

การติดตามการเคลื่อนตัวและแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัวในโครงข่ายทางยึดเดซี  
ของประเทศไทย จากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส ปี พ.ศ. 2547 และ 2548

พันเอก เอกภพ ภาณุมาศตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2554  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย 4 9 7 1 8 7 8 3 2 1

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 Graduate School.

MONITORING AND MODELING OF THE THAI GEODETIC NETWORK DEFORMATION  
DUE TO THE SUMATRA-ANDAMAN AND NIAS EARTHQUAKES IN 2004 AND 2005

COLONEL EKKAPOB PANUMASTRAKUL

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Geomatic Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

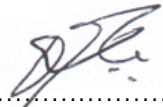
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การติดตามการเคลื่อนตัวและแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัวในโครงข่ายทางเยื่อเดซีของประเทศไทย จากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส ปี พ.ศ.2447 และ 2548
โดย	พินเอก เอกภพ ภาณุมาศตระกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์

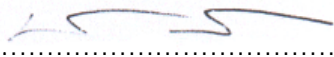
---

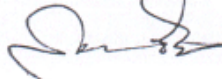
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

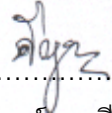
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

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

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อธิติ ตรีสิริสัตยวงศ์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดีบุญ เมฆากุลชาติ)

เอกภพ ภาณูมาศตระกูล : การติดตามการเคลื่อนตัวและแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัวในโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทยจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส ปี พ.ศ. 2547 และ 2548 (MONITORING AND MODELING OF THE THAI GEODETIC NETWORK DEFORMATION DUE TO THE SUMATRA-ANDAMAN AND NIAS EARTHQUAKE IN 2004 AND 2005)  
 อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ , 125 หน้า.

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหวเท่ากับ 9.2 เมื่อ 26 ธันวาคม พ.ศ.2547 และแผ่นดินไหวนิแอสขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหวเท่ากับ 8.7 เมื่อ 28 มีนาคม พ.ศ.2548 ได้ส่งผลกระทบต่อโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทย ที่มีจำนวนหมุดหลักฐานมากกว่า 700 หมุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อโครงข่ายอ้างอิง ที่ใช้เป็นโครงข่ายการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในภูมิภาคนี้มาตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 เกิดการบิดเบี้ยว โดยความร่วมมือของกรมแผนที่ทหารซึ่งเป็นหน่วยงานรับผิดชอบโครงข่ายของประเทศไทย ได้ทำการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากแผ่นดินไหวครั้งนี้อย่างต่อเนื่อง

ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ในเดือนกุมภาพันธ์ กรกฎาคม และตุลาคม พ.ศ.2548, เดือนเมษายน กรกฎาคม และพฤศจิกายน พ.ศ.2549, เดือนพฤษภาคม และพฤศจิกายน พ.ศ.2550, เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2551, เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2552 และครั้งล่าสุดเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553 ผลจากการรังวัดติดตามครั้งล่าสุดพบว่า ยังมีการเคลื่อนตัวขนาดสูงสุดในพื้นที่ภาคใต้ รองลงมาในพื้นที่ภาคกลาง และน้อยที่สุดในพื้นที่ภาคเหนือ งานวิจัยสรุปได้ว่าการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวมีความสอดคล้องกับแบบจำลอง Logarithmic decay function และได้ศึกษาเพิ่มเติมการใช้ตัวกรองค่าการรังวัดการเคลื่อนตัวด้วยสมการเส้นตรง ผลลัพธ์มีคุณภาพดีขึ้น โดยค่าตัวแปรการถดถอยของเวลา ( $\tau_{\log}$ ) ในสมการ Logarithmic decay function ของแต่ละจุดข้อมูล มีความสอดคล้องกันในทุกทิศทาง ทำให้สามารถประมาณค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทย ได้ทุกขณะเวลาที่ความละเอียดในระดับมิลลิเมตร นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ทำการศึกษาการใช้เทคนิคการประมาณค่าภายใน เช่น การประมาณค่าภายในจากรูปสามเหลี่ยม และ Kriging เพื่อประมาณค่าการเคลื่อนตัวในตำแหน่งใดๆ ผลการศึกษาพบว่าวิธีการทั้งสองให้ผลลัพธ์ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และให้ค่าความละเอียดถูกต้องในระดับ 1 เซนติเมตร โดยที่วิธีการ Kriging ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเล็กน้อย

ภาควิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมสำรวจ \_\_\_\_\_

ลายมือชื่อนิสิต \_\_\_\_\_ 

สาขาวิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมสำรวจ \_\_\_\_\_

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก \_\_\_\_\_ 

ปีการศึกษา 2554 \_\_\_\_\_



# # 4971878321 : MAJOR GEOMATIC ENGINEERING

KEYWORDS : GEODETIC NETWORK / CO-SIESMIC / POST SEISMIC / MODEL / INTERPOLATION / GPS NETWORK /DEFORMATION

EKKAPOB PANUMASTRAKUL : MONITORING AND MODELING OF THE THAI GEODETIC NETWORK DEFORMATION DUE TO THE SUMATRA-ANDAMAN AND NIAS EARTHQUAKES IN 2004 AND 2005.

ADVISOR : PROF. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D., 125 pp.

The Mw 9.2 Sumatra-Andaman mega-thrust earthquake on December 26<sup>th</sup>, 2004 and the Mw 8.7 Nias earthquake on March 28<sup>th</sup>, 2005 have resulted in large co and post seismic motions and effected on the Thai geodetic network, which comprises of more than 700 benchmarks. As a result, the Thai geodetic network which has been regularly observed with GPS since 1994 has been significantly deformed. The Royal Thai Survey Department (RTSD) which is responsible for the Thai geodetic network has continuously re-observed the GPS measurements in February, July and October of 2005, in April, July and November of 2006, in May and November of 2007 and November 2008, November 2009 and again in November 2010 . The result obtained from the latest monitoring campaign has shown that large co-seismic horizontal displacements were observed in the southern part of Thailand, while moderate and small displacements were seen in the central and northern parts of Thailand. It was found that the post-seismic motions were fitted well by a logarithmic decay function. In addition, a simple filtering technique is proposed to remove noise of the post-seismic displacements prior to the fitting of the post-seismic displacements with the logarithmic decay function. As a result, the  $\tau$ log values in the logarithmic decay function at each point were found to be more consistent in both north and east directions. The new fitting results can therefore be used to estimate the coordinate of the zero-order Thai geodetic network to any epoch with millimeter accuracy. Furthermore, an investigation on the use of different interpolation models such as a simple triangulation and kriging to generate the corrections for any specific location has also been carried out. Results obtained from both models are not statistically different and both models can provide accuracy at centimeter level. Nevertheless, the kriging method has shown slightly better results.

Department : ..Survey Engineering.....

Field of Study : ..Geomatic Engineering.....

Academic Year : ..2011.....

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความปรารถนาดีและความกรุณาของบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกียรติเกรียงไกรเพชร รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์ และรองศาสตราจารย์ ดีบุญ เมธากุลชาติ ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จโดยสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อแนะนำต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ Dr.Christophe Vigny ชาวฝรั่งเศส และ Mr.Wim Simon ชาวเนเธอร์แลนด์ นักวิจัยร่วมในโครงการ Geodetic Earth Observation Technologies for Thailand: Environmental Change Detection and Investigation ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในงานวิจัยของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณท่านเจ้ากรมแผนที่ทหารและผู้บังคับบัญชาทุกท่าน ที่กรุณาให้ข้าพเจ้าใช้เวลาของทางราชการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่าน พันเอก ชัยวัฒน์ พรหมทอง ที่ได้ให้ความกรุณาและให้คำปรึกษากับข้าพเจ้ามาตลอด

ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ได้ให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าในระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ท้ายสุดนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณดีของวิทยานิพนธ์ เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแด่บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม และประเทศโดยส่วนรวมสืบไป

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ข้อยกเว้นของการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 โครงข่ายหมวดหลักฐานทางยีนอดีซีของประเทศไทยก่อนการเกิด แผ่นดินไหว.....	5
2.2 โครงข่ายหมวดหลักฐานทางยีนอดีซีของประเทศไทยภายหลังการเกิด แผ่นดินไหว.....	7
2.3 ผลกระทบที่ได้รับจากแผ่นดินไหวสุมาตรา-อันดามัน และนิแอส.....	9
2.4 การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก.....	14
2.5 การร่วตติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทย.....	16
2.6 รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย.....	25
2.7 สมการการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย	29
บทที่ 3 กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF.....	31
3.1 กล่าวทั่วไป.....	31
3.2 โครงสร้างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาระบบอ้างอิงของโลก.....	32
3.3 ระบบอ้างอิงของโลก ITRS และกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF.....	36

3.4	กรณีศึกษาค่าความแตกต่างในกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 และ ITRF2005.....	40
บทที่ 4	การประมวลผลแบบจุดเดี่ยวที่มีความละเอียดสูงด้วยโปรแกรม GIPSY OASIS II	43
4.1	กล่าววนำ.....	43
4.2	โครงสร้างการประมวลผลของโปรแกรม GIPSY OASIS II.....	45
4.3	สรุปปัญหาที่พบ ในระหว่างการใช้งานโปรแกรม GIPSY OASIS II.....	47
บทที่ 5	กรณีศึกษาการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวด้วยสมการ Logarithmic decay function .....	50
5.1	กล่าววนำ.....	50
5.2	ข้อมูลการสำรวจด้วยดาวเทียม GPS และข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษา.....	51
5.3	การประมวลผลข้อมูลการรังวัด.....	53
5.4	แบบจำลอง Logarithmic decay function .....	55
5.5	การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว สุมาตรา-อันดามัน โดยใช้ตัวกรองสมการเส้นตรง.....	57
5.6	การศึกษาแบบจำลอง Logarithmic decay function ในงานวิจัย.....	59
5.7	การนำผลการศึกษาจากแบบจำลอง Logarithmic decay function ไปใช้ ประมาณค่าการเคลื่อนตัวในอนาคต.....	64
5.8	กรณีศึกษา เปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว โดย แบบจำลอง Logarithmic decay function กับแบบจำลองทางฮัยอพิติกส์.	65
5.9	สรุปท้ายบท.....	70
บทที่ 6	การประมาณค่าการเคลื่อนตัวของโครงข่ายหมุดหลักฐาน.....	71
6.1	ความสัมพันธ์ของค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ในสมการหาค่า พิกัด ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว.....	71
6.2	การประมาณค่าภายใน.....	73
6.3	การศึกษาและเปรียบเทียบ ผลต่างของการประมาณค่าภายในโดยวิธี สมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธี Kriging.....	75
6.4	การประมาณค่าการเคลื่อนตัวของจุดใดๆ ในประเทศไทย ด้วยการ ประมาณค่าภายใน โดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมและวิธี Kriging.....	81

6.5	เปรียบเทียบปัจจัยข้อดีและข้อเสียของวิธีประมาณค่าภายในวิธีสมการ เส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมและวิธี Kriging.....	86
6.6	สรุปท้ายบท.....	87
บทที่ 7	สรุปผลการศึกษา.....	88
7.1	ผลการศึกษา.....	88
7.2	ประโยชน์ที่ได้รับ.....	92
7.3	ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย.....	92
7.4	ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	93
7.5	ข้อเสนอแนะและสิ่งที่ควรศึกษาหรือดำเนินการเพิ่มเติมในอนาคต.....	93
	รายการอ้างอิง.....	95
	ภาคผนวก .....	100
	ภาคผนวก ก .....	101
	ภาคผนวก ข .....	107
	ภาคผนวก ค .....	113
	ภาคผนวก ง .....	116
	ภาคผนวก จ .....	120
	ภาคผนวก ฉ .....	123
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	125

## สารบัญญัตราสาร

		หน้า
ตารางที่ 2.1	อัตราส่วนของขนาดการเคลื่อนตัวสะสมต่อขนาดการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว.....	11
ตารางที่ 3.1	ค่าตัวแปรในการแปลงค่าที่ epoch 2000.0 และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจาก ITRF2005 ไปสู่ ITRF2000.....	39
ตาราง 3.2	เปรียบเทียบค่าความต่างพิกัดบนกรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2000 และ ITRF2005 ณ เวลาต่างๆ.....	41
ตารางที่ 5.1	ข้อมูลการรังวัดของโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 ที่ใช้ในงานวิจัย.....	52
ตารางที่ 5.2	ผลลัพธ์การใช้แบบจำลอง Logarithmic decay function กับข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส .....	56
ตารางที่ 5.3	ข้อมูลการเคลื่อนตัวและค่าการเคลื่อนตัวที่ผ่านการกรองด้วยสมการเส้นตรงของสถานี CHON .....	59
ตารางที่ 5.4	ข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตรา อันดามัน และนิแอส.....	60
ตารางที่ 5.5	ผลลัพธ์การใช้แบบจำลอง logarithmic decay function กับข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตรา อันดามันและนิแอส.....	63
ตารางที่ 5.6	แสดงค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ต่อ การเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว บริเวณประเทศไทย.....	66
ตารางที่ 5.7	ตัวอย่างข้อมูลการเคลื่อนตัว จากแบบจำลองทางยืดหยุ่น.....	66
ตารางที่ 5.8	ค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง จากการประมาณค่าโดยแบบจำลอง logarithmic decay function.....	67
ตารางที่ 5.9	ค่าแตกต่างระหว่างค่าการเคลื่อนตัวจากแบบจำลอง Logarithmic และแบบจำลอง Geophysics ข้อมูลนับจากวันที่เกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 3.038 ปี...	68
ตารางที่ 5.10	ค่าแตกต่างระหว่างค่าการเคลื่อนตัวจากแบบจำลอง Logarithmic และแบบจำลอง Geophysics ข้อมูลนับจากวันที่เกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 4.111 ปี...	69
ตารางที่ 6.1	ตารางเปรียบเทียบค่าความต่างของการเคลื่อนตัวในโครงข่ายชั้นที่ 2 ที่ได้จากวิธีการประมาณค่าภายในโดยสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธีการประมาณค่าภายใน Kriging.....	79

	หน้า	
ตารางที่ 6.2	ค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในโดยวิธีสมการ เส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมและวิธี Kriging.....	80
ตารางที่ 6.3	ค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการ เส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมกับค่าตรวจสอบ.....	83
ตารางที่ 6.4	ค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในด้วยวิธี Kriging กับค่าตรวจสอบ .....	84
ตารางที่ 6.5	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการประมาณค่าภายในแบบสมการเส้นตรงจาก รูปสามเหลี่ยม และแบบ Kriging.....	86

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1	โครงข่ายทางยึดอเดซี ของประเทศไทยก่อนการเกิดแผ่นดินไหว..... 6
ภาพที่ 2.2	โครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทยภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ..... 8
ภาพที่ 2.3	สถานีรังวัดดาวเทียม GPS แบบถาวร ณ โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร..... 9
ภาพที่ 2.4	ขนาดการเคลื่อนตัวทางราบ ของหมุดหลักฐานในโครงข่ายอ้างอิงของประเทศ ไทย ที่เป็นผลจาก Co seismic และ Post Seismic..... 11
ภาพที่ 2.5	แสดงการเคลื่อนตัวทางราบที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว ..... 13
ภาพที่ 2.6	แสดงตัวอย่างการเคลื่อนตัวระหว่างช่วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.11 ..... 14
ภาพที่ 2.7	แผ่นเปลือกโลก ..... 15
ภาพที่ 2.8	ทิศทางการเคลื่อนตัวของสถานีรังวัด..... 15
ภาพที่ 2.9	แสดงการเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหว หมุด GPS 3657 (PHUK) จ.ภูเก็ต..... 17
ภาพที่ 2.10	แสดงการเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหว หมุด GPS 3427 (CHON) จ.ชลบุรี..... 18
ภาพที่ 2.11	การเคลื่อนตัวของหมุด GPS ในโครงข่าย ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว ..... 19
ภาพที่ 2.12	แผนผังแสดงการเคลื่อนตัวทาง เหนือ-ใต้จากการเกิดแผ่นดินไหว เมื่อ 26 ธ.ค.47..... 20
ภาพที่ 2.13	แผนผังแสดงการเคลื่อนตัวทาง ตะวันออก - ตะวันตก จากการเกิดแผ่นดินไหว เมื่อ 26 ธ.ค.47..... 21
ภาพที่ 2.14	การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก อินเดีย-ออสเตรเลียเข้าหาแผ่นเปลือกโลก ยูเรเชียทำให้เกิดการสะสมพลังงานและเกิดการเปลี่ยนรูปร่างซ้ำๆอย่าง ต่อเนื่อง..... 22
ภาพที่ 2.15	การเปลี่ยนรูปร่างภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว สุมาตรา-อันดามัน ทำให้แผ่น เปลือกโลกบริเวณขอบที่ถูกบีบอัด เกิดการคลายตัว..... 23
ภาพที่ 2.16	ค่าการเคลื่อนตัวทางราบเฉพาะที่เกิดขึ้นภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ของหมุด หลักฐานในโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทย..... 23
ภาพที่ 2.17	การเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว หมุด GPS 3657(PHUK) จ.ภูเก็ต..... 24



ภาพที่ 2.18	การเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว หมู่ GPS 3427(CHON) จ.ชลบุรี.....	25
ภาพที่ 2.19	รอยเลื่อนมีพลัง ในประเทศไทย.....	27
ภาพที่ 2.20	แบบจำลองสมการ Arctan Profile.....	28
ภาพที่ 2.21	การรังวัดแนวรอยเลื่อน Palu , Sulawesi Indonesia.....	28
ภาพที่ 3.1	ตำแหน่งสถานีการรังวัดทางย็อดเดซี ของ IERS.....	32
ภาพที่ 3.2	แผนผังโครงสร้างระบบงานของ IERS.....	33
ภาพที่ 3.3	HARTEBEESTHOEK CO-LOCATION.....	37
ภาพที่ 3.4	ตำแหน่งสถานีที่ใช้ในการประมวลผลหาค่าตัวแปรการแปลงค่าระหว่าง ITRF2000 และ ITRF2005.....	39
ภาพที่ 3.5	การใช้แบบจำลองสมการเส้นตรง แสดงแนวโน้มค่าความต่างในแนวแกนเหนือ - ใต้ ของระบบพิกัด ITRF2000 และ ITRF2005 .....	42
ภาพที่ 4.1	แผนผังแสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมประมวลผล GIPSY OASIS II	44
ภาพที่ 5.1	แผนผังแสดงตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนตัวของสถานี CHON.....	57
ภาพที่ 5.2	การกรอข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว ของสถานี CHON.....	58
ภาพที่ 5.3	แผนผังแสดงค่าการเคลื่อนตัว ในทิศทางเหนือ-ใต้ จากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตรา อินเดียมา้น และไนแอส ของหมู่ดในโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทย.....	61
ภาพที่ 5.4	แผนผังแสดงค่าการเคลื่อนตัว ในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก จากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตรา อินเดียมา้น และไนแอส ของหมู่ดในโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทย...	62
ภาพที่ 5.5	กราฟแสดงแนวโน้มการเคลื่อนตัวของหมู่ PHUK ในทิศทางเหนือ-ใต้.....	64
ภาพที่ 5.6	กราฟแสดงแนวโน้มการเคลื่อนตัวของหมู่ PHUK ในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก .....	65
ภาพที่ 5.7	แสดงเส้นชั้นค่าการเคลื่อนตัวจากแบบจำลองย็อดฟิลิกส์ และค่าการเคลื่อนตัวของหมู่ดในโครงข่ายอ้างอิง ที่ได้จากแบบจำลอง Logarithmic decay function (ข้อมูลตรงกับวันที่ 9 ม.ค. พ.ศ.2551) .....	68
ภาพที่ 5.8	แสดงเส้นชั้นค่าการเคลื่อนตัวจากแบบจำลองย็อดฟิลิกส์ และค่าการเคลื่อนตัวของหมู่ดในโครงข่ายอ้างอิง ที่ได้จากแบบจำลอง Logarithmic decay function (ข้อมูลตรงกับวันที่ 3 ก.พ. พ.ศ.2552) .....	69

