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
สารบัญแผนผัง	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา	4
1.4 วิธีการดำเนินงาน	5
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ธรรมชาติของรอยเลื่อน	6
2.1.1 การจำแนกประเภทของรอยเลื่อน	7
2.1.2 รอยเลื่อนสะกาย	10
2.2 วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจากสมการค่าสังเกต (GPS Observation Equations)	13
2.2.1 วิธีการวัดซูโดเรนจ์ (Pseudo-Ranges)	13
2.2.2 วิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phases)	15
2.2.3 เทคนิคค่าต่าง (Differencing technique)	16
2.2.3.1 การหาค่าต่างครั้งหนึ่ง (Single differencing)	17

2.2.3.2 การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing).....	19
2.2.3.3 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing).....	20
2.3 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสัมพัทธ์ที่ต้องการความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร.....	22
2.3.1 การรังวัดแบบสถิต (Static)	25
2.3.2 การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static)	25
2.4 ค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลดาวเทียมจีพีเอส (GPS Observation Errors)	26
2.4.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (Satellite Dependent errors)-	26
2.4.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	27
2.4.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ (Signal Propagation errors)	28
2.4.4 ค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ (Other errors)	31
2.5 แนวเหตุผล, ทฤษฎีสำคัญ หรือสมมติฐาน.....	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	38
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	39
3.2 การประมวลผลค่าพิกัดความถูกต้องสูงของสถานีจีพีเอสด้วยโปรแกรม Bernese 5.0	41
3.2.1 การเตรียมข้อมูลจีพีเอส	42
3.2.2 การเตรียมข้อมูลวงโคจรดาวเทียม (Satellite Orbit Information)	42
3.2.3 ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก.....	43
(Earth Rotation Parameters/Pole Information)	43
3.2.4 ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.....	44
3.2.5 ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากนาฬิกาดาวเทียม	44
3.2.6 ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทร โพสเฟียร์แบบทั้งโลก	45

3.2.7 ข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นต่อการประมวลผล	45
3.2.8 การประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดความถูกต้องสูงด้วย Bernese Processing Engine (BPE)	47
3.3 การประมวลผลค่าการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอส	50
3.4 การประมวลผลค่าความลึกลึกลับ	51
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	55
4.1 ผลการประมวลผลค่าพิกัดของสถานีจีพีเอส	55
4.2 ผลการหาค่าการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอส	56
4.3 ผลการหาค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อน	66
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	69
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
รายการอ้างอิง	72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	77

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ตารางแสดงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของสถานีทั้ง 8 สถานี	4
ตารางที่ 3.1	ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลที่ใช้เป็นการประมวลผลด้วยโปรแกรม Bernese (สมเกียรติ์ อนงค์เลขา พ.ศ. 2551).....	46
ตารางที่ 4.1	ค่าความเร็วของทั้ง 6 สถานีจากอัตราการเคลื่อนตัว	64



สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 แผนที่แสดงการวางตัวของรอยเลื่อนสะกายที่พาดผ่านเมืองสำคัญ (Wang et al. 2011).....	2
ภาพที่ 1.2 แผนที่แสดงตำแหน่งของสถานี cGPS ทั้ง 8 สถานี.....	3
ภาพที่ 2.1 (ก) รอยเลื่อน (fault) พบเป็นระนาบการเลื่อนชัดเจน (ข) เขตรอยเลื่อน (fault zone) พบเป็นระนาบรอยเลื่อนหลายแนว (ค) เขตรอยเลื่อน (shear zone) พบการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบพลาสติก.....	7
ภาพที่ 2.2 การแบ่งรอยเลื่อนตามแนวการเลื่อน (slip) แบ่งได้เป็น 4 ประเภท.....	9
ภาพที่ 2.3 แผนที่ประเทศพม่าและพื้นที่ข้างเคียงแสดงการวางตัวของรอยเลื่อนสะกาย และตำแหน่งเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สำคัญ (สัญลักษณ์ดาวแดง) และแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือตรวจวัด (สัญลักษณ์วงกลมน้ำเงิน) (สันติและสันทวัฒน์ พ.ศ. 2555).....	11
ภาพที่ 2.4 แผนที่แสดงตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวล่าสุดของรอยเลื่อนสะกาย (http://www.geothai.net/i-live-on-the-sagaing-fault/).....	12
ภาพที่ 2.5 การเทียบสัญญาณของรหัสเพื่อหาเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ.....	13
ภาพที่ 2.6 การวัดระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ (http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html).....	14
ภาพที่ 2.7 แสดงเทคนิคค่าต่างลักษณะต่างๆ (Rizos 1997).....	16
ภาพที่ 2.8 การหาค่าต่างครั้งที่สอง (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2546).....	20
ภาพที่ 2.9 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2546).....	21
ภาพที่ 2.10 การหาค่าตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html).....	23
ภาพที่ 2.11 การสร้างสมการค่าต่างครั้งที่สองแบบมีดาวเทียมดวงหนึ่งเป็นดวงอ้างอิง.....	24
ภาพที่ 2.12 ภาพตารางค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรที่มีผลต่อค่าคลาดเคลื่อนของระยะเส้นฐาน.....	27
ภาพที่ 2.13 การล่าช้าเนื่องมาจากเส้นทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	29
ภาพที่ 2.14 คลื่นหลายวิถีและคลื่นสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียม.....	31

ภาพที่ 2.15 กราฟแสดงความเร็วสถานีที่ขนานกับรอยเลื่อนพลีตกับระยะทางไปถึงรอยเลื่อนที่ fit พอดีกับเส้นโค้ง arctangent โดยวงกลมสีเทา สีดำและสีขาวเป็นตัวแทนของภาคเหนือ ภาคกลางและภาคใต้ ผ่าความเร็วขนานรอยเลื่อนตามลำดับ เส้นโค้งแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดแบบที่ตีที่ที่สุดที่สำหรับความลึกถือ 15 กิโลเมตร แนวตั้งเส้นประแสดงตำแหน่งของรอยเลื่อนสะกายไปทางทิศตะวันตกของความคลาดเคลื่อนความยืดหยุ่น 17 กิโลเมตร..... 34

ภาพที่ 2.16 กราฟแสดงผลการประมาณความลึกจากการศึกษา geodetic 36

ภาพที่ 3.1 ภาพตารางชุดข้อมูลจีพีเอสของทั้ง 8 สถานี ที่ใช้ในการประมวลผล..... 39

ภาพที่ 3.2 เครื่องรับชนิด Geodatic Trimble Gns NetR8 และ NetR9..... 40

ภาพที่ 3.3 เสาอากาศประเภท Trimble Gns choke ring 41

ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลจีพีเอสในรูปแบบไฟล์ Rinex .o ของสถานี IGLE..... 42

ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างการโหลดไฟล์มูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก..... 43

ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างการโหลดไฟล์ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก Differential Code Biass ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม 44

ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างการโหลดไฟล์ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากนาฬิกาดาวเทียม 45

ภาพที่ 3.8 หน้าต่างแสดงลำดับ Module ที่ใช้ในการประมวลผลด้วยวิธี Bernese Processing Engine (BPE) 48

ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างไฟล์ผลลัพธ์ของค่าพิกัดสถานีจีพีเอส SATG ที่ได้จากโปรแกรม Bernese 5.0.... 56

ภาพที่ 4.2 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี IGLE 57

ภาพที่ 4.3 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี WAAW..... 58

ภาพที่ 4.4 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี SATG 59

ภาพที่ 4.5 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี KANI..... 61

ภาพที่ 4.6 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี SWBO 62

ภาพที่ 4.7 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี SDWN..... 63

ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างการพล็อตเวกเตอร์ความเร็วของสถานี SATG 64

ภาพที่ 4.9 แผนที่แสดงอัตราเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของทั้ง 8 สถานีบริเวณรอยเลื่อนสะกาย . 65

ภาพที่ 4.10 ข้อมูลของสถานีที่ตั้งอยู่ทางตอนเหนือของรอยเลื่อน	66
ภาพที่ 4.11 ข้อมูลของสถานีที่ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของรอยเลื่อน	66
ภาพที่ 4.12 พารามิเตอร์ของสถานีที่ตั้งอยู่ทางตอนเหนือของรอยเลื่อน	67
ภาพที่ 4.13 พารามิเตอร์ของสถานีที่ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของรอยเลื่อน	67
ภาพที่ 4.14 การพล็อตความเร็วกับระยะทางโดยการพิตเข้ากับ Arctangent ของสถานีทาง ตอนเหนือที่พิตเข้าได้ดีกับที่ระดับความลึก 2 กิโลเมตรและค่า Far-field velocity ที่ 60 มิลลิเมตรต่อปี	67
ภาพที่ 4.15 การพล็อตความเร็วกับระยะทางโดยการพิตเข้ากับ Arctangent ของสถานีทาง ตอนใต้ที่พิตเข้าได้ดีกับที่ระดับความลึก 7 กิโลเมตรและค่า Far-field velocity ที่ 33 มิลลิเมตรต่อปี	68



สารบัญแผนผัง

แผนผังที่ 3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	38
แผนผังที่ 3.2	ขั้นตอนการคำนวณของสคลิป iat.....	53



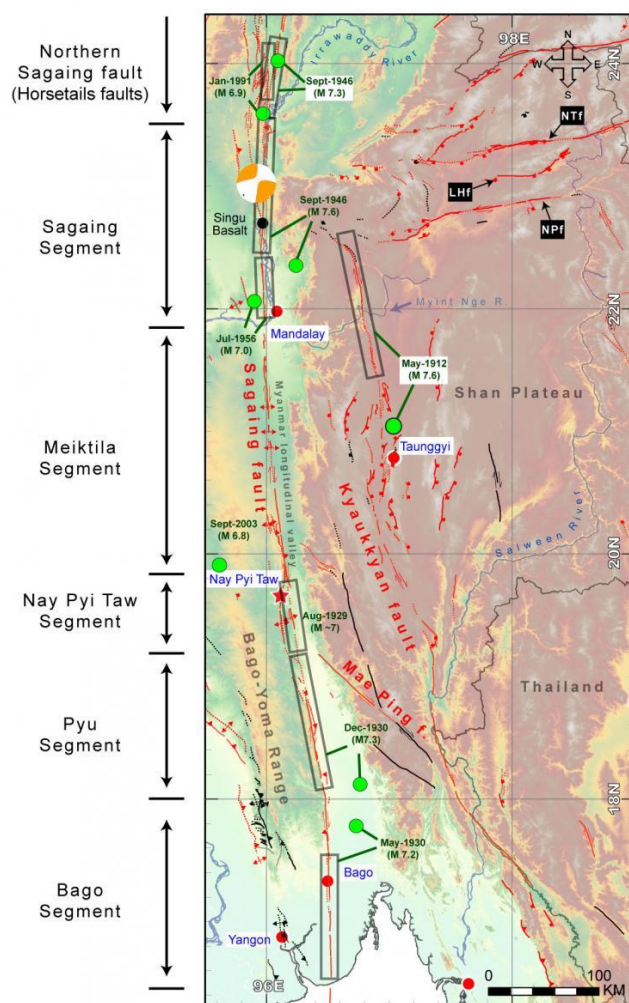
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รอยเลื่อนสะกาย (Sagaing fault) หรือรอยเลื่อนสะแกง เป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับ (Strike Slip) ขนาดใหญ่ที่มีการวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ผ่านพื้นที่ประเทศพม่าจากทางตอนเหนือของเมืองมิตจีนา (Myitkyina) และพาดผ่านเมืองสำคัญ เช่น เมืองมัณฑะเลย์ (Mandalay) ตองยี (Tounggyi) เนปีดอร์ (Naypyidaw) พะโค (Bago) ย่างกุ้ง (Yangon) และต่อยาวลงไปทางทะเลอันดามัน ดังภาพที่ 1.1 ซึ่งจัดเป็นรอยเลื่อนที่มีพลังและสำคัญที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Dain et al. 1984) มีความยาวประมาณ 1,200 กิโลเมตร ซึ่งทางธรณีเชื่อว่ารอยเลื่อนสะกายเป็นรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลก ชุนดาและแผ่นเปลือกโลกพม่า แต่ปัจจุบันถือเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) สำหรับการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายนั้นมีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลาในรูปแบบการเคลื่อนเหลี่ยมข้างแบบขวา (Dextral Strike-slip Fault) ด้วยอัตราการเคลื่อนตัวเฉลี่ยประมาณ 18 มิลลิเมตรต่อปี และอัตราการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอินเดียที่ชนกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย มีอัตราเร็วประมาณ 35 มิลลิเมตรต่อปี โดยรอยเลื่อนสะกายนั้นมีพฤติกรรมที่มักจะสะสมพลังงานเป็นเวลานานและสร้างเป็นแผ่นดินไหวใหญ่มากกว่าที่จะค่อยๆ ปลดปล่อยพลังงานออกมาเป็นแผ่นดินไหวขนาดเล็กหลายๆครั้ง เป็นผลทำให้ประเทศเพื่อนบ้านอย่างประเทศไทยมีโอกาสสูงที่จะได้รับผลกระทบด้านแรงสั่นสะเทือนหากเกิดแผ่นดินไหวขนาด 7.0 – 8.0 ริกเตอร์ จากแรงสั่นสะเทือนในระดับนี้จะทำให้บริเวณทางตอนเหนือและทางฝั่งตะวันตกของประเทศไทย ตั้งแต่แม่ฮ่องสอน ตาก สุพรรณบุรีและกาญจนบุรี มีโอกาสได้รับผลกระทบด้านแรงสั่นสะเทือนและรอยเลื่อนนี้เคยเกิดแผ่นดินไหวมาแล้ว 12 ครั้ง ความแรงสูงถึง 8.0 ริกได้รับแรงสั่นสะเทือนถึงกรุงเทพฯ (Pailoplee 2012) จึงเป็นเรื่องที่น่าห่วง เพราะประเทศไทยมีโบราณสถานและวัดที่สำคัญหลายแห่ง จากสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่ใต้กรุงเทพฯ ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวที่ค่อนข้างหนา ดังนั้นจึงมีโอกาสที่แรงสั่นสะเทือนที่ได้รับนั้นอาจจะมีการขยายสัญญาณอันเนื่องมาจากชั้นดินอ่อน (Soil amplification) จากการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองแรงสั่นของพื้นดินบริเวณกรุงเทพฯ (อำนาจ ยานูวิริยะกุล และสุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์ พ.ศ. 2552) ประเมินว่าชั้นดินอ่อนที่สะสมตัวอยู่ใต้กรุงเทพฯ นั้นมีโอกาสขยายแรงสั่นสะเทือนได้สูงสุดถึง 3 เท่า จากระดับปกติซึ่งมีโอกาสสูงที่จะสอดคล้องและสั่นพ้อง (Resonance) กับอาคารสูง ด้วยเหตุนี้นอกจากการติดตาม

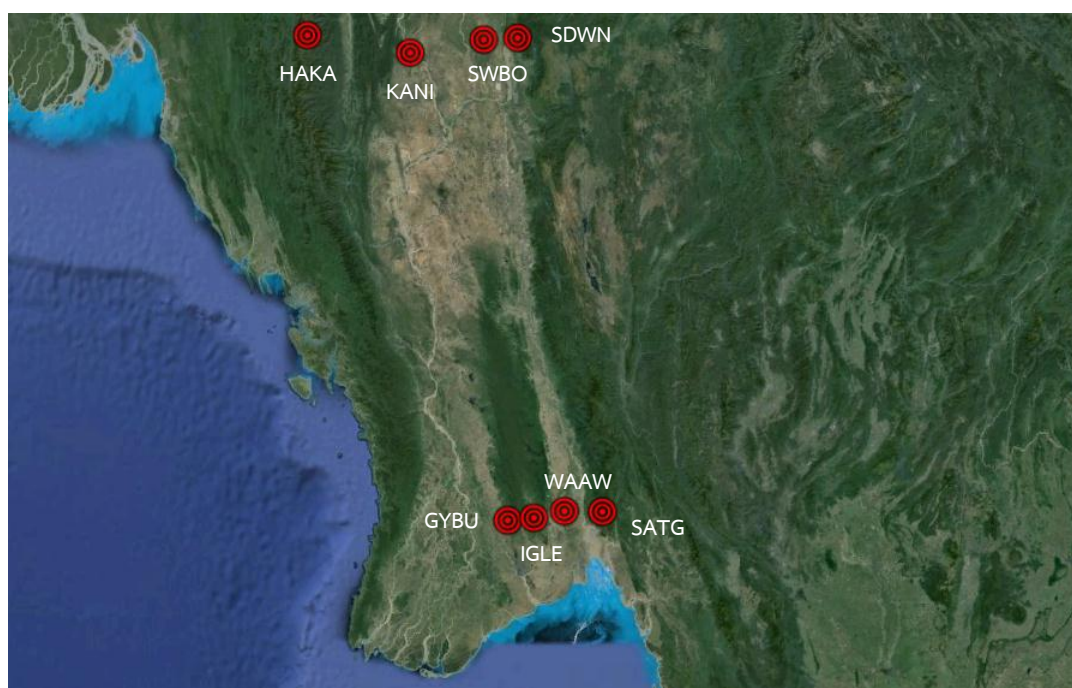
และเฝ้าระวังกลุ่มรอยเลื่อนต่างๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงอย่างรอยเลื่อนศรีสวัสดิ์และรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ จึงควรเฝ้าระวังรอยเลื่อนสะกายซึ่งมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ และส่งผลกระทบต่อด้านแรงสั่นสะเทือนต่ออาคารสูงด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 1.1 แผนที่แสดงการวางตัวของรอยเลื่อนสะกายที่พาดผ่านเมืองสำคัญ (Wang et al. 2011)

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดในการศึกษาหาอัตราการเคลื่อนตัวและความลึก (Locking depth of fault) โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคโนโลยีจีพีเอสที่ถือว่าเป็นเครื่องมือที่ดีที่สุดสำหรับการตรวจสอบรอยเลื่อนสะกายตั้งแต่ปี 2011 เป็นต้นมา ซึ่งพม่าได้มีการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสไว้ 8 สถานีท้องถิ่น (continuous Global Positioning System : cGPS) โดยตั้งอยู่ทางตอนใต้และทางตอนเหนือของพม่า ได้แก่ สถานี GYBU IGLE

WAAW และสถานี SATG ที่ติดตั้งไว้ทางตอนใต้ ส่วนสถานีที่ติดตั้งไว้ทางตอนเหนือ ได้แก่ สถานี HAKA KANI SWBO และสถานี SDWN ดังภาพที่ 1.2 และตารางที่ 1.1 โดยใช้เครื่องรับชนิด Geodetic Trimble GNSS ที่มีอัตราการบันทึกข้อมูลทุก 15 วินาที มีการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมง สำหรับโปรแกรมในการวิเคราะห์ผลและแสดงข้อมูลตำแหน่งของสถานีจีพีเอส ด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 ที่สามารถหาค่าพิกัดความถูกต้องสูงด้วยเทคนิคค่าต่างและโปรแกรมสำหรับประมาณความลึกของรอยเลื่อนที่สามารถสันนิษฐานแรงสั่นสะเทือนที่อาจเกิดจากแผ่นดินไหวของรอยเลื่อนสะกาย



ภาพที่ 1.2 แผนที่แสดงตำแหน่งของสถานี cGPS ทั้ง 8 สถานี

ตาราง 1.1 ตารางแสดงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของสถานีทั้ง 8 สถานี

Station	Instrument	Latitude	Longitude
GYBU	Trimble NetR9	17°22'11.66"N	96° 1'33.83"E
IGLE	Trimble NetR8	17°23'49.06"N	96°19'19.94"E
WAAW	Trimble NetR8	17°28'9.84"N	96°40'1.84"E
SATG	Trimble NetR8	17°27'44.74"N	97° 5'48.99"E
HAKA	Trimble NetR9	22°38'4.15"N	93°36'16.15"E
KANI	Trimble NetR9	22°26'2.56"N	94°50'47.38"E
SWBO	Trimble NetR9	22°34'20.59"N	95°43'5.00"E
SDWN	Trimble NetR9	22°35'11.44"N	96° 7'7.97"E

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาพฤติกรรมและอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายในปี 2011 – 2014

1.2.2 ศึกษาหาความลึกลึอกที่สามารถสันนิษฐานแรงสั่นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นของรอยเลื่อนสะกาย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การดำเนินการศึกษางานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ที่ติดตั้งอยู่บริเวณรอยเลื่อนสะกายทั้ง 8 สถานี โดยข้อมูลทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้จากการเริ่มต้นของทุกสถานีไม่เกินเดือนมีนาคม 2014 (ตั้งแต่ปี 2011 – 2014) ซึ่งสถานี cGPS ทางตอนใต้ได้รับการดำเนินการตั้งแต่เดือนมีนาคม 2011 และสถานี cGPS ทางตอนเหนือได้รับการดำเนินการตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2012 โดยสถานีทั้งหมดถูกติดตั้งด้วยเครื่องรับ Trimble NetR8 และ NetR9 ที่เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ที่มีช่องสัญญาณมากถึง 440 ช่องสัญญาณ สามารถรองรับสัญญาณดาวเทียมทั้งระบบ GPS และ GLONASS ได้ สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้นี้มีการประมวลผลค่าพิกัดของสถานี cGPS ทั้ง 8 สถานี ด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 และนำค่าอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการประมาณความลึกที่มีผลต่อบริเวณรอยเลื่อนที่มีการสะสมความเครียด เรียกกันทั่วไปว่า เป็นความลึกลึอกของรอยเลื่อน โดยใช้รูปแบบความคลาดเคลื่อนยืดหยุ่น (Elastic Dislocation Model)

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาพฤติกรรมลักษณะรอยเลื่อนและการเกิดแผ่นดินไหวรอยเลื่อนสะกาย
- 1.4.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม Bernese 5.0 ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอส
- 1.4.3 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลงานวิจัยทั้งหมด ประกอบด้วย ข้อมูลจีพีเอส ข้อมูลวงโคจรดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องจากระดับบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นในการประมวลผล
- 1.4.4 ประมวลผลค่าพิสัยความถูกต้องสูงของสถานี cGPS ทั้ง 8 สถานี ที่ติดตั้งอยู่บริเวณรอยเลื่อนสะกายด้วยโปรแกรม Bernese 5.0
- 1.4.5 หาค่าอัตราการเคลื่อนตัวของสถานี cGPS ทั้ง 8 สถานีตามรอยเลื่อนสะกาย
- 1.4.6 ประมวลผลหาค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อนสะกาย
- 1.4.7 วิเคราะห์ สรุปผลที่ได้และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์
- 1.4.8 ประเมินงานวิจัย
- 1.4.9 นำเสนอผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

- 1.5.1 ทราบถึงพฤติกรรมและอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายในช่วงปี 2011 - 2014
- 1.5.2 ทราบถึงค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อนสะกาย ที่เป็นตัวแปรในการนำไปศึกษาและสันนิษฐานแรงการสั่นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้
- 1.5.3 สามารถเขียน script ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบอัตโนมัติได้ด้วยโปรแกรม Bernese 5.0

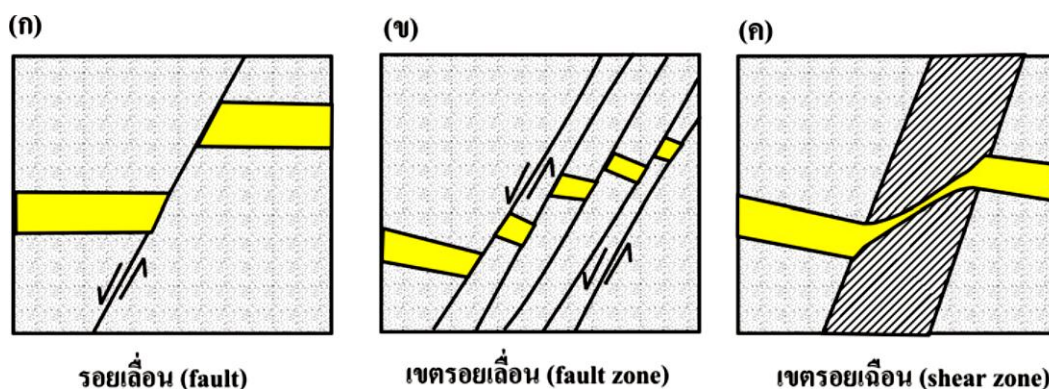
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การสำรวจโดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลจีพีเอสในการหาอัตราการเคลื่อนตัวและความลึกลึกของรอยเลื่อนสะกายในพม่า นั้นจำเป็นที่จะต้องศึกษาลักษณะพฤติกรรมของรอยเลื่อนและการเกิดแผ่นดินไหวรอยเลื่อนสะกาย รวมถึงศึกษาภาพรวมของจีพีเอสที่ใช้เป็นข้อมูลหลักในการประมวลผลของงานวิจัยนี้

2.1 ธรรมชาติของรอยเลื่อน

คำว่า “รอยเลื่อน (fault)” เป็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาประเภทหนึ่ง ที่ถูกบันทึกไว้ในหิน ที่สามารถพบได้ทั่วไป ซึ่งรอยเลื่อนเป็นผลของการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (deformation) อันเนื่องมาจากแรงกระทำภายนอก นิยามของ รอยเลื่อน (fault) คือ รอยแตกที่เกิดจากการเฉือนที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าว่าหินมีการเลื่อนเกิดขึ้น รอยเลื่อนเกิดจากกลไกการแตก และการแตกหักบดอัด (fracturing and cataclasis mechanisms) ทำให้แผ่นหินแตกและเลื่อนตัวระนาบออกจากกันชัดเจน ดังภาพที่ 2.1 ถ้าหินมีการเกิดการเลื่อนซ้ำๆ และมีระนาบมากมาย เรียกว่า “เขตรอยเลื่อน (fault zone)” รอยเลื่อนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะแบบเปราะ (brittle deformation) ถ้าอยู่ที่ระดับลึกที่สภาวะหินมีสภาพเป็นอ่อนนิ่ม (ductile) จะเกิดเป็น “เขตรอยเฉือน (shear zone)” รอยเลื่อนมีได้ทั้งขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ อาจพบเป็นความยาวกว่า 1,000 กิโลเมตร โดยมีระยะการเลื่อน (offset) ประมาณหลายร้อยกิโลเมตร



ภาพที่ 2.1 (ก) รอยเลื่อน (fault) พบเป็นระนาบการเคลื่อนชัดเจน (ข) เขตรอยเลื่อน (fault zone) พบเป็นระนาบรอยเลื่อนหลายแนว (ค) เขตรอยเลื่อน (shear zone) พบการเปลี่ยนลักษณะแบบพลาสติก

2.1.1 การจำแนกประเภทของรอยเลื่อน

การจำแนกประเภทของรอยเลื่อนเป็นการจำแนกโดยการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (descriptive analysis) ของโครงสร้างรอยเลื่อนโดยทั่วไป จะบรรยายลักษณะโดยการบอกทิศทางของการเลื่อน (direction of displacement) นัยการเลื่อน (sense of displacement) และระยะทางการเลื่อน (magnitude of displacement) นั่นคือ การบอกการเลื่อนที่แนวการเลื่อนเป็นระยะจริงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ไปตามระนาบของรอยเลื่อน (fault plane) ถ้าไม่สามารถพบแนวการเลื่อนจริง (true slip) จะใช้แนวการแยก (separation) แทน เพราะแนวการแยกของชั้นหินจะเป็นระยะปรากฏ (actual separation) ของการเลื่อนของแผ่นหินที่เลื่อนห่างออกจากกันทั้งสองฟาก ซึ่งการจำแนกรอยเลื่อนมีหลายประเภท ในที่นี้เลือกกล่าวเฉพาะที่สำคัญและเป็นที่ยอมรับได้แก่

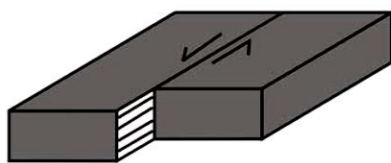
1. การจำแนกโดยใช้มุมเท (dip angle classification)

การจำแนกโดยใช้มุมเท แบ่งย่อยออกเป็นสองชนิด คือ รอยเลื่อนมุมเทสูง (high angle fault) และรอยเลื่อนมุมเทต่ำ (low angle fault) โดยที่มุมเท หมายถึง มุมที่เกิดจากระนาบของโครงสร้างทางธรณีวิทยาตัดกับระนาบแนวนอน ทิศทางของแนวเทจะตั้งฉากกับแนวระดับ มุมเทที่มีค่ามากกว่า 45 องศา เป็นมุมเทสูง ส่วนมุมเทต่ำมีค่าน้อยกว่า 45 องศา การแบ่งประเภทนี้พิจารณาเพียงมุมเทเท่านั้น การจำแนกประเภทไม่ทำให้เกิดภาพลักษณ์ที่เจาะจงมากนัก ตัวอย่างเช่น รอยเลื่อนด้านข้าง ระนาบของรอยเลื่อนมีมุมเท 90 องศา หรือรอยเลื่อนปกติ ระนาบมุมเท 60 องศา เรียกเป็น รอยเลื่อนมุมเทสูง ทั้งหมด จึงเป็นการจัดแบ่งที่ค่อนข้างง่าย แต่ไม่ทำให้ได้ภาพลักษณ์ที่เฉพาะเจาะจง