	หน้า
ภาพที่ 6.1	แสดงการประมาณค่าโดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม..... 74
ภาพที่ 6.2	แสดงค่าการเคลื่อนตัวทิศทางเหนือ-ใต้ ระหว่างห้วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.11 โดยวิธีการสมการเส้นตรงจากโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมและ Kriging..... 77
ภาพที่ 6.3	แสดงค่าการเคลื่อนตัวทิศทางตะวันตก-ตะวันออก ระหว่างห้วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.11 ..... 78
ภาพที่ 6.4	แสดงค่าต่างผลลัพธ์การเคลื่อน โดยสมการเส้นตรงจากรโครงข่ายรูป สามเหลี่ยม เปรียบเทียบกับวิธีการ Kriging..... 80
ภาพที่ 6.5	ค่าต่างของการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมกับ ค่าตรวจสอบ ..... 83
ภาพที่ 6.6	ค่าต่างของการประมาณค่าภายในด้วยวิธี Kriging กับค่าตรวจสอบ ..... 84

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

APRGP	The Asia and the Pacific Regional Geodetic Project
BIH	Bureau International de l'Heure
CTRS	Conventional Terrestrial Reference System
DEOS	Delft Institute for Earth-Oriented Space Research
DORIS	Doppler Orbitography and Radiopositioning Intergrated by Satellite
FGCC	Federal Geodetic Control Committee
GEO2TECDI	Geodetic Earth Observation Technologies for Thailand : Environmental Change Detection and Investigation
GEODYSEA	GEODYnamics Of the South and South East Asia
GFFC	IERS Global Geophysical Fluids Center
GIPSY-OASIS	GPS Inferred Positioning System – Orbit Analysis and Simulation Software
GPS	Global Positioning System
GRS	Geocentric Reference System
IAG	International Association of Geodesy
IAU	The International Astronomical Union
ICRF	The International Celestial Reference Frame
ICRS	The International Celestial Reference System
ICSU	International Council for Science Union
IDS	International DORIS Service
IERS	The International Earth rotation and Reference System service
IGS	International GNSS Service
ILRS	International Laser Ranging Service
ITRF	The International Terrestrial Reference Frame
ITRS	The International Terrestrial Reference System
ITRS-PC	IERS ITRS Product Center

IUGG	The International Union of Geodesy and Geophysics
IVS	International VLBI Service for Geodesy and Astrometry
JPL	The Jet Propulsion Laboratory
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
PCGIAP	Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia & Pacific
SEAMERGES	Southe East Asia : Mastering Environmental Research using GEodetic Space technique
SLR	Satellite Laser Ranging
TCG	Geocentric Coordinate Time
THAICA	THAI Campaign
VLBI	Very Long Baseline Interferometry

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ บริเวณทางทิศเหนือของเกาะสุมาตรา ในมหาสมุทรอินเดีย เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ.2547 (2004) มีขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหวเท่ากับ 9.2 ก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกอย่างรุนแรงในขณะเกิดแผ่นดินไหว สามารถตรวจวัดการเคลื่อนตัวไกลถึงหลายพันกิโลเมตร จากบริเวณศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหว (epicenter) และได้ส่งผลกระทบต่อระบบอ้างอิงของโลก (Kreemer et al., 2006a) สำหรับประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบนี้เช่นเดียวกัน ทำให้พิกัดตำแหน่งของหมุดหลักฐานในโครงข่ายทางยึดเดซีซิงของประเทศไทย มีการคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม ทั้งในขณะเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว (co-seismic) และภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว (postseismic) ต่อเนื่องไปอีกเป็นระยะเวลาหลายปี (Satirapod et al., 2007a) ในขณะเกิดแผ่นดินไหวมีการเคลื่อนตัวของหมุดหลักฐานที่จังหวัดภูเก็ตประมาณ 27 เซนติเมตร กรุงเทพมหานครประมาณ 8 เซนติเมตร และจังหวัดเชียงใหม่ประมาณ 3 เซนติเมตร มีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหว (Vigny et al., 2005) เนื่องจากการเคลื่อนตัวในแต่ละพื้นที่ มีขนาดไม่เท่ากัน ทำให้โครงข่ายทางยึดเดซีซิงของประเทศไทยเกิดการบิดเบี้ยว (deformation) (Satirapod et al., 2007a) กรมแผนที่ทหารเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงข่ายทางยึดเดซีซิงของประเทศไทย ได้ทำการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากแผ่นดินไหวครั้งนี้อย่างต่อเนื่อง และได้ทำการรังวัดโครงข่ายทางยึดเดซีซิงใหม่ในระหว่างปี พ.ศ.2548 - 2550 (2004 - 2007) เพื่อให้โครงข่ายทางยึดเดซีซิงของประเทศไทย คงความละเอียดถูกต้อง มีความน่าเชื่อถือ และลดความคลาดเคลื่อนของหมุดหลักฐานในโครงข่ายทาง ยึดเดซีซิงของประเทศไทย โครงข่ายที่รังวัดขึ้นใหม่นี้มีจำนวนหมุดหลักฐานเพียง 95 หมุด เพื่อให้เหมาะสมต่อการบำรุงรักษา และเพียงพอต่อการใช้งาน ในห้วงเวลาที่ยังคงได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหว

จากการตรวจวัดล่าสุดเมื่อ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553 (2010) พบว่าขนาดของการเคลื่อนตัวสะสมได้เพิ่มขึ้นจนมีขนาดมากกว่า 2 เท่าของการเคลื่อนตัวในขณะเกิดแผ่นดินไหว โดยมีขนาดการเคลื่อนตัวสะสมที่จังหวัดภูเก็ต 74.6 เซนติเมตร กรุงเทพมหานคร 23.6 เซนติเมตร และจังหวัดลำปาง 10.5 เซนติเมตร แม้ว่าขนาดการเคลื่อนตัวดังกล่าวนี้ จะไม่แสดงให้เห็นหรือส่งผลกระทบต่อารังวัดในบริเวณพื้นที่ขนาดเล็ก ที่ใช้เทคนิคการรังวัดแบบสัมพัทธ์ (relative positioning) เนื่องจากขนาดการเคลื่อนตัวของหมุดที่รังวัดในพื้นที่เล็กๆ มีขนาดใกล้เคียงกัน จึงถูกหักล้างกันในการรังวัดแบบสัมพัทธ์ (อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์,

2551) แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการรังวัดที่ใช้เทคนิคการรังวัดและประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่ให้ความละเอียดสูง (precise point positioning) มีความละเอียดถูกต้องจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ GIPSY-OASIS II (GPS Inferred Positioning System – Orbit Analysis and Simulation Software) (Blewitt et al., 1992) ผลลัพธ์มีความละเอียดถูกต้องในทางราบ 3 – 5 มิลลิเมตร และทางตั้ง 3 – 15 มิลลิเมตร (Zumberge et al., 1997) ดังเช่นโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 ของประเทศไทย ย่อมได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของเหตุแผ่นดินไหวนี้ (อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล และคณะ, 2552)

นอกจากโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทยแล้ว ยังมีโครงข่ายของหน่วยงานอื่นๆ ในประเทศไทย ที่ได้รับผลกระทบในลักษณะเดียวกัน เช่น โครงข่ายหมุดหลักฐานอ้างอิงของกรมที่ดิน จำนวนกว่า 300 หมุด และ โครงข่ายหมุดหลักฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่มีจำนวนหมุดหลักฐานกว่า 3000 หมุด เป็นต้น หากจะดำเนินการปรับปรุงข้อมูลหมุดหลักฐานเหล่านี้ ให้มีค่าเป็นปัจจุบันและมีความเป็นเอกภาพกับโครงข่ายหมุดหลักฐานของประเทศที่มีการปรับแก้ใหม่ อาจต้องใช้งบประมาณของประเทศจำนวนมากเพื่อรังวัดข้อมูล และอาจต้องใช้เวลาหลายปี จึงจะสามารถดำเนินการแล้วเสร็จ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาและติดตามพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทย และศึกษาพัฒนาวิธีการ แบบจำลองที่เหมาะสม เพื่อหาขนาดการเคลื่อนตัว และใช้เป็นค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของหมุดหลักฐาน โดยภายหลังการแก้ค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว หมุดหลักฐานนั้นจะต้องมีความถูกต้องเพียงพอต่อการใช้เป็นหมุดควบคุมในงานสำรวจได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาและติดตามพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทย อันเนื่องมาจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ ในปี พ.ศ.2547 (2004) และ พ.ศ.2548 (2005)

1.2.2 ศึกษาแบบจำลองและวิเคราะห์แนวโน้มการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทย

1.2.3 ศึกษา พัฒนาระดับขั้นตอนวิธีการ ประเมินผล และนำเสนอแบบจำลองที่เหมาะสม ในการประมาณค่าการเคลื่อนตัว เพื่อใช้เป็นค่าแก้การเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากเหตุแผ่นดินไหวของตำแหน่งใดๆในประเทศไทย ในระหว่างช่วงเวลาใดๆ หรือระหว่างช่วงเวลาของการปรับแก้ค่าพิกัดของโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทย

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและติดตาม พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในภูมิภาคประเทศไทย หลังการเกิดแผ่นดินไหว ศึกษาและประเมินผลกระทบด้านต่างๆ ที่มีต่อโครงข่ายทางยึดเดซีของประเทศไทย จากการเกิดแผ่นดินไหว เช่น ผลกระทบจากรอยเลื่อนในประเทศไทย เป็นต้น

1.3.2 ศึกษา ทดสอบ และประเมินผลการใช้แบบจำลอง สมการเชิงเส้นเพื่อขจัดค่ารบกวนของการเคลื่อนตัวจากการเกิดแผ่นดินไหวศึกษา ทดสอบ และประเมินผลการใช้ แบบจำลอง Logarithmic Decay Function กับค่าการเคลื่อนตัวจากการเกิดแผ่นดินไหว

1.3.3 ศึกษา และวิเคราะห์ หาแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัว ที่เหมาะสม เช่น การประมาณค่าภายในรูปสามเหลี่ยม เป็นต้น

1.3.4 ทดสอบ และประเมินผลการใช้แบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัว

1.3.5 ข้อมูลการศึกษาวิจัยใช้ข้อมูลการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวของกรมแผนที่ทหาร ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 – 2551 (1994 – 2008) เป็นข้อมูลหลักในงานวิจัยและใช้ข้อมูลจากหน่วยงานอื่น ตามความจำเป็น

### 1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

1.4.1 ข้อมูลการวิจัย ใช้ข้อมูลการติดตามการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ครอบคลุมพื้นที่เฉพาะประเทศไทย

1.4.2 ในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย มีลักษณะภูมิประเทศ แคบ และยาว ทำให้เกิดข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลการรังวัด และการใช้ข้อมูลในแบบจำลอง

1.4.3 ในบริเวณพื้นที่ตามแนวขอบชายฝั่งทะเล และตามแนวขอบชายแดนของประเทศ อาจมีค่าความคลาดเคลื่อนในการใช้แบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัว เนื่องจากเป็นบริเวณขอบทำให้ไม่มีข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบและเข้าใจถึงพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวในภูมิภาคประเทศไทย ทั้งก่อนการเกิดแผ่นดินไหว ขณะการเกิดแผ่นดินไหว และภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

1.5.2 ทำให้ทราบและเข้าใจ ถึงผลกระทบของการเคลื่อนตัว ต่อโครงข่ายทางยึดเดซีของประเทศ

1.5.3 ทำให้มีแบบจำลองที่มีความเหมาะสม ในการคำนวณหาการเคลื่อนตัวของหมุดหลักฐาน ในประเทศไทย อันเนื่องมาจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่

1.5.4 ทำให้หน่วยงานต่างๆ ที่มีข้อมูลการรังวัด หรือค่าพิคัดหมุดหลักฐานในช่วงเวลาต่างกัน สามารถคำนวณหาค่าแก้ และปรับค่าพิคัดให้เป็นช่วงเวลาเดียวกัน และมีความเป็นเอกภาพเดียวกันกับโครงข่ายของประเทศไทย ณ ขณะเวลาที่มีการปรับแก้โครงข่ายได้

1.5.5 มีการพัฒนาและเผยแพร่องค์ความรู้ ทางด้านการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก และผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ ในประเทศไทย

## 1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related literatures)

1.6.2 รวบรวมข้อมูลของสถานีต่างๆ ที่มีอยู่ในประเทศไทย ในห้วงก่อน ขณะเวลา และหลังการเกิดแผ่นดินไหว

1.6.3 ศึกษาการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรมประมวลผลทางวิทยาศาสตร์ เช่น GIPSY หรือ Bernese เป็นต้น

1.6.4 ศึกษาและประเมินผลกระทบด้านต่างๆ ที่มีต่อโครงข่ายทางยึดเดซีของประเทศ ไทย จากการเกิดแผ่นดินไหว เช่น ผลกระทบจากรอยเลื่อนในประเทศไทย เป็นต้น

1.6.5 ศึกษา ทดสอบ และประเมินผลการใช้แบบจำลอง สมการเชิงเส้นเพื่อหาค่าการเคลื่อนตัวของจุดจากการเกิดแผ่นดินไหว

1.6.6 ศึกษา ทดสอบ และประเมินผลการใช้ แบบจำลอง Logarithmic decay function กับค่าการเคลื่อนตัวของจุดจากการเกิดแผ่นดินไหว

1.6.7 ศึกษา และวิเคราะห์ หาแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัว ที่เหมาะสม เช่น การประมาณค่าภายในรูปสามเหลี่ยม เป็นต้น

1.6.8 ทดสอบ และประเมินผลการใช้แบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัว

1.6.9 สรุปผลการศึกษา และเสนอแบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้อง และเหมาะสมกับการเคลื่อนตัวของพื้นผิวประเทศไทย อันเนื่องมาจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่



## บทที่ 2

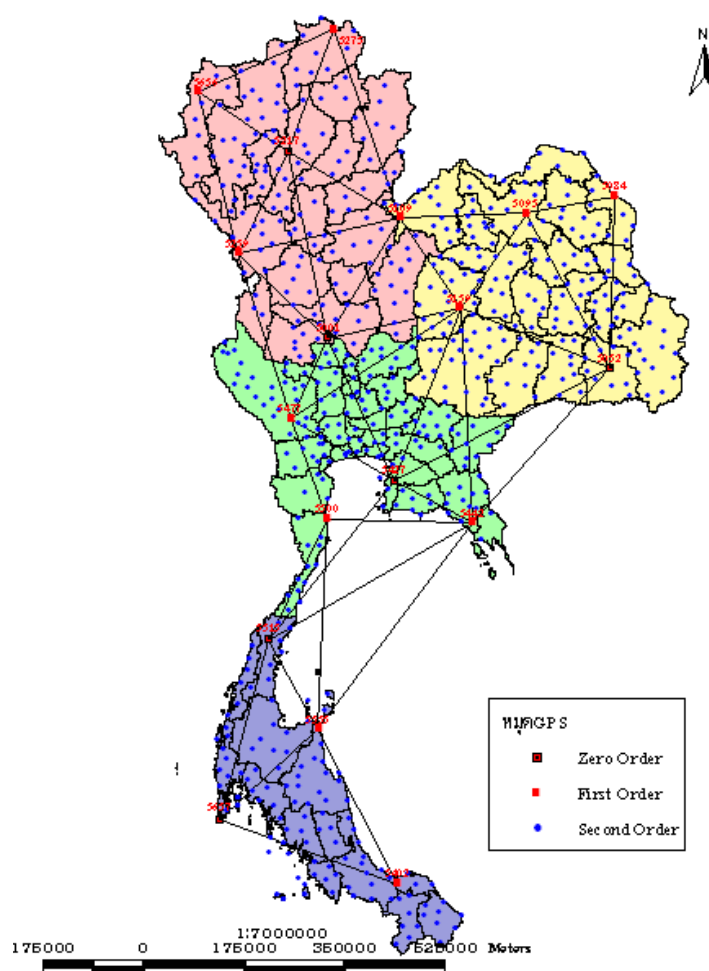
### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ในห้วงเวลาก่อนและหลังการเกิดแผ่นดินไหว รวมถึงผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวต่อโครงข่ายทางยี่ห้อเดซีของประเทศไทย

#### 2.1 โครงข่ายหมุดหลักฐานทางยี่ห้อเดซีของประเทศไทยก่อนการเกิดแผ่นดินไหว

กรมแผนที่ทหาร เป็นหน่วยงานรับผิดชอบในการสำรวจและจัดทำโครงข่ายหมุดหลักฐานทางยี่ห้อเดซีของประเทศไทย โดยได้พัฒนามาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่งานโครงข่ายสามเหลี่ยม จนถึงปัจจุบันที่เทคนิคการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ได้ถูกพัฒนาและมีบทบาทสำคัญในด้านการสำรวจ และเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างโครงข่ายทางยี่ห้อเดซีของหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทย ได้เริ่มสำรวจรังวัดโครงข่ายหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS ตั้งแต่ปี พ.ศ.2534 (1991) และได้เข้าร่วมโครงการทางด้านยี่ห้อเดซีด้วยการรังวัด GPS ในระดับภูมิภาคหลายโครงการ เช่น โครงการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกกับหน่วยงาน IFAG (Institut für Angewandte Geodäsie) ประเทศเยอรมัน โครงการรังวัดหาค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 ในประเทศไทยกับหน่วยงาน NIMA (National Imagery and Mapping Agency) ประเทศสหรัฐอเมริกา โครงการศึกษาด้านยี่ห้อเดซีและยี่ห้อไดนามิกส์กับสถาบัน DEOS (Delft Institute for Earth-Oriented Space Research) ประเทศเนเธอร์แลนด์ และโครงการความร่วมมือทาง ยี่ห้อเดซีในระดับภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก (The Asia and the Pacific Regional Geodetic Project : APRGP) ภายใต้คณะกรรมการถาวรโครงสร้างพื้นฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ภูมิภาคเอเชียและแปซิฟิก (Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia & the Pacific : PCGIAP) ซึ่งต้องการเชื่อมโครงข่ายทางยี่ห้อเดซีในภูมิภาคนี้ให้เป็นระบบเดียวกัน จากโครงการที่เกิดขึ้นเหล่านี้ รวมกับการปฏิบัติงานวางโครงข่ายของกรมแผนที่ทหาร ทำให้กรมแผนที่ทหารมีข้อมูลการรังวัดที่เป็นประโยชน์ สามารถนำมาผนวกเข้าด้วยกันและสร้างเป็นโครงข่าย GPS ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงได้ ดังนั้นในปี พ.ศ.2545 (2002) กรมแผนที่ทหารจึงได้ดำเนินการปรับแก้โครงข่าย GPS ทั่วประเทศ และเปลี่ยนจุดควบคุมโครงข่ายใหม่ เป็นจุดที่ได้จากการปฏิบัติงานในโครงการ GEODYSSSEA (GEODYnamics of the South and South East Asia) และโครงการ THAICA (THAI CAmpaign) ทำให้โครงข่ายมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ

สูงขึ้น โดยมีค่าพิกัดอ้างอิงในกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF94 ที่ช่วงเวลา 1996.3 (ข้อมูลรังวัดในปี ค.ศ.1996 เดือนมีนาคม) กรมแผนที่ทหาร ได้ประกาศใช้ค่าพิกัดที่ปรับแก้พร้อมกันทั้งโครงข่าย ตั้งแต่ปี 2545 เป็นต้นมา (อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล, 2545) โครงข่ายที่ดำเนินการในครั้งนั้น จึงเป็นโครงข่ายที่มีความเป็นเอกภาพ มีความละเอียดถูกต้องสูง และมีความน่าเชื่อถือตามมาตรฐานสากล ใช้เป็นหมุดอ้างอิงในงานสำรวจแก่ส่วนราชการและเอกชนทั่วประเทศ มีลักษณะโครงข่าย ตามภาพที่ 2.1 และมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2.1 โครงข่ายทางยึดเดซี ของประเทศไทยก่อนการเกิดแผ่นดินไหว (อนุเทพ, 2545)

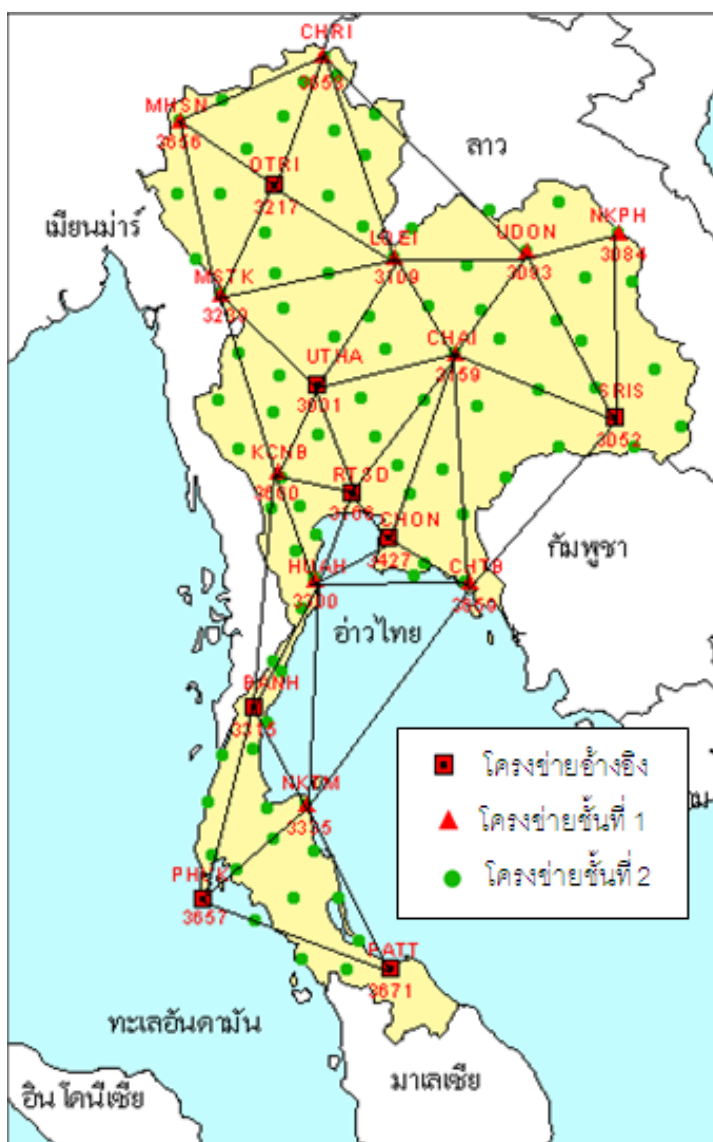
2.1.1 โครงข่ายอ้างอิง (Reference frame) ของประเทศไทย มีจำนวน 7 หมุด ประกอบด้วยหมุดควบคุมในระดับภูมิภาค จำนวน 2 หมุด ได้แก่ หมุดหมายเลข 3427 จังหวัดชลบุรี และหมุด 3657 จังหวัดภูเก็ต เทียบได้กับชั้นงาน AA ตามมาตรฐานของ Federal Geodetic Control Committee (FGCC) ใช้ในการตรวจสอบทางยื่ออไดนามิกส์ตามโครงการ GEODYSSEA และหมุดที่รังวัดในโครงการ THAICA ที่รังวัดในมาตรฐานเดียวกันกับหมุดในระดับภูมิภาค อีกจำนวน 5 หมุด ประกอบด้วยหมุดหมายเลข 3001 จังหวัดอุทัยธานี, 3052 จังหวัดศรีสะเกษ, 3217 จังหวัดลำปาง, 3315 จังหวัดชุมพร, 3402 จังหวัดปัตตานี แต่ละหมุดมีระยะห่างกันประมาณ 300 กิโลเมตร จัดอยู่ในชั้นงาน A ตามมาตรฐานของ FGCC

2.1.2 โครงข่ายหลัก (Primary Network) ครอบคลุมทั่วประเทศ มีจำนวน 18 หมุด ประกอบด้วยหมุดหมายเลข 3084, 3093, 3109, 3159, 3300, 3239, 3275, 3335, 3442, 3477, 3656 และหมุดในโครงข่ายอ้างอิงอีกจำนวน 7 หมุด แต่ละหมุดห่างกันประมาณ 150 กิโลเมตร คำนวณปรับแก้พร้อมกันทั้งโครงข่าย โดยใช้หมุดในโครงข่ายอ้างอิงเป็นจุดควบคุม จัดอยู่ในชั้นงาน B ตามมาตรฐานของ FGCC

2.1.3 โครงข่ายรอง (Secondary Network) ครอบคลุมทั่วประเทศ แต่ยกย่อยมาจากโครงข่ายหลัก มีระยะห่างกันระหว่างหมุด 30 – 70 กิโลเมตร มีจำนวนกว่า 700 หมุด จัดในชั้นงาน C-1 ตามมาตรฐานของ FGCC

## 2.2 โครงข่ายหมุดหลักฐานทางยื่ออเดซีของประเทศไทยภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

จากการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตรา-อันดามัน เมื่อปี พ.ศ.2547 (2004) ตรวจพบการเคลื่อนตัวที่มีขนาดไม่เท่ากันของหมุดหลักฐานในประเทศไทย ผลกระทบทำให้โครงข่ายทางยื่ออเดซีของประเทศไทยมีความบิดเบี้ยว ประกอบกับโครงข่ายนี้เป็นโครงข่ายควบคุมทางยื่ออเดซีแห่งชาติ และเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายในระดับภูมิภาค ต้องมีความละเอียดถูกต้องสูง มีความน่าเชื่อถือ ได้มาตรฐานสากล และเป็นที่ยอมรับทั้งในและต่างประเทศ กรมแผนที่ทหารจึงทำการรังวัดโครงข่ายทางยื่ออเดซีขึ้นใหม่ ในระหว่างปี พ.ศ.2548 – 2550 (2005 – 2007) โดยลดจำนวนหมุดหลักฐานในโครงข่ายลง จากจำนวนประมาณ 700 หมุด เหลือจำนวนหมุดหลักฐานในโครงข่ายเพียง 95 หมุด เพื่อให้เหมาะสมต่อการบำรุงรักษา และเพียงพอต่อการใช้งาน (ดูภาพที่ 2.2 ประกอบ) อ้างอิงบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 ขณะเวลา 2005.7 (ชั้ววัฒน์ พรหมทอง และคณะ, 2551) ดังนี้



ภาพที่ 2.2 โครงข่ายทางยึดเดซี ของประเทศไทยภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

2.2.1 โครงข่ายอ้างอิง (Reference Frame) จัดอยู่ในประเภทงานชั้น A ตามมาตรฐานของ FGCC มีจำนวน 8 หมู่ ประกอบด้วยหมู่หมายเลข 3427 จังหวัดชลบุรี, 3657 จังหวัดภูเก็ต, 3217 จังหวัดลำปาง, 3001 จังหวัดอุทัยธานี, 3052 จังหวัดศรีสะเกษ, 3315 จังหวัดชุมพร, 3671 (แทน 3402) จังหวัดปัตตานี ประกอบกับกรมแผนที่ทหารได้ร่วมกับสถาบัน DEOS จัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GPS แบบถาวร หรือ GPS Base Station ขึ้นคือ 3166 ณ โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร ตามภาพที่ 2.3 จึงได้รวมหมู่นี้เข้ากับโครงข่ายอ้างอิงด้วย ทำให้โครงข่ายอ้างอิงมีจำนวนทั้งสิ้น 8 หมู่ ค่าพิกัดของหมู่ในโครงข่ายอ้างอิงนี้ คำนวณโดยสถาบัน DEOS ประเทศเนเธอร์แลนด์



ภาพที่ 2.3 สถานีรับวัดดาวเทียม GPS แบบถาวร ณ โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร

2.2.2 โครงข่ายหลัก (Primary Network) จัดอยู่ในชั้นงาน A ตามมาตรฐานของ FGCC ได้จากการรังวัดขยายโครงข่ายอ้างอิงเพิ่มเติม จำนวน 11 หมุด ได้แก่หมุดหมายเลข 3084, 3093, 3109, 3159, 3239, 3300, 3335, 3656, 3658, 3659 และ 3660 ส่วนใหญ่เป็นหมุดเดิมก่อนการเกิดแผ่นดินไหว มีเพียงบางส่วนของหมุดใหม่ ทั้งนี้เนื่องจากหมุดเดิมถูกทำลาย หรือสถานที่ตั้งไม่เหมาะสม รวมกับหมุดในโครงข่ายอ้างอิงอีกจำนวน 8 หมุด ทำให้มีหมุดในโครงข่ายหลักทั้งสิ้น 19 หมุด

2.2.3 โครงข่ายรอง (Secondary Network) เป็นโครงข่ายที่ได้รับการออกแบบรังวัดใหม่ ภายหลังจากเกิดแผ่นดินไหว รังวัดคาบการทำงานละ 6 ชั่วโมง เชื่อมโยงกับโครงข่ายหลัก มีจำนวน 95 หมุด รวมหมุดในโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายหลัก ระยะห่างระหว่างหมุดประมาณ 50 – 100 กิโลเมตร จัดอยู่ในชั้นงาน B ตามมาตรฐานของ FGCC มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 1:1,000,000

## 2.3 ผลกระทบที่ได้รับจากการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตรา-อันดามัน และนิแอส

แผ่นดินไหวครั้งใหญ่สุมาตราอันดามัน เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ.2547 (2004) มีขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหวเท่ากับ 9.2 และแผ่นดินไหวนิแอส เมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2548 (2005) มีขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหวเท่ากับ 8.7 นับเป็นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่ได้มีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนตัวและติดตามพฤติกรรมเคลื่อนตัวภายหลังจากเกิดแผ่นดินไหว ทำให้เกิดการศึกษาวิจัยทางด้านย็อดเซซีและย็อดฟิสิกส์ รวมถึงผลกระทบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเหตุแผ่นดินไหวครั้งนี้อย่างกว้างขวาง ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวในลักษณะเดียวกันนี้ จากเหตุแผ่นดินไหวอื่นๆ เช่นการเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณพื้นที่

Sues-Sinai ขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหว 7.2 เกิดขึ้นเมื่อ เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ.2538 (1995) (Piersanti et al, 2001) , การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวใน L'Aquila ประเทศอิตาลี จากข้อมูลดาวเทียม เกิดขึ้นเมื่อ เดือนเมษายน พ.ศ.2552 (2009) (Goudarzi et al, 2011) ผลกระทบการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามัน ในบริเวณพื้นที่ของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (Reddy et al, 2010) และบริเวณตอนเหนือของเกาะสุมาตรา (Sibuet et al, 2007) เป็นต้น การศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญของผลกระทบจากการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น

ประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบจากการเกิดเหตุแผ่นดินไหวครั้งนี้เช่นกัน ผลกระทบจากการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวทำให้โครงข่ายทางยึดเดซีของประเทศที่มีจำนวนหมุดหลักฐานมากกว่า 700 หมุด เกิดการบิดเบี้ยว อันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวทั้งในขณะเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว และการเคลื่อนตัวภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหว ด้วยขนาดที่ไม่เท่ากันทั่วทั้งโครงข่ายของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อโครงข่ายอ้างอิงของประเทศที่ใช้เทคนิคการรังวัดและประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่ให้ความละเอียดถูกต้องสูง ประมวลผลด้วยโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ GIPSY OASIS II แม้ว่าขนาดของการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวจะอยู่ในระดับเซนติเมตรก็ตาม แต่ก็มีนัยสำคัญต่อความถูกต้องของโครงข่ายหมุดหลักฐานทางยึดเดซีของประเทศไทยที่มีความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร จากข้อมูลการรังวัดพบว่าในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว มีการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ที่จังหวัดภูเก็ต ประมาณ 27 เซนติเมตร กรุงเทพมหานครประมาณ 8 เซนติเมตร และจังหวัดเชียงใหม่ประมาณ 3 เซนติเมตร ต่อมาวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2548 (2005) ได้เกิดแผ่นดินไหวในแอส ขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหว 8.7 และนับได้ว่าเป็น After Shock ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่เคยบันทึกมา (Kreemer et al., 2006b) ผลจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งนี้ ไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออาคารเคลื่อนตัวภายในโครงข่ายของประเทศไทยมากนัก แต่สามารถตรวจพบการเคลื่อนตัวที่มีนัยสำคัญ ในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว เฉพาะในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ ที่จังหวัดภูเก็ต มีการเคลื่อนตัวในทางราบ ประมาณ 1.6 เซนติเมตร (Satirapod et al., 2007b)

ผลกระทบจากการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง จวบจนปัจจุบันนี้ จากข้อมูลการสำรวจเมื่อเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2553 (2010) พบว่ามีการเคลื่อนตัวสะสมสูงสุด ในบริเวณภาคใต้ ที่จังหวัดภูเก็ต ขนาด 74.6 เซนติเมตร กรุงเทพมหานคร 23.6 เซนติเมตร และบริเวณภาคเหนือที่จังหวัดลำปาง 10.5 เซนติเมตร (ดูภาพที่ 2.4) ขนาดของการเคลื่อนตัวสะสม คิดเป็นอัตราส่วนประมาณ 2.6 - 3.5 เท่าของการเคลื่อนตัวขณะการเกิดแผ่นดินไหว (ดูตารางที่ 2.1)



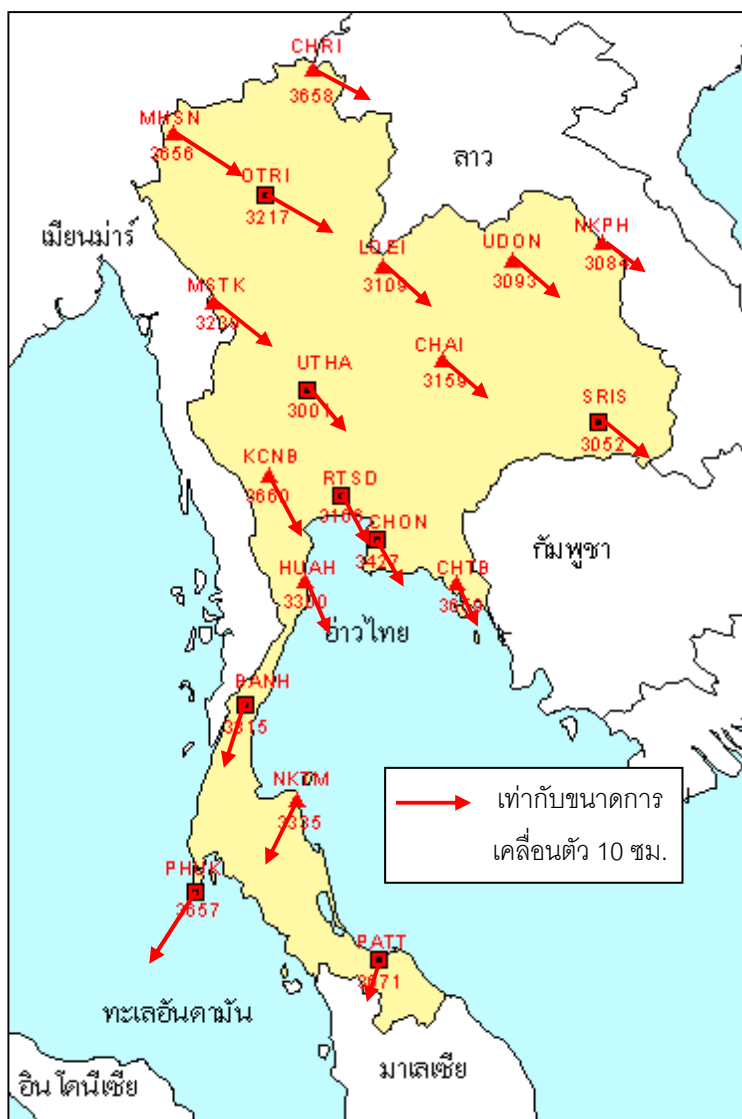
ภาพที่ 2.4 ขนาดการเคลื่อนตัวทางราบ ของหมวดหลักฐานในโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทย ที่เป็นผลจาก Co-seismic และ postseismic (ข้อมูลเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2553 (2010))

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนของขนาดการเคลื่อนตัวสะสมต่อขนาดการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว