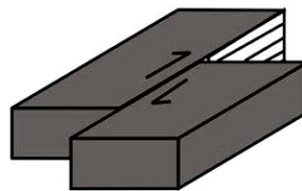
2. การจำแนกโดยใช้แนวการเลื่อน (slip classification)

แบ่งด้วยแนวการเลื่อนที่ปรากฏในหินโผล่สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่ม 4 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ รอยเลื่อนแนวระดับ (strike-slip fault) รอยเลื่อนแนวมุมเท (dip-slip fault) รอยเลื่อนตามแนวเฉียง (oblique-slip fault) และรอยเลื่อนหมุน (rotational fault) รอยเลื่อนทั้ง 4 ชนิดจะแบ่งย่อย แสดงในภาพที่ 2.2 ตัวอย่างเช่น จากการเลื่อนแนวมุมเท จะแบ่งย่อยลงไปเป็น รอยเลื่อนแนวมุมเทปกติ (dip slip normal fault) และ รอยเลื่อนแนวมุมเทย้อน (dip slip thrust fault) หากเป็นตามแนวเฉียงก็จะได้เป็น รอยเลื่อนแนวเฉียงปกติไปทางซ้าย หรือขวา (oblique slip left- (or right) handed normal fault) และรอยเลื่อนแนวเฉียงย้อนไปทางซ้ายหรือขวา (oblique slip left- (or right) handed reverse fault) ส่วนรอยเลื่อนตามแนวระดับ แบ่งย่อยเป็นรอยเลื่อนตามแนวระดับไปทางซ้าย (left (sinistral) strike-slip fault) และรอยเลื่อนตามแนวระดับไปด้านขวา (right (dextral) strike-slip fault) นอกจากนี้การแยกรอยเลื่อนแนวย้อนมุมต่ำ (thrust-slip fault) ออกจากรอยเลื่อนแนวย้อน (reverseslip) โดยรอยเลื่อนแนวย้อนมุมต่ำ ต้องมีมุมน้อยกว่า 45 องศา ส่วนรอยเลื่อนแนวมุมเทปกติ (normal-slip fault) หากมีมุมน้อยกว่า 45 องศา จะเรียกว่า รอยเลื่อนแนวมุมเทปกติมุมต่ำ (low-angle normal slip fault)

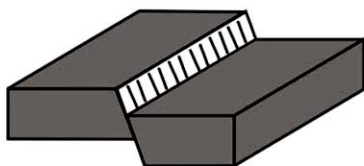
โดยทั่วไปจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว (Epicenter) เป็นจุดบนพื้นผิวโลกอยู่เหนือจุดโฟกัส (Hypocenter) โดยทั่วไปตำแหน่งของแผ่นดินไหวจะบอกพิกัดของจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว และความลึกจากผิวดินถึงจุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่มีความลึกน้อยกว่า 70 กิโลเมตร ถือว่าเป็นแผ่นดินไหวแบบตื้น (Shallow earthquakes) ที่ความลึกระหว่าง 70-300 กิโลเมตร เป็นแบบกลาง (Intermediate earthquake) ที่ความลึกมากกว่า 300 กิโลเมตร เรียกว่าแบบลึก (Deep earthquake)

(ก) รอยเลื่อนแนวระดับ (Strike-slip faults)

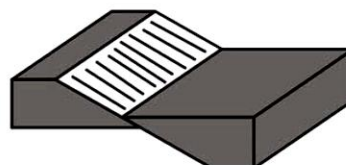
รอยเลื่อนแนวระดับแบบไปทางซ้ายมือ
(Left-handed strike-slip faults)



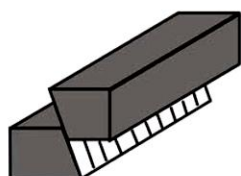
รอยเลื่อนแนวระดับแบบไปทางขวามือ
(Right-handed strike-slip faults)

(ข) รอยเลื่อนแนวมุมเท (Dip-slip faults)

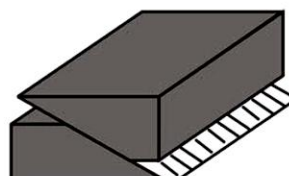
รอยเลื่อนแนวมุมเทปกติ
(Normal-slip fault)



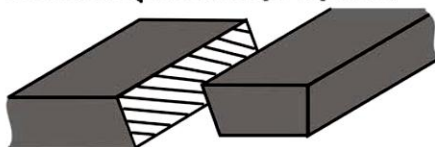
รอยเลื่อนแนวมุมเทปกติมุมต่ำ
(Low-angle normal-slip fault)



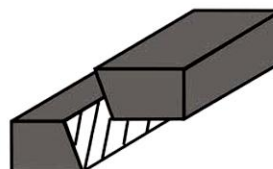
รอยเลื่อนแนวย้อน
(Reverse-slip fault)



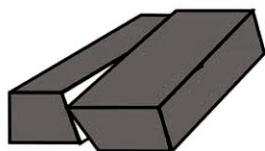
รอยเลื่อนแนวย้อนมุมต่ำ
(Thrust-slip fault)

(ค) รอยเลื่อนแนวมุมเฉียง (Oblique-slip faults)

รอยเลื่อนแนวมุมเฉียงปกติแบบไปทางซ้ายมือ
(Normal left-slip fault)



รอยเลื่อนแนวมุมเฉียงย้อนแบบไปทางซ้ายมือ
(Left-handed reverse-slip fault)

(ง) รอยเลื่อนหมุน (Rotational fault)

ภาพที่ 2.2 การแบ่งรอยเลื่อนตามแนวการเลื่อน (slip) แบ่งได้เป็น 4 ประเภท
(ก) รอยเลื่อนแนวระดับ (strike-slip fault) (ข) รอยเลื่อนแนวมุมเท (dip-slip fault) (ค) รอย
เลื่อนแนวมุมเฉียง (oblique-slip fault) และ (ง) รอยเลื่อนหมุน (rotational fault)

(ภาพปรับปรุงต่อจาก Davis and Reynolds 1996)

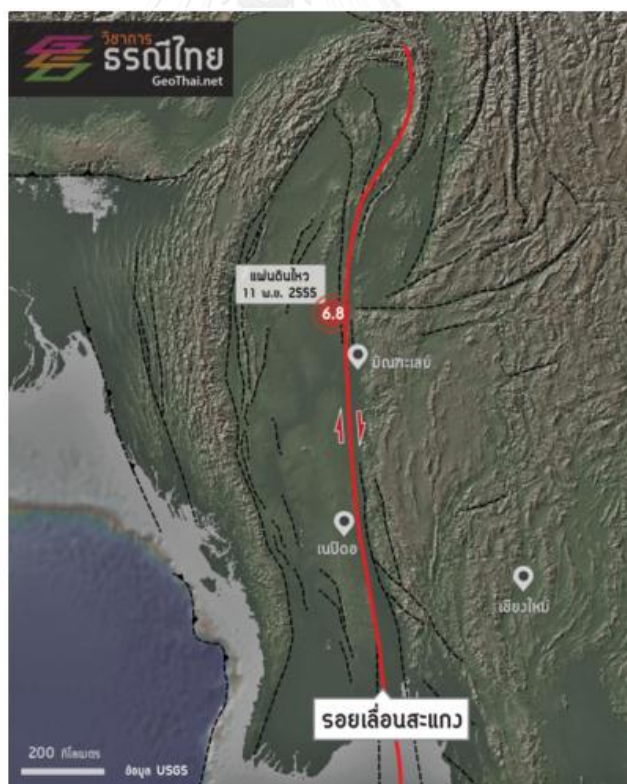
2.1.2 รอยเลื่อนสะกาย

รอยเลื่อนสะกาย (Sagiang Fault) เป็นรอยเลื่อนที่มีขนาดใหญ่และมีพลังมากที่สุดที่สำคัญที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีความยาวประมาณ 1,200 กิโลเมตร มีการวางตัวในลักษณะแนวเหนือ-ใต้ผ่ากลางพื้นที่ประเทศพม่า จากทางตอนเหนือของเมืองมิตจินา (Myitkyina) และพาดผ่านเมืองสำคัญมากมาย เช่น เมืองมัณฑะเลย์ (Mandalay) ตองยี (Tounggyi) เนปีดอว์ (Naypyidaw) พะโค (Bago) ย่างกุ้ง (Yangon) และต่อยาวลงไปในทะเลอันดามัน ในทางธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic Setting) ตามแนวรอยเลื่อนสะกายจะมีรอยเลื่อนขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งมีการเลื่อนสัมพันธ์กับรอยเลื่อนใหญ่และการขยับตัวของกลุ่มรอยเลื่อนเหล่านี้สามารถสร้างความเสียหายให้กับเมืองของประเทศพม่าที่ตั้งอยู่ใกล้กับแนวรอยเลื่อน และทางนักธรณีวิทยายังเชื่อว่ารอยเลื่อนสะกายเป็นขอบหรือรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกซุนดา (Sunda Plate) และแผ่นเปลือกโลกพม่า (Burma Plate) ซึ่งปัจจุบันถือเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลก ยูเรเชีย (Eurasian Plate) (Bird 2003, Curray 2005) ผลจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Indian Plate) ที่เข้าชนและมุดตัวลงไปใต้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชียในทิศตะวันออกเฉียงเหนือโดยประมาณ ส่งผลให้รอยเลื่อนสะกาย เป็นรอยต่อที่ยังไม่เชื่อมประสานติดกันอย่างสมบูรณ์จึงเกิดการขยับและเลื่อนตัวตามไปด้วย จากการเก็บข้อมูลด้วยจีพีเอส ที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศพม่าและประเทศข้างเคียง พบว่าปัจจุบันแผ่นเปลือกโลกอินเดียเคลื่อนที่ชนแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ด้วยอัตราเร็วประมาณ 35 มิลลิเมตรต่อปี (Nielsen et al. 2004) ซึ่งได้มีการถ่ายเทแรงเค้น (stress) มาถึงรอยเลื่อนสะกายที่อยู่ในรูปแบบการเลื่อนเหลื่อมข้างแบบขวาเข้า (Dextral Strike-slip Fault) ด้วยอัตราการเคลื่อนตัวประมาณ 18 มิลลิเมตรต่อปี (Socquet et al. 2006) และลักษณะทางธรณีสัณฐาน (Geomorphology) ที่แสดงการปริแตกและการเลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกที่เห็นได้ตลอดแนวรอยเลื่อน เช่น ฝารอยเลื่อน (Fault scarp) เนินเขาขวาง (Shutter ridge) หนองน้ำขุบตัว (Sag pond) ทางน้ำหัวขาด (Beheaded stream) และทางน้ำหักงอ (Offset stream) เป็นต้น โดยหลักฐานทางภูมิประเทศเหล่านี้ ส่วนใหญ่บ่งชี้การเลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายแบบเหลื่อมข้างขวาเข้า ที่สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดการเลื่อนตัวด้วยเครื่องมือจีพีเอส

จากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกาย ทำให้เกิดแผ่นดินไหวตามแนวรอยเลื่อนอย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental Records) ระบุว่าในช่วงปี พ.ศ. 2507-2555 (48 ปี) เคยเกิดแผ่นดินไหวหลัก (Mainshock) บริเวณรอบๆ รัศมี 100 กิโลเมตรจากรอยเลื่อนสะกายประมาณ 276 เหตุการณ์ โดยมีขนาดแผ่นดินไหวระหว่าง 2.9-7.3 ริกเตอร์

จากการศึกษารายงานการเกิดแผ่นดินไหวที่ได้บันทึกไว้ทางประวัติศาสตร์ พบว่ารอยเลื่อนสะกายเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มากกว่า 7.0 ริกเตอร์ มาแล้วไม่น้อยกว่า 6 ครั้ง นับตั้งแต่ปีพ.ศ. 2493 ซึ่งได้สร้างความเสียหายในระดับที่รุนแรงต่อพื้นที่ข้างเคียง อย่างเช่น บ้านเรือนของชาวพม่า รวมไปถึงโบราณสถานที่สำคัญ เช่น เจดีย์ชเวมอดอร์ (Shwemawdaw Pagoda) หรือที่พุทธศาสนิกชนชาวไทยเรียกว่า พระธาตุมูเตา ที่ตั้งอยู่กลางเมืองหงสาวดี เคยพังทลายจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่มาแล้วถึง 4 ครั้ง และนอกจากนี้เจดีย์ที่สร้างด้วยอิฐแดงที่ใหญ่และสูงที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้นก็ได้รับความเสียหายอย่างหนักจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เมืองพะโค รวมไปถึงยังเกิดดินถล่มตามมาอีกด้วย

แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ล่าสุด ขนาด 6.8 ริกเตอร์ (แผ่นดินไหวศูนย์กลางที่ 95.883°N , 23.014°E มีความลึกประมาณ 10 กิโลเมตร) ดังภาพที่ 2.4 ที่เกิดขึ้นจากรอยเลื่อนสะกายบริเวณพื้นที่ Thabeikkyin 100 กิโลเมตรทางตอนเหนือของมณฑลยี่เกิ้ลส์ถานี cGPS ทางตอนเหนือของประเทศพม่าในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2012 (06:30 MST) ทำให้รู้สึกสั่นไหวบนตึกสูงในหลายพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร และจังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ 2.4 แผนที่แสดงตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวล่าสุดของรอยเลื่อนสะกาย

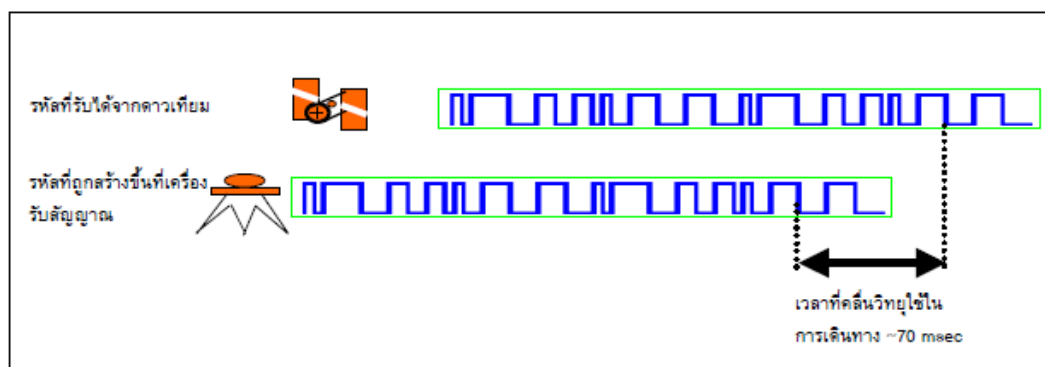
(<http://www.geothai.net/i-live-on-the-sagaing-fault/>)

2.2 วิธีการวัดด้วยดาวเทียมจากสมการค่าสังเกต (GPS Observation Equations)

ค่าที่วัดได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่นำมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งที่สำคัญ มี 2 ชนิด คือ ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 วิธีการวัดซูโดเรนจ์ (Pseudo-Ranges)

ข้อมูลซูโดเรนจ์ คือ ข้อมูลระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ ที่ได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมมาเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น จากนั้นทำการเลื่อนสัญญาณให้ตรงกัน ค่าที่ได้จากการเลื่อนสัญญาณคือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



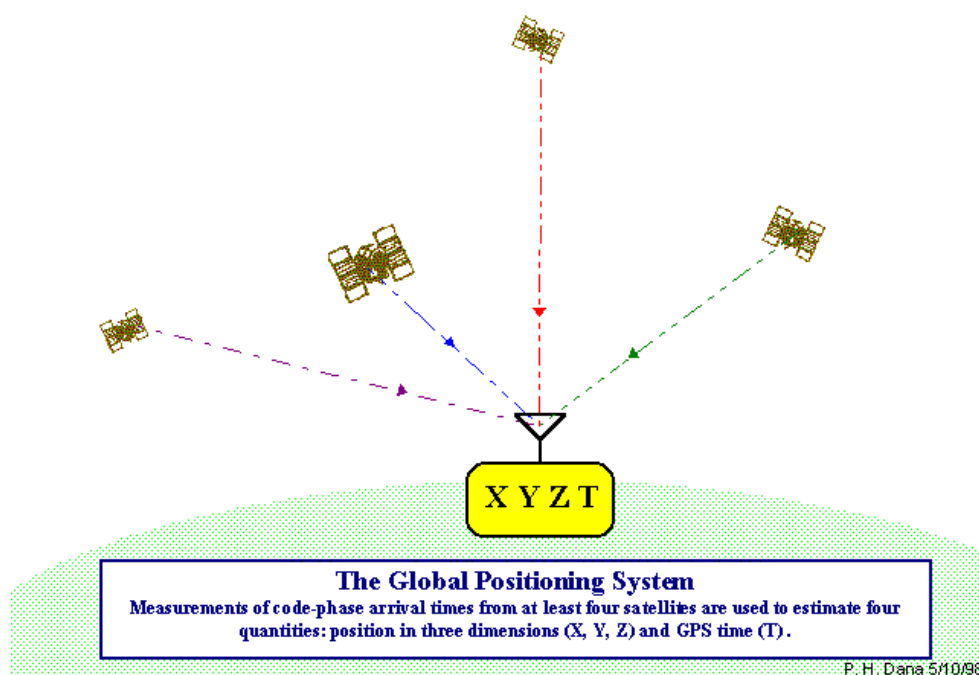
ภาพที่ 2.5 การเทียบสัญญาณของรหัสเพื่อหาเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณได้จากการนำความเร็วของคลื่นวิทยุคูณด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งเรียกว่า ‘ซูโดเรนจ์’ นั่นเอง ซึ่งข้อมูลซูโดเรนจ์ที่ได้จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ ที่มักมีความแตกต่างกันอยู่เสมอ รวมไปถึงความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ที่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความถูกต้องของระยะเวลาที่ได้ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) โดยสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและมีหน่วยเป็นระยะทาง แสดงดังนี้ (Leick, 2004; Rizos, 1997; Teunissen and Kleusberg, 1998)

$$R = \rho + \Delta r + d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta_s) + d_{mR} + \varepsilon \quad (2.1)$$

โดยที่

- R คือ ชูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัส (เมตร)
- ρ คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
- Δr คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
- d_{ion} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
- d_{trop} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
- c คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตรต่อวินาที)
- $\Delta\delta_r$ คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
- $\Delta\delta_s$ คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- d_{mR} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร)
- ε คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในชูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร)



ภาพที่ 2.6 การวัดระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ

(<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>)

2.2.2 วิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phases)

ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง เป็นข้อมูลที่จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำมาใช้สำหรับงานที่ต้องการค่าความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร ซึ่งการวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับสัญญาณเป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมา กับเฟสของคลื่นความถี่ f_0 ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานั้นแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) ซึ่งเรียกว่า จำนวนลูกคลื่นเต็มรอบ หรือ ค่าเลขปริศนา (Ambiguity) และส่วนของคลื่นที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) หรือ เศษของลูกคลื่นนั่นเอง โดยที่จำนวนเต็มรอบของคลื่นที่ส่งมาจากดาวเทียมนั้น เครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นที่ส่งลงมาได้ จึงต้องมีการคำนวณหาภายหลังในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล โดยการคำนวณนั้นมีขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาที่ใช้กันทั่วไปอยู่ 2 แบบ คือการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity-float solution) และการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity-fixed solution) ซึ่งการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี เป็นที่ยอมรับกันว่าให้ความถูกต้องสูงกว่าการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity-float solution) โดยสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่งแสดงดังนี้

$$\varphi = \rho + \Delta r - d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta_s) + d_{m\varphi} + \varepsilon_\varphi + \lambda N \quad (2.2)$$

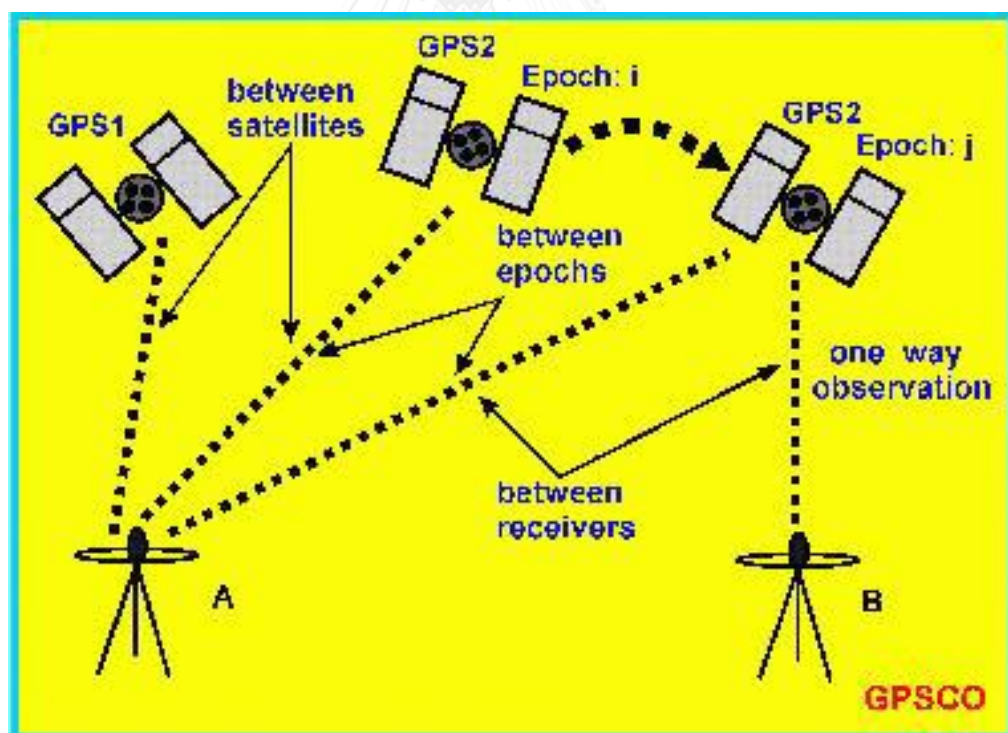
โดยที่

- φ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง (เมตร)
- ρ คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
- Δr คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
- d_{ion} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
- d_{trop} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
- c คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตรต่อวินาที)
- $\Delta\delta_r$ คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
- $\Delta\delta_s$ คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- $d_{m\varphi}$ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (เมตร)

- ϵ_ϕ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในชุดโดรนที่วัดได้ของคลื่นส่ง (เมตร)
- λ คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)
- N คือ Ambiguity หรือ เลขปริศนา ของคลื่นส่ง

2.2.3 เทคนิคค่าต่าง (Differencing technique)

เทคนิคการหาค่าต่างนั้นเป็นวิธีการที่ใช้ในการช่วยขจัดค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลจีพีเอส สามารถทำได้ 3 ลักษณะ แสดงดังภาพที่ 2.7 คือ ค่าต่างระหว่างเครื่องรับ (Between receivers) ค่าต่างระหว่างดาวเทียม (Between satellites) และค่าต่างระหว่างเวลา (Between epochs) โดยทั่วไปมีการจำแนกเทคนิคการหาค่าต่างตามจำนวนครั้งของการหาค่าต่าง ที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 แบบคือ การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single differencing) การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing) และการหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing) ซึ่งมีการอธิบายดังนี้



ภาพที่ 2.7 แสดงเทคนิคค่าต่างลักษณะต่างๆ (Rizos 1997)

2.2.3.1 การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single differencing)

การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการรังวัดมาหาค่าต่างเพียงหนึ่งครั้ง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะดังภาพที่ 2.7 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ค่าต่างระหว่างเครื่องรับ (Between-Receiver differences)

การหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับนั้นได้จากการนำเอาค่าที่วัดได้จากดาวเทียมดวงเดียวกันที่จุดสองจุดมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A และจุด B ซึ่งทั้งสองจุดสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมดวงเดียวกันคือ ดาวเทียมหมายเลข 1 ซึ่งสมมุติให้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์ จากสมการที่ 2.2 เป็นค่าคลาดเคลื่อนตัวเดียวกัน จึงทำการรวมให้เหลือเป็นหนึ่งเทอม คือ (d_{atmos}) และสมมุติว่าไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวนในข้อมูล ก็จะสามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่รับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 ที่จุด A และ B ได้ดังสมการ (2.3) และ (2.4) และเมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ โดยนำสมการ (2.3) ลบด้วยสมการ (2.4) จะได้ดังสมการ (2.5)

$$\varphi_A^1 = \rho_A^1 + \Delta r^1 - d_{atmosA} + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^1) + \lambda N_A^1 \quad (2.3)$$

$$\varphi_B^1 = \rho_B^1 + \Delta r^1 - d_{atmosB} + c(\Delta\delta_B - \Delta\delta^1) + \lambda N_B^1 \quad (2.4)$$

$$\varphi_A^1 - \varphi_B^1 = \rho_A^1 - \rho_B^1 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta_B) + \lambda (N_A^1 - N_B^1) \quad (2.5)$$

จากสมการ (2.5) จะเห็นว่า การหาค่าต่างแบบนี้สามารถขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจาก ไอโอโนสเฟียร์กับโทรโพสเฟียร์ และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม สำหรับผลของการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเครื่องรับทั้งสอง หรือที่เรียกกันว่า ระยะเส้นฐาน (Baseline length)

- ค่าต่างระหว่างดาวเทียม (Between-Satellite differences)

การหาค่าต่างระหว่างดาวเทียม เป็นการนำเอาค่าที่วัดได้จากจุดเดียวกันไปยังดาวเทียมที่ต่างกันมาหาค่าต่าง อย่างเช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A ซึ่งสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 และ 2 ซึ่งสมมุติให้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์ จากสมการที่ 2.2 เป็นค่าคลาดเคลื่อนตัวเดียวกัน จึงทำการรวมให้เหลือเป็นหนึ่งเทอม

คือ (d_{atmos}) และสมมุติว่าไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวนในข้อมูล สามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่จุด A ไปยังดาวเทียมหมายเลข 1 และ 2 ได้ดังนี้ ซึ่งการหาค่าต่างแบบนี้จะสามารถขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับได้ตั้งสมการ (2.6) และ (2.7) และเมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างดาวเทียม โดยนำสมการ (2.6) ลบด้วยสมการ (2.7) จะได้ตั้งสมการ (2.8)

$$\varphi_A^1 = \rho_A^1 + \Delta r^1 - d_{atmosA}^1 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^1) + \lambda N_A^1 \quad (2.6)$$

$$\varphi_A^2 = \rho_A^2 + \Delta r^2 - d_{atmosA}^2 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^2) + \lambda N_A^2 \quad (2.7)$$

$$\varphi_A^1 - \varphi_A^2 = \rho_A^1 - \rho_A^2 + \Delta r^1 - \Delta r^2 + \Delta d_{atmos} + c(\Delta\delta^2 - \Delta\delta^1) + \lambda(N_A^1 - N_A^2) \quad (2.8)$$

- ค่าต่างระหว่างเวลา (Between-Epoch differences)

การหาค่าต่างระหว่างเวลา เป็นการนำข้อมูลที่วัดได้จากจุดเดียวกันแต่มีการรับสัญญาณที่ต่างเวลากันมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A ซึ่งสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 โดยรับข้อมูล 2 ช่วงเวลา ซึ่งสมมุติให้ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์ จากสมการที่ 2.2 เป็นค่าคลาดเคลื่อนตัวเดียวกัน จึงทำการรวมให้เหลือเป็นหนึ่งเทอม คือ (d_{atmos}) และสมมุติว่าไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวนในข้อมูล ดังนั้นสามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่จุด A ไปยังดาวเทียมหมายเลข 1 ณ เวลา t_0 และ t_1 ได้ ดังนี้

$$\varphi_A^1(t_0) = \rho_A^1(t_0) + \Delta r^1(t_0) - d_{atmosA}^1(t_0) + c(\Delta\delta_A(t_0) - \Delta\delta^1(t_0)) + \lambda N_A^1(t_0) \quad (2.9)$$

$$\varphi_A^1(t_1) = \rho_A^1(t_1) + \Delta r^1(t_1) - d_{atmosA}^1(t_1) + c(\Delta\delta_A(t_1) - \Delta\delta^1(t_1)) + \lambda N_A^1(t_1) \quad (2.10)$$

ในกรณีที่ไม่มีเกิดการเกิดคลื่นหลุด (Cycle slip) ระหว่าง 2 ช่วงเวลา ทำให้ค่า $\lambda N^1_A(t_0)$ และ $\lambda N^1_A(t_1)$ มีค่าเท่ากัน ดังนั้นเมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างเวลา โดยนำสมการ (2.9) ลบด้วยสมการ (2.10) จึงทำให้ค่า $\lambda N^1_A(t_0)$ และ $\lambda N^1_A(t_1)$ ถูกหักล้างออกไป ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$\varphi^1_A(t_0) - \varphi^1_A(t_1) = \rho^1_A(t_0) - \rho^1_A(t_1) + \Delta r^1(t_0) - \Delta r^1(t_1) + c(\Delta\delta_A(t_0) - \Delta\delta^1(t_0) - \Delta\delta_A(t_1) - \Delta\delta^1(t_1)) \quad (2.11)$$

สำหรับการหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถจัดเลขปริศนา และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ออกไปได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศนั้นค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับอัตราถี่ของการบันทึกข้อมูลจีพีเอสที่ส่วนใหญ่มีการกำหนดอัตราการบันทึกข้อมูลไว้ไม่เกิน 30 วินาที

2.2.3.2 การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing)

ในการหาค่าต่างครั้งที่สอง เป็นการนำข้อมูลระหว่างจุดสองจุดและดาวเทียมสองดวง ดังภาพที่ 2.8 มาหาค่าต่าง ซึ่งการหาค่าต่างครั้งที่สองจะเป็นการนำค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับจากดาวเทียมหมายเลข 1 และดาวเทียมหมายเลข 2 มาลบกันก็จะทำให้ได้ค่าต่างครั้งที่สอง เช่น ระหว่างจุด A, B และดาวเทียม 1, 2 และจากสมการ (2.5) ทำการเปลี่ยนจากหมายเลขดาวเทียมจาก 1 เป็น 2 จะได้สมการใหม่สำหรับค่าต่างครั้งที่หนึ่งของดาวเทียมหมายเลข 2

$$\varphi^2_A - \varphi^2_B = \rho^2_A - \rho^2_B + \Delta_{atmos} + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta_B) + \lambda(N^2_A - N^2_B) \quad (2.12)$$

เมื่อนำสมการ (2.5) ลบด้วยสมการ (2.12) จะได้สมการค่าต่างครั้งที่สองดังนี้

$$(\varphi^1_A - \varphi^1_B) - (\varphi^2_A - \varphi^2_B) = (\rho^1_A - \rho^2_B) - (\rho^2_A - \rho^2_B) + \lambda(N^1_A - N^1_B) - \lambda(N^2_A - N^2_B) \quad (2.13)$$

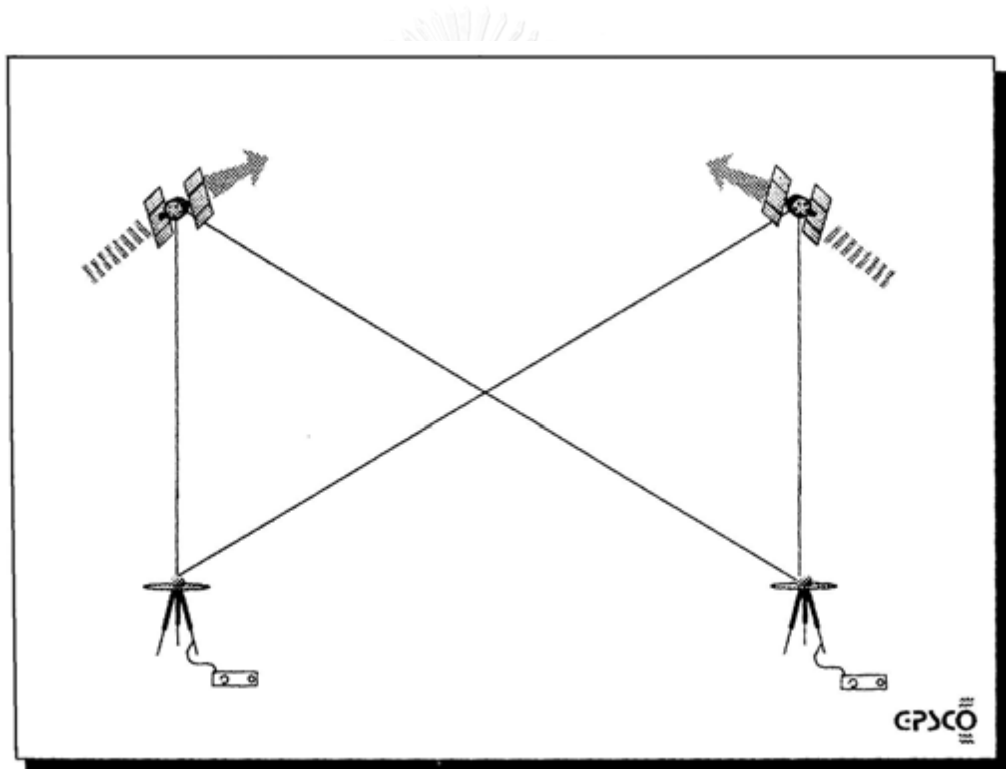
สามารถเขียนสมการให้สั้นลงได้ โดยการให้เหลือเพียง 3 เทอม ดังนี้

$$\varphi^{12}_{AB} = \rho^{12}_{AB} + \lambda N^{12}_{AB} \quad (2.14)$$

โดยที่

$$\begin{aligned}\varphi_{AB}^{12} &= (\varphi_A^1 - \varphi_B^1) - (\varphi_A^2 - \varphi_B^2) \\ \rho_{AB}^{12} &= (\rho_A^1 - \rho_B^1) - (\rho_A^2 - \rho_B^2) \\ \lambda N_{AB}^{12} &= \lambda(N_A^1 - N_B^1) - \lambda(N_A^2 - N_B^2)\end{aligned}$$

สำหรับการหาค่าต่างแบบนี้จะสามารถลดค่าคลาดเคลื่อนได้เช่นเดียวกันกับการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ ได้แก่ ช่วยขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์



ภาพที่ 2.8 การหาค่าต่างครั้งที่สอง (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2546)

2.2.3.3 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing)

การหาค่าต่างครั้งที่สาม เป็นการนำเอาค่าต่างครั้งที่สองระหว่างเวลาที่ต่างกันมาหาค่าต่าง จากสมการ (2.14) โดยทำการใส่ค่าเวลา t_0 และ t_1 จะได้

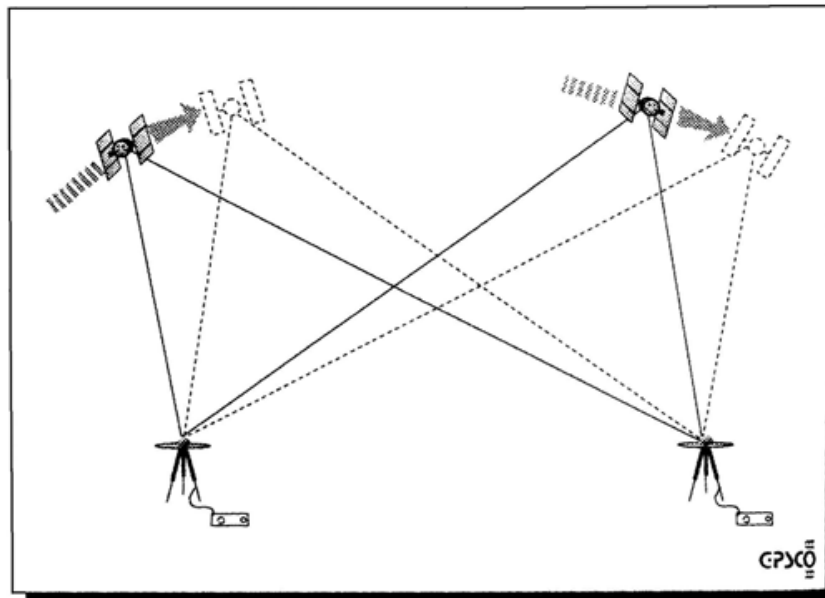
$$\varphi_{AB}^{12}(t_0) = \rho_{AB}^{12}(t_0) + \lambda N_{AB}^{12}(t_0) \quad (2.15)$$

$$\varphi_{AB}^{12}(t_1) = \rho_{AB}^{12}(t_1) + \lambda N_{AB}^{12}(t_1) \quad (2.16)$$

สมมุติไม่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุด เมื่อนำสมการ (2.15) ลบกับสมการ (2.16) จะได้

$$\varphi_{AB}^{12}(t_0) - \varphi_{AB}^{12}(t_1) = \rho_{AB}^{12}(t_0) - \rho_{AB}^{12}(t_1) \quad (2.17)$$

จากสมการ (2.17) จะเห็นได้ว่าการขจัดค่าคลาดเคลื่อนออกไปได้หลายชนิด สืบเนื่องมาจากการหาค่าต่างแต่ละครั้งก็จะมี การขจัดค่าคลาดเคลื่อนออกไปทุกครั้ง แต่การหาค่าต่างครั้งที่สามก็มีผลเสียที่เกิดจากระดับสัญญาณรบกวนในข้อมูลเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้เรขาคณิตของการหาดำแหน่งนั้นแยลง (Rizos 1997) ส่วนใหญ่แล้วมักใช้ค่าต่างครั้งที่สามในการตรวจหาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุด เนื่องจากถ้านำข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุดมาหาค่าต่างครั้งที่สามจะพบว่าค่า N_{AB}^{12} ที่เวลา t_0 และ t_1 จะมีค่าแตกต่างกัน จึงทำให้สามารถตรวจสอบหาค่าคลาดเคลื่อนประเภทนี้ได้มากกว่าที่จะนำมาเป็นสมการค่าสังเกตในการหาดำแหน่งที่ต้องการความถูกต้องสูงด้วยจีพีเอส ซึ่งภาพที่ 2.9 แสดงการหาค่าต่างครั้งที่สาม

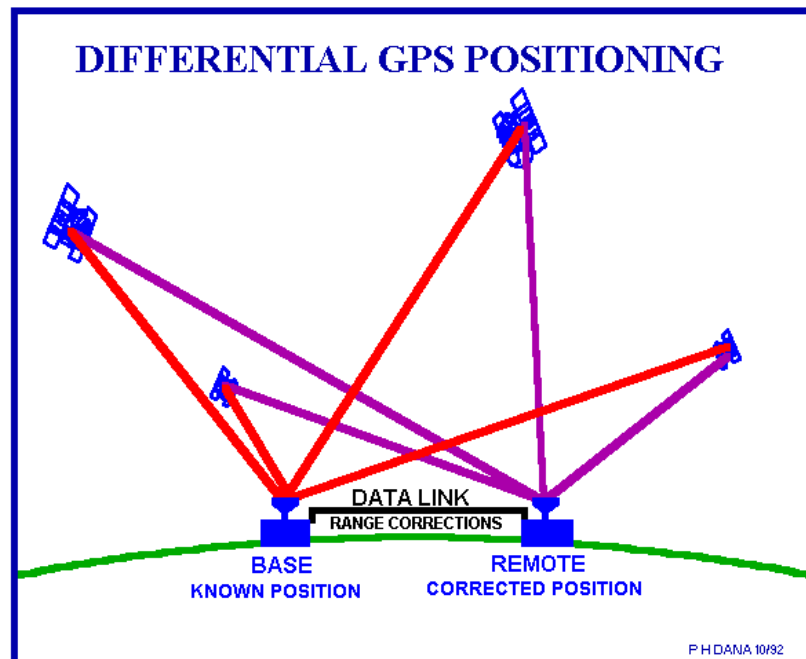


ภาพที่ 2.9 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2546)

2.3 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสัมพัทธ์ที่ต้องการความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร

การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) หรือที่บางคนเรียกว่า Differential Positioning เป็นวิธีการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกันระหว่างจุดสองจุด วัตถุประสงค์ของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ คือ ต้องการให้ความถูกต้องของตำแหน่งเครื่องรับดีขึ้นกว่าการหาตำแหน่งของจุดเดี่ยว ในการทำงานโดยใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ ถ้าเริ่มต้นจากหมุดหลักฐานที่มีค่าพิกัดตำแหน่งสมบูรณ์อยู่ จุดอื่นๆ ที่สร้างขึ้นใหม่โดยวิธีทำงานแบบสัมพัทธ์จะมีค่าพิกัดตำแหน่งสมบูรณ์ได้เช่นกัน การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ต้องใช้เครื่องรับแบบนำหนตั้งตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป เครื่องรับเครื่องหนึ่งจะวางรับสัญญาณที่หมุดหลักฐานซึ่งทราบตำแหน่งแล้ว เรียกว่า สถานีฐาน (Base Station) เครื่องรับอื่นที่เคลื่อนนำไปวางตามจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกับสถานีฐาน จุดเหล่านี้เรียกว่า สถานีผู้ใช้งาน (User Station) หรือสถานีจร (Roving station) หรือสถานีรีโมท (Remote Station) หลักการทำงานของวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ คือ เครื่องรับที่สถานีฐานและที่สถานีผู้ใช้งาน จะต้องรังวัดไปยังดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและที่ช่วงเวลาเดียวกัน ที่สถานีฐานเครื่องจีพีเอส จะทำหน้าที่เหมือนจุดอ้างอิง สามารถใช้ค่าปรับแก้ของเครื่องนี้กับเครื่องอื่นที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน และสามารถนำไปใช้เป็นค่าแก้สำหรับคำนวณตำแหน่งอื่นได้เช่นเดียวกัน

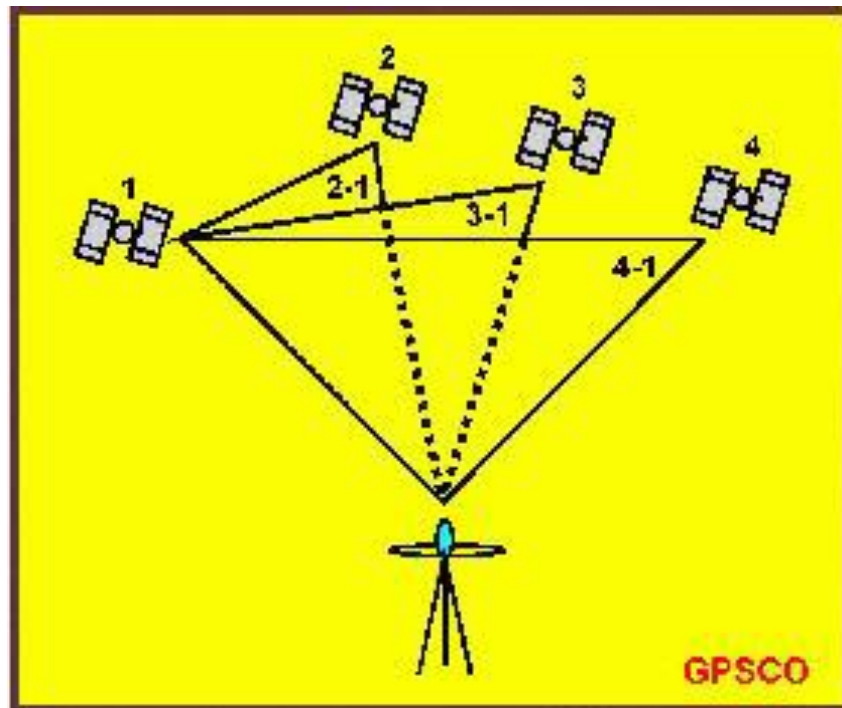
การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์มีการใช้ข้อมูลอยู่ 2 ประเภท คือ การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยใช้ข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange-based differential positioning) และ การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase-based differential positioning) โดยการใช้ข้อมูลซูโดเรนจ์ สามารถจะทราบตำแหน่งที่ถูกต้องของสถานีผู้ใช้ได้ในทันที ถ้าหากคลื่นวิทยุสื่อสารกันได้ระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งาน โดยที่สถานีฐานจะส่งค่าตรวจแก้ทางตำแหน่งหรือค่าตรวจแก้ของซูโดเรนจ์ที่คำนวณได้ไปให้สถานีผู้ใช้งาน เพื่อใช้ปรับแก้ค่าที่วัดได้ให้ถูกต้อง ดังภาพที่ 2.10 ด้วยเหตุนี้ความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic Error) เช่น ความคลาดเคลื่อนวงโคจร ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ เป็นต้น มีผลต่อข้อมูลซูโดเรนจ์ และการคำนวณตำแหน่ง ในลักษณะที่คล้ายกันและมีขนาดเท่ากัน เมื่อคำนวณค่าต่างของตำแหน่งทั้งสอง ความคลาดเคลื่อนมีระบบเหล่านี้จึงหักล้างกันไปจนเกือบหมด ความถูกต้องของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้อยู่ในเกณฑ์ 2 ถึง 5 เมตร



ภาพที่ 2.10 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

(<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>)

สำหรับการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง มักจะใช้ในการหาตำแหน่งที่มีความละเอียดถูกต้องสูง เนื่องจากการขจัดค่าคลาดเคลื่อนได้หลายตัว อย่างเช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม นาฬิกาดาวเทียม นาฬิกาเครื่องรับ และค่าคลาดเคลื่อนที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ จึงทำให้ได้มาซึ่งค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับมิลลิเมตรถึงเซนติเมตร และอีกปัจจัยที่มีผลต่อค่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้รับคือขั้นตอนของการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่า Ambiguity Resolution (AR) และยังเป็นข้อมูลที่นิยมใช้ในเทคนิคค่าต่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เทคนิคค่าต่างครั้งที่สองกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งถือเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไปว่าให้ค่าความถูกต้องสูง ดังนั้นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่จึงใช้เทคนิคค่าต่างครั้งที่สองในการสร้างสมการค่าสังเกตสำหรับการประมวลผลข้อมูล โดยทั่วไปในการสร้างสมการค่าสังเกตของค่าต่างครั้งที่สองนั้นนิยมใช้ดาวเทียมดวงที่มีมุมสูงที่สุดเป็นดาวเทียมอ้างอิง ดังภาพที่ 2.11 ดังนั้นจำนวนสมการค่าต่างครั้งที่สองจะสามารถสร้างได้เท่ากับ $n_s - 1$ สมการต่อ epoch โดยที่ n_s คือ จำนวนดาวเทียมที่รับได้ ซึ่งการหาจำนวนตัวแปรและจำนวนสมการค่าต่างทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการรังวัด



ภาพที่ 2.11 การสร้างสมการค่าต่างครั้งที่สองแบบมีดาวเทียมดวงหนึ่งเป็นดวงอ้างอิง
(Basesatellite mode) (Rizos 1997)

สำหรับการใช้วิธีการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิต จะมีจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าทั้งหมด $3 + (n_s - 1)$ ตัว โดยมีค่าพิกัด 3 มิติของเครื่องรับสัญญาณที่มีค่าเดิมตลอดเวลาการรับสัญญาณ และค่าเลขปริศนาของคลื่นส่งที่มีจำนวนเท่ากับจำนวนดาวเทียมที่รับได้ ในกรณีที่ไม่มีคลื่นหลุดตลอดการรับสัญญาณจะมีค่าเท่ากับจำนวนดาวเทียมที่รับได้ ในการแก้สมการเพื่อหาตัวแปรที่ไม่ทราบค่า จำเป็นที่จะต้องทราบจำนวนข้อมูลที่รับสัญญาณทั้งหมด (n_e) เพื่อนำมาหาจำนวนสมการทั้งหมดที่จะใช้ในการแก้สมการ ซึ่งสามารถหาจำนวน epoch ได้จากสมการดังนี้

$$n_e * (n_s - 1) \geq 3 + (n_s - 1) \quad (2.18)$$

ในกรณีการใช้วิธีการรับสัญญาณแบบจลน์ จะมีจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าทั้งหมด $3 * n_e + (n_s - 1)$ ตัว โดยมีค่าพิกัด 3 มิติของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมโดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาของจำนวนข้อมูลที่รับสัญญาณ และเลขปริศนาของคลื่นส่ง กรณีที่ไม่มีคลื่นหลุดตลอดการรับสัญญาณจะมีค่าเท่ากับจำนวนดาวเทียมที่รับได้ ในการแก้สมการเพื่อหาตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

จำเป็นที่จะต้องทราบจำนวนข้อมูลที่รับสัญญาณทั้งหมด (n_e) เพื่อนำมาหาจำนวนสมการทั้งหมดที่จะใช้ในการแก้สมการ ซึ่งสามารถหาจำนวน epoch ได้จากสมการดังนี้

$$n_e * (n_s - 1) \geq 3 * n_e + (n_s - 1) \quad (2.19)$$

โดยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ใช้กันในปัจจุบันสามารถแบ่งได้ และมีรายละเอียดในแต่ละวิธีดังนี้

2.3.1 การรังวัดแบบสถิต (Static)

การรังวัดแบบสถิต เป็นวิธีพื้นฐานของการวัดระยะโดยใช้คลื่นส่ง เป็นการทำงานโดยใช้เครื่องรับตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป โดยเครื่องรับเครื่องหนึ่งจะนำไปวางอยู่ ณ จุดที่ทราบตำแหน่งแล้ว ส่วนเครื่องที่เหลือวางไว้ ณ จุดที่ต้องการหาตำแหน่งเพิ่มเติม โดยปกติเครื่องรับจะถูกวางไว้ไม่น้อยกว่า 1-2 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อให้มีข้อมูลของการวัดระยะที่เพียงพอจะประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบที่ไม่สามารถวัดได้ โดยหลักการแล้ววิธีการนี้ใช้หาตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ห่างกันเป็นระยะทางยาวได้ แต่การใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์หรือซอฟต์แวร์ของโรงงานผลิตเครื่องรับนั้น ระยะทางสูงสุดที่ให้ความถูกต้องได้ตามข้อกำหนดของเครื่องรับจะอยู่ประมาณ 20-30 กิโลเมตรเท่านั้น ค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากวิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้อง ตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร ถึง 2.5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 20 กิโลเมตร) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

2.3.2 การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static)

วิธีการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็วนี้มีหลักการทำงานเหมือนกับวิธีการรังวัดแบบสถิตทุกประการ คือ ใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อยสองเครื่อง โดยเครื่องรับสัญญาณเครื่องแรกจะถูกวางไว้ ณ ตำแหน่งมุมที่ทราบค่าพิกัดแล้วหรือที่เรียกว่าสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่เหลือจะถูกนำไปวางรับสัญญาณ ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดหรือเรียกว่าสถานีผู้ใช้งาน ทั้งนี้เครื่องรับสัญญาณทั้งสองจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 4 ดวง แต่ต้องการข้อมูลน้อยกว่า เพื่อนำมาประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบ ในการหาตำแหน่งของจุดที่อยู่ห่างจากจุดอ้างอิงไม่เกิน 5 กิโลเมตร จะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลราว 10 นาที อัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผลวิธีรังวัดสถิตอย่างรวดเร็วจะแตกต่างจากวิธีรังวัดแบบสถิตธรรมดาตามปกติจะใช้ได้สำหรับจุดที่อยู่ห่างจากจุดอ้างอิงไม่เกิน 15 กิโลเมตร

2.4 ค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลดาวเทียมจีพีเอส (GPS Observation Errors)

ค่าคลาดเคลื่อนที่อยู่ในข้อมูลดาวเทียมจีพีเอส สามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (Satellite-Dependent errors) ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Receiver-Dependent errors) ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ (Signal Propagation errors) และค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ (Other errors)

2.4.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (Satellite Dependent errors)-

- ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม

ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม เกิดจากการทำนายวงโคจรดาวเทียมล่วงหน้าของข้อมูลที่ได้รับจากสถานีติดตามที่ไม่สามารถทำนายให้สมบูรณ์ได้ เนื่องจากมีแรงต่างๆ มากระทำกับตัวดาวเทียมหลายชนิด จึงทำให้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่ถูกคำนวณจากสถานีควบคุมหลักที่ส่งข้อมูลไปยังดาวเทียม แล้วส่งกลับมาให้ผู้ใช้งานนั้น ทำให้ค่าตำแหน่งของดาวเทียมที่คำนวณได้ยังมีค่าคลาดเคลื่อนติดอยู่ ซึ่งผลของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสามารถแสดงได้ดังสมการ (2.20) เป็นผลของค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมต่อการหาตำแหน่งแบบจุดเดียว และ (2.21) เป็นผลของค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมต่อการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

$$\text{ค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง} = \text{PDOP} * \text{ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม} \quad (2.20)$$

โดยที่ PDOP คือ Positional Dilution Of Precision

$$\text{ค่าคลาดเคลื่อนระยะเส้นฐาน} = (d/2000) * \text{ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม} \quad (2.22)$$

โดยที่ d คือ ระยะเส้นฐาน (กิโลเมตร)

ผลของค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมต่อการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ จะขึ้นอยู่กับระยะของเส้นฐานเป็นหลัก ยิ่งถ้ามีระยะเส้นฐานที่ยาวมากก็จะส่งผลให้ค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมากขึ้นด้วยเช่นกันดังภาพที่ 2.12

ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจร	ความยาวเส้นฐาน	ค่าคลาดเคลื่อนระยะเส้นฐาน (ppm)	ค่าคลาดเคลื่อนระยะเส้นฐาน (มม.)
20 ม.	10 กม.	1 ppm	10 มม.
20 ม.	100 กม.	1 ppm	100 มม.
20 ม.	1,000 กม.	1 ppm	1,000 มม.
2.0 ม.	10 กม.	0.1 ppm	1 มม.
2.0 ม.	100 กม.	0.1 ppm	10 มม.
2.0 ม.	1,000 กม.	0.1 ppm	100 มม.
0.20 ม.	100 กม.	0.01 ppm	1 มม.
0.20 ม.	1,000 กม.	0.01 ppm	10 มม.
0.05 ม.	100 กม.	0.0025 ppm	0.25 มม.
0.05 ม.	1,000 กม.	0.0025 ppm	2.5 มม.