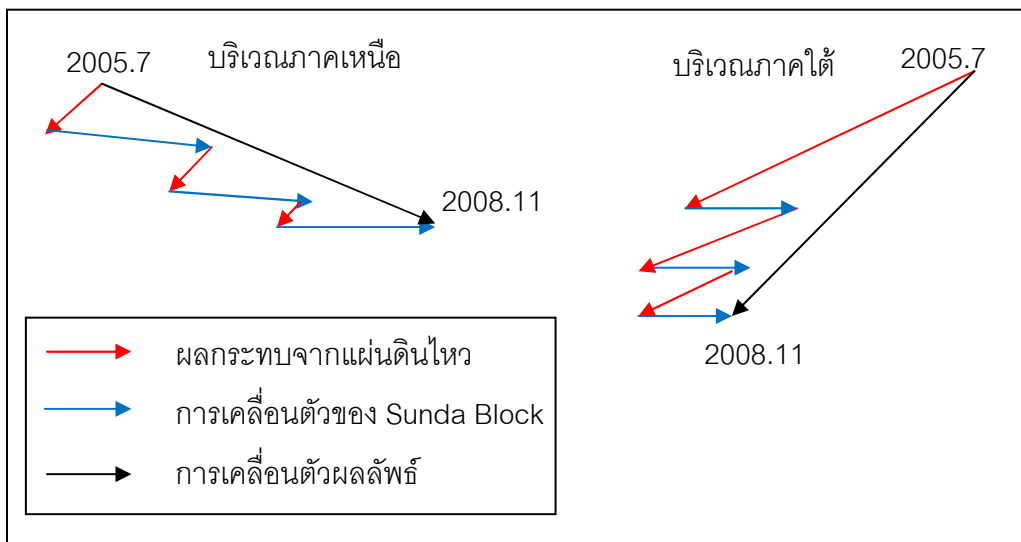
บริเวณพื้นที่	ขนาดการเคลื่อนตัวขณะ เกิดแผ่นดินไหว (ซม.)	ขนาดการเคลื่อนตัว สะสมถึง เดือน พฤศจิกายน 2010 (ซม.)	อัตราส่วนการเคลื่อนตัว สะสมต่อการเคลื่อนตัว ขณะเกิดแผ่นดินไหว
ภาคเหนือ	3	10.5	3.5
ภาคกลาง	8	23.6	2.9
ภาคใต้	27	74.6	2.6

แม้ว่าประเทศไทย จะได้มีการรังวัดโครงข่ายทางยึดอเดซีขึ้นใหม่ ภายหลังจากเกิดแผ่นดินไหว โดยอ้างอิงกับกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 ขณะเวลา 2005.7 ซึ่งได้ลดความคลาดเคลื่อนที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว จากการศึกษายังคงพบว่าค่าการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวยังคงมีขนาดการเคลื่อนตัวที่มีนัยสำคัญ และทำให้โครงข่ายเกิดการบิดเบี้ยว จากการเปรียบเทียบข้อมูลค่าพิกัดของโครงข่ายที่ปรับแก้ยึดตรึงเข้ากับกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 ระหว่างเวลา 2005.7 กับเวลา 2008.11 พบว่าทางบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีการเคลื่อนตัวสะสมไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ในขณะที่ทางตอนใต้ของประเทศไทย ยังคงมีการเคลื่อนตัวสะสมไปในทิศทางเข้าสู่ศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหว (ดูภาพที่ 2.5) แสดงให้เห็นว่าขนาดของการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว ในบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีขนาดลดลงและมีขนาดน้อยกว่าการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกทวีป Sunda Block ทำให้หมุดหลักฐานในบริเวณนี้เคลื่อนตัวสะสมไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ แต่ทางตอนใต้ของประเทศไทย ขนาดของการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว แม้ว่าจะมีขนาดลดลงแต่ยังคงมีขนาดสะสมที่มากกว่าการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกทวีป Sunda Block จึงทำให้หมุดหลักฐานยังมีขนาดการเคลื่อนตัวสะสมไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (ดูภาพที่ 2.6 ประกอบคำอธิบาย) และในท้ายที่สุด เมื่อผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งนี้สิ้นสุดลง แผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยก็จะมีทิศทางการเคลื่อนตัวไปในทิศทางตะวันออก ดังเช่นทิศทางการเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหว





ภาพที่ 2.5 แสดงการเคลื่อนตัวทางราบที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว  
 หมดในโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 ของประเทศไทย (ข้อมูลนับจากเวลา 2005.7 ถึง 2008.11 )

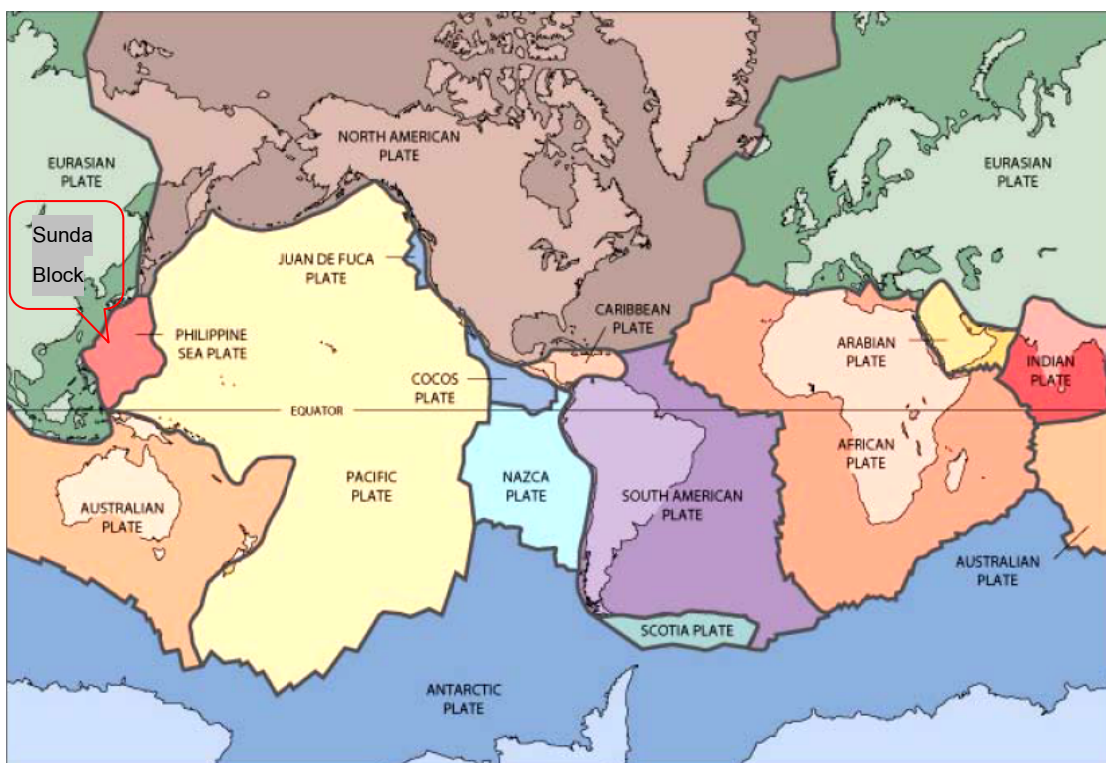


ภาพที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการเคลื่อนตัวระหว่างช่วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.11

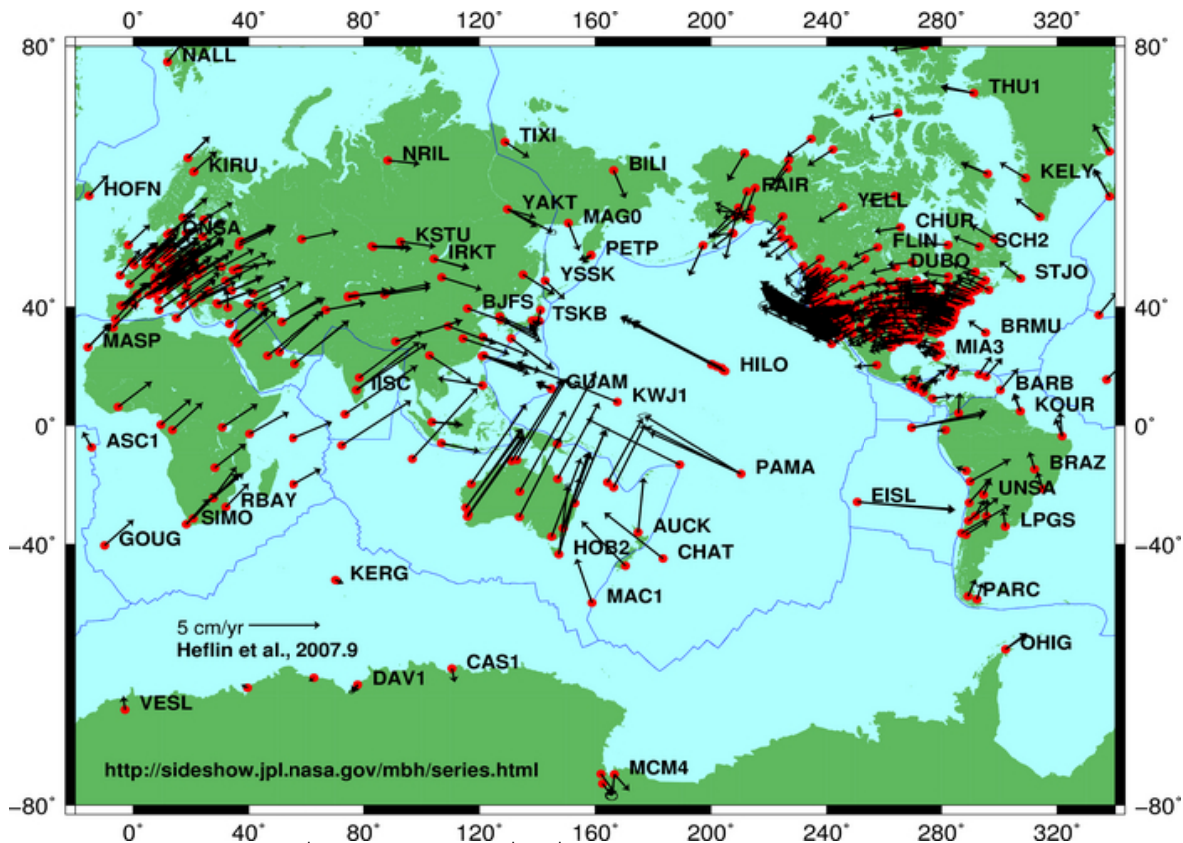
## 2.4 การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (Plate Tectonics Theory)

เปลือกโลกประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลกขนาดใหญ่และขนาดเล็กประกอบกันเป็นพื้นผิวเปลือกโลก แสดงในภาพที่ 2.7 โดยที่แผ่นเปลือกโลกแต่ละแผ่นมีขนาดและทิศทางการเคลื่อนตัวแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ที่แสดงตำแหน่งของสถานีรับวัดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกด้วยดาวเทียม GPS ที่กระจายอยู่ในทุกภูมิภาค

ประเทศไทยตั้งอยู่ในบริเวณที่เรียกว่า Sunda Block ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) ตั้งอยู่ระหว่างแผ่นเปลือกโลก อินเดีย-ออสเตรเลีย (India Australian Plate) แผ่นเปลือกโลกฟิลิปปินส์ (Philippines Plate) และแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรแปซิฟิก (Pacific Plate) โดยที่แผ่นเปลือกโลกที่อยู่รายรอบ มีทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ทำให้ในบริเวณ Sunda Block ซึ่งเป็นพื้นที่กั้นชนระหว่างแผ่นเปลือกโลกใหญ่ๆ เกิดการแปรสัณฐานและเกิดแผ่นดินไหว ตามแนวขอบของแผ่นเปลือกโลก ดังเช่นการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามัน และนิแอส ในปี พ.ศ.2547 (2004) และ 2548 (2005) และอีกหลายครั้งในบริเวณเกาะสุมาตรา บริเวณมหาสมุทรอินเดีย และประเทศพม่า เป็นต้น



ภาพที่ 2.7 แผ่นเปลือกโลก (USGS, 2011)



ภาพที่ 2.8 ทิศทางการเคลื่อนที่ของสถานีรังวัด (Nasa , 2011)

## 2.5 การรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทย

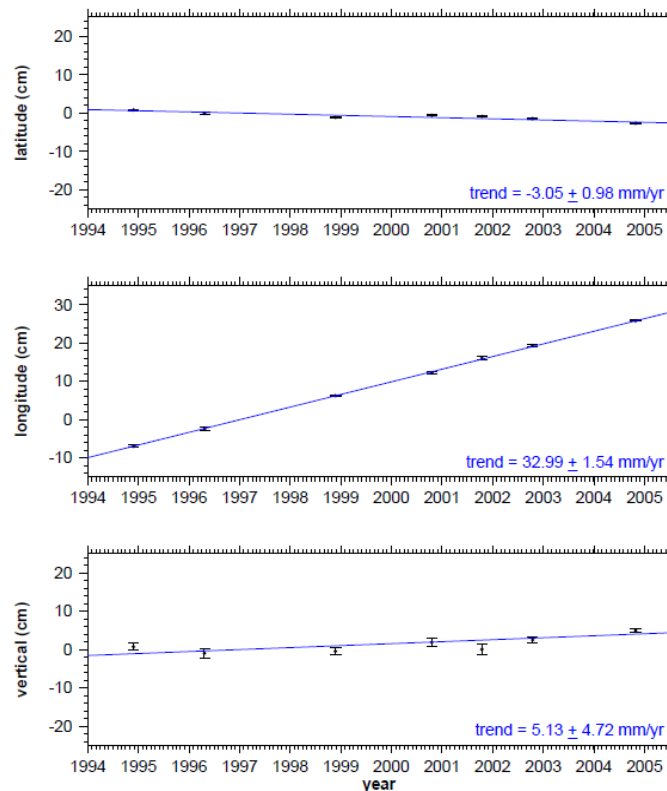
ประเทศไทยโดยหน่วยงานกรมแผนที่ทหาร ได้ดำเนินการโครงการรังวัดติดตามและตรวจสอบการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ภายใต้ความร่วมมือในโครงการ GEODYNAmics of South and South-East Asia (GEODYSSEA) และ THAI-Campaign (THAICA) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 – พ.ศ.2541 (1994-1998) (Simons and Ambrosius, 2001) ต่อเนื่องด้วยโครงการความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยเดลท์ฟ ประเทศเนเธอร์แลนด์ ระหว่างปี พ.ศ.2543 – พ.ศ.2548 (2000 – 2005) และโครงการ SEAMERGES (South East Asia : Mastering Environmental Research using GEodetic Space technique) ในปี พ.ศ.2547 - พ.ศ.2548 (2004 -2005) เพื่อตรวจวัดการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ทำให้มีข้อมูลการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวที่ยาวนานและต่อเนื่องในลักษณะของโครงการตามช่วงเวลา ๆ ละ 5 – 7 วัน ทั้งนี้ ข้อมูลการรังวัดดาวเทียม GPS จากโครงการ GEODYSSEA และ THAICA ทั้งหมด ได้ถูกนำมาประมวลผลใหม่ ด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II โดยความร่วมมือทางด้านยี่ห้อไดนามิกส์และยี่ห้อเดซีของกรมแผนที่ทหาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยเดลท์ฟ ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบตำแหน่งและอัตราเร็วการเคลื่อนตัวของหมุดหลักฐาน บริเวณแผ่นเปลือกโลกของประเทศไทย อ้างอิงบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000

ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว กรมแผนที่ทหารยังคงรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่อง โดยได้รังวัดบนหมุดหลักฐานในโครงข่ายอ้างอิง ในเดือนกุมภาพันธ์ กรกฎาคม และ ตุลาคม ปี พ.ศ.2548 (2005) ในเดือนเมษายน กรกฎาคม และพฤศจิกายน ปี พ.ศ.2549 (2006) ในเดือนพฤษภาคม และพฤศจิกายน ปี พ.ศ.2550 (2007) และได้เพิ่มการรังวัดบนหมุดหลักฐานในโครงข่ายชั้นที่ 1 อีกจำนวน 11 สถานี รวมเป็น 18 สถานี ในเดือน พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2551 (2008) ในเดือน ธันวาคม ปี พ.ศ.2552 (2009) และครั้งล่าสุดเมื่อเดือน พฤศจิกายน ปี พ.ศ.2553 (2010) ข้อมูลเหล่านี้ถูกประมวลผลโดยโปรแกรมประมวลผลทางวิทยาศาสตร์ GIPSY-OASIS II ค่าพิกัดผลลัพธ์สุดท้ายอ้างอิงบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000

จากการศึกษาและติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย พบว่า การเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบต่อโครงข่ายทางยี่ห้อเดซีของประเทศไทย ประกอบด้วย การเคลื่อนตัว 3 ลักษณะ คือ การเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหว การเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว และการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ตามที่กล่าวในรายละเอียดต่อไป

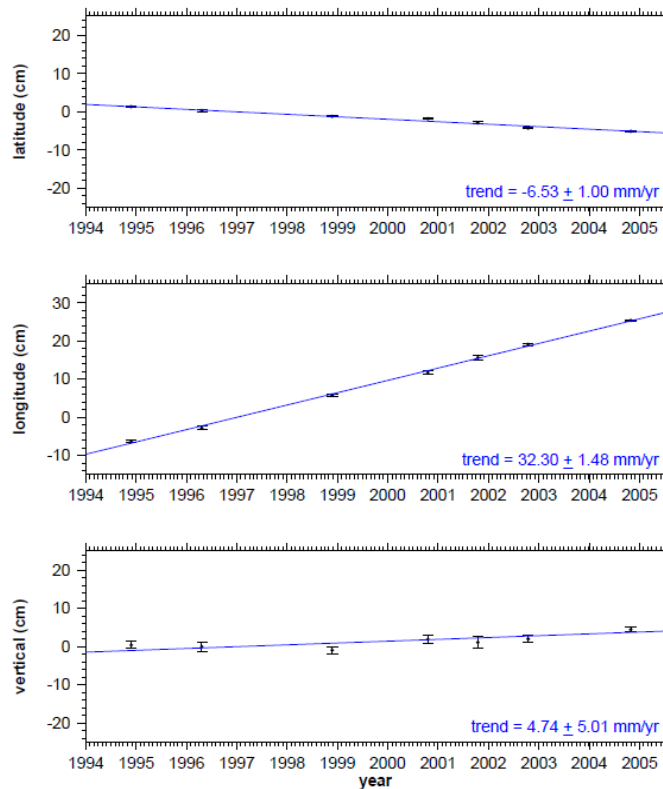
### 2.5.1 การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกประเทศไทย ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว

ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว ประเทศไทยได้มีการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวมาตั้งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 (1994) ผลจากการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัว พบว่ามีลักษณะการเคลื่อนตัวที่เป็นเส้นตรง มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ค่อนข้างคงที่ และเท่า ๆ กันในทุกพื้นที่ของประเทศไทย ตัวอย่างข้อมูลการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวของสถานี GPS3657 จังหวัดภูเก็ต และ GPS3427 จังหวัดชลบุรี เมื่อนำมาลงตำแหน่ง ในแนวแกน เหนือ-ใต้ , ตะวันออก-ตะวันตก, และแนวตั้ง แสดงในภาพที่ 2.9 และ 2.10



ภาพที่ 2.9 แสดงการเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหว หมู่ต GPS 3657 (PHUK) จ.ภูเก็ต