ภาพที่ 2.12 ภาพตารางค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรที่มีผลต่อค่าคลาดเคลื่อนของระยะเส้นฐานแต่ละขนาด (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

- ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม

ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมจะเกิดจากการเทียบความถี่มาตรฐานโดยอ้างอิงกับความถี่แบบอะตอมกับเวลาที่แตกต่างกันไปจากเวลาจีพีเอส โดยข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมแต่ละดวงจะสัมพันธ์กับค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมทั้งสามตัว (a_0 , a_1 , a_2) ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (Clock error, a_0) ค่าคลาดเคลื่อนจากการเลื่อนของเวลา (Clock drift, a_1) และ อัตราการผิดเพี้ยนของนาฬิกา (Clock drift rate, a_2)

2.4.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

- ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับ (Receiver clock error)

เกิดจากความเสถียรของระบบนาฬิกาที่ใช้ในเครื่องรับที่มีการอ้างอิงกับความถี่แบบควอตซ์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จึงมีผลทำให้นาฬิกาของเครื่องรับผิดไปจากเวลาจีพีเอสค่อนข้างมาก ซึ่งขนาดของค่าคลาดเคลื่อนจะส่งผลต่อระยะที่วัดได้ สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวถือว่าค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับนั้นมีขนาดใหญ่ที่สุด

- ค่าคลาดเคลื่อนจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ (Antenna phase center variation error)

เกิดจากจุดศูนย์กลางอิเลคทรอนิกส์ที่แปรเปลี่ยนตามทิศทางและความแรงของคลื่นสัญญาณที่เข้ามายังเสาอากาศ ซึ่งการเปลี่ยนเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณก็จะส่งผลให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางอิเลคทรอนิกส์มีการแปรเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน นอกจากนี้คลื่นสัญญาณ L₁ และ L₂ ยังมีค่าการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศที่ต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของเสาอากาศที่ใช้

- ค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ (Receiver noise error)

ขนาดของค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว หากใช้กฎหัวแม่มือ (Rule-of-thumb) ที่กล่าวว่าค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจะมีขนาดประมาณร้อยละ 1 ของความยาวคลื่น ซึ่งถ้ารับสัญญาณจากการวัดซูโดเรนจ์ โดยใช้รหัส C/A จะมีระดับของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับอยู่ที่ประมาณ 3 เมตร และหากรับสัญญาณจากการวัดเฟสของคลื่นส่งจะมีระดับของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับอยู่ที่ประมาณ 2 มิลลิเมตร ทั้ง L₁ และ L₂ เครื่องรับสัญญาณรุ่นใหม่ ๆ จะพบว่าระดับของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจากการวัดเฟสของคลื่นส่งจะอยู่ที่ระดับที่ต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร และระดับของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจากการวัดซูโดเรนจ์ โดยใช้รหัส C/A จะอยู่ที่ระดับเดซิเมตร ซึ่งวิธีการลดค่าคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ จะขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้เครื่องรับที่มีคุณภาพสูง

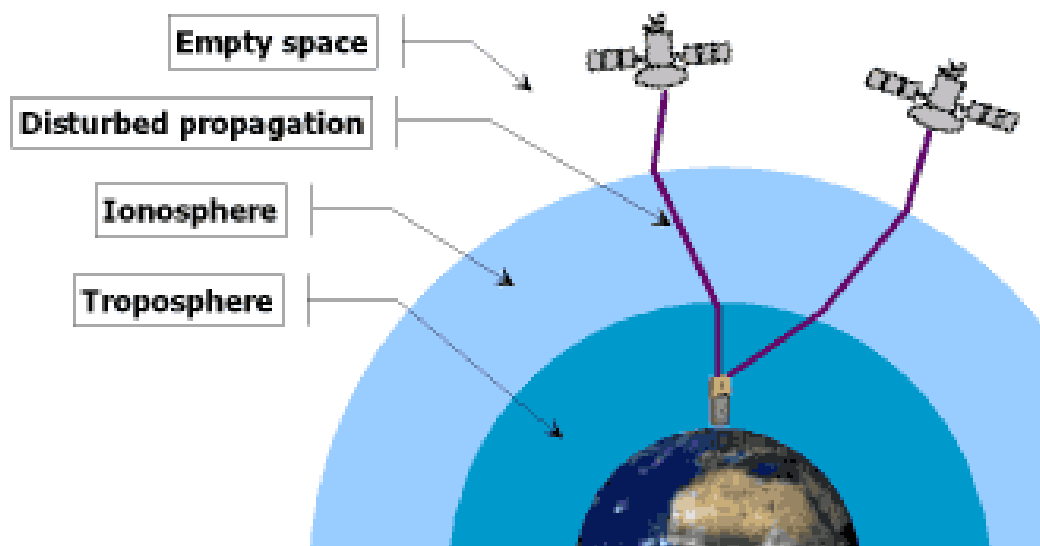
- ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าพิกัดของสถานีฐาน (Base station's coordinate error)

เกิดเฉพาะกับวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์เท่านั้น เนื่องจากวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์จะต้องทราบค่าพิกัดของตำแหน่งอย่างน้อยหนึ่งจุด ซึ่งจุดที่ทราบตำแหน่งจะเรียกว่า สถานีฐาน ซึ่งในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอส เพื่อหาค่าระยะเส้นฐานจะทำการตรึงค่าพิกัดของสถานีฐานไว้ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตรึงค่าพิกัดของสถานีฐานก็จะส่งผลให้ค่าระยะเส้นฐานที่คำนวณได้ผิดพลาดไปด้วย

2.4.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ (Signal Propagation errors)

ในการแพร่กระจายของสัญญาณที่เดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ จำเป็นที่จะต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกที่มีหลายชั้น ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งมีเพียงชั้นบรรยากาศ 2 ชั้นที่ผลต่อการเดินทาง คือ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และเมื่อ

เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศลงมาได้แล้วจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิธีอีกด้วย



ภาพที่ 2.13 การล่าช้าเนื่องมาจากเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ (Kowoma 2005)

- การล่าช้าอันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay)

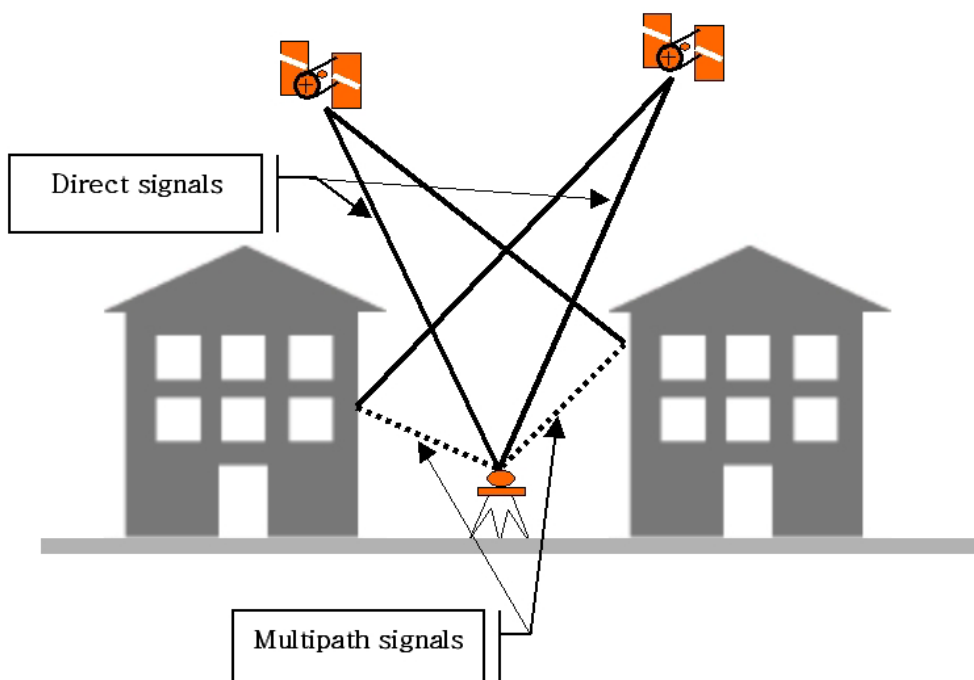
ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นทางที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณรวมของอิเล็กตรอน (Total Electron Content) ตามแนวเส้นทางความถี่ของคลื่นสัญญาณ ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ฤดูกาล และ เวลาโดยข้อมูลซูโดเรนจ์จะเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ช้ากว่าข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จึงทำให้ระยะที่วัดได้ของข้อมูลซูโดเรนจ์ยาวกว่าของข้อมูลเฟสคลื่นส่ง ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความล่าช้าอันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ จะมีค่าถึง 50 เมตร จากการรับสัญญาณดาวเทียมที่อยู่ในแนวตั้ง แต่ถ้าอยู่ใกล้แนวราบจะมีค่าคลาดเคลื่อนเพิ่มเป็น 3 เท่าของแนวตั้ง

- การล่าช้าอันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์ (Tropospheric delay)

ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนประกอบ คือ ส่วนประกอบแห้งและส่วนประกอบชื้น โดยการเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์ในส่วนแห้งจะเดินทางได้ดีกว่าในส่วนชื้น ซึ่งทั้งสองส่วนประกอบส่งผลทำให้คลื่นเดินทางมาถึงเครื่องรับช้ากว่าความเป็นจริง ทำให้ระยะที่วัดได้ยาวกว่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นทางที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้เช่นเดียวกับในชั้นไอโอโนสเฟียร์ โดยปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการล่าช้าของการเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นในอากาศขณะทำการรังวัด ซึ่งผลของค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะมีขนาดตั้งแต่ 2 เมตร เมื่อตำแหน่งของดาวเทียมอยู่ในแนวตั้งของเครื่องรับ จนกระทั่ง 20 เมตร เมื่อตำแหน่งของดาวเทียมอยู่ใกล้เคียงกับแนวราบ

- ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี (Multipath error)

คลื่นหลายวิถี เกิดจากการแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อนจาก ผนังตึก ถนน ผิวน้ำ หรือยานพาหนะ ดังภาพที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงแนวทางเดินของสัญญาณจีพีเอสที่เดินทางมาเข้าเครื่องรับโดยตรงและสัญญาณเกิดการสะท้อนกับพื้นผิวนอกข้างก่อนที่จะถึงเครื่องรับ ซึ่งก็คือคลื่นหลายวิถี ซึ่งสัญญาณดาวเทียมที่ส่งมาจากดาวเทียมที่มีค่ามุมสูงต่ำจะมีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิธียิ่งกว่าดาวเทียมที่มีค่ามุมสูงสูง สำหรับอิทธิพลของคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น ในทางทฤษฎี ข้อมูลซูโดเรนจ์ สำหรับรหัส C/A จะมีขนาดของค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นมากที่สุดจะเท่ากับค่าความยาว และ ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งจะมีขนาดของค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถีที่เกิดขึ้นมากที่สุดจะเท่ากับ $1/4$ ของค่าความยาวคลื่น (Wells et al. 1987, Lachapelle 1990, Georgiadou and Kleusberg 1998) ซึ่งสภาพแวดล้อมที่ทำการรับสัญญาณเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี ดังนั้นเราจึงไม่สามารถใช้เทคนิคการหาค่าต่างในการขจัดค่าคลาดเคลื่อนชนิดนี้ออกไปได้ แต่สามารถใช้เครื่องรับประเภท choke ring ในการช่วยลดค่าคลาดเคลื่อนชนิดนี้ได้



ภาพที่ 2.14 คลื่นหลายวิถีและคลื่นสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียม
(เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

2.4.4 ค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ (Other errors)

- ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด (Cycle slip)

ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุดเกิดจากการไม่ต่อเนื่องของการรับสัญญาณดาวเทียม ที่อาจเกิดจากมีสิ่งกีดขวางมาบังเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณหรืออาจเกิดจากการที่มีคลื่นรบกวนขนาดใหญ่ จึงทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สามในการตรวจหาเวลาที่เกิดคลื่นหลุด ซึ่งสามารถป้องกันหรือลดค่าคลาดเคลื่อนชนิดนี้ได้ด้วยการเลือกพื้นที่ในการรับสัญญาณที่มีลักษณะเปิดโล่ง

- ค่าเลขปริศนา (Ambiguity)

ในการหาระยะที่ละเอียดถูกต้องสูงจากการวัดระยะด้วยการวัดเฟสของคลื่นส่ง นั้นจำเป็นต้องจะหาค่าเลขปริศนา (N) ซึ่งในทางทฤษฎี ค่าเลขปริศนาจะต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม และในข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง L1 และ L2 นั้นจะมีค่าเลขปริศนาที่ต่างกันออกไป รวมไปถึงสำหรับคู่ดาวเทียมและเครื่องรับแต่ละคู่ (Each satellite-receiver pair) ก็จะมีค่าเลขปริศนาที่ต่างกันด้วย แต่ถ้ามีการรับสัญญาณอย่างต่อเนื่องและไม่เกิดคลื่นหลุดค่าเลขปริศนานั้นก็จะยังคงมี

ค่าคงที่เสมอ ซึ่งการหาค่าเลขปริศนาจะทำในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูลหลังจากที่ได้ขจัดค่าคลาดเคลื่อนต่างๆและซ่อมแซมคลื่นหลุดในข้อมูลแล้ว ซึ่งในการหาค่าเลขปริศนาจะมีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือ การหาค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนจริง เรียกกันโดยทั่วไปว่า Ambiguity Resolution (AR) ซึ่งผลลัพธ์จากแบบนี้จะถูกเรียกว่า Ambiguity-free solution หรือ Ambiguity-float solution อีกแบบจะเป็นการประมาณค่าโดยพยายามทำให้ค่าเลขปริศนาเป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี ผลลัพธ์จากแบบนี้จะถูกเรียกว่า Ambiguity-fixed solution ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ค่าเลขปริศนาเป็นจำนวนเต็ม นั้นจะเป็นที่ยอมรับว่าให้ค่าความถูกต้องสูงและเป็นที่ยอมรับใช้ในซอฟต์แวร์ทั่วไป มากกว่าแบบที่ได้ค่าเลขปริศนาเป็นจำนวนจริง

- ค่าคลาดเคลื่อน ocean loading

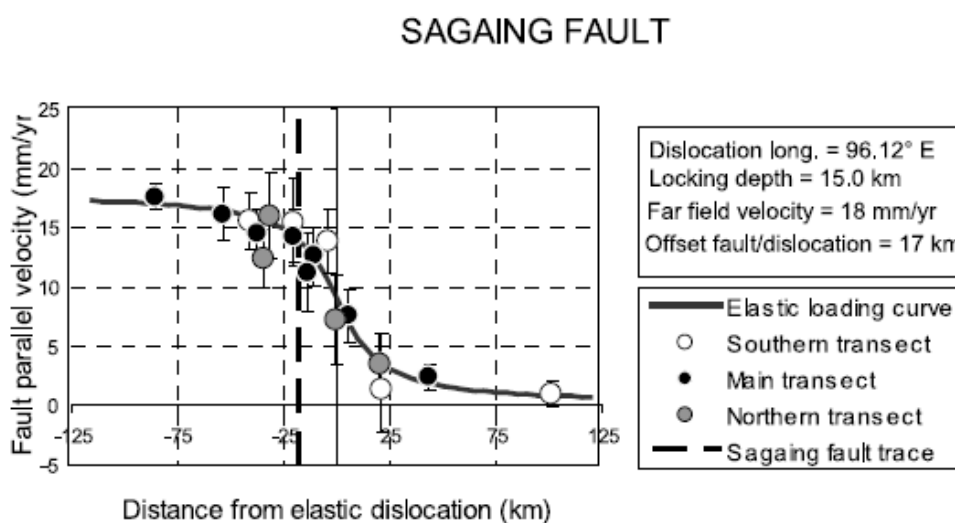
เป็นค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงมหาสมุทร ที่เกิดจากผลกระทบของการเกิดน้ำขึ้นน้ำลงรองเนื่องจากการตอบสนองการยืดหยุ่นของเปลือกโลกที่เกิดจากกระแสน้ำในมหาสมุทร ทำให้เกิดการเสียรูปของพื้นทะเลและบริเวณพื้นผิวของที่ดินที่อยู่ติดกัน โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญทั้งได้แก่ M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 , M_f , M_m , S_{sa} ซึ่งเป็นค่าความถี่ค่าสัมประสิทธิ์สถานีที่เฉพาะเจาะจงสำหรับขนาดของผลกระทบจากแรงมหาสมุทร และความกว้างของการเคลื่อนไหวพื้นผิวโลกอันเนื่องมาจากแรงมหาสมุทรสามารถเข้าถึงได้หลายเซนติเมตรในทางตั้ง

2.5 แนวเหตุผล, ทฤษฎีสำคัญ หรือสมมติฐาน

การดำเนินงานของงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาผลงานทางด้านวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมของรอยเลื่อนสะกายที่เคยส่งผลกระทบต่อประเทศไทย และศึกษาการใช้ข้อมูลจีพีเอสในการหาอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกาย รวมถึงการศึกษาการนำอัตราการเคลื่อนตัว ความเร็วมาประมาณค่าความถี่ลื่นของรอยเลื่อนโดยใช้แบบจำลอง arctangent profile ซึ่งมีงานวิจัยมากมายที่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของการศึกษาด้านนี้ ได้แก่ งานวิจัยของสันติ และ สันทวัฒน์ (2555) ที่ทำการศึกษาพฤติกรรมและพิบัติภัยของรอยเลื่อนสะกายต่อประเทศไทย โดยมีการศึกษาพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวจากข้อมูลที่ถูกบันทึกด้วยเครื่องมือตรวจวัด (Instrumental Records) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลแผ่นดินไหวที่ระบุไว้ในช่วงปี พ.ศ. 2507 – 2555 (48 ปี) รอยเลื่อนสะกายที่เคยเกิดแผ่นดินไหวหลักบริเวณรอบๆ รัศมี 100 กิโลเมตร ประมาณ 276 เหตุการณ์ โดยมีขนาดแผ่นดินไหวระหว่าง 2.9 – 7.3 ริกเตอร์ ซึ่งจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวกับขนาดแรงแผ่นดินไหวตามหลักสมการความสัมพันธ์กูเตินเบิร์ก - ริกเตอร์ (Gutenberg and Richter 1994) จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินไหวจากข้อมูลที่ถูกบันทึกจากเอกสารทางประวัติศาสตร์ที่แสดงให้เห็นว่ารอยเลื่อนสะกายนั้นเคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่

มากมายและสร้างความเสียหายในระดับที่รุนแรงต่อพื้นที่ข้างเคียงที่เห็นได้ชัด จากการรวบรวมงานวิจัยในอดีต (Chhibber 1934, Thawbita 1976, Milne 1991, Htwe zaw 2006, Swe 2006, Kundu and Gahalaut 2012) พบว่ามีการบันทึกและรายงานเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ (Major earthquake) มีขนาดแผ่นดินไหวมากกว่า 7.0 ริกเตอร์ ประมาณ 70 เหตุการณ์ ที่เคยเกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 1972-2534 (562 ปี) โดยส่วนใหญ่เป็นแผ่นดินไหวที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ทางตอนใต้ของรอยเลื่อนสะกาย ซึ่งพิบัติภัยแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยจากพฤติกรรมของรอยเลื่อนสะกายที่มักจะเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มากกว่าแผ่นดินไหวขนาดเล็ก จึงทำให้ประเทศเพื่อนบ้านอย่างประเทศไทย มีโอกาสสูงที่จะได้รับผลกระทบด้านแรงสั่นสะเทือน สำหรับงานวิจัยของ Sone Aung and Satirapod (2014) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ข้อมูลจีพีเอสเพื่อศึกษาพฤติกรรมของเปลือกโลกรอยเลื่อนสะกาย ซึ่งมีการใช้ข้อมูลจีพีเอสที่ทำการติดตั้งผ่าทางภาคเหนือและใต้ภาคใต้ทั้ง 8 สถานีอ้างอิง ประมวลผลข้อมูลจีพีเอสด้วยโปรแกรม Gamit และแพ็คเกจซอฟต์แวร์การวิเคราะห์ GLOBK เพื่อให้ได้ค่าความเร็วสถานีจีพีเอสและการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกาย โดยอาศัยข้อมูลตั้งแต่ปี 2011 - 2014 ในการประมวลผล ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล cGPS ทั้ง 8 สถานีในภาคเหนือและภาคใต้ของพม่า แสดงให้เห็นว่าการศึกษาพื้นที่ฝั่งตะวันออกของรอยเลื่อนสะกายกำลังจะย้ายไปทางทิศใต้ประมาณ 20 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่ทางฝั่งตะวันตกของรอยเลื่อนสะกายมีการเคลื่อนไหวไปทางทิศเหนือประมาณ 20 มิลลิเมตรต่อปี จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในเดือนพฤศจิกายน 2012 ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่บริเวณทางตอนเหนือของรอยเลื่อน ทำให้สถานี SWBO และสถานี SDWN เคลื่อนไหวไปทางทิศเหนือไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยของ Vigny et al. (2003) เป็นการศึกษาการเสียรูปของเปลือกโลกรอบ ๆ รอยเลื่อนสะกายในพม่า โดยมีการดำเนินการในปี 1998 และปี 2000 ที่สามารถบ่งบอกขนาดการเสียรูปของเปลือกโลกปัจจุบันรอบรอยเลื่อนสะกายในภาคกลางของพม่า โดยใช้ข้อมูลจีพีเอสทั้งหมด 22 สถานี ซึ่งแบ่งออกเป็นสถานีเครือข่ายในระดับภูมิภาคมีการติดตั้ง GPS ไว้ทั้งหมด 4 สถานีภายในประเทศ (HPAA, LAUN, MIND and TAUN) และเครือข่ายท้องถิ่น อีก 18 สถานีมีศูนย์กลางอยู่ที่เมืองมัณฑะเลย์ ข้ามรอยเลื่อนสะกาย มีการประมวลผลด้วยโปรแกรม GAMIT/GLOBK (Herring 1991, King 1999) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบความเร็วสถานีที่ขนานกับรอยเลื่อนที่พล็อตระยะทางไปถึงรอยเลื่อน ข้อมูลเป็นไปตามเส้นโค้ง arctangent ที่ได้มีการพิจารณารองรับตามรูปแบบการเสียรูปความยืดหยุ่น (Elastic Dislocation Model) ในสองมิติของรอยเลื่อนตามแนวระดับ (Savage and Burford 1973) โดยมีการ invert ความลึกของการลึกลับความเร็วและตำแหน่งของรอยเลื่อนไปพร้อมกัน พอดีกับที่รูปแบบพารามิเตอร์ความยืดหยุ่นที่ดีที่สุดตรงกับระยะบรอยเลื่อนลึกลับที่ระดับความลึกประมาณ 15 กิโลเมตร ที่ Far - field velocity เท่ากับ 18 มิลลิเมตรต่อปี นอกจากนี้ยังพบว่ารายละเอียดความยืดหยุ่นแบบที่ดีที่สุดจะเลื่อนไปทางตะวันออกของรอยเลื่อนประมาณ 17

กิโลเมตร ดังภาพที่ 2.15 ซึ่งยังแสดงให้เห็นว่าความลึกลึกลับในภาคใต้แน่นตึ้นกว่าในภาคเหนือและยังแสดงให้เห็นว่าการเสียรูปของเปลือกโลกของพม่า นั้นเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวทางทิศเหนือของประเทศอินเดียมีการกระจายผ่านประเทศพม่า การเสียรูปค่อนข้างกระจายไปทั่วรอยเลื่อนที่แตกต่างกันทางทิศตะวันออกของรอยเลื่อนสะกาย /Shan Scarp <20 มิลลิเมตรต่อปี ของ 35 มิลลิเมตรต่อปี ของรอยเลื่อน อินเดีย / ซันดาแลนด์ ที่มีการเคลื่อนที่ตามแนวระดับ



ภาพที่ 2.15 กราฟแสดงความเร็วสถานีที่ขนานกับรอยเลื่อนพล็อตกับระยะทางไปถึงรอยเลื่อนที่ fit พอดีกับเส้นโค้ง arctangent โดยวงกลมสีเทา สีดำและสีขาวเป็นตัวแทนของภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ฝ่าความเร็วขนานรอยเลื่อนตามลำดับ เส้นโค้งแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดแบบที่ดีที่สุดที่สำหรับความลึกลึกลับ 15 กิโลเมตร แนวตั้งเส้นประแสดงตำแหน่งของรอยเลื่อนสะกายไปทางทิศตะวันตกของความคลาดเคลื่อนความยืดหยุ่น 17 กิโลเมตร

Vigny et al. (2006) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนไหวของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย - ซุนดาและการเปลี่ยนรูปตามแนวพรมแดนในพม่าโดยอาศัยข้อมูลจีพีเอส ในระดับภูมิภาค 190 สถานีทั้งในเอเชีย จากประเทศเนปาลตะวันออกอินโดนีเซียและซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 11 ปี ตั้งแต่ปี 1991-2002 เพื่อนำเสนอการเคลื่อนไหวที่สัมพันธ์ระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดียและซันเตอร์แลนด์และหารือเกี่ยวกับการเสียรูปที่เกิดขึ้นระหว่างสองเปลือกโลกในพม่า ข้อมูลจีพีเอสที่วัดมาได้ถูกนำมาวิเคราะห์ในการแก้ปัญหาตลอด 24 ชั่วโมงด้วยโปรแกรม Gamit (King 1999) การประมาณความเร็วและแผนที่ใน ITRF-2000 (Altamimi et al. 2002) โดยใช้โปรแกรม GLOBK / Glog (Herring 1991) ซึ่งผลที่ได้ยืนยันว่าการเคลื่อนไหวในปัจจุบันของประเทศอินเดียช้ากว่าที่คาดการณ์โดยรูปแบบ NUVEL-1A

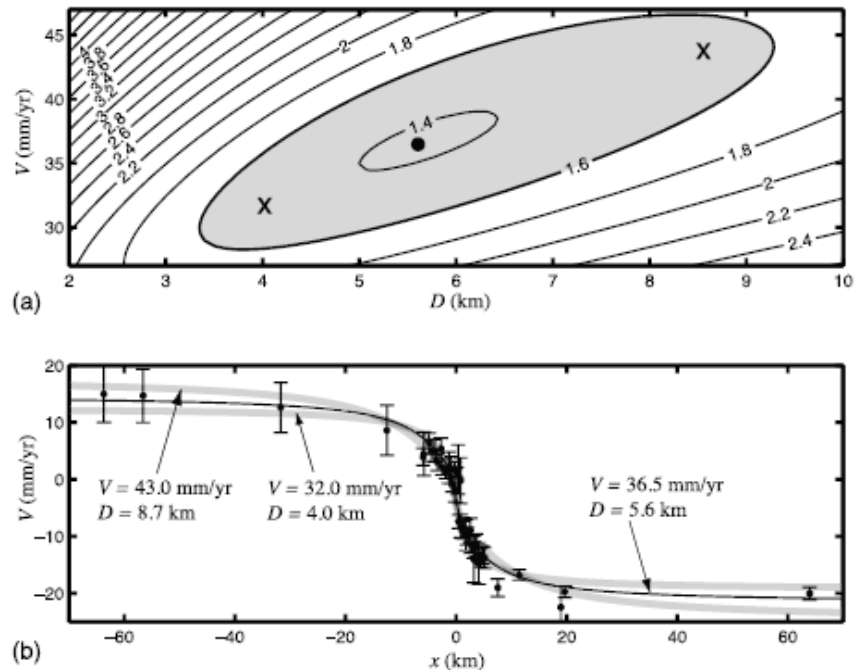
และนอกจากการเคลื่อนไหวอินเดียนกับยูเรเชีย (ประมาณ 5 มิลลิเมตรต่อปี) ช้ากว่าการเสียรูปทาง geodesy (Paul J. et al. 2001) บวกกับการประมาณค่าของการเคลื่อนไหวซุนดา 36 มิลลิเมตรต่อปี ของด้านข้าง N / S ตามแนวระดับและ 7-9 มิลลิเมตรต่อปีของ E/W ในพม่า การแพร่กระจายของการเสียรูปที่เกิดขึ้นในประเทศพม่าเป็นข้อจำกัดของการเคลื่อนไหวจากแผ่นอินเดียน-ซุนดา ข้อมูลจีพีเอสของสถานีในพม่า รูปแบบและอัตราการเคลื่อนของเปลือกโลกและข้อมูลแผ่นดินไหว ซึ่งทางตอนใต้ของประเทศพม่า มีการเคลื่อนไหวสัมพันธ์อินเดียนซุนดา ที่มีการแบ่งพาร์ติชันระหว่างรอยเลื่อนสะกายข้างขวาที่มีการเคลื่อนตัวประมาณ 18 มิลลิเมตรต่อปีและอันดามัน 20 มิลลิเมตรต่อปี และงานวิจัยของ Smith et al. (2011) นั้นศึกษาการเปรียบเทียบระดับความลึก (Locking depth) จากการศึกษาขนาดรูปร่างและพื้นผิวโลก (Geodesy) และการศึกษาเกี่ยวกับแผ่นดินไหว (Seismology) ของรอยเลื่อน San Andreas ความลึกลึกลับของรอยเลื่อนประมาณจากความเร็วจีพีเอสของทั้ง 12 ส่วนของรอยเลื่อน San Andreas สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาการสะสมอัตราการไหวสะเทือนพร้อมระบบรอยเลื่อนตามข้อเสนอแนะของการศึกษาเกี่ยวกับแผ่นดินไหวและการศึกษาขนาดรูปร่างและพื้นผิวโลก การวัดค่าการเสียรูปของพื้นผิวรวมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำมาใช้ในการประมาณความลึกที่มีผลต่อบริเวณที่มีการสะสมความเครียดของ interseismic เรียกกันทั่วไปว่า เป็นความลึกลึกลับของรอยเลื่อน รูปแบบความคลาดเคลื่อนยืดหยุ่นอย่างง่าย (Savage and Burford 1973) ใช้อธิบายการสะสมความเครียดที่มีความยืดหยุ่นตามแนวตั้งของรอยเลื่อนตามแนวระดับ โดยความเร็วตรงข้ามบริเวณรอยเลื่อนที่ถูกลึกลับจะได้จากการ

$$v(x) = V/\pi * \tan^{-1}(x/D) \quad (2.23)$$

โดยที่

V	คือ	Far - field velocity (มิลลิเมตรต่อปี)
x	คือ	ระยะในแนวนอนตั้งฉากของรอยเลื่อน (กิโลเมตร)
D	คือ	ความลึกลึกลับ (กิโลเมตร)

โดยการประมาณความลึกจากการศึกษา geodetic ใช้ 2 วิธีในการประมาณ ดังภาพที่ 2.16 แต่วิธีการประมาณความลึกดีกว่าคือวิธีการ arctangent model (Smith et al. 2011) ซึ่งเหมาะสมเมื่อเทียบกับ ความลึกลึกลับ (D) และค่า Far field velocity (V) ที่ความลึกลึกลับเท่ากับ 5.6 กิโลเมตรและความเร็วไกลเท่ากับ 36.5 มิลลิเมตรต่อปีสำหรับการประมาณความลึกจากการศึกษา seismogenic มีการกำหนดเปอร์เซ็นต์ในการตัดความลึก ซึ่งมีตั้งแต่ 90% 95% และ 99%



ภาพที่ 2.16 กราฟแสดงผลการประมาณความลึกจากการศึกษา geodetic
(a) เป็นวิธีการ chi - square misfit (b) เป็นวิธีการ arctangent model

ผลที่ได้จากการศึกษาความลึก geodetic อยู่ที่ประมาณ 6-22 กิโลเมตร และความลึกจากการศึกษา seismogenic อยู่ที่ประมาณ 11-20 กิโลเมตร และเมื่อนำระดับความลึกที่ออกมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้คือระดับความลึกสูงสุดของแผ่นดินไหวส่วนใหญ่เห็นด้วยกับความลึกที่ได้อาจสรุปแบบ geodetic

ดังนั้นจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่ามีการใช้ข้อมูลจีพีเอสในการศึกษาพฤติกรรมและอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกาย โดยใช้โปรแกรม Gamit/GLOBK ประมวลผลค่าพิกัดของสถานีจีพีเอสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีการอาศัยข้อมูลจากกรอบอ้างอิงนานาชาติ (International Terrestrial Reference Frame : ITRF) ทำให้มีระยะเส้นฐานทั่วโลก จึงอาจทำให้ค่าความถูกต้องของตำแหน่งนั้นน้อยกว่าการใช้โปรแกรม Bernese ซึ่ง Sone Aung and Satirapod ก็ได้ให้ข้อเสนอแนะในงานวิจัยของทั้งคู่ว่า ควรมีการใช้โปรแกรม Bernese, GIPSY ในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โปรแกรม Bernese ที่เป็นโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ที่คำนวณค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์หรือแบบเส้นฐาน จะให้ความถูกต้องที่สูงในระดับมิลลิเมตรเหมาะกับการคำนวณเส้นฐานทั่วโลก (สมชาย เกรียงไกรวศิน พ.ศ. 2555) และยังเป็นโปรแกรมเชิงวิจัยที่มีการยอมรับกัน สำหรับการ

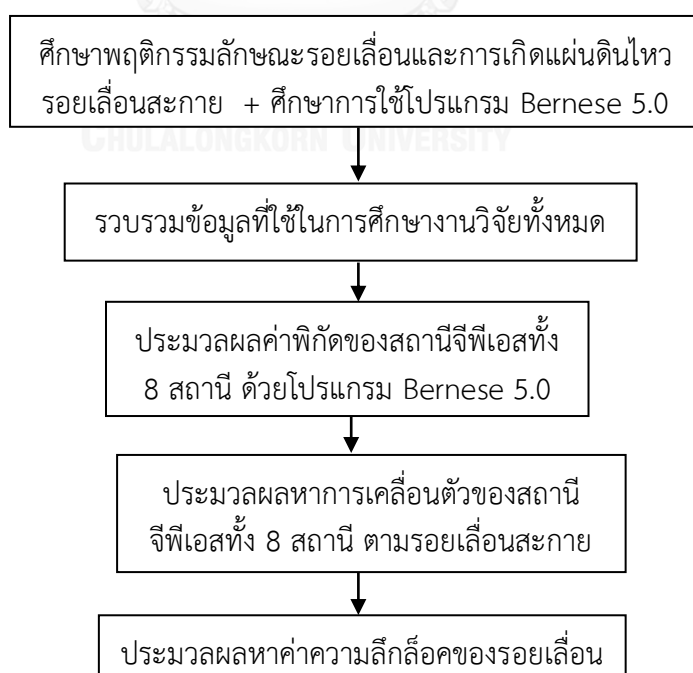
ประมาณค่าความลึกลับของรอยเลื่อนได้มีการใช้รูปแบบความคลาดเคลื่อนยืดหยุ่นอย่างง่าย (Elastic Dislocation Model) (Savage and Burford 1973) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในการอธิบายข้อมูลทาง Geodetic บริเวณตรงข้ามรอยเลื่อน (Vergne et al. 2001, Smith and Sandwell 2003, Wang et al. 2003) โดยการสร้างแบบจำลองนี้จะช่วยประมาณอัตราเร็วและความลึกลับของรอยเลื่อน ซึ่งสามารถใช้ในการวัดปริมาณการสะสมความเครียด interseismic ที่ระดับความลึกนั้น (Jolivet et al. 2008) และการเลือกใช้รูปแบบดังกล่าว เพราะ เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดและเหมาะกับรอยเลื่อนที่ยาวอนันต์ (Shachak et al. 2002) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยมากมายที่ใช้รูปแบบดังกล่าวมาอธิบายผลงานวิจัย (Lisowski et al. 1991, Hetland and Hager 2006, Maryline et al. 2008, Scott et al. 2009, Smith et al. 2011) ซึ่งอัตราการเคลื่อนตัว ความเร็ว และความลึกลับนั้น เป็นตัวแปรที่สามารถนำมาศึกษาต่อเพื่อหาความเค้น ความเครียดบริเวณรอยเลื่อนที่จะสันนิษฐานแรงที่อาจจะเกิดขึ้นต่อไปได้



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานสำหรับการหาการเคลื่อนตัวและความลึกลึอกของรอยเลื่อนสะกายในพม่า โดยใช้ข้อมูลจีพีเอส ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาพฤติกรรมและอัตราการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายในปี 2011 - 2014 และศึกษาหาความลึกลึอกของรอยเลื่อนสะกายที่สามารถนำมาศึกษาต่อเพื่อสันนิษฐานแรงสั่นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นของรอยเลื่อนนี้ได้ โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานตั้งแต่เริ่มศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้แก่ ศึกษาธรรมชาติของรอยเลื่อน การจำแนกประเภทรอยเลื่อน ลักษณะของรอยเลื่อนสะกาย และศึกษาการใช้โปรแกรม Bernese 5.0 ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอส จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลจีพีเอส และข้อมูลที่เป็นต่อการประมวลผลหาค่าพิกัดที่ต้องการความถูกต้องสูงด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 แล้วทำการหาค่าพิกัดความถูกต้องสูงของสถานีจีพีเอสที่ติดตั้งอยู่บริเวณรอยเลื่อนสะกายด้วยโปรแกรมดังกล่าว จากนั้นนำค่าพิกัดที่ได้มาหาการเคลื่อนตัวของสถานี แล้วจึงทำการหาค่าความลึกลึอกของรอยเลื่อนต่อไป ดังแผนผังที่ 3.1



แผนผังที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากแผนผังดังกล่าวในบทที่ 3 จะอธิบายในหัวข้อ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา หัวข้อ 3.2 การประมวลผลค่าพิกต์ความถูกต้องของสถานีจีพีเอสด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 หัวข้อ 3.3 การประมวลผลค่าการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอสบริเวณรอยเลื่อน และหัวข้อ 3.4 การประมวลผลค่าความถี่ลึกลับของรอยเลื่อนสะกาย ดังนี้

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การดำเนินการงานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสที่ติดตั้งตัดขวางทางตอนเหนือและตัดขวางทางตอนใต้บริเวณรอยเลื่อนสะกายทั้ง 8 สถานี ดังภาพที่ 1.1 ซึ่งเครือข่ายสถานี cGPS ของพม่าได้มีการจัดตั้งในปี 2011 ร่วมกับคณะกรรมการแผ่นดินไหวพม่า (Myanmar Earthquake committee : MEC) หอดูดาวโลกของสิงคโปร์ (Earth Observatory of Singapore : EOS) และกรมอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาพม่า (Department of Meteorology and Hydrology : DMH) โดยสถานี cGPS ถูกนำมาใช้อย่างต่อเนื่องเพื่อวัดความผิดปกติของรอยเลื่อนสะกาย โดยข้อมูลทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้จากการเริ่มต้นของทุกสถานีไม่เกินเดือนมีนาคม 2014 (ตั้งแต่ปี 2011 – 2014) ซึ่งสถานี cGPS ทางตอนใต้ได้รับการดำเนินการตั้งแต่เดือนมีนาคม 2011 และสถานี cGPS ทางตอนเหนือได้รับการดำเนินการตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2012 ดังภาพที่ 3.1 ที่แสดงให้เห็นถึงจำนวนข้อมูลที่นำมาประมวลผล โดยสถานี GYBU มีข้อมูล 539 วัน , สถานี IGLE มีข้อมูล 1128 วัน , สถานี WAAW มีข้อมูล 1110 วัน , สถานี SATG มีข้อมูล 587 วัน , สถานี HAKA มีข้อมูล 699 วัน , สถานี KANI มีข้อมูล 490 วัน , สถานี WSBO มีข้อมูล 364 วัน และ สถานี SDWN มีข้อมูล 758 วัน

Station	2011	2012	2013	2014
GYBU				
IGLE				
WAAW				
SATG				
HAKA				
KANI				
SWBO				
SDWN				

ภาพที่ 3.1 ภาพตารางชุดข้อมูลจีพีเอสของทั้ง 8 สถานี ที่ใช้ในการประมวลผล

สถานี cGPS ทั้งหมดถูกติดตั้งด้วยเครื่องรับชนิด Geodatic Trimble Gns NetR8 และ NetR9 ดังภาพที่ 3.2 ที่เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ที่มีช่องสัญญาณมากถึง 440 ช่องสัญญาณสามารถรองรับสัญญาณดาวเทียมทั้งระบบ GPS (L1, L2, L2C and L5) และ GLONASS (L1 and L2) โดยมีอัตราการบันทึกข้อมูลทุก 15 วินาที และมีการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมง และมีการใช้เสาอากาศประเภท Trimble Gns choke ring ดังภาพที่ 3.3 ที่สามารถช่วยลดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถีได้



ภาพที่ 3.2 เครื่องรับชนิด Geodatic Trimble Gns NetR8 และ NetR9



ภาพที่ 3.3 เสาอากาศประเภท Trimble Gns choke ring

3.2 การประมวลผลค่าพิกัดความถูกต้องสูงของสถานีจีพีเอสด้วยโปรแกรม Bernese 5.0

การประมวลผลค่าพิกัดความถูกต้องสูงของสถานีจีพีเอสทั้ง 6 สถานีรอบรอยเลื่อนสะกาย โดยใช้โปรแกรม Bernese 5.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ที่คำนวณค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์หรือแบบเส้นฐานที่ให้ความถูกต้องสูงในระดับมิลลิเมตร ด้วยเทคนิคการหาค่าต่าง (Differential GPS - DGPS) โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งทั้ง L1 และ L2 ในการประมวลผลข้อมูลและยังเป็นโปรแกรมเชิงวิจัยที่เป็นที่ยอมรับซึ่งโปรแกรมนี้มีการคำนวณค่าพารามิเตอร์สำหรับใช้ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนต่างๆที่ละเอียดกว่าซอฟต์แวร์พาณิชย์ทั่วไป เช่น มีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก Phase Antenna Center ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศรวมถึงมีการนำวงโคจรความถูกต้องสูงชนิด IGS Rapid Orbit มาใช้ในการประมวลผล ข้อมูลทำให้สามารถลดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียมได้ด้วย โดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 นั้น จำเป็นที่จะต้องมีการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล ได้แก่ ข้อมูล วงโคจรดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก

นาฬิกาดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นในการประมวลผล ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก

<ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER50/ORB/> และ <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/> และในการประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดความถูกต้องสูงจะใช้วิธีการ Bernese Processing Engine (BPE) (ธีทัต เจริญกาลัญญาตา พ.ศ. 2555) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การเตรียมข้อมูลจีพีเอส

สำหรับการเตรียมข้อมูลจีพีเอสที่ใช้ประมวลผลด้วยโปรแกรม Bernese นั้น ข้อมูลจีพีเอสจำเป็นต้องอยู่ในรูปแบบไฟล์ Rinex แบบรายวันก่อน ซึ่งข้อมูลที่ได้มาของงานวิจัยนี้ยังเป็นไฟล์ข้อมูลดิบ จึงต้องทำการแปลงไฟล์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน จากนั้นจึงนำไฟล์ข้อมูล ดังภาพที่ 3.4 ที่อยู่ในรูปแบบไฟล์ Rinex ไปวางในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXXX\RAW โดยที่ XXXX คือชื่อของ Campaign ในโปรแกรม Bernese ที่ได้ทำการสร้างไว้ก่อนหน้าแล้ว

```

1 2.11 OBSERVATION DATA Mixed (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
2 cnvtToRINEX 2.28.0 convertToRINEX OFR 06-Jun-15 16:08 UTC PGM / RUN BY / DATE
3 ----- COMMENT -----
4 IGLE MARKER NAME
5 IGLE MARKER NUMBER
6 GNS Observer Trimble OBSERVER / AGENCY
7 5025K68503 NetR8 REC # / TYPE / VERS
8 TRM29659.00 SCIS ANT # / TYPE
9 -670428.9081 6051169.7844 1894800.9482 APPROX POSITION XYZ
10 0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
11 1 1 0 WAVELENGTH FACT L1/2
12 6 C1 C2 L1 L2 F1 F2 # / TYPES OF OBSRV
13 2011 3 1 0 0 0.00000000 GPS TIME OF FIRST OBS
14 2011 3 1 23 59 45.00000000 GPS TIME OF LAST OBS
15 0 RCV CLOCK OFFS APPL
16 15 LEAP SECONDS
17 53 # OF SATELLITES
18 G02 1994 0 1990 1964 0 1965 PRN / # OF OBS
19 G03 1146 0 1146 1140 0 1140 PRN / # OF OBS
20 G04 1749 0 1748 1674 0 1675 PRN / # OF OBS
21 G05 1572 1572 1569 3136 0 1567 PRN / # OF OBS
22 G06 1347 0 1344 1318 0 1319 PRN / # OF OBS
23 G07 1478 1475 1466 2869 0 1412 PRN / # OF OBS
24 G08 1354 0 1348 1315 0 1319 PRN / # OF OBS
25 G09 1781 0 1769 1670 0 1674 PRN / # OF OBS
26 G10 1365 0 1365 1356 0 1356 PRN / # OF OBS
27 G11 1361 0 1355 1314 0 1318 PRN / # OF OBS
28 G12 1839 1836 1833 3603 0 1773 PRN / # OF OBS
29 G13 1291 0 1288 1184 0 1185 PRN / # OF OBS
30 G14 1608 0 1607 1571 0 1571 PRN / # OF OBS
31 G15 1421 1420 1418 2800 0 1383 PRN / # OF OBS
32 G16 1031 0 1031 989 0 989 PRN / # OF OBS
33 G17 2023 2023 2021 4030 0 2011 PRN / # OF OBS
34 G18 1800 0 1885 1870 0 1871 PRN / # OF OBS

```

ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลจีพีเอสในรูปแบบไฟล์ Rinex .o ของสถานี IGLE

3.2.2 การเตรียมข้อมูลวงโคจรดาวเทียม (Satellite Orbit Information)

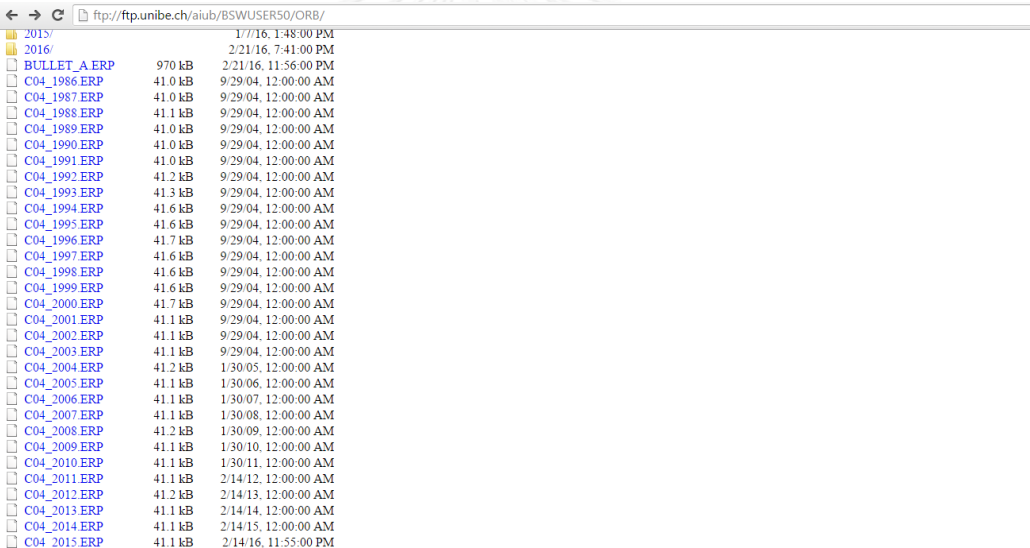
สำหรับข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .PRE ที่เป็นแบบ Final ซึ่งเป็นข้อมูลวงโคจรแบบรายวัน สามารถดาวน์โหลดได้จาก <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/> โดยไฟล์ที่ดาวนั้นจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .EPH ดังนั้นจึง

ต้องทำการเปลี่ยนนามสกุลให้ใหม่เป็น .PRE ก่อน ซึ่งทำได้โดยการใช้ฟังก์ชัน Rename แล้วจึงนำไปวางในโฟลเดอร์ C:\GPADATA\XXXX\ORB โดยที่ XXXX คือชื่อของ Campaign ในโปรแกรม Bernese ที่ได้ทำการสร้างไว้ก่อนหน้าแล้ว

3.2.3 ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก

(Earth Rotation Parameters/Pole Information)

สำหรับข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก จะเป็นข้อมูลแบบรายปี และอยู่ในรูปแบบไฟล์ .ERP ซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลนี้ได้จาก ftp://ftp.unibe.ch/ BSWUSER50/ORB/ (ตัวอย่าง C04_2011.ERP) ดังภาพที่ 3.5 โดยที่ 2011 คือ ปีค.ศ. จากนั้นจึงนำไฟล์ไปวางในโฟลเดอร์ C:\GPADATA\XXXX\ORB โดยที่ XXXX คือชื่อของ Campaign ในโปรแกรม Bernese ที่ได้ทำการสร้างไว้ก่อนหน้าแล้ว

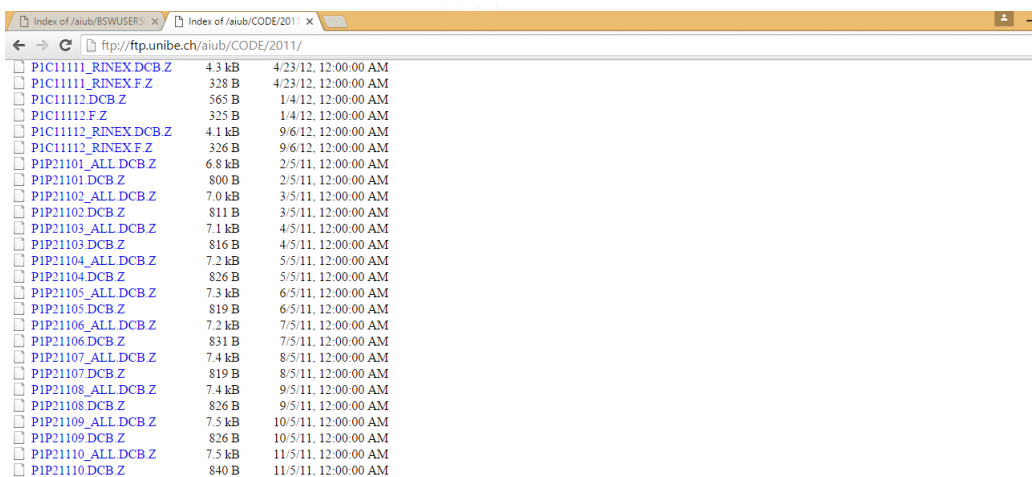


File Name	Size (kB)	Modification Date/Time
2015/		1/7/16, 1:48:00 PM
2016/		2/21/16, 7:41:00 PM
BULLET_A.ERP	970 kB	2/21/16, 11:56:00 PM
C04_1986.ERP	41.0 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1987.ERP	41.0 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1988.ERP	41.1 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1989.ERP	41.0 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1990.ERP	41.0 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1991.ERP	41.0 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1992.ERP	41.2 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1993.ERP	41.3 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1994.ERP	41.6 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1995.ERP	41.6 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1996.ERP	41.7 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1997.ERP	41.6 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1998.ERP	41.6 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_1999.ERP	41.6 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_2000.ERP	41.7 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_2001.ERP	41.1 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_2002.ERP	41.1 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_2003.ERP	41.1 kB	9/29/04, 12:00:00 AM
C04_2004.ERP	41.2 kB	1/30/05, 12:00:00 AM
C04_2005.ERP	41.1 kB	1/30/06, 12:00:00 AM
C04_2006.ERP	41.1 kB	1/30/07, 12:00:00 AM
C04_2007.ERP	41.1 kB	1/30/08, 12:00:00 AM
C04_2008.ERP	41.2 kB	1/30/09, 12:00:00 AM
C04_2009.ERP	41.1 kB	1/30/10, 12:00:00 AM
C04_2010.ERP	41.1 kB	1/30/11, 12:00:00 AM
C04_2011.ERP	41.1 kB	2/14/12, 12:00:00 AM
C04_2012.ERP	41.2 kB	2/14/13, 12:00:00 AM
C04_2013.ERP	41.1 kB	2/14/14, 12:00:00 AM
C04_2014.ERP	41.1 kB	2/14/15, 12:00:00 AM
C04_2015.ERP	41.1 kB	2/14/16, 11:55:00 PM

ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างการโหลดไฟล์ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก

3.2.4 ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

สำหรับข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะเป็นข้อมูลแบบรายเดือน โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .DCB ซึ่งข้อมูลนี้สามารถดาวน์โหลดได้จาก ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/ (ตัวอย่าง P1P21103.DCB) ดังภาพที่ 3.6 โดยที่ 11 คือ สองหลักท้ายของปี ค.ศ. และ 03 คือ เดือน จากนั้นจึงนำไฟล์ไปวางในโฟลเดอร์ C:\GPADATA\XXXX\ORB โดยที่ XXXX คือชื่อของ Campaign ในโปรแกรม Bernese ที่ได้ทำการสร้างไว้ก่อนหน้าแล้ว

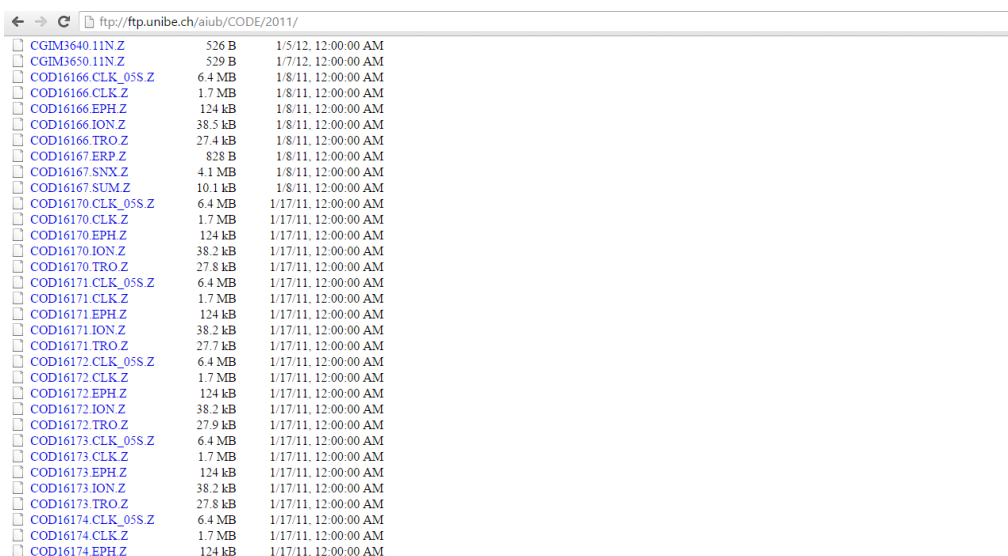


File Name	Size	Date	Time
P1C11111_RINEX.DCB.Z	4.3 kB	4/23/12	12:00:00 AM
P1C11111_RINEX.F.Z	328 B	4/23/12	12:00:00 AM
P1C11112.DCB.Z	565 B	1/4/12	12:00:00 AM
P1C11112.F.Z	325 B	1/4/12	12:00:00 AM
P1C11112_RINEX.DCB.Z	4.1 kB	9/6/12	12:00:00 AM
P1C11112_RINEX.F.Z	326 B	9/6/12	12:00:00 AM
P1P21101_ALL.DCB.Z	6.8 kB	2/5/11	12:00:00 AM
P1P21101.DCB.Z	800 B	2/5/11	12:00:00 AM
P1P21102_ALL.DCB.Z	7.0 kB	3/5/11	12:00:00 AM
P1P21102.DCB.Z	811 B	3/5/11	12:00:00 AM
P1P21103_ALL.DCB.Z	7.1 kB	4/5/11	12:00:00 AM
P1P21103.DCB.Z	816 B	4/5/11	12:00:00 AM
P1P21104_ALL.DCB.Z	7.2 kB	5/5/11	12:00:00 AM
P1P21104.DCB.Z	826 B	5/5/11	12:00:00 AM
P1P21105_ALL.DCB.Z	7.3 kB	6/5/11	12:00:00 AM
P1P21105.DCB.Z	819 B	6/5/11	12:00:00 AM
P1P21106_ALL.DCB.Z	7.2 kB	7/5/11	12:00:00 AM
P1P21106.DCB.Z	831 B	7/5/11	12:00:00 AM
P1P21107_ALL.DCB.Z	7.4 kB	8/5/11	12:00:00 AM
P1P21107.DCB.Z	819 B	8/5/11	12:00:00 AM
P1P21108_ALL.DCB.Z	7.4 kB	9/5/11	12:00:00 AM
P1P21108.DCB.Z	826 B	9/5/11	12:00:00 AM
P1P21109_ALL.DCB.Z	7.5 kB	10/5/11	12:00:00 AM
P1P21109.DCB.Z	826 B	10/5/11	12:00:00 AM
P1P21110_ALL.DCB.Z	7.5 kB	11/5/11	12:00:00 AM
P1P21110.DCB.Z	840 B	11/5/11	12:00:00 AM

ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างการโหลดไฟล์ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

3.2.5 ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากนาฬิกาดาวเทียม

สำหรับข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากนาฬิกาดาวเทียมจะเป็นข้อมูลแบบรายวัน โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .CLK ซึ่งข้อมูลนี้สามารถดาวน์โหลดได้จาก ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/ (ตัวอย่าง CODE16172.CLK) ดังภาพที่ 3.7 โดยเลขสี่หลักแรก (1617) เป็นข้อมูล GPS Week และเลขหลักสุดท้าย (2) คือ วันของสัปดาห์ ซึ่งนับจากวันอาทิตย์ ให้เป็น 0 จากนั้นจึงนำไฟล์ไปวางในโฟลเดอร์ C:\GPADATA\XXXX\ORB โดยที่ XXXX คือชื่อของ Campaign ในโปรแกรม Bernese ที่ได้ทำการสร้างไว้ก่อนหน้าแล้ว



File Name	Size	Timestamp
CGIM3640.I1N.Z	526 B	1/5/12, 12:00:00 AM
CGIM3650.I1N.Z	529 B	1/7/12, 12:00:00 AM
COD16166.CLK_05S.Z	6.4 MB	1/8/11, 12:00:00 AM
COD16166.CLK.Z	1.7 MB	1/8/11, 12:00:00 AM
COD16166.EPH.Z	124 kB	1/8/11, 12:00:00 AM
COD16166.ION.Z	38.5 kB	1/8/11, 12:00:00 AM
COD16166.TRO.Z	27.4 kB	1/8/11, 12:00:00 AM
COD16167.ERP.Z	828 B	1/8/11, 12:00:00 AM
COD16167.SNX.Z	4.1 MB	1/8/11, 12:00:00 AM
COD16167.SUM.Z	10.1 kB	1/8/11, 12:00:00 AM
COD16170.CLK_05S.Z	6.4 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16170.CLK.Z	1.7 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16170.EPH.Z	124 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16170.ION.Z	38.2 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16170.TRO.Z	27.8 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16171.CLK_05S.Z	6.4 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16171.CLK.Z	1.7 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16171.EPH.Z	124 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16171.ION.Z	38.2 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16171.TRO.Z	27.7 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16172.CLK_05S.Z	6.4 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16172.CLK.Z	1.7 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16172.EPH.Z	124 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16172.ION.Z	38.2 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16172.TRO.Z	27.9 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16173.CLK_05S.Z	6.4 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16173.CLK.Z	1.7 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16173.EPH.Z	124 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16173.ION.Z	38.2 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16173.TRO.Z	27.8 kB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16174.CLK_05S.Z	6.4 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16174.CLK.Z	1.7 MB	1/17/11, 12:00:00 AM
COD16174.EPH.Z	124 kB	1/17/11, 12:00:00 AM

ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างการโหลดไฟล์ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากนาฬิกาดาวเทียม