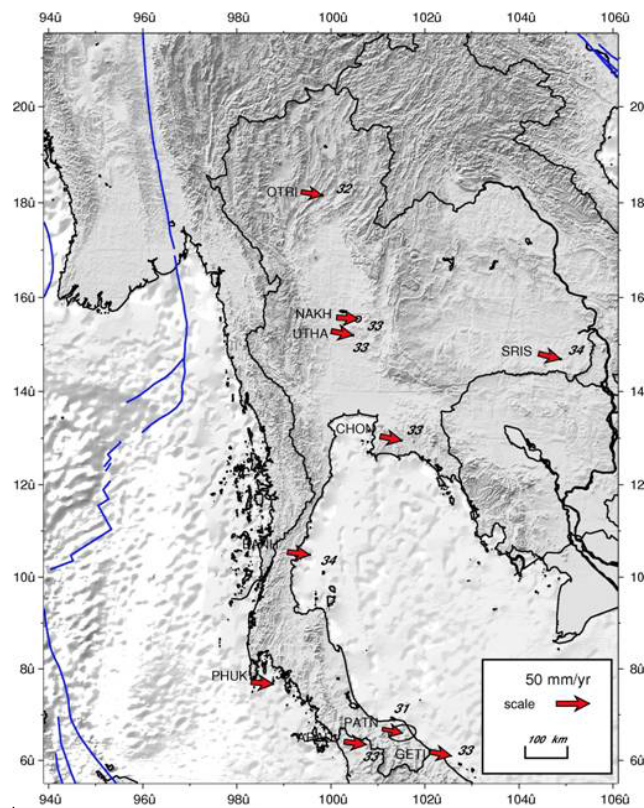
(Simon et al, 2006)



ภาพที่ 2.10 แสดงการเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหว หมุด GPS 3427(CHON) จ.ชลบุรี

(Simon et al, 2006)

จากภาพที่ 2.9 และ 2.10 แสดงการเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหวของสถานี GPS3657 จ.ภูเก็ต และ GPS3427 จ.ชลบุรี ตามลำดับ ด้วยข้อมูลการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหวเป็นระยะเวลาถึง 10 ปี แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยในช่วงก่อนการเกิดแผ่นดินไหว มีลักษณะการเคลื่อนตัวที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง มีขนาดการเคลื่อนตัวอย่างคงที่ ค่าเฉลี่ยประมาณ 3 – 4 ซม. ต่อปี ไปทางทิศตะวันออก (Simon et al., 2006) แสดงในภาพที่ 2.11

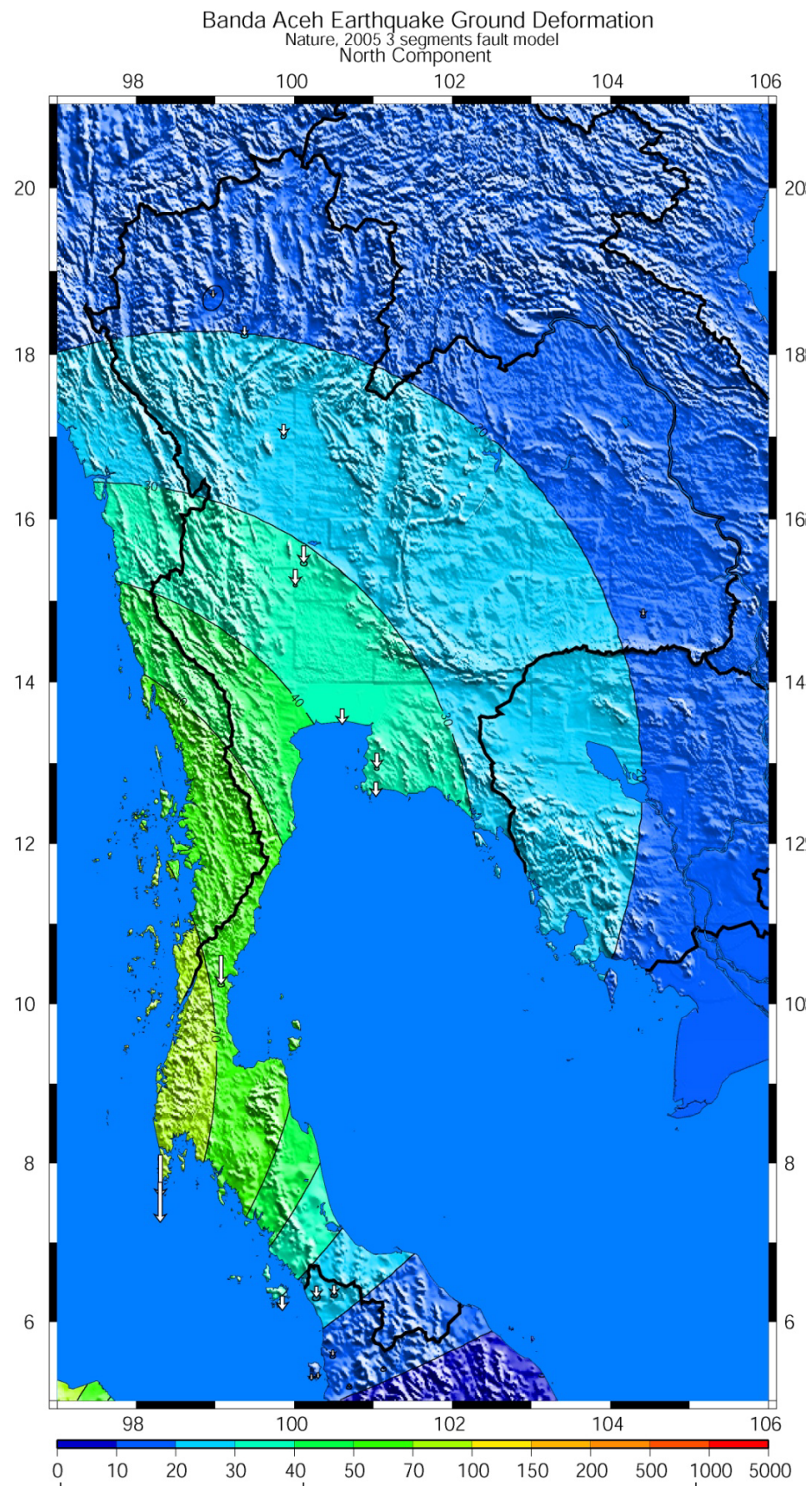


ภาพที่ 2.11 การเคลื่อนตัวของหมุด GPS ในโครงข่าย ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว (Simons et al. , 2006)

### 2.5.2 การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกประเทศไทย ขณะเกิดแผ่นดินไหว

Vigny et al.(2005) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ หาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรพื้นฐาน ของการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ เมื่อปี พ.ศ.2547 (2004) ด้วยแบบจำลอง Elastic co-seismic modeling ด้วยสมการ Okada (Okada, 1985) โดยใช้ข้อมูลการรังวัดดาวเทียม GPS ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 49 สถานี (อินโดนีเซีย 6 สถานี , มาเลเซีย 38 สถานี , ไทย 5 สถานี) และจากสถานีรังวัดของ IGS ภายใต้โครงการความร่วมมือ SEAMERGES ผลการศึกษาทำให้สามารถคำนวณค่าการเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งใดๆ มีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ระดับมิลลิเมตร แผนผังแสดงค่าการเคลื่อนตัวของขณะเกิดแผ่นดินไหวทางราบในพื้นที่ประเทศไทย ทิศทาง N-S แสดงในภาพที่ 2.12 และทิศทาง E-W แสดงในภาพที่ 2.13

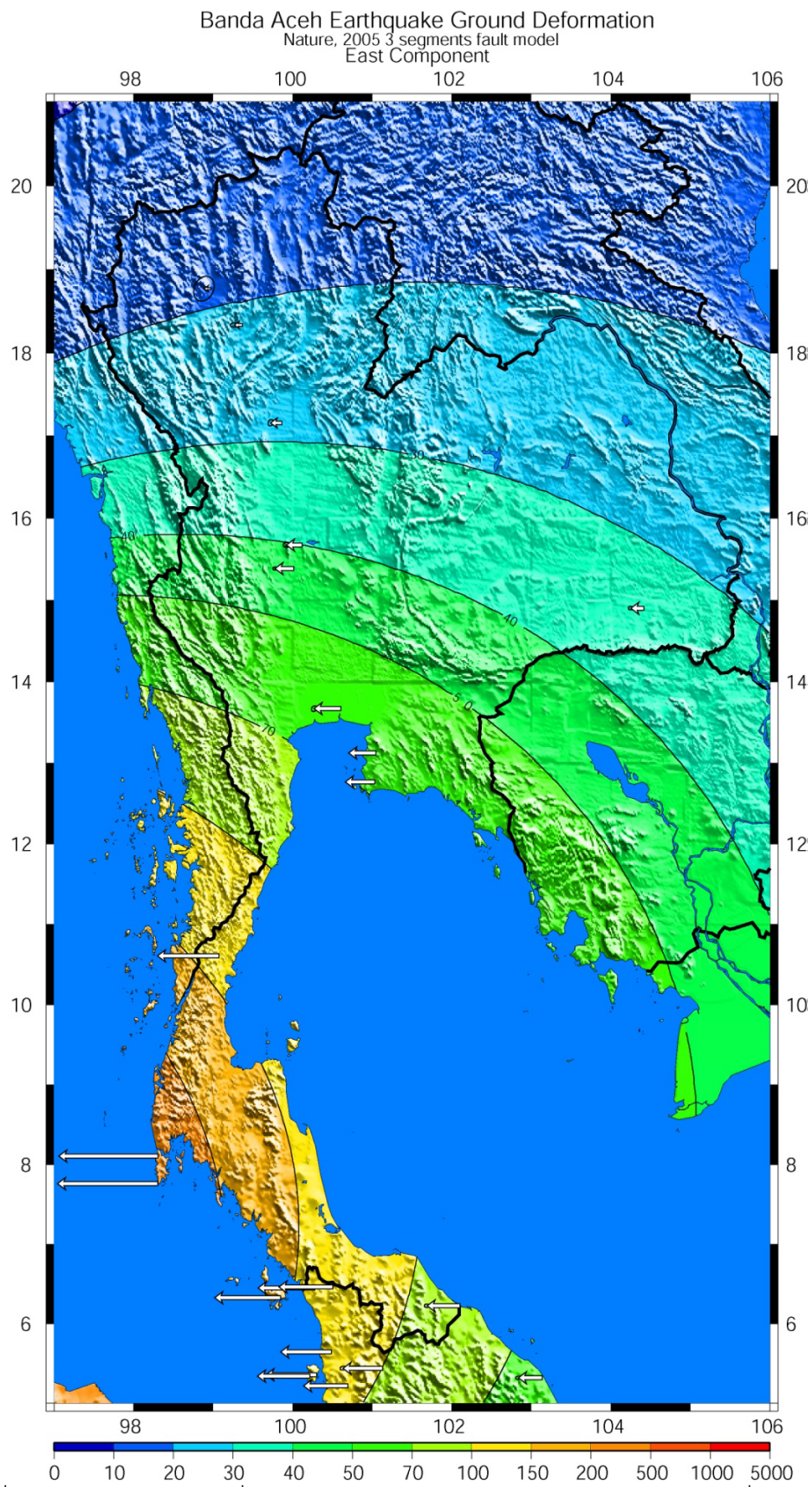




ภาพที่ 2.12 แผนที่แสดงการเคลื่อนตัวทางเหนือ-ใต้จากการเกิดแผ่นดินไหวเมื่อ 26 ธ.ค.47

(Vigny et al, 2005)



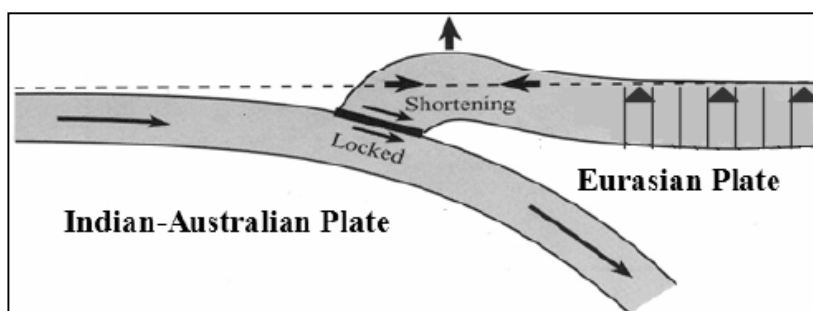


ภาพที่ 2.13 แผนที่แสดงการเคลื่อนตัวทาง ตะวันออก - ตะวันตก จากการเกิดแผ่นดินไหวเมื่อ 26 ธ.ค.47

(Vigny et al, 2005)

### 2.5.3 การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกประเทศไทย ภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหว

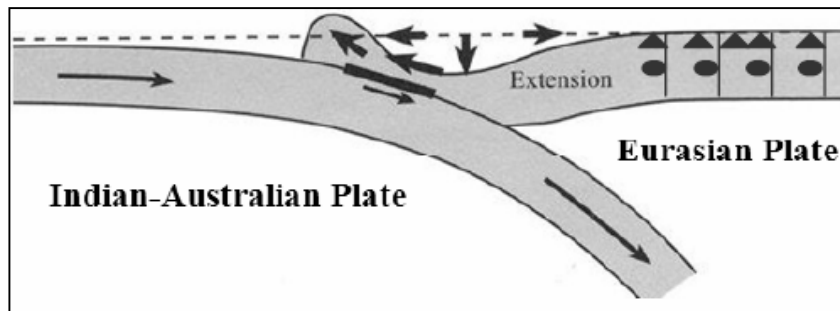
พัฒนาการของการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามัน เกิดจากแผ่นเปลือกโลกอินเดีย-ออสเตรเลีย (ซึ่งนอนอยู่ด้านล่างของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย หรือบริเวณที่เรียกว่า Sunda Block ) เคลื่อนเข้าหาแผ่นเปลือกโลก Sunda Block ทำให้บริเวณที่ล็อกติดกันบริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลก Sunda Block เกิดการสะสมพลังงาน และค่อยๆ เปลี่ยนรูปร่างช้าๆอย่างต่อเนื่อง กระบวนการนี้อาจใช้เวลานานนับร้อย นับพันปี ดูภาพที่ 2-14



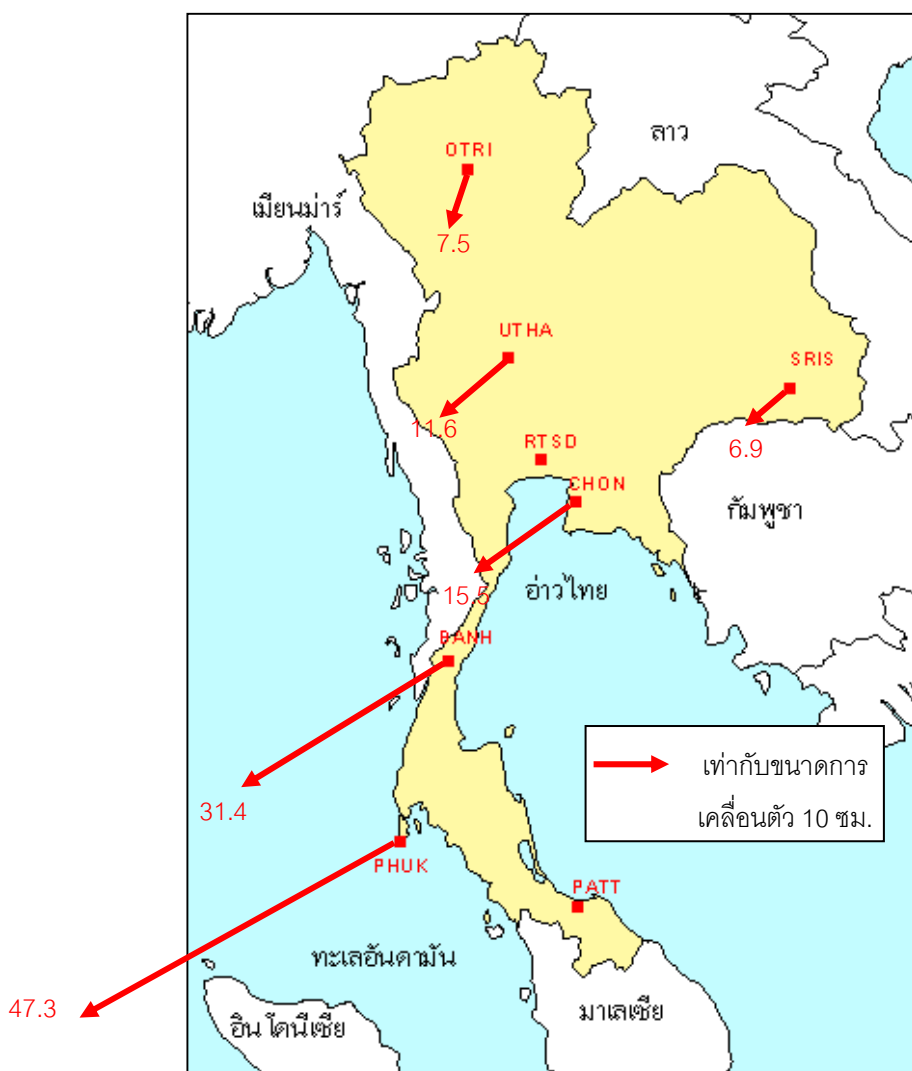
ภาพที่ 2.14 การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก อินเดีย-ออสเตรเลียเข้าหาแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ทำให้เกิดการสะสมพลังงานและเกิดการเปลี่ยนรูปร่างช้าๆอย่างต่อเนื่อง (Duerrast et al, 2007)

บริเวณขอบแผ่นเปลือกโลก Sundaland Block ที่ถูกดันจากแผ่นเปลือก อินเดีย-ออสเตรเลีย ทำให้เกิดการสะสมพลังงานจนถึงจุดที่ทำให้ส่วนที่ล็อกติดกันของทั้งสองแผ่นเปลือกโลกหลุดจากกัน เกิดการคลายพลังงาน และการเปลี่ยนรูปร่างอย่างทันทีทันใด หรือที่เรียกว่าแผ่นดินไหว

การคลายพลังงานและการเปลี่ยนรูปร่างที่เกิดขึ้นในขณะเกิดแผ่นดินไหว ไม่ได้ทำให้พลังงานที่ถูกสะสมจากการบีบอัดหมดไปในทันที แต่ยังคงมีการคลายพลังงานอย่างต่อเนื่อง และแสดงออกมาในรูปของการเกิด after shock และการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหว ที่อาจส่งผลกระทบนานนับเดือน นับปี หรืออาจเป็นเวลานานนับสิบล้านปี ดูภาพที่ 2-15 ดังเช่นผลของการเคลื่อนตัวภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส ที่ยังส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนรูปร่างของโครงข่ายทางยึดเดซีของประเทศไทยจนถึงปัจจุบัน (การรังวัดเมื่อ ธันวาคม พ.ศ. 2553 (2010)) นับเป็นระยะเวลาจากการเกิดแผ่นดินไหวเกือบ 6 ปี ขนาดของการเคลื่อนตัวภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส แสดงในภาพที่ 2-16