3.2.6 ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์แบบทั้งโลก

สำหรับข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์แบบทั้งโลกจะเป็นข้อมูลแบบรายวัน โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .ION สำหรับข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และอยู่ในรูปแบบไฟล์ .TRO สำหรับข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ซึ่งข้อมูลนี้สามารถดาวน์โหลดได้จาก ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/ (ตัวอย่าง) ดังภาพที่ 3.7 จากนั้นนำไฟล์ทั้งสองไปวางในโฟลเดอร์ C:\GPADATA\XXXX\ATM โดยที่ XXXX คือชื่อของ Campaign ในโปรแกรม Bernese ที่ได้ทำการสร้างไว้ก่อนหน้าแล้ว

3.2.7 ข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นต่อการประมวลผล

โปรแกรม Bernese เป็นโปรแกรมงานวิจัยที่มีการคำนวณที่ซับซ้อนของขั้นตอนการประมวลผลหาค่าพิกัดที่ต้องการความถูกต้องสูง ดังนั้นจึงเป็นที่จะต้องมีการอาศัยข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนจำนวนมาก เช่น ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากแรงมหาสมุทร ข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ ข้อมูลวงโคจรดาวเคราะห์ เป็นต้น ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากด้านล่างตารางที่ 3.1 ที่แสดงรายละเอียดข้อมูลที่จำเป็นต่อการใช้ในการประมวลผลด้วยโปรแกรม Bernese จากนั้นนำไปวางในโฟลเดอร์ C:\BERN50\GPS\GEN

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลที่จำเป็นต่อการประมวลผลด้วยโปรแกรม Bernese (สมเกียรติ์ อนุวงศ์เลขา พ.ศ. 2551)

ชื่อไฟล์	รายละเอียด	ความจำเป็นในการ Update	แหล่งที่มาของข้อมูล
CONST.	ค่าคงที่ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ	ไม่จำเป็น	Aiub*
DATUM.	ข้อมูล Datum	เมื่อมี Ellipsoid ใหม่	Aiub*
RECEIVER.	ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องรับ	เมื่อมีเครื่องรับชนิดใหม่	Aiub*
PHAS_COD.I01	Relative Antenna Model แบบระบุ Radome code	เมื่อมีเสาอากาศชนิดใหม่ หรือมีค่าแก้ไขใหม่	Aiub*
SATELLIT.I01	ข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียมใช้คู่กับ PHAS_COD.I01	เมื่อมีการส่งดาวเทียมดวงใหม่	Aiub*
PHAS_COD.I05	Absolute Antenna Modal แบบระบุ Radome code	เมื่อมีเสาอากาศชนิดใหม่ หรือมีค่าแก้ไขใหม่	Aiub*
SATELLIT.I05	ข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียมใช้คู่กับ PHAS_COD.I05	เมื่อมีการส่งดาวเทียมดวงใหม่	Aiub*
SAT___.CRX	ข้อมูลดาวเทียมที่มีปัญหา	เมื่อเกิดปัญหากับดาวเทียม	Aiub*
GPSUTC.	ข้อมูล GPS Leap Second	เมื่อมีการปรับแก้เวลา	Aiub*
IAU.2000NUT	ข้อมูล Nutation Model Coefficients	ไม่จำเป็น	Aiub*
IERS.2000SUB	ข้อมูลย่อยการวางตัวของโลก	ไม่จำเป็น	Aiub*
JGM.3	ข้อมูล Earth Potential Coefficients	ไม่จำเป็น	Aiub*
POLOFF.	ข้อมูล Pole offset Coefficients	ไม่จำเป็น	Aiub*
DE200.EPH	ข้อมูลวงโคจรดาวเคราะห์	ไม่จำเป็น	JPL**
____.BLQ	ข้อมูล Ocean Loading	เมื่อใช้สถานีใหม่	OSO***

*Aiub คือ <http://www.aiub.unibe.ch/download/bSWUSER50/GEN>

**JPL คือ <http://www.jpl.nasa.gov>

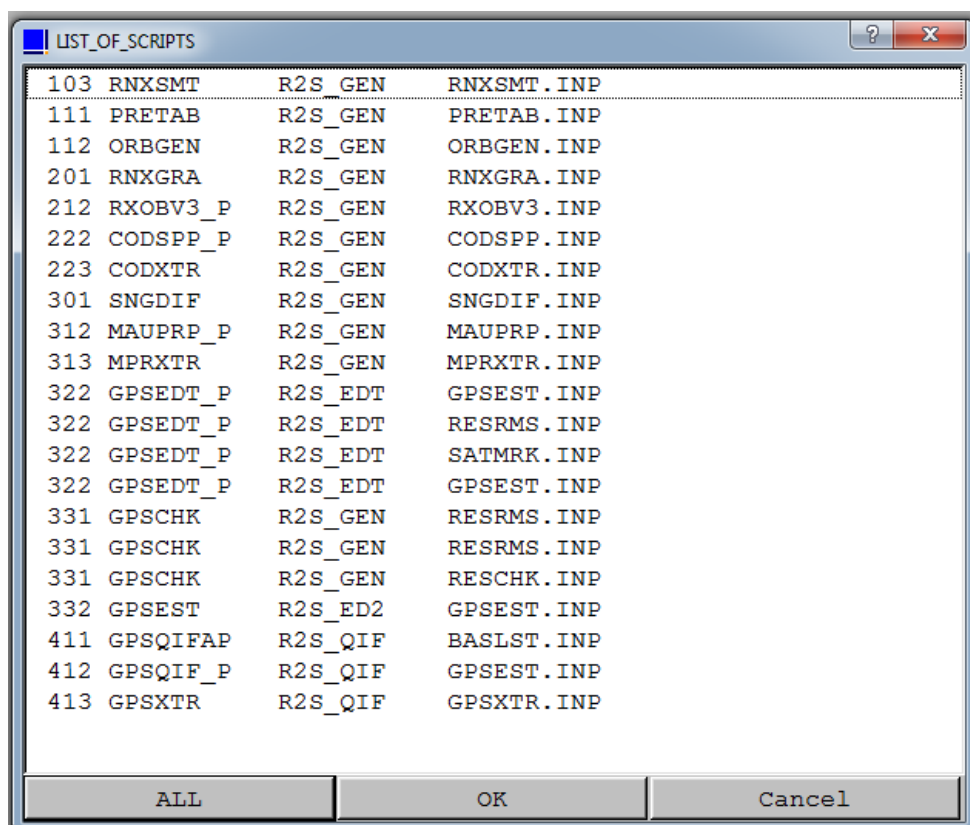
***OSO คือ <http://www.oso.chalmers.se/~loading>

หลังจากการเตรียมข้อมูลที่เป็นต่อการประมวลผลดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจะต้องทำการ Set ค่าพิกัดตั้งต้น รวมถึงรายละเอียดต่างๆโดยไปที่ Campaign → Edit Station File → Station Coordinate โดยเลือก File นามสกุล .CRD ที่เราต้องการใช้เป็นไฟล์หลักในการประมวลผล และการตั้งค่าต่างๆของแต่ละสถานี ที่จำเป็นต่อการประมวลผลทั้งชื่อสถานี ช่วงเวลาในการประมวลผล ชนิดของเครื่องรับสัญญาณ ชนิดของ Antenna โดยเข้าไปตั้งค่าที่ Campaign → Edit Station File → Station Information

3.2.8 การประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดความถูกต้องสูงด้วย Bernese Processing Engine (BPE)

ในการประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดความถูกต้องสูงด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 ซึ่งโปรแกรมนี้จะมีการประมวลผลแบบนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือการประมวลผลแบบธรรมดา และการประมวลผลแบบอัตโนมัติด้วยวิธี BPE ซึ่งการประมวลผลแบบธรรมดานั้นค่อนข้างที่จะยุ่งยากและซับซ้อนสำหรับการประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนมากเมื่อเทียบกับการประมวลผลด้วยวิธี BPE แล้ว ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้วิธีการประมวลผลแบบ BPE โดยการประมวลผลด้วยวิธี BPE จำเป็นต้องสร้าง Module ที่ใช้ในการประมวลผลโดยเรียงลำดับ ดังภาพที่ 3.8 โดยการตั้งค่านั้น จำเป็นที่จะต้องมีการใช้สัญลักษณ์เพื่อตั้งค่าให้เรียกไฟล์ข้อมูลแบบอัตโนมัติ มีดังนี้

\$S+0	เรียกตาม Session Number
\$WD+0	เรียกตาม GPS Week และ Day of Week
\$Y+0	เรียกตาม Year
\$YD+0	เรียกตาม Year และ Day of Year (DoY)
\$YSS+0	เรียกตาม Year, DoY, Session



ภาพที่ 3.8 หน้าต่างแสดงลำดับ Module ที่ใช้ในการประมวลผลด้วยวิธี Bernese Processing Engine (BPE)

การสร้าง Module มีรายละเอียดดังนี้

- การประมวลผลสำหรับการแปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ Bernese

ในการประมวลผลสำหรับการแปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ Bernese มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเข้าข้อมูลและปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนบางชนิดให้อยู่ในรูปแบบที่โปรแกรม Bernese สามารถนำไปใช้ในการประมวลผลต่อไปได้ ซึ่งมี Module ดังนี้

1. RNXSMT : เป็นขั้นตอนการ Smooth ข้อมูลรหัสของคลื่นส่ง เพื่อปรับปรุงไฟล์ข้อมูลและลดค่าคลาดเคลื่อนเบื้องต้นจากข้อมูลไฟล์ Rinex โดยผลลัพธ์จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .SMT ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXXX\RAW
2. PRETAB : เป็นขั้นตอนการสร้างวงโคจรดาวเทียมแบบ Tabular (Create Tabular Orbit) จากไฟล์ข้อมูล .PRE และ .ERP โดยผลลัพธ์จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .TAB และ .CLK ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXXX\ORB

3. OREGEN : เป็นขั้นตอนการสร้างข้อมูลวงโคจรดาวเทียม (Create Standard Orbit) จากไฟล์ข้อมูล .TAB และ .ERP โดยผลลัพธ์จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .STD ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXXX\ORB

4. RNXGRA : เป็นขั้นตอนสำหรับการสร้างสถิติของข้อมูลใน Rinex โดยผลลัพธ์จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .SMC

5. RXOBV3 : เป็นขั้นตอนการนำไฟล์ Rinex หรือไฟล์ข้อมูล .SMT ให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ Bernese Observation (Import Rinex to Bernese Format) โดยผลลัพธ์จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .CZH .CZO .PZH .PZO ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXXX\OBS

- การประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น

ในการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นนี้จะเป็นการขจัดค่าคลาดเคลื่อนจำพวก ค่าคลาดเคลื่อนหลายวิถี ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด ซึ่งการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นจะมีการเรียกใช้ Module ดังนี้

1. CODSP : เป็นขั้นตอนการประมวลผลของรหัสคลื่นส่ง (Code – Based Clock Synchronization) เพื่อหาค่าแก้ไขนาฬิกาของเครื่องรับพร้อมทั้งทำการแก้ไขผลการรังวัดให้อ้างอิงที่เวลา Epoch เดียวกัน

2. SNGDIF : เป็นขั้นตอนการสร้างเส้นฐาน (Baseline File Creation) โดยต้องเลือกชนิดของเส้นฐานให้ตรงกับวิธีที่เราสนใจและเหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกการสร้างเส้นฐานชนิด Star เนื่องจากประเภทนี้เป็นการสร้างเส้นฐานจากสถานีฐานที่ผู้ประมวลผลได้ทำการเลือกสถานีฐานไว้ก่อนหน้าแล้ว ซึ่งจะมีความสะดวกและรวดเร็วสำหรับการตั้งค่าในการประมวลผล โดยโปรแกรมจะทำการสร้างเส้นฐานจากสถานีดังกล่าวไปทุกสถานีที่อยู่ใน Session นั้น ซึ่งในโปรแกรมจะมี Module ให้เลือกอยู่ 5 ชนิดสำหรับการสร้างเส้นฐาน ได้แก่

- OBS - MAX เป็นการเลือกเส้นฐานที่มี Observation ของข้อมูลที่มีจำนวนมากที่สุด
- SHORTEST เป็นการเลือกเส้นฐานที่มีระยะสั้นที่สุด
- STAR เป็นการสร้างเส้นฐานตามแนวรัศมี โดยต้องทำการเลือกสถานีฐาน 1 สถานี และโปรแกรมจะทำการสร้างเส้นฐานจากสถานีดังกล่าวไปยังทุกสถานีใน Session

DEFINED	เป็นการสร้างเส้นฐานโดยการระบุเจาะจงเส้นฐานที่ต้องการสร้าง ซึ่งต้องไปแก้ไขไฟล์ Predfined Baseline (.BLS) ที่อยู่ในโฟลเดอร์ GPSDATA\XXXX\RAW
MANUAL	เป็นการสร้างเส้นฐานโดยเลือกสถานีฐานและสถานีจรเองภายในโปรแกรม

3. MAUPRP : เป็นขั้นตอนการประมวลผล Phase Preprocessing ซึ่งสามารถตรวจหาและแก้ปัญหาคือหลุดได้

4. GPSEST : เป็นขั้นตอนการปรับแก้เบื้องต้น (Parameter Estimation) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลหลังจาก Least Square Adjustment โดยใช้วิธีการประมวลผลข้อมูลแบบสมการ Ionosphere Free Linear Combination (L3)

5. RESRMS : เป็นขั้นตอนการสร้างไฟล์ข้อมูล Residual Statistics เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

6. SATMRK : เป็นขั้นตอนการตัดข้อมูลการรังวัดดาวเทียมดวงที่มีค่า RMS มากกว่า 4 เซนติเมตร

- การประมวลผลครั้งสุดท้าย

สำหรับการประมวลผลครั้งสุดท้าย เป็นการประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าเลขปริศนานั้น โปรแกรมจะเรียกใช้ Module GPSEST โดยใช้คลื่น L1&L2 และได้มีการเลือกใช้วิธี QIF (Quasi Ionosphere - Free) เนื่องจากวิธีการนี้มีความเหมาะสมกับการประมวลผลเส้นฐานที่มีความยาวและมีการเก็บข้อมูลที่ยาว

ซึ่งการประมวลผลหาค่าพิกัดของสถานีจีพีเอสทั้ง 6 สถานีที่ติดตั้งบริเวณรอยเลื่อนสะกาย ได้มีการแบ่งการคำนวณการหาค่าพิกัดของสถานีจีพีเอสออกเป็น สถานีทางตอนเหนือและสถานีทางตอนใต้ เนื่องจากถ้าประมวลผลร่วมกันจะทำให้มีระยะของเส้นฐานที่ใช้ในการประมวลผลไกลมาก ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าพิกัดที่ได้มีความถูกต้องน้อยลง

3.3 การประมวลผลค่าการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอส

สำหรับการหาอัตราการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอสทั้ง 8 สถานี โดยการนำค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 มาทำการพล็อตกราฟอนุกรมเวลาระหว่างค่าพิกัด N, E, H กับเวลาของข้อมูล และใช้วิธีการ Linear Regression (การวิเคราะห์การถดถอย) ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะหรือปัจจัยแทน ด้วยตัวแปรตั้งแต่สองตัวแปรขึ้นไป เพื่อ

ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ ทิศทางความสัมพันธ์ และลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือเป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยค่าที่ทราบจากตัวแปรหนึ่งแล้วนำไปพยากรณ์ค่าของอีกตัวแปรหนึ่ง ว่ามีความแปรผันในสัดส่วน เท่าใดหรือในระดับใด เพื่อให้ได้ค่าการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอสทั้ง 8 สถานี ในปี 2011 - 2014

3.4 การประมวลผลค่าความลึกลือค

สำหรับการประมวลผลหาค่าความลึกลือคของรอยเลื่อนสะกายนั้น จะเริ่มจากการนำค่าอัตราการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอสทั้ง 8 สถานี รอบรอยเลื่อน รวมกับแบบจำลองความคลาดเคลื่อนยืดหยุ่นอย่างง่าย ดังสมการที่ 3.1 (Bridget et al. 2011) ที่นิยมใช้กันทั่วไปในการอธิบายข้อมูลทาง Geodetic บริเวณตรงข้ามรอยเลื่อน (Vergne et al. 2001, Smith and Sandwell 2003, Wang et al. 2003) โดยการสร้างแบบจำลองนี้จะช่วยประมาณอัตราเร็วและความลึกลือคของรอยเลื่อน ที่มีผลต่อบริเวณรอยเลื่อนที่มีการสะสมความเครียด เรียกกันทั่วไปว่าเป็นความลึกลือคของรอยเลื่อน โดยใช้วิธีการ fit Arctangent Profile (Vigny et al. 2003, Bridget et al. 2011) ด้วยสคริป iat ที่เป็นสคริปบน Linux ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการพิคความเร็วเข้ากับความลึก

$$v(x) = V/\pi * \tan^{-1}(x/D) \quad (3.1)$$

เมื่อ

- V คือ Far-field velocity (มิลลิเมตรต่อปี)
- x คือ ระยะของสถานีถึงรอยเลื่อนในแนวนอนแนวตั้งฉากกับทิศเหนือ (กิโลเมตร)
- D คือ ความลึกลือคของรอยเลื่อนบริเวณที่มีการสะสมความเครียด (กิโลเมตร)
- $v(x)$ คือ อัตราการเคลื่อนตัว (มิลลิเมตรต่อปี)

การประมวลผลด้วยสคริป iat นั้นจำเป็นต้องเตรียมข้อมูลการเคลื่อนตัวและพารามิเตอร์ให้พร้อมก่อนการประมวลผล โดยรายละเอียดของข้อมูลการเคลื่อนตัวที่ต้องเตรียมได้แก่

- ค่าพิกัด Latitude และ Longitude (องศา)
- V_{east} และ V_{north} (มิลลิเมตรต่อปี)
- $sigV_e$ และ $sigV_n$ (มิลลิเมตรต่อปี)
- $correl.$
- Site - Name

โดยค่า Latitude และ Longitude คือ ค่าพิกัดทาง Geodetic ของแต่ละสถานีจีพีเอส ส่วนค่า V_{east} และ V_{north} นั้นได้มาจากอัตราการเคลื่อนตัวที่เคลื่อนที่ไปในทิศตะวันออกและทิศเหนือของแต่ละสถานีรอบรอยเลื่อน ส่วนค่า $sigV_e$ และ $sigV_n$ คือค่า Standard Error ของอัตราการเคลื่อนตัวที่เคลื่อนที่ไปในทิศตะวันออกและทิศเหนือแต่ละสถานี และค่า $correl.$ หรือ correlation คือค่าความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการเคลื่อนตัวของแต่ละสถานีที่สัมพันธ์กัน Site - Name คือ ชื่อของสถานีจีพีเอส

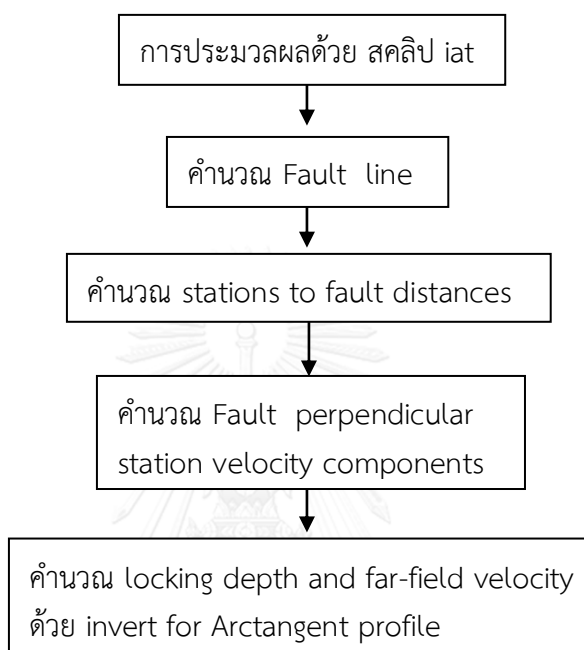
สำหรับรายละเอียดข้อมูลพารามิเตอร์ที่ต้องเตรียมได้แก่

- Longitude and Latitude of fault start point
- Length of fault (km.)
- Strike (in degrees from North)

โดยค่า Longitude and Latitude of fault start point คือ ค่าพิกัดจุดเริ่มต้นของรอยเลื่อนที่ต้องการหาค่าความลึกบริเวณนั้น ส่วนค่า Length of fault คือ ค่าความยาวของรอยเลื่อนโดยประมาณที่อยู่ในหน่วยกิโลเมตร และค่า Strike (in degrees from North) คือ ค่ามุมอาซิมุทของรอยเลื่อนที่ทำการศึกษา

ซึ่งการหาค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อนสะกายในงานวิจัยนี้ได้มีการแบ่งการหาค่าความลึกออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ การหาค่าความลึกทางตอนเหนือ และการหาค่าความลึกทางตอนใต้ เนื่องจากสถานีจีพีเอสทางตอนเหนืออยู่ห่างไกลจากสถานีจีพีเอสทางตอนใต้ ซึ่งเราไม่แน่ใจว่าการติดตั้งสถานีจีพีเอสทางตอนเหนือกับทางตอนใต้นั้นคล่อมอยู่ระหว่างรอยเลื่อนสะกายเส้นเดียวกันหรือเปล่า เพราะรอยเลื่อนสะกายนั้นเป็นไปได้ที่อาจมีการแตกแขนงของรอยเลื่อน

สำหรับการคำนวณหาค่าความลึกลื่นด้วยสคลิป iat นั้นจำเป็นต้องมีการป้อนข้อมูลของสถานีและข้อมูลพารามิเตอร์ของรอยเลื่อนดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งในสคลิป iat นั้นจะมีกระบวนการคำนวณหาความลึกและค่า Far-field velocity ของรอยเลื่อนที่เราศึกษาได้ดังแผนผังที่ 3.2



แผนผังที่ 3.2 ขั้นตอนการคำนวณของสคลิป iat

จากแผนผังที่ 3.2 เป็นแผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณของสคลิป iat เพื่อหาค่าความลึกลื่นของรอยเลื่อน ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

- การนำเข้าข้อมูลและพารามิเตอร์จำเป็นต้องให้ไฟล์ข้อมูลอยู่ในรูปแบบไฟล์ .dat และไฟล์พารามิเตอร์นั้นจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ .par จากนั้นทำการรันสคลิป iat ด้วยคำสั่ง Runstring : iat

<infile> <outfile> <parafile>

<infile>	คือ	ชื่อไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอส
<outfile>	คือ	ชื่อไฟล์ผลลัพธ์
<parafile>	คือ	ชื่อไฟล์พารามิเตอร์ที่อธิบายรอยเลื่อน

หลังจากที่ได้ทำการนำเข้าข้อมูลและพารามิเตอร์แล้ว สคริปต์ iat จะเริ่มทำการคำนวณหา fault line ก่อนอันดับแรก ซึ่งในขั้นตอนการคำนวณหา fault line นี้จะใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ความยาวของรอยเลื่อนมาทำการแบ่งเป็นช่วง แล้วทำการหาค่าพิกัตของแต่ละช่วง จากนั้นจึงทำการหาค่าพิกัตของรอยเลื่อนในแต่ละช่วงจากค่าพิกัตจุดเริ่มต้นของรอยเลื่อนบวกเพิ่มที่ละค่าพิกัตของแต่ละช่วงจนครบตามความยาวของรอยเลื่อน จากนั้นจึงคำนวณหาระยะของสถานีถึงรอยเลื่อนในแนวตั้งฉากกับทิศเหนือ (stations to fault distances) โดยใช้ค่าพิกัตของรอยเลื่อนในแต่ละช่วงกับค่าพิกัตของสถานีจีพีเอส ซึ่งจะทำการเลือกระยะที่สั้นที่สุดมาเป็นคำตอบ ขั้นตอนต่อไปเป็นการคำนวณหาส่วนประกอบของความเร็วสถานี ประกอบด้วย ความเร็วที่ของสถานีที่ขนานกับรอยเลื่อนและความเร็วของสถานีที่ตั้งฉากกับรอยเลื่อน (Fault // and fault perpendicular station velocity components) โดยใช้ข้อมูลค่าการเคลื่อนตัวไปทางทิศเหนือและทิศตะวันออกรวมถึงค่า Standard Error ของอัตราการเคลื่อนตัวที่เคลื่อนที่ไปในทิศตะวันออกและทิศเหนือของแต่ละสถานีมาคำนวณ ซึ่งขั้นตอนนี้ได้มีการคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนของความเร็วที่ขนานและความเร็วที่ตั้งฉากกับรอยเลื่อนแต่ละสถานีด้วย และขั้นตอนสุดท้ายคือ การคำนวณหาความลึกลึอกและค่า Far - field velocity ด้วย invert for Arctangent profile ซึ่งเริ่มจากการกำหนดช่วงของค่า Far - field velocity และค่าความลึกของรอยเลื่อน จากนั้นใช้สมการแบบจำลองความคลาดเคลื่อนยืดหยุ่นอย่างง่ายโดยการวนลูปให้ครบตามที่ได้กำหนด หลังจากคำนวณครบตามที่ได้กำหนดช่วงไว้แล้ว จากนั้นก็ทำการเลือกค่า Far-field velocity และค่าความลึกลึอกที่ดีที่สุดที่พิตเข้ากับระยะทางและความเร็วของแต่ละสถานีได้พอดี เมื่อได้ดั่งนั้นสคริปต์ iat จะส่งผลของค่า Far - field velocity และค่าความลึกที่ดีที่สุด พร้อมค่า rms ของค่า Far - field velocity ให้อยู่ในรูปของไฟล์ผลลัพธ์ ซึ่งในไฟล์ผลลัพธ์ จะมีผลของทุกขั้นตอนรวมไว้ให้ในไฟล์เดียว ส่วนรายละเอียดสูตรการคำนวณนั้นสามารถศึกษาได้จาก exercise3 ของ Vigny, C.

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยการหาการเคลื่อนตัวและความลึกถือของรอยเลื่อนสะกายในพม่า โดยใช้ข้อมูลจีพีเอส ในปี 2011 - 2014 โดยมีขั้นตอนการดำเนินการจากการหาค่าพิกัดของสถานีจีพีเอสทั้ง 8 สถานี รอบรอยเลื่อนสะกาย ด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 ที่ใช้วิธีการประมวลผลแบบ BPE เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงของแต่ละสถานี จากนั้นทำการหาค่าการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอสทั้ง 8 สถานี ที่ได้จากการนำค่าพิกัดของแต่ละสถานีที่เป็นผลของการประมวลผลด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 มาพล็อตกราฟอนุกรมเวลาและใช้วิธีสมการวิเคราะห์เชิงถดถอยในการหาค่าการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอส เพื่อให้เห็นถึงการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายในปี 2011 - 2014 และทำการหาค่าความลึกถือด้วย สคลิป iat ซึ่งผลการศึกษามีดังนี้

4.1 ผลการประมวลผลค่าพิกัดของสถานีจีพีเอส

จากการประมวลผลค่าพิกัดของสถานีจีพีเอส ด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 ที่ใช้วิธีการประมวลผลแบบ BPE ซึ่งได้มีการแบ่งการคำนวณหาค่าพิกัดของสถานีจีพีเอสบริเวณรอยเลื่อนสะกายออกเป็น 2 ช่วงดังนี้ สถานีจีพีเอสที่ติดตั้งไว้ทางตอนเหนือของรอยเลื่อน 4 สถานี ได้แก่ สถานี HAKA สถานี KANI สถานี SWBO และ สถานี SDWN และสถานีจีพีเอสที่ติดตั้งไว้ทางตอนใต้ของรอยเลื่อน 4 สถานี ได้แก่ สถานี GYBU สถานี IGLE สถานี WAAW และ สถานี SATG โดยการประมวลผลนี้ได้มีการกำหนดประเภทของการสร้างเส้นฐานเป็นแบบ STAR ที่เป็นการสร้างเส้นฐานตามแนวรัศมี โดยต้องทำการเลือกสถานีฐาน 1 สถานี และโปรแกรมจะทำการสร้างเส้นฐานจากสถานีดังกล่าวไปยังทุกสถานีใน Session โดยสถานีทางตอนเหนือได้เลือกให้สถานี HAKA เป็นสถานีฐาน และสถานีทางตอนใต้เลือกให้สถานี GYBU เป็นสถานีฐาน แล้วเมื่อประมวลผลตาม Module ที่ได้ตั้งค่าดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 นั้นผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.1 ซึ่งเป็นตัวอย่างไฟล์ผลลัพธ์ของค่าพิกัดสถานีจีพีเอส SATG ที่ได้จากโปรแกรม Bernese 5.0 และผลของค่าคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดทาง X, Y, Z ของแต่ละสถานีที่ได้นั้นมีค่าไม่เกินมิลลิเมตร

```

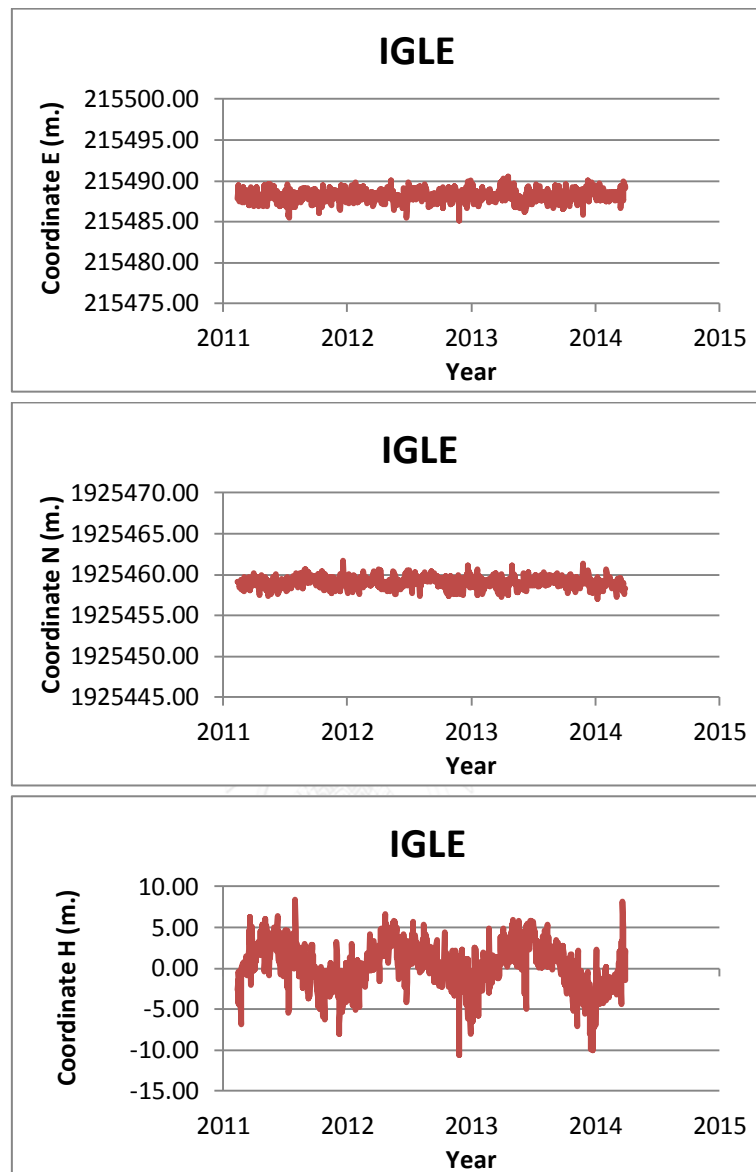
1317
1318 STATION COORDINATES: (NOT SAVED)
1319 -----
1320 NUM STATION NAME PARAMETER A PRIORI VALUE NEW VALUE NEW- A PRIORI RMS ERROR 3-D ELLIPSOID 2-D ELLIPSE
1321 -----
1322
1323
1324 2 SATG SATG X -752013.7116 -752013.7163 -0.0047 0.0003
1325 Y 6040154.1330 6040154.1363 0.0033 0.0006
1326 Z 1901950.9588 1901950.9596 0.0008 0.0003
1327
1328 HEIGHT 795.5545 795.5585 0.0039 0.0007 0.0007 3.5
1329 LATITUDE 17 27 44.680269 17 27 44.680256 -0.0004 0.0002 0.0002 2.5 0.0002 1.1
1330 LONGITUDE 97 5 48.995207 97 5 48.995352 0.0043 0.0003 0.0003 -1.3 0.0003
1331
1332
1333 1*(P)/SAGANG PROGRAM GPSEST 25-SEP-15 17:19
1334 RNX2SNX_110600_IGSA: QIF ambiguity resolution BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 5.0
1335 -----
1336

```

ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างไฟล์ผลลัพธ์ของค่าพิกัดสถานีจีพีเอส SATG ที่ได้จากโปรแกรม Bernese 5.0

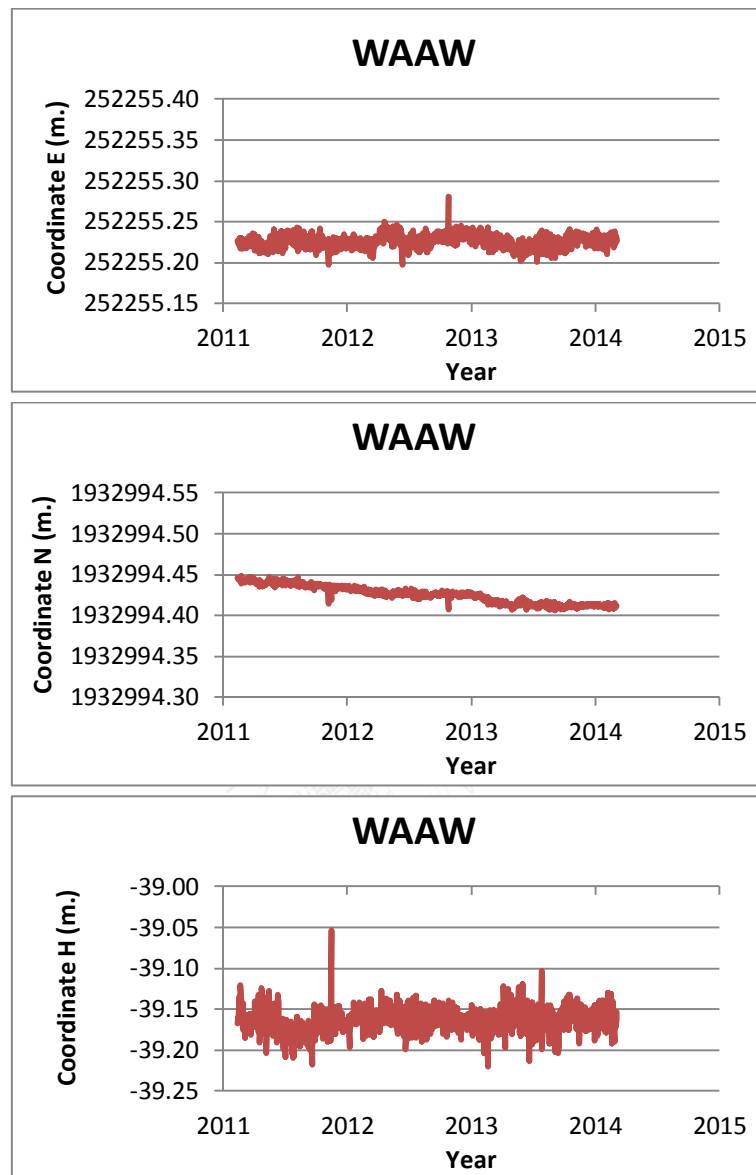
4.2 ผลการหาค่าการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอส

จากการประมวลผลค่าพิกัดสถานี cGPS ด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 ของพม่าทั้ง 8 สถานี แสดงผลได้ ด้วยกราฟระหว่างค่าพิกัด E, N, H (เมตร) กับระยะเวลา (วัน) ซึ่งผลของอัตราการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอสทั้ง 6 สถานีสามารถบอกได้ถึงถึงการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายที่มีการเคลื่อนตัวในแนวราบแบบเหลี่ยมขวาตามที่ได้สรุปไว้ โดยสถานีที่ติดตั้งอยู่ทางตอนใต้ของรอยเลื่อนมีค่าอัตราการเคลื่อนตัวที่สัมพันธ์ไปทางทิศตะวันออกและทิศเหนือตามลำดับ ดังนี้ สถานี IGLE 2.4 ± 0.7 มิลลิเมตรต่อปี , 8.2 ± 0.3 มิลลิเมตรต่อปี ดังภาพที่ 4.2 สถานี WAAW 2.7 ± 0.3 มิลลิเมตรต่อปี , -19.2 ± 0.1 มิลลิเมตรต่อปี ดังภาพที่ 4.3 และสถานี SATG 6.2 ± 0.001 มิลลิเมตรต่อปี , -23.9 ± 0.3 มิลลิเมตรต่อปี ดังภาพที่ 4.4 จากค่าอัตราการเคลื่อนตัวของแต่ละสถานีทางตอนใต้ของรอยเลื่อนสะกายจะเห็นว่าสถานี WAAW กับ สถานี SATG มีการเคลื่อนตัวลงได้มากกว่าสถานีที่เหลือ โดยสถานีทางตอนใต้มีการเคลื่อนตัวสูงสุดอยู่ที่ 2 เซนติเมตร



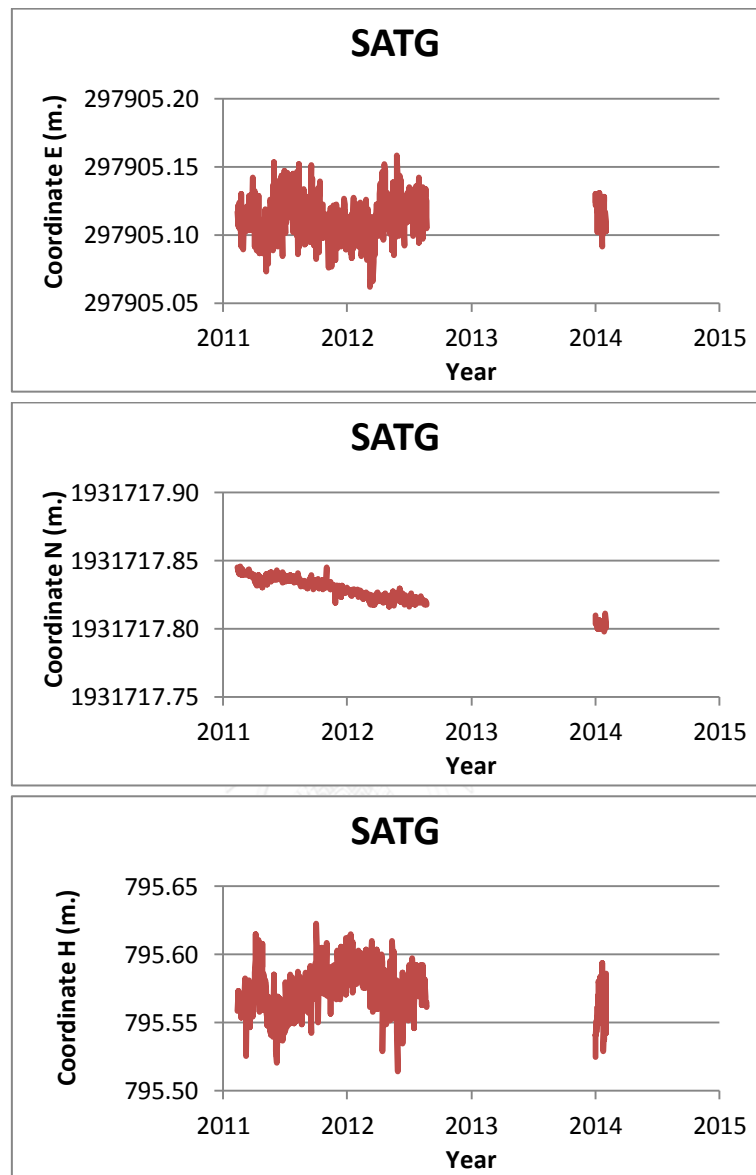
ภาพที่ 4.2 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี IGLE

จากภาพที่ 4.2 เป็นการพล็อตกราฟระหว่างค่าพิกัดทางตะวันออก ค่าพิกัดทางเหนือ และค่าพิกัดทางตั้ง กับ เวลา ที่มีข้อมูลทั้งหมด 1128 วัน ซึ่งชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี IGLE แสดงให้เห็นว่า สถานี IGLE นั้นมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.3 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี WAAW

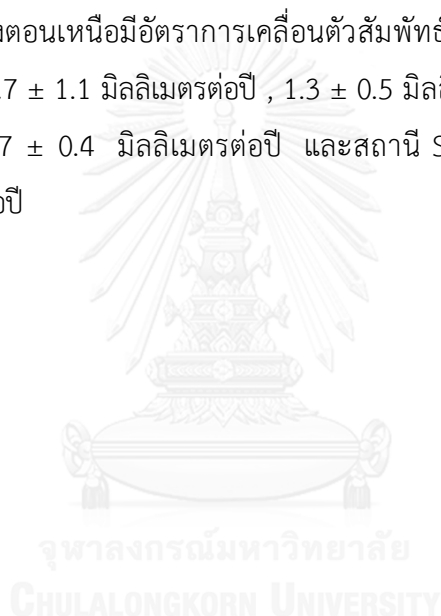
จากภาพที่ 4.3 เป็นการพล็อตกราฟระหว่างค่าพิกัดทางตะวันออก ค่าพิกัดทางเหนือ และค่าพิกัดทางตั้ง กับ เวลา ที่มีข้อมูลทั้งหมด 1110 วัน ซึ่งชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี WAAW แสดงให้เห็นว่าสถานี WAAW นั้นมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

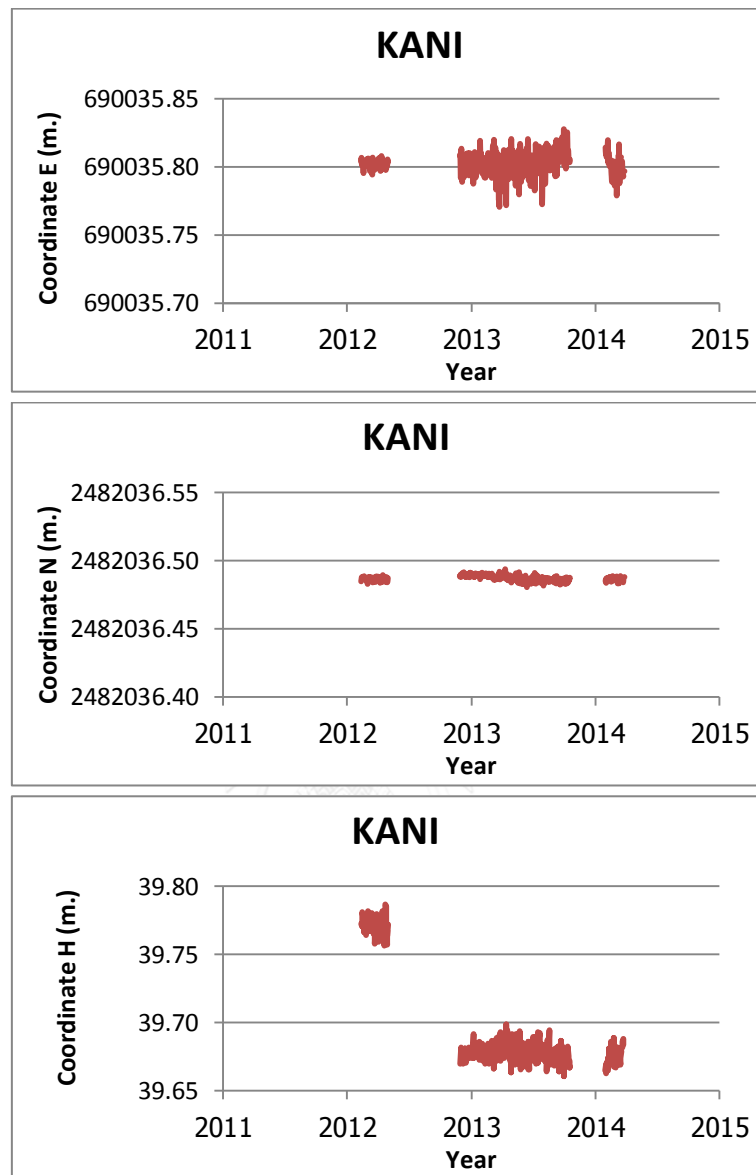


ภาพที่ 4.4 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี SATG

จากภาพที่ 4.4 เป็นการพล็อตกราฟระหว่างค่าพิกัดทางตะวันออก ค่าพิกัดทางเหนือ และค่าพิกัดทางตั้ง กับ เวลา ที่มีข้อมูลทั้งหมด 587 วัน ซึ่งชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี SATG แสดงให้เห็นว่าสถานี SATG นั้นมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

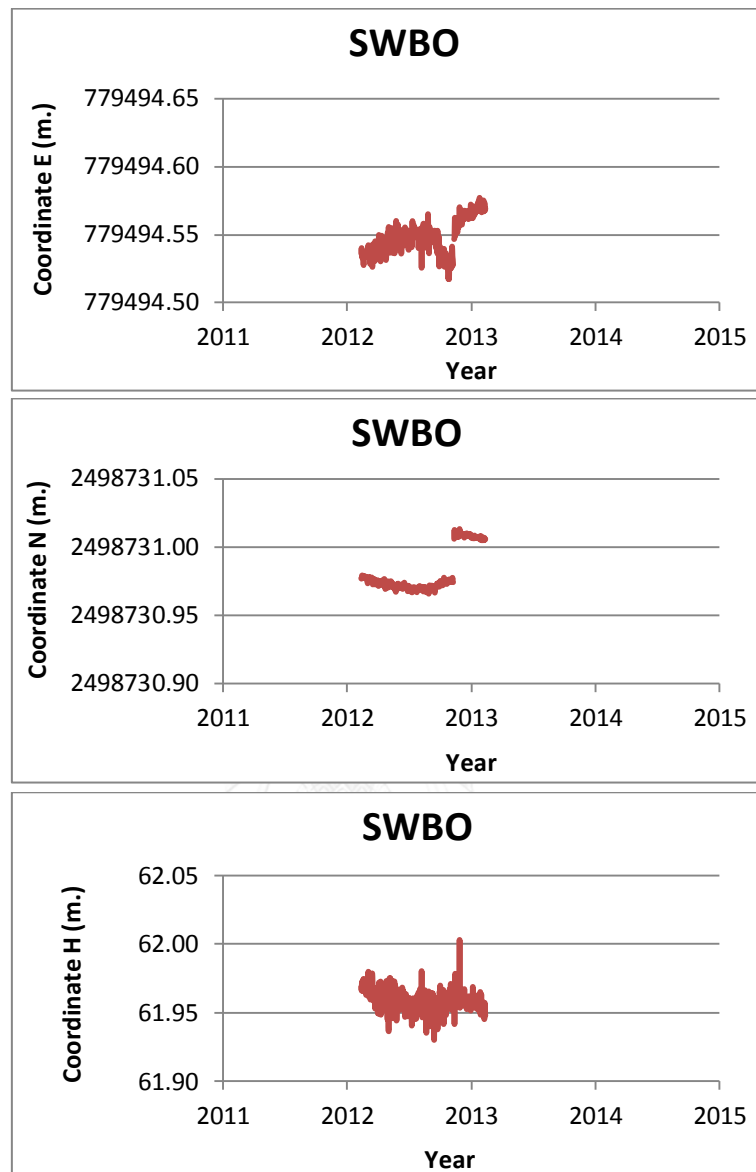
สำหรับสถานีที่ติดตั้งทางตอนเหนือของรอยเลื่อนมี้อตราการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ไปทางทิศ ตะวันออกและทิศเหนือ ตามลำดับ ดังนี้ สถานี KANI 1.5 ± 0.4 มิลลิเมตรต่อปี , 3.8 ± 0.2 มิลลิเมตรต่อปี ดังภาพที่ 4.5 สถานี SWBO 28.8 ± 1.8 มิลลิเมตรต่อปี , 37.3 ± 2.0 มิลลิเมตร ต่อปี ดังภาพที่ 4.6 และสถานี SDWN 55.8 ± 1.3 มิลลิเมตรต่อปี , -156.9 ± 2.8 มิลลิเมตรต่อปี ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งสถานีที่มีการเคลื่อนตัวลงได้มากที่สุดคือ สถานี SDWN และสถานีที่ที่มีการเคลื่อนตัว ไปทางทิศเหนือมากที่สุดคือ สถานี SWBO โดยสถานีทางตอนเหนือของรอยเลื่อนสะกายนั้นมี้อตรา การเคลื่อนตัวสูงสุดอยู่ที่ 17 เซนติเมตร เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดแผ่นดินไหวในเดือนพฤศจิกายน 2012 ที่เกิดขึ้นใกล้บริเวณทางตอนเหนือของรอยเลื่อนสะกาย มีขนาด 6.6 Mw (ปิย โสนอ่อง พ.ศ. 2557) ซึ่งเมื่อทำการตัดข้อมูลหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวในช่วงเดือนพฤศจิกายนในปี 2012 เป็นต้นไป ทำให้สถานีทางตอนเหนือมี้อตราการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ไปทางทิศตะวันออกและทิศเหนือ ตามลำดับ ดังนี้ KANI 0.7 ± 1.1 มิลลิเมตรต่อปี , 1.3 ± 0.5 มิลลิเมตรต่อปี สถานี SWBO 1.1 ± 2.4 มิลลิเมตรต่อปี , 2.7 ± 0.4 มิลลิเมตรต่อปี และสถานี SDWN 1.6 ± 1 มิลลิเมตรต่อปี , -8.6 ± 0.3 มิลลิเมตรต่อปี





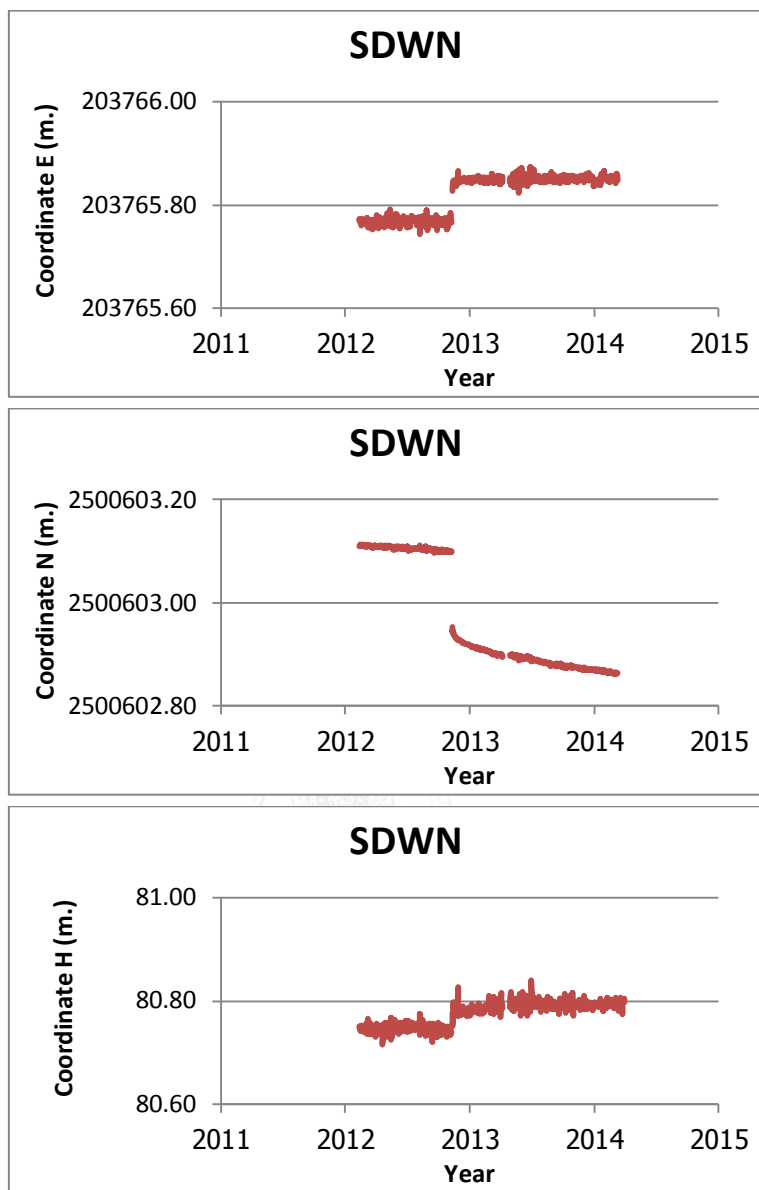
ภาพที่ 4.5 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี KANI

จากภาพที่ 4.5 เป็นการพล็อตกราฟระหว่างค่าพิกัดทางตะวันออก ค่าพิกัดทางเหนือ และค่าพิกัดทางตั้ง กับ เวลา ที่มีข้อมูลทั้งหมด 490 วัน ซึ่งชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี KANI แสดงให้เห็นว่า สถานี KANI นั้นมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.6 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี SWBO

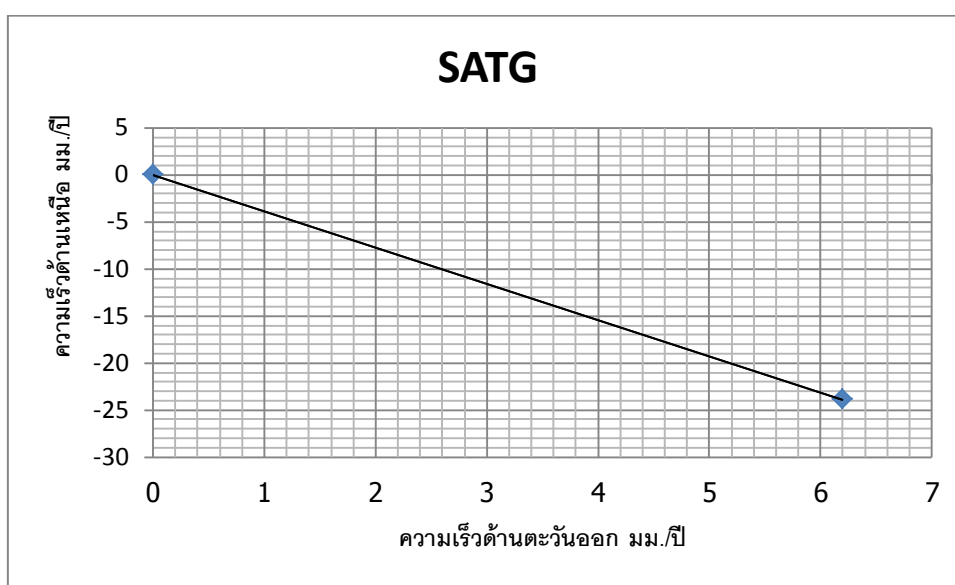
จากภาพที่ 4.6 เป็นการพล็อตกราฟระหว่างค่าพิกัดทางตะวันออก ค่าพิกัดทางเหนือ และค่าพิกัดทางตั้ง กับ เวลา ที่มีข้อมูลทั้งหมด 364 วัน ซึ่งชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี SWBO แสดงให้เห็นว่าสถานี SWBO นั้นมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4.7 ชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี SDWN

จากภาพที่ 4.7 เป็นการพล็อตกราฟระหว่างค่าพิกัดทางตะวันออก ค่าพิกัดทางเหนือ และค่าพิกัดทางตั้ง กับ เวลา ที่มีข้อมูลทั้งหมด 758 วัน ซึ่งชุดกราฟอนุกรมเวลาของสถานี SDWN แสดงให้เห็นว่าสถานี SDWN นั้นมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