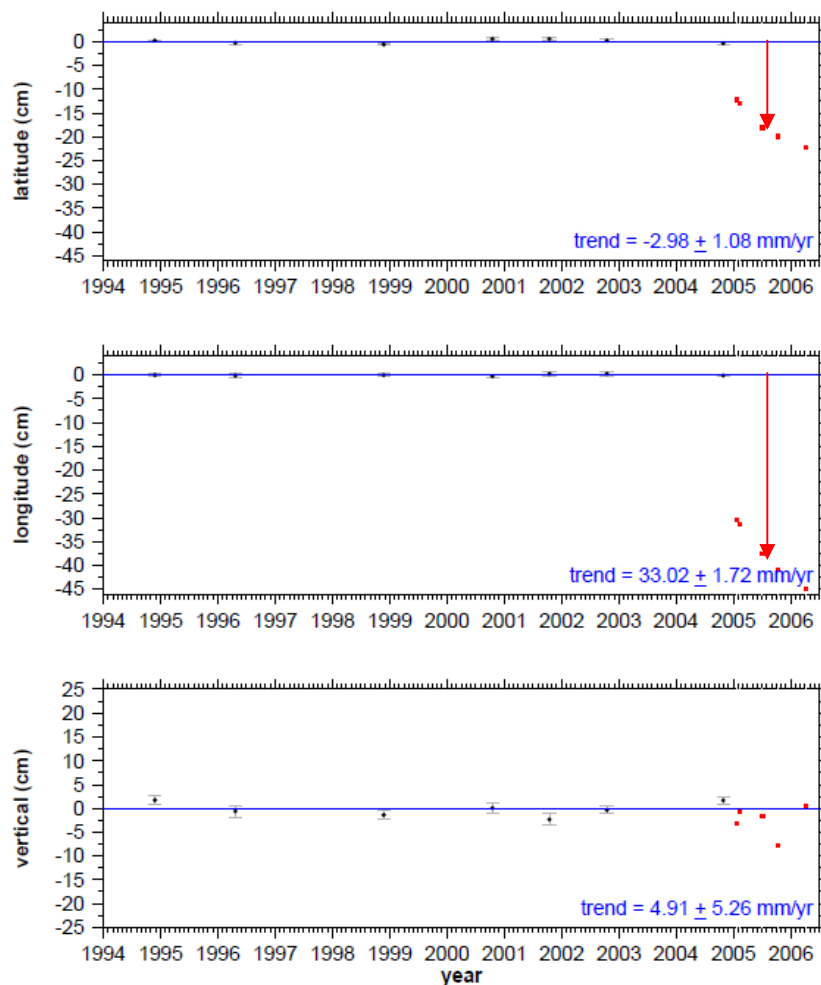


ภาพที่ 2.15 การเปลี่ยนรูปร่างภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว สุมาตราอันดามัน ทำให้แผ่นเปลือกโลกบริเวณขอบที่  
ถูกบีบอัด เกิดการคลายตัว (Duerrast et al, 2007)



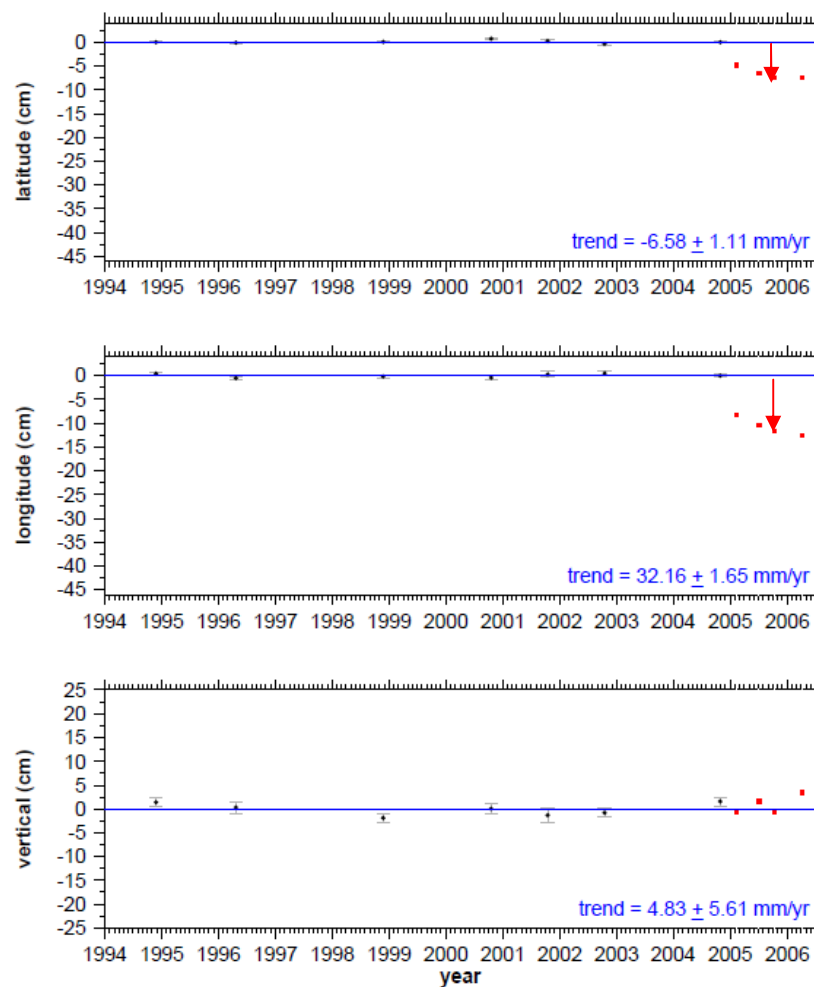
ภาพที่ 2.16 ค่าการเคลื่อนตัวทางราบเฉพาะที่เกิดขึ้นภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ของหมุดหลักฐานใน  
โครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทย (พฤศจิกายน พ.ศ.2553 (2010))

ก่อนหน้าการเกิดแผ่นดินไหว การเคลื่อนของหมุดหลักฐานมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีอัตราเร็วค่อนข้างคงที่ ขณะเกิดแผ่นดินไหวหมุดหลักฐานมีการเคลื่อนตัวอย่างทันทีที่ต่างไปจากการเคลื่อนตัวปกติ และภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวหมุดหลักฐานยังคงมีการเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ช้าลง ค่าความต่างที่เกิดขึ้นนี้ เป็นค่าการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว ดังเช่นตัวอย่างจากข้อมูลการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวของสถานี PHUK จังหวัดภูเก็ตและ สถานีCHON จังหวัดชลบุรี แสดงในภาพที่ 2-17 และ 2-18 ตามลำดับ



รูปที่ 2.17 การเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว หมุด GPS 3657(PHUK) จ.ภูเก็ต

(Simon et al., 2009)



รูปที่ 2.18 การเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว หมู่ด GPS 3427(CHON) จ.ชลบุรี (Simon et al., 2009)

## 2.6 รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย

รอยเลื่อน (faults) หรือรอยแตกในเปลือกโลก เป็นแหล่งกำเนิดของการเกิดแผ่นดินไหว ประเทศไทยมีรอยเลื่อนกระจายตั้งแต่เหนือจรดใต้ นับร้อยรอยเลื่อน มีความยาวตั้งแต่ไม่ถึงสิบกิโลเมตร ไปจนนับร้อยกิโลเมตร จากข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณีระบุว่าประเทศไทยมีรอยเลื่อนมีพลังจำนวน 13 รอยเลื่อน ได้แก่ รอยเลื่อนแม่จัน แม่ฮ่องสอน พะเยา แม่ทา ปัวเถิน อุดรดิตถ์ เมย ท่าแขก ศรีสวัสดิ์ เจดีย์สามองค์ ระนอง และคลองมะรุ่ย แสดงในภาพที่ 2.19

รอยเลื่อนมีพลัง (active fault) หมายถึง รอยเลื่อนที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวเกิดขึ้นอีกในอนาคต รอยเลื่อนที่จัดว่าเป็นรอยเลื่อนมีพลัง ต้องมีการเคลื่อนที่อย่างน้อยหนึ่งครั้งภายในระยะเวลา 11,000 ปี (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

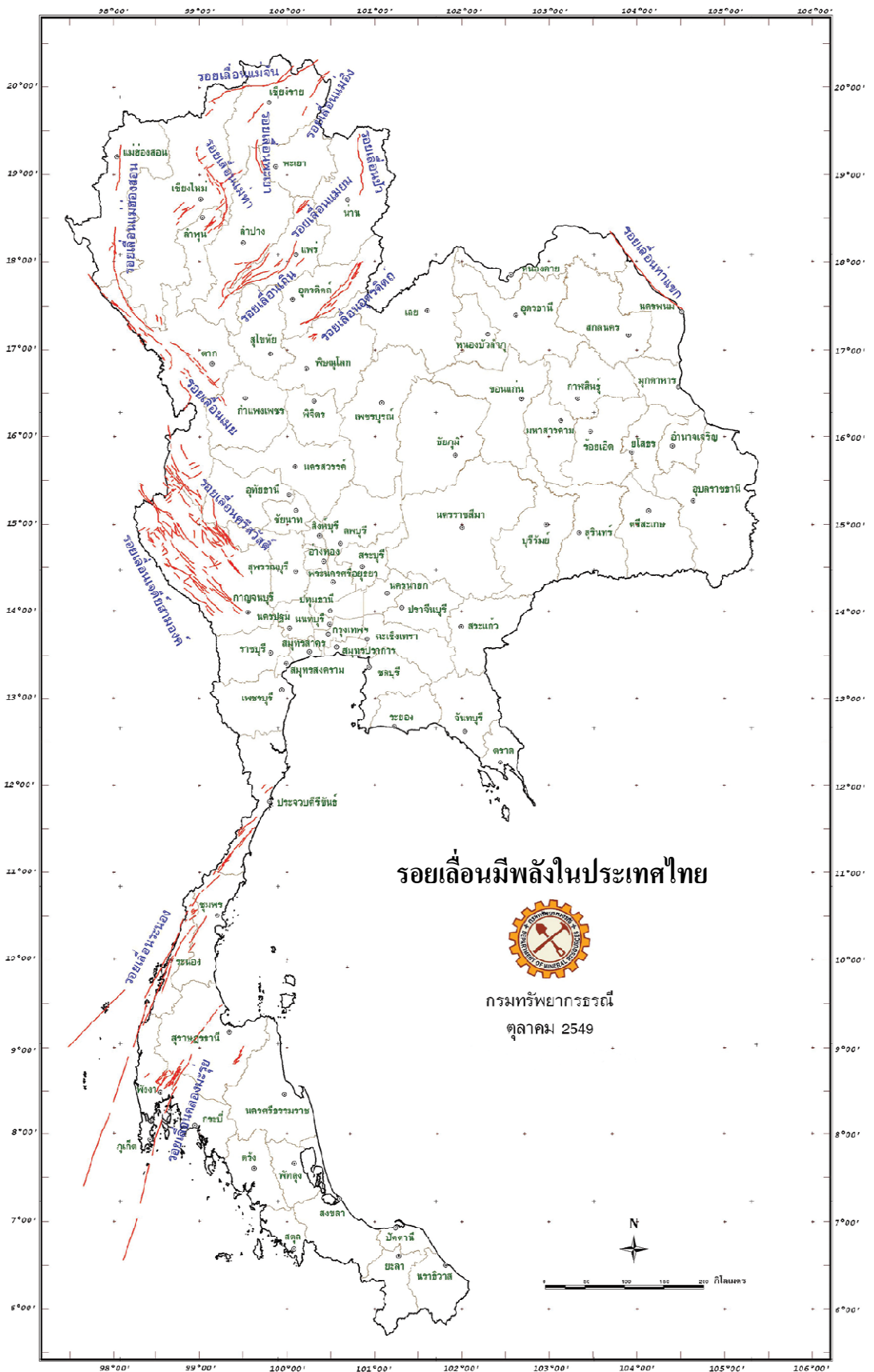
เนื่องจากการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตรา-อันดามัน เมื่อปี พ.ศ.2547 (2004) ได้ก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวอย่างทันทีทันใดของแผ่นเปลือกโลก และส่งผลกระทบต่อทวีปภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย ที่มีการเคลื่อนตัวอย่างทันทีในขณะที่เกิดแผ่นดินไหวมีขนาดถึง 27 เซนติเมตร และผลจากการเคลื่อนตัวนี้อาจส่งผลกระทบต่อรอยเลื่อนที่อยู่ในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย อันประกอบไปด้วยกลุ่มรอยเลื่อนที่สำคัญคือกลุ่มรอยเลื่อนระนอง และกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

กลุ่มรอยเลื่อนระนองและคลองมะรุ่ย มีความยาว 300 และ 180 กิโลเมตร ตามลำดับ และประกอบด้วยรอยเลื่อนย่อยๆของกลุ่มรอยเลื่อนระนองจำนวน 16 รอยเลื่อน และกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยจำนวน 10 รอยเลื่อน วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ และเคยก่อให้เกิดแผ่นดินไหวในอดีตตั้งแต่ 6.3 - 7.2 ริกเตอร์ ในกลุ่มรอยเลื่อนระนองมีอัตราการเคลื่อนตัวตั้งแต่ 0.11 - 0.7 มิลลิเมตร/ปี และกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยมีอัตราการเคลื่อนตัว 0.17 - 0.5 มิลลิเมตร/ปี และมีคาบการอุบัติซ้ำประมาณ 2000 และ 1000 ปี ตามลำดับ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

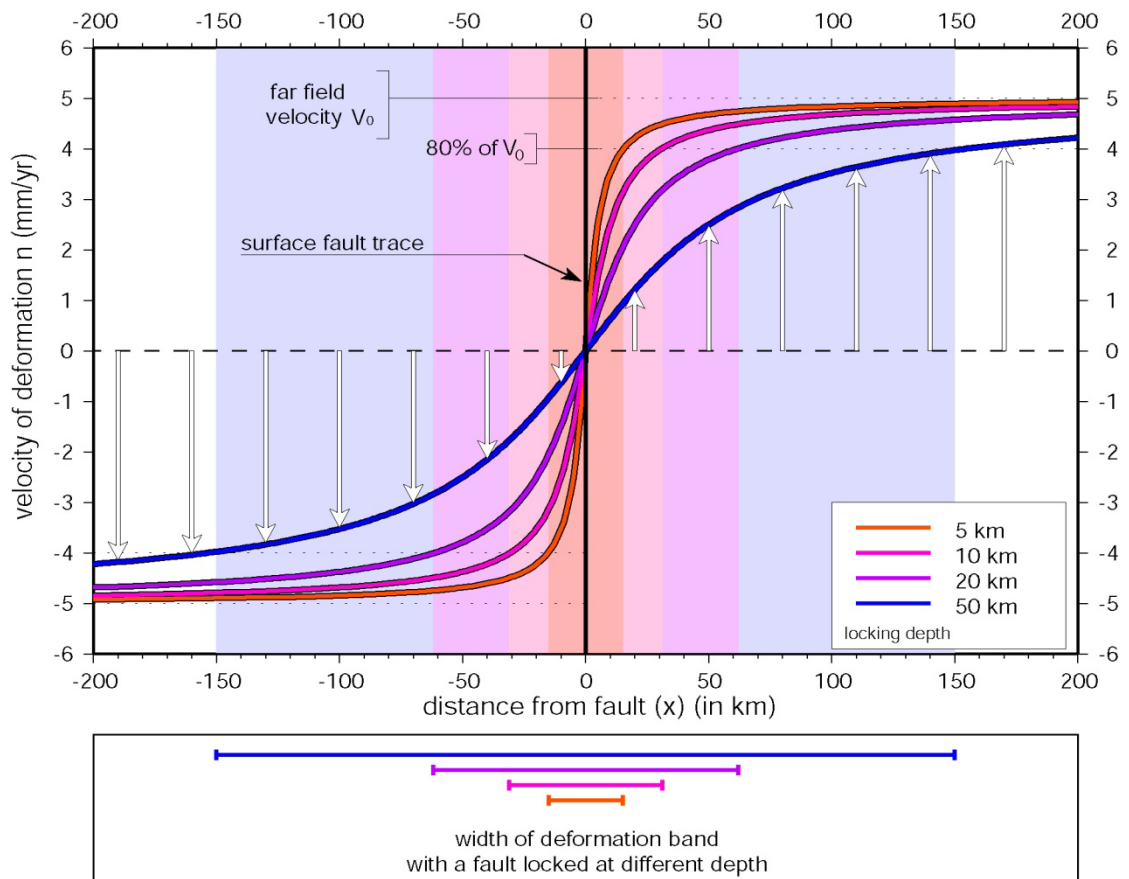
ก่อนเหตุการณ์แผ่นดินไหว เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ.2547 (2004) การลึกลับติดกันของแผ่นเปลือกโลกบริเวณแนวมุดตัวดันให้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชียเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ แต่ในช่วงเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว แผ่นเปลือกโลกไม่มีการลึกลับติดกัน จึงทำให้แผ่นเปลือกโลกยูเรเชียเคลื่อนไปทางทิศตะวันตกภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหว และอาจเป็นสาเหตุให้รอยเลื่อนในภาคใต้กลับมามีพลังอีกครั้ง เนื่องจากแผ่นเปลือกโลกเคลื่อนไปทางทิศตะวันตกด้วยอัตราที่แตกต่างกัน เปลือกโลกในบริเวณนี้จึงได้รับแรงดึง จนเป็นเหตุให้เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวและหลุมยุบในภาคใต้ (โสภณา แดงเหมือน, 2550)

การที่จะพิสูจน์รอยเลื่อนว่าเป็นรอยเลื่อนที่มีพลังหรือไม่ สามารถกระทำได้ด้วยการรังวัดหาค่าการเคลื่อนตัวของพื้นผิวเปลือกโลกเหนือแนวรอยเลื่อน จำเป็นต้อง มีการออกแบบการติดตั้งเครื่องมือสำรวจ ให้มีแนวการวางเครื่องมือในทิศทางตั้งฉากกับแนวรอยเลื่อน และต้องมีการรังวัดติดตามในห้วงระยะเวลาที่เหมาะสม (Gerasimentko et al, 2000) จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาตำแหน่งของแนวรอยเลื่อน หาอัตราเร็วในการเคลื่อนตัว และหาตำแหน่งที่ลึกลับติดกันของแผ่นเปลือกโลกตามตัวอย่างของแบบจำลอง Arctan function (Okada., 1985) แสดงในภาพที่ 2.20 และตัวอย่างการรังวัดศึกษาแนวรอยเลื่อนบริเวณ Palu ,Sulawesi Indonesia (Vigny, 2009a) แสดงในภาพ 2.21