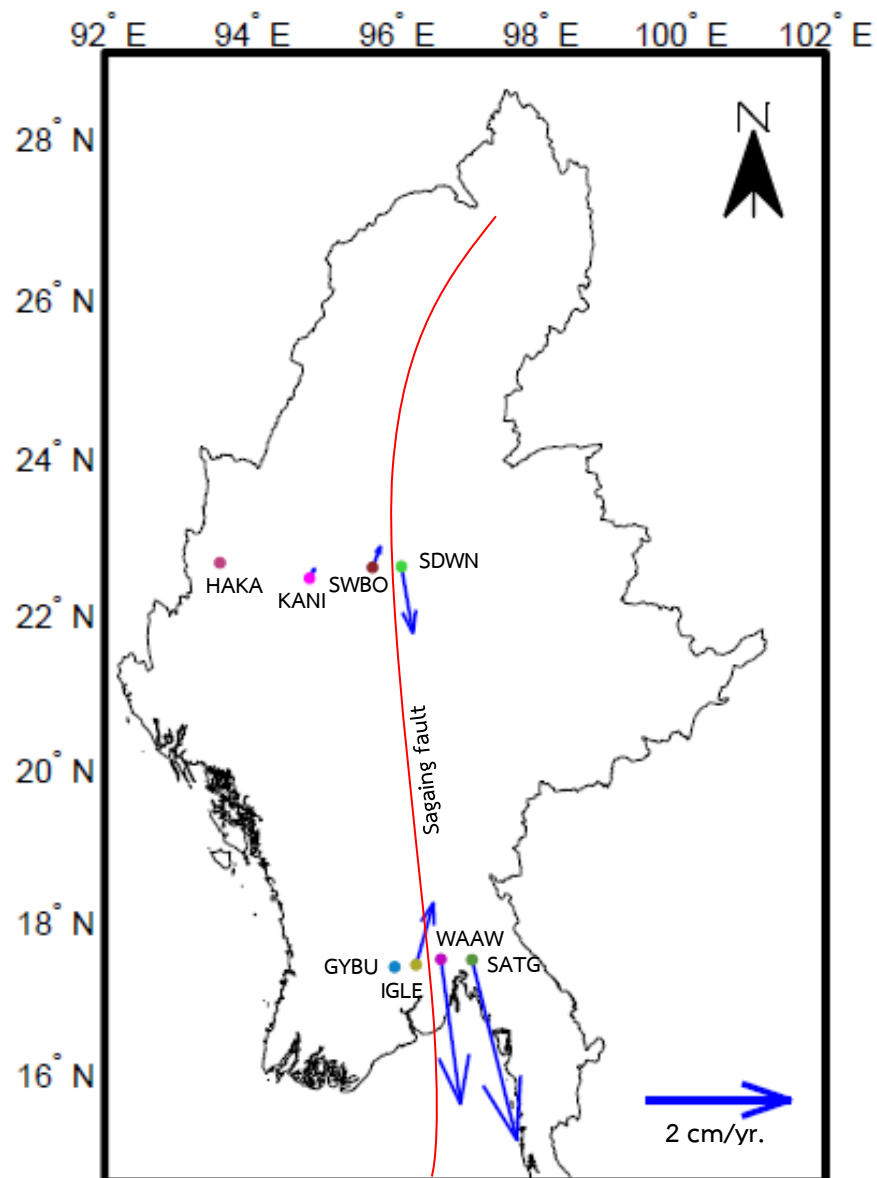
สำหรับทิศทางการเคลื่อนที่ของสถานีจีพีเอสทั้ง 8 สถานี สามารถแสดงด้วยลูกศรดังภาพที่ 4.9 และการคำนวณค่าความเร็วของสถานีทั้ง 8 ได้ยกตัวอย่างของสถานี SATG ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณได้ความเร็วเท่ากับ 24.7 มิลลิเมตรต่อปี ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ โดยการใช้ข้อมูลอัตราการเคลื่อนที่ทางตอนเหนือและทางด้านตะวันออกเฉียง (N, E) ของสถานี SATG มาพล็อตเวกเตอร์ ดังภาพที่ 4.8 ซึ่งผลลัพธ์ทั้งหมดแสดงไว้ดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างการพล็อตเวกเตอร์ความเร็วของสถานี SATG

ตารางที่ 4.1 ค่าความเร็วของทั้ง 6 สถานีจากอัตราการเคลื่อนที่

สถานี	ความเร็ว (มิลลิเมตรต่อปี)	มุมอาซิมุท (องศา)
IGLE	8.5	16° 18' 49.87''
WAAW	19.4	171° 59' 42.9''
SATG	24.7	165° 27' 26.0''
KANI	1.4	28° 18' 2.71''
SWBO	2.9	22° 9' 58.84''
SDWN	8.7	169° 27' 38.9''

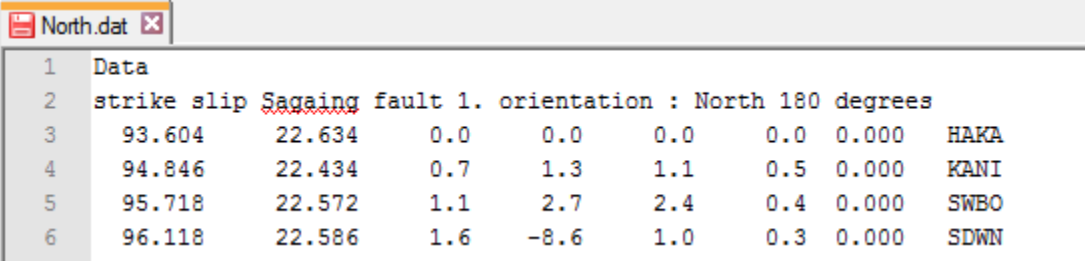


ภาพที่ 4.9 แผนที่แสดงอัตราเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของทั้ง 8 สถานีบริเวณรอยเลื่อนสะกาย

จากภาพที่ 4.9 จะเห็นว่าการเคลื่อนตัวของสถานีด้านทิศตะวันตกของรอยเลื่อนกำลังย้ายไปทางทิศใต้และสถานีด้านทิศตะวันออกของรอยเลื่อนกำลังย้ายไปทางทิศเหนือ ซึ่งสอดคล้องกับการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายที่มีการเคลื่อนตัวแนวราบแบบเหลื่อมขวา และผลค่าความเร็วจากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าสถานีทางตอนเหนือมีความเร็วของการเคลื่อนตัวสูงสุดอยู่ที่ 1 เซนติเมตรต่อปี และสถานีทางตอนใต้มีความเร็วในการเคลื่อนตัวสูงสุดอยู่ที่ 2 เซนติเมตรต่อปี

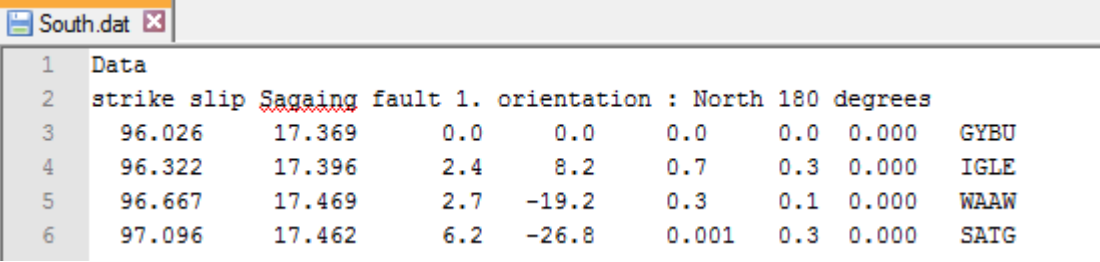
4.3 ผลการหาค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อน

จากการประมวลผลหาค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อนสะกายด้วยสคลิป iat ที่ได้มีการแบ่งการคำนวณความลึกลึกลับออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ การหาค่าความลึกลึกลับทางตอนเหนือของรอยเลื่อน และการหาค่าความลึกลึกลับทางตอนใต้ของรอยเลื่อน โดยการเตรียมข้อมูลของสถานีจีพีเอสทั้ง 8 สถานี และการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณของรอยเลื่อนสะกายไว้ดังภาพที่ 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ตามลำดับ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ความยาวของรอยเลื่อนสะกายนั้นอยู่ที่ประมาณ 1200 กิโลเมตร และรอยเลื่อนสะกายมีมุมอาซิมุท อยู่ที่ 0 องศา เนื่องจากรอยเลื่อนสะกายเป็นรอยเลื่อนในแนวเหนือ-ใต้ อย่างที่เคยกล่าวไว้ตั้งแต่ต้น



Station	X (km)	Y (km)	U (mm)	V (mm)	W (mm)	EW (mm)	NS (mm)	Station Name
1	93.604	22.634	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	HAKA
2	94.846	22.434	0.7	1.3	1.1	0.5	0.000	KANI
3	95.718	22.572	1.1	2.7	2.4	0.4	0.000	SWBO
4	96.118	22.586	1.6	-8.6	1.0	0.3	0.000	SDWN

ภาพที่ 4.10 ข้อมูลของสถานีที่ตั้งอยู่ทางตอนเหนือของรอยเลื่อน



Station	X (km)	Y (km)	U (mm)	V (mm)	W (mm)	EW (mm)	NS (mm)	Station Name
1	96.026	17.369	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	GYBU
2	96.322	17.396	2.4	8.2	0.7	0.3	0.000	IGLE
3	96.667	17.469	2.7	-19.2	0.3	0.1	0.000	WAAW
4	97.096	17.462	6.2	-26.8	0.001	0.3	0.000	SATG

ภาพที่ 4.11 ข้อมูลของสถานีที่ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของรอยเลื่อน


```

North.par x
1 Sagaing fault1 iat input parameter file (3 header lines)
2 parameters * comment
3 -----
4 96.120 * longitude of fault start point
5 21.322 * latitude of fault start point
6 1200 * length of fault
7 0 * strike (in degrees from North)

```

ภาพที่ 4.12 พารามิเตอร์ของสถานีที่ตั้งอยู่ทางตอนเหนือของรอยเลื่อน

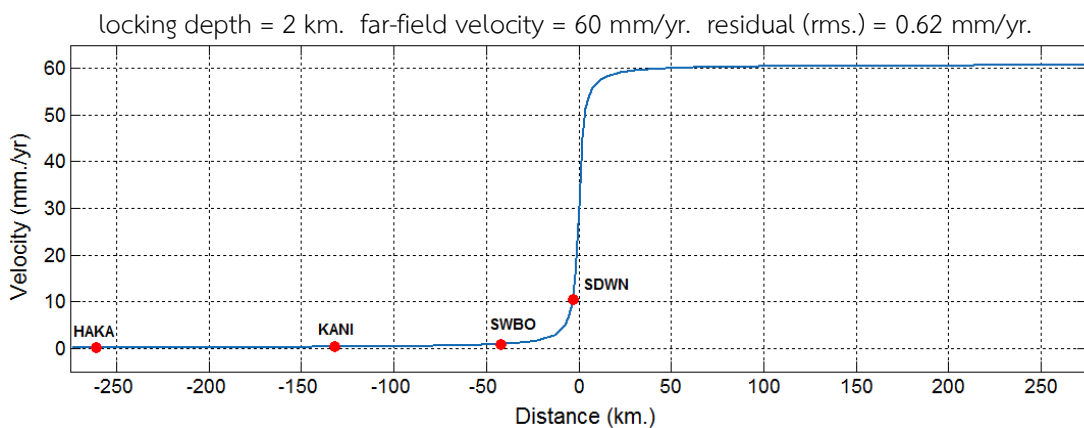
```

South.par x
1 Sagaing fault iat input parameter file (3 header lines)
2 parameters * comment
3 -----
4 96.58 * longitude of fault start point
5 16.809 * latitude of fault start point
6 1200 * length of fault
7 0 * strike (in degrees from North)

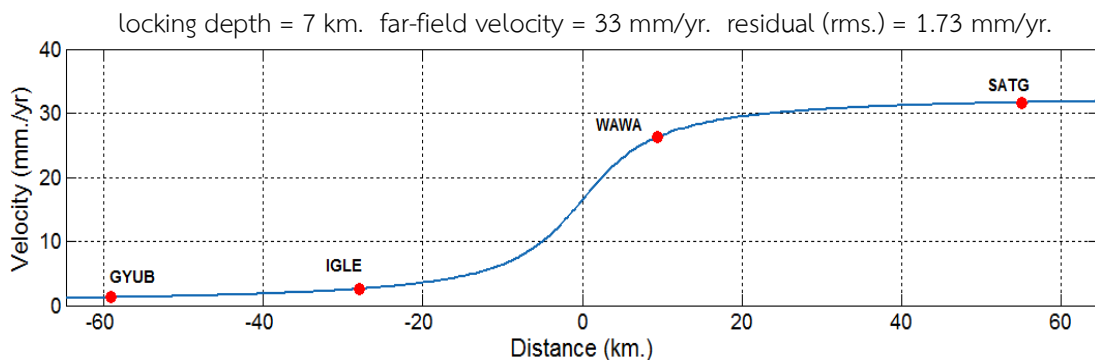
```

ภาพที่ 4.13 พารามิเตอร์ของสถานีที่ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของรอยเลื่อน

ผลของค่าความลึกที่ได้จากการเตรียมข้อมูลตั้งรายละเอียดข้างต้น และประมวลผลด้วยสคริป iat ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.14 และ 4.15 สำหรับค่าความลึกลึกลับทางตอนเหนือและค่าความลึกลึกลับทางตอนใต้ของรอยเลื่อนสะกาย ตามลำดับ



ภาพที่ 4.14 การพล็อตความเร็วกับระยะทางโดยการพิทเข้ากับ Arctangent ของสถานีทางตอนเหนือที่พิทเข้าได้ดีกับที่ระดับความลึก 2 กิโลเมตรและค่า Far-field velocity ที่ 60 มิลลิเมตรต่อปี



ภาพที่ 4.15 การพล็อตความเร็วกับระยะทางโดยการพิตเข้ากับ Arctangent ของสถานีทางตอนใต้ที่พิตเข้าได้พอดีกับที่ระดับความลึก 7 กิโลเมตรและค่า Far-field velocity ที่ 33 มิลลิเมตรต่อปี

สำหรับผลค่าความลึกที่ได้จากทั้งทางตอนเหนือและทางตอนใต้ จะเห็นว่า ทางตอนใต้ของรอยเลื่อนนั้นมีค่าความลึกมากกว่าทางตอนเหนือ โดยทางตอนเหนือมีค่าความลึกอยู่ที่ 2 กิโลเมตร และมีค่า Far-field velocity เท่ากับ 60 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งความลึกลึกลับของสถานีที่อยู่ทางตอนใต้มีค่าเท่ากับ 7 กิโลเมตร และมีความเร็วไกลเท่ากับ 33 มิลลิเมตรต่อปี

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานการหาการเคลื่อนตัวและความลึกลึกลับของรอยเลื่อนสะกายในพม่า โดยใช้ข้อมูลจีพีเอส ซึ่งมีจุดประสงค์หลักคือ การประมวลผลหาการเคลื่อนตัวและค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อนสะกาย โดยใช้ข้อมูลจีพีเอสตั้งแต่ปี 2011 – 2014 ที่มีการประมวลผลหาตำแหน่ง cGPS ของพม่าทั้ง 8 สถานีที่มีความถูกต้องสูง ด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 ด้วยวิธีการประมวลผลแบบ BPE จากนั้นนำค่าพิกัดที่ได้ของแต่ละสถานีมาคำนวณหาอัตราการเคลื่อนตัวด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงถดถอย เพื่อศึกษาดูการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนสะกายในปี 2011 - 2014 จากนั้นหาค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อน โดยอาศัยข้อมูลอัตราการเคลื่อนตัว ค่าพิกัด Geodesy ของสถานีจีพีเอสทั้ง 8 สถานี รวมถึงอาศัยพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับรอยเลื่อนสะกาย ในการคำนวณด้วยสคริป iat ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Vigny, C. เพื่อหาค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อนสะกายที่สามารถนำมาวิเคราะห์และสันนิษฐานถึงแรงสั่นสะเทือนที่อาจจะเกิดขึ้นของรอยเลื่อนสะกายต่อไปได้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การประมวลผลหาการเคลื่อนตัวและความลึกลึกลับของรอยเลื่อนสะกาย ที่ใช้ข้อมูลจีพีเอส โดยใช้โปรแกรม Bernese 5.0 ในการประมวลผลหาค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงของสถานีจีพีเอส และใช้สคริป iat ในการคำนวณหาค่าความลึกลึกลับของรอยเลื่อน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากการหาค่าการเคลื่อนตัวของสถานีจีพีเอสทั้ง 8 สถานีบริเวณรอยเลื่อน ที่ใช้ผลค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Bernese 5.0 โดยใช้วิธีการประมวลผลแบบ BPE มาพล็อตกราฟอนุกรมเวลา ผลที่ได้จะเห็นว่าทางตอนใต้ของรอยเลื่อนนั้นมีอัตราการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ 2 เซนติเมตร ไปทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทางตอนเหนือของรอยเลื่อนมีอัตราการเคลื่อนตัวสูงสุดอยู่ที่ 17 เซนติเมตร ไปทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้เช่นกัน ซึ่งจากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าทางตอนเหนือมีการเคลื่อนตัวมากกว่าทางตอนใต้เป็นผลมาจากทางตอนเหนือได้รับอิทธิพลแรงสั่นสะเทือนจากการเกิดแผ่นดินไหวในปี 2012 ที่มีจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหวอยู่ทางตอนเหนือของรอยเลื่อน ซึ่งมีขนาดแรงสั่นสะเทือนอยู่ที่ 6.6 Mw และเมื่อคิดอัตราการเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหวของสถานีทางตอนเหนือจะมีค่าอัตราการเคลื่อนตัวสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1 เซนติเมตร

จากการหาค่าความลึกลึอกด้วยสคริป iat โดยการใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนยืดหยุ่นที่ใช้วิธี fit arctangent profile ซึ่งขั้นตอนนี้ได้มีการแบ่งการหาค่าความลึกลึอกของรอยเลื่อนสะกายออกเป็น 2 ช่วง คือ การหาค่าความลึกลึอกทางตอนเหนือ และการหาค่าความลึกลึอกทางตอนใต้ โดยมีการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับรอยเลื่อนสะกายดังนี้ พารามิเตอร์ความยาวของรอยเลื่อนใช้ประมาณ 1200 กิโลเมตร พารามิเตอร์มุมอาซิมุทประมาณ 0 องศา เนื่องจากรอยเลื่อนสะกายเป็นรอยเลื่อนที่มีการวางตัวในแนวเหนือ - ใต้ ส่วนพารามิเตอร์ค่าพิกัดจุดเริ่มต้นของรอยเลื่อนนั้นกำหนดตามบริเวณที่อาจเกิดความเสียหายมากถ้าเกิดแผ่นดินไหว เช่น แฉกหมูบ้าน โบราณสถานที่สำคัญ เป็นต้น และจากการเตรียมข้อมูลอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละสถานี ผลที่ได้จะเห็นว่าความลึกลึอกของรอยเลื่อนบริเวณทางตอนใต้นั้นมีค่ามากกว่าบริเวณทางตอนเหนือ ซึ่งทางตอนใต้นั้นมีค่าความลึกลึอกอยู่ที่ประมาณ 7 กิโลเมตรและมีค่า Far-field velocity ประมาณ 3 เซนติเมตรต่อปี ส่วนทางตอนเหนือมีค่าความลึกลึอกอยู่ที่ประมาณ 2 กิโลเมตรและมีค่า Far-field velocity ประมาณ 6 เซนติเมตรต่อปี (สำหรับค่าความลึกทางตอนเหนือที่ได้นั้นอาจจะไม่มีความน่าเชื่อถือเท่าที่ควรเนื่องจากเครื่องรับจีพีเอสที่ติดตั้งอยู่ทางตอนเหนือของรอยเลื่อนนั้นไม่ได้คล่อมอยู่ระหว่างบริเวณที่หาค่าความลึกของรอยเลื่อน) สำหรับการเกิดแผ่นดินไหวที่พมานั้นส่วนใหญ่เกิดจากรอยเลื่อนสะกายและรอยเลื่อนนี้มีการสะสมพลังในการเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละครั้ง ซึ่งถ้าเราทราบอัตราการเคลื่อนที่ความลึกลึอก เวลาของเหตุการณ์ล่าสุดที่เกิดแผ่นดินไหว เราก็สามารถนำไปประเมินหาความเค้นความเครียดที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปร่างของเปลือกโลกได้พร้อมกับสามารถประเมินแรงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งนี้ ได้เสนอแนะเกี่ยวกับการหาอัตราการสลิปตามรอยเลื่อนสะกายและการประเมินแรงสั่นสะเทือนที่อาจเกิดขึ้นของรอยเลื่อนสะกาย โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ในกรณีการตรวจสอบรอยเลื่อนสะกายโดยใช้เครือข่ายท้องถิ่น cGPS ของพมานั้นไม่สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการสลิปตามรอยเลื่อนได้ เนื่องจากรอยเลื่อนมีความยาวที่ไกลมากและมีสถานีจีพีเอสที่ไม่เพียงพอ ซึ่งการที่จะคำนวณหาอัตราการสลิปของรอยเลื่อนจำเป็นต้องมีการอาศัยข้อมูลที่มีจำนวนมากเพื่อให้ได้ผลการคำนวณที่มีความแม่นยำมากขึ้นเช่นกัน

- สำหรับการประเมินหรือสันนิษฐานแรงสั่นสะเทือนของรอยเลื่อนนั้นมีพารามิเตอร์อยู่ 3 ตัวด้วยกัน ได้แก่ ความลึกลึอก อัตราการเคลื่อนที่ และเวลาล่าสุดที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ซึ่งค่าความลึกลึอกและอัตราการเคลื่อนที่ที่ได้จากผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปศึกษาหาความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นของรอยเลื่อนสะกายต่อไปได้ เนื่องจากความเค้นเกิดจากแรงกดหรือดึงขึ้น

บริเวณพื้นผิวใดๆ ส่วนความเครียดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของรอยเลื่อน จึงสามารถบอกถึงความรุนแรงของรอยเลื่อนที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้



รายการอ้างอิง

Altamimi, Z., P. Sillard and C. Boucher. (2002). "ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications." Journal of Geophysical Research 107: 22-14.

Bird, P. (2003). "An updated digital model of plate boundaries." Geochemistry Geophysics Geosystems 4(3): 1027.

Bridget, R., T. Sandwell and P. Shearer (2011). "Locking depths estimated from geodesy and seismology along the San Andreas Fault System: Implications for seismic moment release." Journal of Geophysical Research 116: 12.

Chhibber, H. L. (1934). The Geology of Burma. McMillan and Co. Ltd, London.

Curray, J. R. (2005). "Tectonics and history of the Andaman Sea region." Journal of Asian Earth Sciences 25(1): 187-232.

Dain, Y., P. Tapponnier and P. Molnar (1984). "Active faulting and tectonics of Burma and surrounding regions." Journal of Geophysical Research 89: 453-472.

Georgiadou, Y. and A. Kleusberg (1998). "On carrier signal multipath effects in relative GPS positioning." Manuscripta Geodaetica 14: 143-148.

Gutenberg, B. and C. F. Richter (1994). "Frequency of earthquakes in California." Bulletin of the Seismological Society of America 34: 185-188.

Herring, T. A. (1991). Documentation for the GLOBK software version 5.01. Mass. Inst. of Technol., Cambridge.

Hetland, E. A. and B. H. Hager (2006). "Interseismic strain accumulation: Spin-up cycle invariance and irregular rupture sequences." Geochem. Geophys. Geosyst 7: doi:10.1029/2005GC001087.

Htwe zaw, S. (2006). "Hazard assessment in Multi-hazard Design." In Symposium Tectonics, Seismotectonics, and Earthquake Hazard Mitigation and Management of Myanmar, Yangon (Abstract).

Jolivet, R., N. R. Cattin, Chamot-Rooke, C. Lasserre and G. Peltzer (2008). "Thin-plate modeling of interseismic deformation and asymmetry across the Altyn Tagh fault zone." Geophys. Res. Lett. 35: doi:10.1029/2007GL031511.

King, R. W. a. Y. B. (1999). Documentation for the GAMIT GPS software analysis version 9.9. Mass. Inst. of Technol., Cambridge.

Kundu, B. and V. K. Gahalaut (2012). "Earthquake occurrence processes in the Indo-Burmese wedge and Sagaing fault region." Tectonophysics 524–525: 135-146.

Lachapelle, G. (1990). "GPS observables and error sources for kinematic positioning." International Symposium 17: 17-26.

Lisowski, M., J. C. Savage and W. H. Prescott (1991). "The velocity field along the San Andreas Fault in Central and Southern California." Journal of Geophysical Research 96: 8369–8389.

Maryline, L., K. Yann, A. Abdel, A. Amotz, D. Louis, B. Gidon, R. Jean, C. Olivier and M. Omar (2008). "Slip rate and locking depth from GPS profiles across the southern Dead Sea Transform." Journal of Geophysical Research 13: B11403, doi:11410.11029/12007JB005280.

Milne, J. (1991). A Catalogue of Destructive Earthquakes A. D. 7 to A. D. 1899. BAAS., London.

Nielsen, C., N. Chamot-Rooke, C. Rangin and t. A. C. Team (2004). "From partial to full strain partitioning along the Indo-Burmese hyper-oblique subduction." Marine Geology 209: 303–327.

Pailoplee, S. (2012). "Relationship between Modified Mercalli Intensity and peak ground acceleration in Myanmar." Natural Science 4: 624-630.

Paul J., R. Bürgmann, V. K. Gaur, Roger Bilham, Kristine Larson and M. B. Ananda (2001). "The motion and active deformation of India." Geophys. Res. Lett 28: 647–650.

Rizos, C. (1997). Principles and Practice of GPS Surveying. Monograph 17, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, 555pp.

Savage, J. C. and R. O. Burford (1973). "Geodetic determination of relative plate motion in central California." Journal of Geophysical Research 78: 832–845.

Scott, T. M., L. M. Cooke. and S. E. Owen. (2009). "Interseismic deformation associated with three-dimensional faults in the greater Los Angeles region, California." Journal of Geophysical Research 114: B12403, doi:12410.11029/ 12009JB006439.

Shachak, P., W. Shimon, S. Alon and B. Noa (2002). "Current plate motion across the Dead Sea Fault from three years of continuous GPS monitoring." Geophysical Research Letters 29(14): 1697, 1610.1029/2001GL013879.

Smith, B. and D. Sandwell (2003). "Coulomb stress accumulation along the San Andreas Fault system." Journal of Geophysical Research 108(B6): doi:10.1029/2002JB002136.

Smith, B., P. Shearer and R. Sandwell (2011). "Locking depths estimated from geodesy and seismology along the San Andreas Fault System: Implications for seismic moment release." Journal of Geophysical Research 116(doi:10.1029/2010 JB008117).

Socquet, A., C. Vigny, N. Chamot-Rooke, W. Simons, Rangin, C., and B. Ambrosius (2006). "India and Sunda plates motion and deformation along their boundary in Myanmar determined by GPS." Journal of Geophysical Research 111: B05406.

Swe, W. (2006). "Earthquake hazard potentials in Myanmar: a science to public welfare outlook." In Symposium Tectonics, Seismotectonics, and Earthquake Hazard Mitigation and Management of Myanmar, Yangon (Abstract).

Thawbita, U. (1976). "Chronology--earthquakes of Burma." Journal of the Burma Research Society 59(1-2): 97-99.

Vergne, J., R. Cattin. and J. Avouac. (2001). "On the use of dislocations to model interseismic strain and stress build-up at intracontinental thrust faults." Geophys. J. Int. 147: 155–162.

Vigny, C., A. Socquet, C. Rangin, N. Chamot-Rooke, M. Pubellier, M. Bouin, G. Bertrand and M. Becker (2003). "Present-day crustal deformation around Sagaing fault, Myanmar." Journal of Geophysical Research 108: 10.

Wang, K., R. Wells, S. Mazzotti, R. Hyndman and T. Sagiya (2003). "A revised dislocation model of interseismic deformation of the Cascadia subduction zone." Journal of Geophysical Research 108(B1): doi:10.1029/2001JB001227.

Wang, Y., K. Sieh, T. Aung, S. Min, S. N. Khaing and S. T. Tun (2011). "Earthquakes and slip rate of the southern Sagaing fault: insights from an offset ancient fort wall, lower Burm (Myanmar)." Geophysical Journal International 185(1): 49-64.

Wells, D. E., N. Beck, D. Delikaraohlou, A. Kleusberg, E. J. Krakiwsky, J. Lachapelle, R. B. Langley, M. Nakiboglu, K. P. Schwarz, J. M. Tranquilla and P. Venicek (1987). Guide to GPS Positioning. 2nd edition, Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick, Canada, 503pp.

เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (พ.ศ. 2549). เอกสารประกอบคาสอนวิชาการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 165 หน้า.

ธีทัต เจริญกาลัญญา (พ.ศ. 2555). ผลกระทบของค่าคลาดเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ต่อประสิทธิภาพจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสในประเทศไทย. สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ดุษฎีนิพนธ์

ปิย์ โสนอ่อง (พ.ศ. 2557). การติดตามแนวรอยเลื่อนสะแกงในประเทศไทยมาด้วยข้อมูลจีพีเอส. สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. มหำบัณฑิต.

สมชาย เกรียงไกรวศิน (พ.ศ. 2555). "การประมวลผลข้อมูลจีพีเอส." วิศวกรรมสาร มก 25(82): 61-68.

อำนาจ ยานูวิริยะกุล และสุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ (พ.ศ. 2552). "พฤติกรรมการตอบสนองของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เริงพื้นที่เนื่องจากแรงกระทำแผ่นดินไหว." วารสารวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ 14: 10.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นางสาวท้าววรรณ หลังทิม

วันเดือนปีเกิด: 17 กุมภาพันธ์ 2534

คุณวุฒิทางการศึกษา:

พ.ศ. 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผลงานทางวิชาการ:

ผลงานประชุมทางวิชาการ

ท้าววรรณ หลังทิม และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2559) “การทำอัตราการเคลื่อนตัวและความลึกถือคของรอยเลื่อนสะกายในพม่าโดยใช้ข้อมูลจีพีเอส” การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ Geoinfotech 2016 ครั้งที่ 17, 3-5 กุมภาพันธ์ 2559