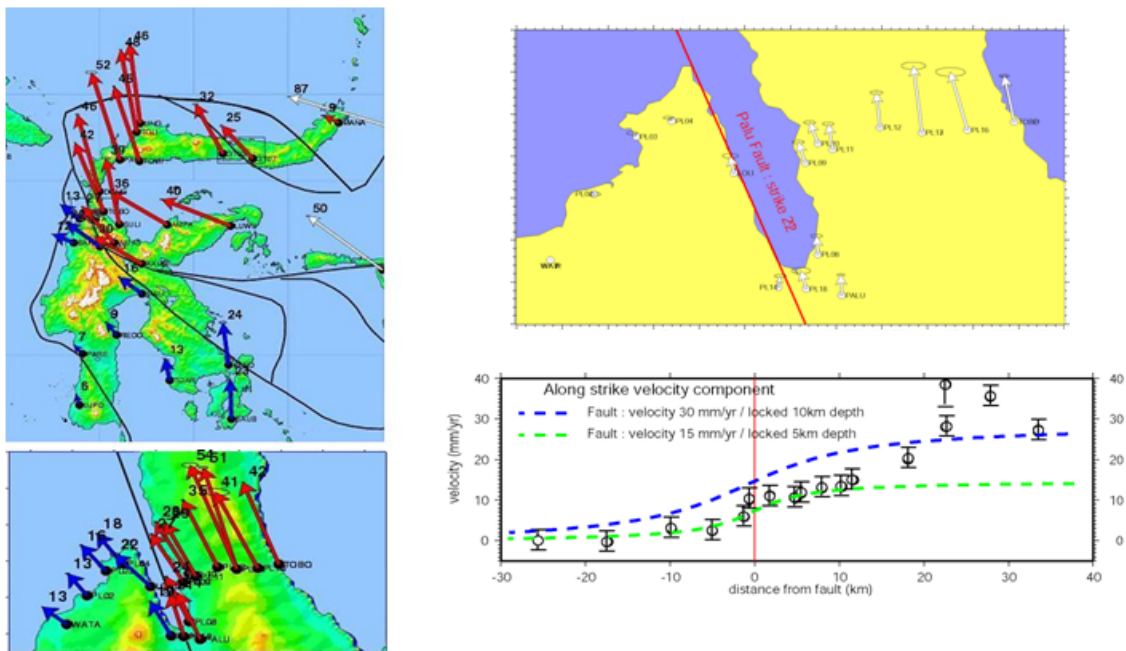




ภาพที่ 2.19 รอยเลื่อนมีพลัง ในประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)



ภาพที่ 2.20 แบบจำลองสมการ Arctan Profile (Okada., 1985)



ภาพที่ 2.21 การรังวัดแนวรอยเลื่อน Palu , Sulawesi Indonesia (Vigny, 2009a)



การศึกษาพฤติกรรมของรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย โดยวิธีการตั้งเครื่องมือรังวัดในแนวภาคตัดขวางกับแนวรอยเลื่อน ได้เริ่มมีการสำรวจในปี พ.ศ.2553 (2010) ในบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนทางภาคตะวันตกของประเทศไทย โดยกรมทรัพยากรธรณี และยังคงใช้เวลาในการรังวัดอีกอย่างน้อย 2 – 3 ปี หรือมากกว่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากรอยเลื่อนมีการเคลื่อนตัวในอัตราที่น้อยมาก การพิสูจน์ทราบก็จำเป็นต้องใช้เวลานานหลายปี จนกว่าขนาดของการเคลื่อนตัวที่ตรวจวัดได้จะมีนัยสำคัญ

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้กำหนดสมมติฐานเกี่ยวกับประเด็นรอยเลื่อนในประเทศไทยว่า การเคลื่อนตัวที่เป็นเหตุจากแนวรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย ไม่มีนัยสำคัญต่อการประมาณค่าการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวในงานวิจัยนี้ โดยมีเหตุผลสนับสนุนสมมติฐานดังนี้

1. จากการติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 – 2547 (1994 – 2004) ก่อนหน้าการเกิดแผ่นดินไหว พบว่าการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในบริเวณประเทศไทยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีขนาดการเคลื่อนตัวเท่าๆ กัน (Simons et al., 2006) และไม่พบข้อมูลที่บ่งชี้ว่า รอยเลื่อนมีนัยสำคัญต่อการเคลื่อนตัวของโครงข่าย

2. ภายหลังจากการเกิดเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามัน ไม่มีการเกิดแผ่นดินไหวหรือ Aftershock ที่มีขนาดใหญ่ ในบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้จุดศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหวมากกว่ากลุ่มรอยเลื่อนอื่นๆ

3. จากข้อมูลการศึกษาธรณีแปรสัณฐาน ของกรมทรัพยากรธรณี.(2550) สรุปได้ว่าอัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนระนองและกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย มีอัตราการเคลื่อนน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร/ปี เป็นขนาดที่เล็กมากกว่าค่าความไม่แน่นอนของการรังวัดและประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่ให้ความละเอียดสูง ที่ให้ผลลัพธ์มีความละเอียดถูกต้องในทางราบ 3 – 5 มิลลิเมตร และทางตั้ง 3 – 15 มิลลิเมตร (Zumberge et al., 1997) ค่าอัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อน จึงไม่มีนัยสำคัญต่อผลที่ได้จากค่าการรังวัดที่นำไปใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้

## 2.7 สมการการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย

Simon et al.(2006) ได้ศึกษาผลกระทบของการเกิดแผ่นดินไหวกับการเปลี่ยนรูปร่างของประเทศไทย พบว่าประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิภาคที่มีความเสถียรและเป็นส่วนที่แข็งของ Sunda block และจากข้อมูลการติดตามการเคลื่อนตัวในประเทศไทย ตั้งแต่ปี 1994 – 2004 ในระบบพิกัด ITRF2000 มีการเคลื่อนตัวด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอ จึงสามารถคำนวณหาค่าพิกัดของหมุดหลักฐาน ณ ขณะเวลาใดๆ ก่อนและหลังการเกิดแผ่นดินไหว ได้ จากสมการ ดังนี้

ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว :

$$\text{pos}(t) = \text{pos}_{\text{ref}} + (\text{Vel} * \Delta t) \quad (2-1)$$

ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

$$\text{pos}(t) = \text{pos}(t_{\text{ref}}) + (\text{Vel} * \Delta t) + \text{disp}_{\text{co, post}} \quad (2-2)$$

เมื่อ

$\text{pos}(t)$	=	ค่าพิกัดของสถานี ณ เวลาที่ต้องการคำนวณ
$\text{pos}(t_{\text{ref}})$	=	ค่าพิกัดของสถานี ณ เวลาอ้างอิง
$\text{vel}$	=	อัตราเร็วในการเคลื่อนตัวของตำแหน่งที่พิจารณา
$\Delta t$	=	ห้วงเวลานับจากเวลาอ้างอิงถึงเวลาที่ต้องการคำนวณ
$\text{disp}_{\text{co, post}}$	=	ค่าการเคลื่อนตัวของขณะเกิดแผ่นดินไหวและภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว นับจากเวลาอ้างอิง ถึงเวลาที่ต้องการคำนวณ

การคำนวณหาค่าเฉพาะการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2-2 โดยการย้ายข้างพจน์ของการเคลื่อนตัว  $\text{disp}_{\text{co, post}}$  มาเป็นส่วนที่ต้องการทราบค่า และพจน์อื่นๆ เป็นส่วนของตัวแปรที่ทราบค่า ดังสมการ ที่ 2-3

$$\text{disp}_{\text{co, post}} = \text{pos}(t) - \text{pos}(t_{\text{ref}}) - (\text{Vel} * \Delta t) \quad (2-3)$$

การคำนวณหาค่าเฉพาะค่าการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว สามารถทำได้โดยนำค่าการเคลื่อนตัวของขณะเกิดแผ่นดินไหวมาลบออกจากผลลัพธ์ของสมการที่ 2-3 จะได้ค่าการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ตามสมการที่ 2-4

$$\text{disp}_{\text{post}} = \text{disp}_{\text{co, post}} - \text{disp}_{\text{co}} \quad (2-4)$$

เมื่อ

$\text{disp}_{\text{co, post}}$	=	ค่าการเคลื่อนตัวรวมที่เป็นผลจากการเกิดแผ่นดินไหว
$\text{disp}_{\text{co}}$	=	ค่าการเคลื่อนตัวของขณะการเกิดแผ่นดินไหว
$\text{disp}_{\text{post}}$	=	ค่าการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

จากสมการที่ 2-1 ถึง 2-4 แสดงการคำนวณหาค่าของการเคลื่อนตัวในส่วนต่างๆ ได้ โดยความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกก่อนการเกิดแผ่นดินไหว การเคลื่อนตัวของขณะเกิดแผ่นดินไหว และการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

## บทที่ 3

### กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF

(International Terrestrial Reference Frame)

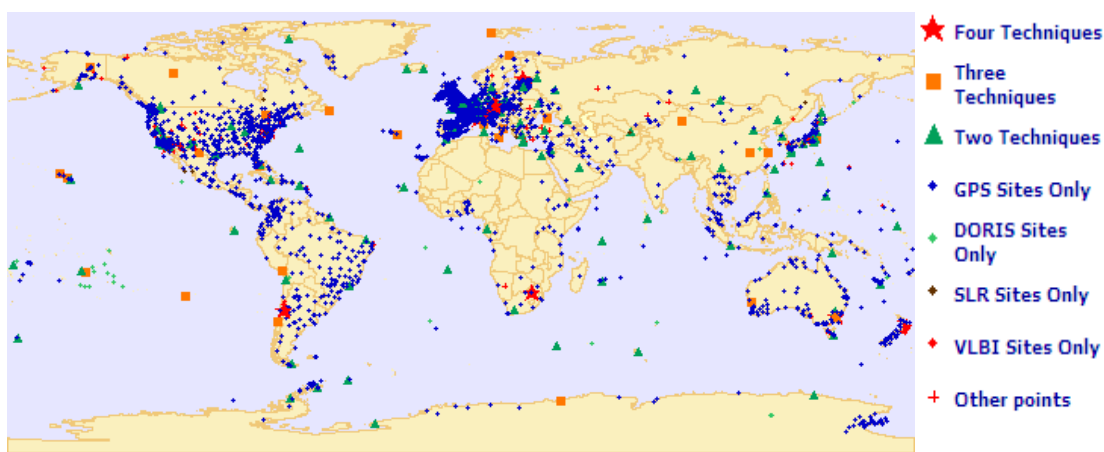
#### 3.1 กล่าวทั่วไป

โลกประกอบด้วยโลกที่เป็นส่วนแข็งที่เป็นส่วนของเปลือกโลกลอยอยู่บนของเหลวที่อยู่ภายในโลก มีการเคลื่อนไหวและเปลี่ยนแปลงรูปร่างอยู่ตลอดเวลา ในการรังวัดศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่างๆบนผิวโลก จึงต้องมีจุดอ้างอิง เพื่อใช้ในการวัดขนาดการเคลื่อนที่ การเปลี่ยนแปลง การทรุดตัวของสิ่งต่างๆบนผิวโลก ระบบอ้างอิงที่กล่าวถึงนี้เรียกว่า The International Terrestrial Reference System (ITRS) โดยมี realization ที่เป็นโครงข่าย และสถานีรังวัดบนโลก เรียกว่า กรอบพิกัดอ้างอิงสากล (The International Terrestrial Reference Frame : ITRF) จุดอ้างอิงบนผิวโลกเหล่านี้ ยังสามารถใช้เป็นตัวแทนของตำแหน่งบนผิวโลก ในการวัดขนาดของการเปลี่ยนแปลงการหมุนของโลก โดยใช้ระบบอ้างอิงเพื่อการตรวจวัดจากภายนอกโลกได้ ระบบอ้างอิงที่ใช้ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงการหมุนของโลก จะต้องไม่แปรเปลี่ยนตามการเปลี่ยนแปลงของโลก ระบบอ้างอิงนี้คือ ระบบพิกัดท้องฟ้า (The International Celestial Reference System : ICRS) มี realization เป็นกรอบพิกัดอ้างอิงท้องฟ้า ที่มีจุดอ้างอิงคือ ตำแหน่งของดาวฤกษ์บนท้องฟ้า เรียกกรอบพิกัดอ้างอิงท้องฟ้านี้ว่า The International Celestial Reference Frame (ICRF) (IGN, 2011)

หน่วยงาน The International Earth Rotation and Reference System service (IERS) ก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ.2531 (1988) เป็นผู้ดูแลและบำรุงรักษาระบบ ICRS , ITRS และกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ICRF, ITRF กรอบพิกัดอ้างอิงทั้งสองมีความสัมพันธ์กันโดยค่าตัวแปรการหมุนของโลก (The Earth Orientation Parameters : EOPs) (IGN, 2011)

กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF ที่เป็น realization ของระบบพิกัดอ้างอิง ITRS มีการปรับปรุงและประกาศใช้ถึงจำนวน 12 ครั้ง นับจากการเริ่มประกาศใช้ครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ.2531 (1988) ปัจจุบันได้ประกาศใช้กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2008 การประกาศใช้กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF แต่ละครั้งแทนกรอบพิกัดอ้างอิงก่อนหน้า เนื่องจากจำนวนข้อมูลการรังวัดที่ยาวนาน และมีจำนวนมากขึ้น ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ข้อมูลเหล่านี้มาประมวลผลให้ได้ค่าความละเอียดถูกต้องของกรอบพิกัดอ้างอิงที่สูงขึ้น ในปัจจุบันนี้ที่ใช้เทคนิคการรังวัดทางยี่ห้อเดซี 4 ประเภทร่วมกัน เพื่อการประมวลผลคำนวณค่าของกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF ประกอบด้วย เทคนิค

(Global Positioning System (GPS) , Very Long Baseline Interferometry (VLBI) , Satellite Laser Ranging (SLR) และ Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) และมีสถานีรังวัดครอบคลุมทั่วโลกกว่า 4000 สถานี (IGN, 2011) ตำแหน่งที่ตั้งโดยสังเขป แสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ตำแหน่งสถานีการรังวัดทางอวกาศของ IERS (IGN, 2011)

### 3.2 โครงสร้างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาระบบอ้างอิงของโลก

ระบบอ้างอิง ICRS และ ITRS เป็นระบบที่ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง และมีความสำคัญ เพราะผลผลิตที่เป็นผลจากระบบทั้งสองนี้ ได้ถูกนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การจัดทำแผนที่ การรังวัดสำรวจ การตรวจสอบการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก การติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในมหาสมุทร การละลายของธารน้ำแข็งที่ขั้วโลก เป็นต้น เมื่อระบบอ้างอิงนี้ถูกใช้โดยนานาชาติ การดูแลรักษา ระบบ จึงจำเป็นต้องมีสหภาพ องค์กร และหน่วยงานต่างๆ ร่วมมือกันในการติดตาม พัฒนา ปรับปรุงคุณภาพ และตรวจสอบ อย่างเป็นระบบ เพื่อให้เข้าใจในโครงสร้างเหล่านี้ ทางผู้วิจัยจึงได้นำมาอธิบายโดยสังเขป ในหัวข้อที่ 2 นี้ ดังมีรายละเอียดต่อไป

3.2.1 The International Earth Rotation and Reference System service (IERS) เดิมใช้ชื่อหน่วยงานว่า The International Earth Rotation Service ก่อตั้งเมื่อ 1 มกราคม พ.ศ.2530 (1987) โดยหน่วยงาน The International Astronomical Union (IAU) และ The International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) และได้เปลี่ยนมาใช้เป็นชื่อ the International Earth Rotation and Reference System service เมื่อปี พ.ศ.2546 (2003) มีหน้าที่ให้บริการสมาชิกด้าน ดาราศาสตร์ ยีออเดซี และยีออฟิสิกส์ มีโครงสร้างการบริหารจัดการ และมีความร่วมมือกับหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง ตามแผนผังแสดงโครงสร้างระบบงานของ IERS ตามภาพที่ 3.2 และมีพันธกิจที่สำคัญในการให้บริการข้อมูลต่างๆ ดังนี้

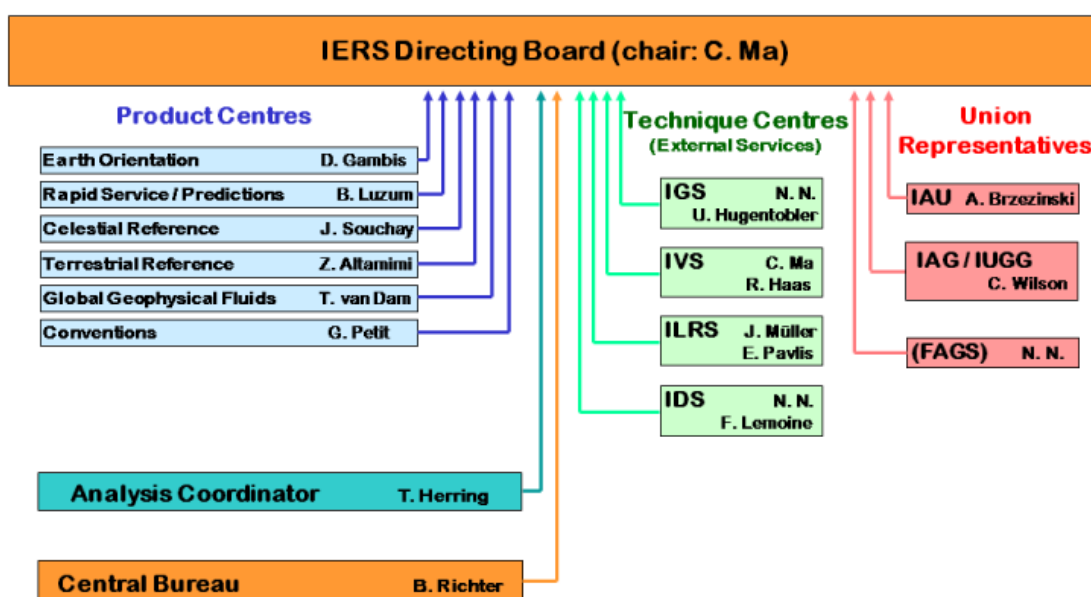
3.2.1.1 The International Celestial Reference System (ICRS) และ realization ของระบบคือ the International Celestial Reference Frame (ICRF)

3.2.1.2 The International Terrestrial Reference System (ITRS) และ realization ของระบบคือ the International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

3.2.1.3 ค่าตัวแปรการหมุนของโลก (Earth orientation parameters) ในการศึกษาด้านต่างๆ และค่าการแปลงระหว่าง ICRF และ ITRF.

3.2.1.4 ข้อมูลทางยีออฟิสิกส์ ในการอธิบายเรื่องของ เวลา/อวกาศ ที่เกี่ยวข้องกับ ICRF, ITRF หรือ ตัวแปรการหมุนของโลก รวมทั้งแบบจำลองที่เกี่ยวข้อง

3.2.1.5 มาตรฐาน ค่าตัวแปรคงที่ และแบบจำลอง ที่เป็นสากล



ภาพที่ 3.2 แผนผังโครงสร้างระบบงานของ IERS ( IERS, 2011)

### 3.2.2 สหภาพ องค์การ ที่เกี่ยวข้อง

3.2.2.1 The International Astronomical Union (IAU) ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ.2462 (1919) มีภารกิจในการส่งเสริมและปกป้อง การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับด้านดาราศาสตร์ ผ่านความร่วมมือระหว่างประเทศจากสมาชิกกว่า 90 ประเทศทั่วโลก

3.2.2.2 The International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) เป็นสหภาพระหว่างประเทศ ที่เป็นหน่วยงานภาคเอกชน ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ.2462 (1919) IUGG เป็นหนึ่งใน 30 สหภาพทางวิทยาศาสตร์ ที่มีกลุ่มสมาชิกภายในสภาวิทยาศาสตร์ (International Council for Science Union : ICSU) มีหน้าที่ส่งเสริม และเผยแพร่ข่าวสารความรู้ด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโลก ผ่านองค์การที่เป็นคณะกรรมการ และสมาชิกของ IUGG มีความร่วมมือกับองค์กรทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ ในการสนับสนุนและก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ ๆ ให้ทุกภาคส่วนทั่วโลกได้มีส่วนร่วม

3.2.2.3 International Association of Geodesy (IAG) เดิมเป็นหน่วยงานการวัดมุมในภาคพื้นยุโรปตอนกลาง The Mitteleuropäische Gradmessung (Central European Arc Measurement) ก่อตั้งในปี พ.ศ.2405 (1862) นับเป็นองค์กรทางด้านวิทยาศาสตร์ในระดับนานาชาติแห่งแรกอย่างเป็นทางการ ในปี พ.ศ.2410 (1867) ได้ยกระดับเป็นหน่วยงานการวัดมุมของภาคพื้นยุโรปและในปี พ.ศ.2429 (1886) ได้เปลี่ยนเป็นสมาคมยี่ออเดซีนานาชาติ (International Association of Geodesy) และได้รับการรับรองเป็น หนึ่งในห้าสมาคมของสหภาพ IUGG ในการประชุมสมัชชาครั้งแรกของ IUGG ที่กรุงโรม เมื่อปี พ.ศ.2465 (1922) มีหน้าที่ในการพัฒนาและเผยแพร่ทฤษฎีด้านยี่ออเดซี ผ่านทางการวิจัยและการเรียนการสอน ครอบคลุมในทุกๆ ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางยี่ออเดซี

### 3.2.3 หน่วยงานที่ดำเนินการด้านเทคนิค (ภายนอกการควบคุมของ IERS)

3.2.3.1 International GNSS Service (IGS) ให้บริการข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมด้านการสำรวจและนำหน , ข้อมูลการรังวัดติดตามดาวเทียม และข้อมูลคุณภาพสูงอื่นๆ ของระบบดาวเทียม และผลิตภัณฑ์ข้อมูลอื่นๆ ในเวลาปัจจุบัน หรือใกล้เคียงกับเวลาปัจจุบัน การให้บริการข้อมูลครอบคลุมระบบดาวเทียม GPS ของประเทศอเมริกา และ GLONASS ของประเทศรัสเซีย และระบบอื่นๆ ที่พัฒนาขึ้นในอนาคต

3.2.3.2 International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS) เป็นหน่วยวิจัยนานาชาติ ที่ให้ดำเนินการหรือให้การสนับสนุน การวัด Very Long Baseline Interferometry (VLBI) ให้บริการสนับสนุนงานทางเยื่อเดซี ดาราศาสตร์ และการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลก

3.2.3.3 International Laser Ranging Service (ILRS) ให้การสนับสนุนข้อมูล การรังวัดด้วย Satellite Laser Ranging (SLR) and Lunar Laser Ranging (LLR) และการวิจัยทางด้านเยื่อเดซีและเยื่อฟิสิกส์

3.2.3.4 International DORIS Service (IDS) ให้การสนับสนุนข้อมูล Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) เพื่องานวิจัยด้านเยื่อเดซี ธรณีฟิสิกส์ และการวิจัยอื่นๆ เริ่มให้บริการอย่างเป็นทางการ ในการประชุมของสมัชชา IUGG ที่เมือง ซัปโปโร เมื่อ 1 กรกฎาคม พ.ศ.2546 (2003)

3.2.4 หน่วยงานหรือศูนย์ผลิตภัณฑ์ ที่ให้บริการข้อมูล (Product Center) ภายใต้การกำกับดูแลของ IERS

3.2.4.1 The Earth Orientation Center เป็นผู้รับผิดชอบในการติดตามค่าตัวแปรการหมุนของโลก (earth orientation parameters) และจัดทำสิ่งพิมพ์เพื่อการเผยแพร่ที่เกี่ยวข้อง

3.2.4.2 IERS Rapid Service/Prediction Center ให้บริการข้อมูลค่าตัวแปรการหมุนของโลก ภายใต้การตอบสนองอย่างรวดเร็ว และการตอบสนองแบบเรียลไทม์เป็นหลัก และผู้ใช้อื่นๆ ที่ต้องการค่าที่มีคุณภาพสูงของตัวแปรการหมุนของโลกก่อนการเผยแพร่ข้อมูลของ The Earth Orientation Center

3.2.4.3 IERS ITRS Center รับผิดชอบการบำรุงรักษาระบบอ้างอิง ITRS และกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF และเป็นผู้ประสานงาน กำกับดูแล ควบคุมคุณภาพ สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน

3.2.4.4 IERS Global Geophysical Fluids Center (GFFC) ก่อตั้งโดย IERS รับผิดชอบในงานด้านการวิจัย และให้บริการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านมวลในชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร และระบบอุทกวิทยา และอีกกิจกรรมหนึ่งคือการเปลี่ยนแปลงมวลสารรวมในระบบ เช่น บรรยากาศ และมหาสมุทร ได้ถูกสร้างขึ้นในแบบจำลอง แต่ในส่วนที่ไม่ได้กำหนดเป็นหลักไว้ เช่น มวลสารชนิดใหม่ที่ไม่อยู่ในแบบจำลอง ของเหลวภายในเปลือกโลก และกระแสน้ำที่ไม่ปกติ

3.2.4.5 IERS Conventions Center เป็นผู้รวบรวมและเก็บรักษาแบบจำลอง ค่าคงที่ และมาตรฐานต่างๆ ของ IERS

### 3.3 ระบบอ้างอิงของโลก ITRS และกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF

3.3.1 ระบบอ้างอิงของโลก ITRS เป็นระบบที่ได้รับการยอมรับจากนานาชาติ ในปัจจุบันว่าเป็นระบบที่มีความละเอียดถูกต้อง มีหน่วยงาน IERS เป็นผู้ดูแล ติดตาม และรักษาระบบ ให้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ ภายใต้การรับรองของ IUGG ในการประชุมที่เวียนนา เมื่อปี พ.ศ.2534 (1991) มีคุณสมบัติพื้นฐานจากระบบ Conventional Terrestrial Reference System (CTRS)

3.3.2 ระบบ CTRS มีคุณสมบัติที่กำหนด ดังนี้

3.3.2.1 มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ ศูนย์กลางของโลก ยึดติดอยู่กับโลกที่ไม่มีการหมุน คล้ายกับระบบพิกัดฉากสามมิติ (Cartesian System)

3.3.2.2 เป็นระบบที่มีจุดศูนย์กลางที่ศูนย์กลางของโลก ที่มีคุณสมบัติเดียวกันกับ Geocentric Reference System (GRS) ที่กำหนดตามมติของ IAG

3.3.2.3 ระบบพิกัดเวลาเป็นระบบเดียวกันกับ GRS คือใช้ระบบเวลา Geocentric Coordinate Time (Temps-coordonnée géocentrique : TCG)

3.3.2.4 จุดศูนย์กลางกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของโลก ที่ได้รวมมวลสารของชั้นบรรยากาศ และมหาสมุทร

3.3.2.5 จะต้องมีค่ากระทบจากการหมุนของโลก ต่อการเคลื่อนที่ทางราบ บนพื้นผิวโลก

3.3.3 ระบบ ITRS ได้ยึดถือกรอบคุณสมบัติของ CTRS โดยมีคุณสมบัติของ ITRS ดังนี้

3.3.3.1 มีจุดศูนย์กลางกำเนิดที่จุดศูนย์กลางกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของโลก ที่ได้รวมมวลสารของชั้นบรรยากาศ และมหาสมุทร

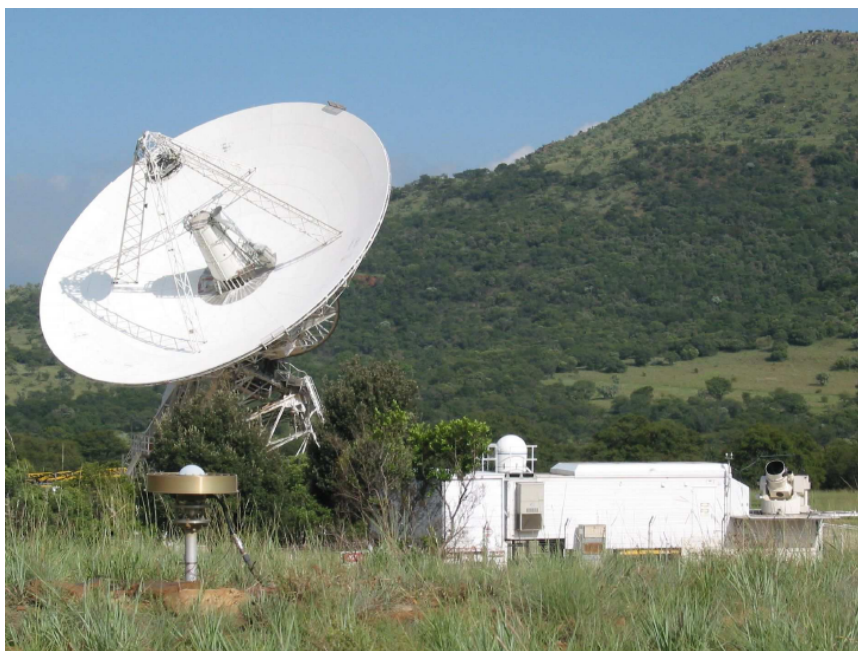
3.3.3.2 หน่วยของระยะทางใช้ระบบ International System of Units (SI Units) มาตรฐานส่วนของการวัดระยะนี้ สอดคล้องกับระบบพิกัดเวลา TCG มีความละเอียดตามข้อตกลงของ IAG และ IUGG เมื่อปี พ.ศ.2544 (2001)

3.3.3.3 ทิศทางเริ่มต้นของการหมุน กำหนดโดย the Bureau International de l'Heure (BIH) ที่เวลา 1984.0.

3.3.3.4 การกำหนดทิศทาง จะเป็นไปตามเงื่อนไขของ no-net-rotation ที่เกี่ยวข้องกับเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก



3.3.4 กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF เป็น realization ของระบบพิกัดอ้างอิง ITRS ที่กำกับดูแลโดยหน่วยงาน IERS ITRS Product Center (ITRS-PC) เรียกชื่อของกรอบพิกัดอ้างอิงนี้ว่า The International Terrestrial Reference Frame : ITRF กรรมวิธีในการสร้างกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF ใช้เทคนิคของการกำหนดกรอบพิกัดอ้างอิงหลายเทคนิคประกอบกัน เพื่อให้ได้ความละเอียดถูกต้องของกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF ที่ดีที่สุด ประกอบด้วยเทคนิคของ VLBI, LLR, SLR, DORIS และ GPS นำมาประมวลผลร่วมกัน โดย หน่วยงาน IERS analysis centers ผลลัพธ์ของการรังวัดแต่ละเทคนิค ถูกนำมาเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน ด้วยสถานีที่เรียกว่าสถานีร่วม (co-location sites) ดูภาพที่ 3.3 ประกอบด้วยสถานีการรังวัดหลายๆ เทคนิค ตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกัน และตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละเทคนิคมีค่าความสัมพันธ์กัน จากการรังวัดเชื่อมโยงกันด้วยความละเอียดสูง สถานีร่วมเหล่านี้ มีการกระจายอยู่ในหลายพื้นที่ทั่วโลก (ดูภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.3 HARTEBEESTHOEK CO-LOCATION (IGN, 2011)

ปัจจุบันนี้ กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF นับได้ว่าเป็นกรอบอ้างอิงค่าพิกัดของโลกที่มีความละเอียดถูกต้องดีที่สุดในปัจจุบัน ได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งด้านการสำรวจแผนที่ การติดตามการเคลื่อนตัว การรังวัดที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง นอกจากนี้หลายๆ ประเทศ ยังได้นำไปประยุกต์ใช้เป็นพื้นฐานอ้างอิงของประเทศเช่น ประเทศออสเตรเลีย มาเลเซีย จีน เกาหลี ญี่ปุ่น และประเทศไทย เป็นต้น กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 (1988) ได้มีการประกาศใช้ จำนวน 12 ครั้ง ดังนี้ ITRF88 ,ITRF89 ,ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005 และ ITRF2008

### 3.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดอ้างอิง (Terrestrial Reference System)

ความสัมพันธ์ในการแปลงค่าพิกัดระหว่างระบบอ้างอิง 2 ระบบ ยังคงใช้แนวทางของการแปลงค่าพิกัดในระบบพิกัดจากสามมิติ ประกอบด้วย ค่าของการเลื่อน จำนวน 3 ตัวแปร ค่าของมาตราส่วน จำนวน 1 ตัวแปร และ ค่าของการหมุน 3 ตัวแปร โดยใช้สัญลักษณ์ T1, T2, T3, D, R1, R2, R3 ตามลำดับ และค่าอนุพันธ์ของเวลาหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของการเลื่อนในแต่ละทิศทาง อัตราการเปลี่ยนแปลงของมาตราส่วน และอัตราการเปลี่ยนแปลงของการหมุนในแต่ละแกน อีกจำนวน 7 ตัวแปร ใช้สัญลักษณ์ T'1, T'2, T'3, D', R'1, R'2, R'3 ตามลำดับ รวมเป็นตัวแปรในการแปลงระหว่างระบบอ้างอิง TRS ทั้งสิ้น 14 ตัวแปร

การแปลงค่าพิกัดของ เวกเตอร์  $X_1$  ในระบบอ้างอิงที่ 1 ไปสู่เวกเตอร์  $X_2$  ในระบบอ้างอิงที่ 2 สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$X_2 = X_1 + T + DX_1 + RX_1 \quad (3-1)$$

เมื่อ

$$T = \begin{pmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{pmatrix} \quad \text{และ} \quad R = \begin{pmatrix} 0 & -R3 & R2 \\ R3 & 0 & -R1 \\ -R2 & R1 & 0 \end{pmatrix}$$

ด้วยสมมติฐานว่า สมการที่ 3-1 เป็นสมการเส้นตรง สำหรับความสัมพันธ์ของกลุ่มค่าพิกัดของสถานีที่อยู่ในระบบพิกัดทางเยื่อเดซี (จุดศูนย์กำเนิดต่างกันในระดับร้อยเมตร, ค่าความต่างทางมาตราส่วน และการหมุน ในระดับ  $10^{-5}$ ) ค่าตัวแปร  $X_1, X_2, T, D, R$  เป็นฟังก์ชันของเวลา, หาอนุพันธ์ของสมการที่ 3-1 ต่อเวลา จะได้สมการดังนี้

$$X'_2 = X'_1 + T' + D'X_1 + DX'_1 + R'X_1 + RX'_1 \quad (3-2)$$

D และ R มีค่าในระดับ  $10^{-5}$  และ  $X'$  มีค่าประมาณ 10 เซนติเมตร ต่อปี, พจน์ของ  $DX'$  และ  $RX'$  มีขนาดเล็กมาก ไม่นับสำคัญในระยะเวลา 100 ปี จึงสามารถละเว้นได้ ดังนั้นสมการที่ 3-2 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

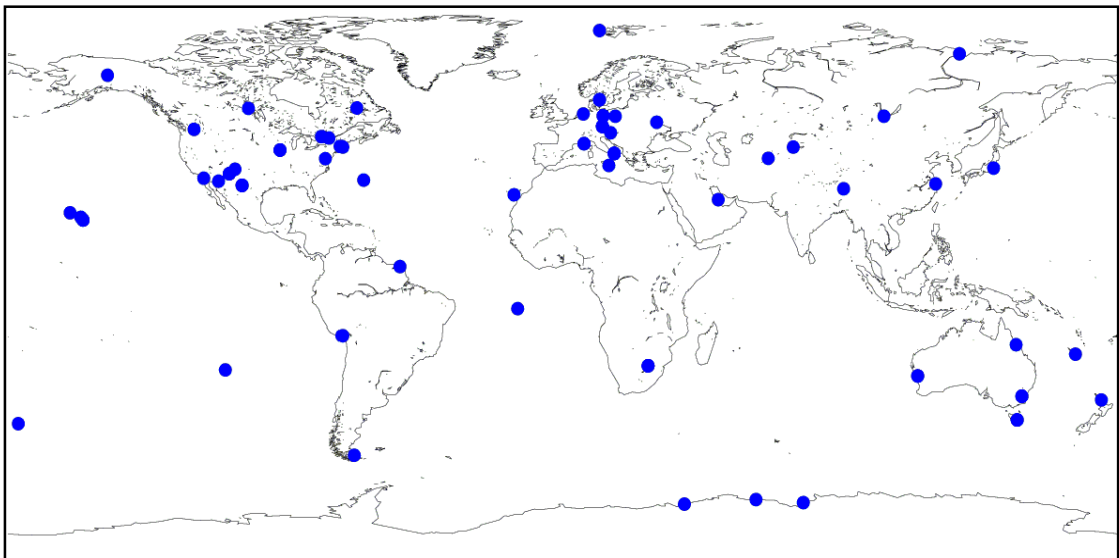
$$X'_2 = X'_1 + T' + D'X_1 + R'X_1 \quad (3-3)$$

### 3.3.6 ค่าตัวแปรในการแปลงค่าพิกัดระหว่าง ITRF2005 และ ITRF2000

ค่าตัวแปรในการแปลงค่าจำนวน 14 ตัวแปร ระหว่าง ITRF2005 และ ITRF2000 รายละเอียดตามตารางที่ 3.1 ได้จากการประมวลผลหาค่าตัวแปรจากจำนวนสถานี 70 สถานี แสดงตำแหน่งในภาพที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรในการแปลงค่าที่ epoch 2000.0 และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจาก ITRF2005 ไปสู่ ITRF2000 (IGN,2011)

	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3
	mm	mm	mm	$10^{-9}$	mas	mas	mas
	0.1	-0.8	-5.8	0.40	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
Rates	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012



ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งสถานีที่ใช้ในการประมวลผลหาค่าตัวแปรการแปลงค่าระหว่าง ITRF2000 และ ITRF2005 (IGN,2011)

### 3.4 กรณีศึกษาค่าความแตกต่างในกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF 2000 และ ITRF 2005 (Satirapod et al, 2011)

ปลายปี พ.ศ.2549 (2006) กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2005 ได้ประกาศใช้และให้บริการข้อมูลที่เป็นรูปธรรมของกรอบพิกัดอ้างอิงนี้ ได้มีการศึกษาถึงความละเอียดถูกต้องของกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2005 พบว่าค่าในทิศทางเหนือใต้ หรือแกน Z ของกรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2000 และ ITRF2005 จะมีอัตราความต่างมากขึ้นในทุกๆปี ประมาณปีละ 1.8 มิลลิเมตร (Altamimi et al, 2007) โดยสามารถพิจารณาได้จาก ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการแปลงระหว่างกรอบพิกัดอ้างอิง ที่แสดงในตารางที่ 3.1 จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและควรศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ อ้างอิงบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 และในอนาคต อาจมีความจำเป็นต้องปรับปรุงข้อมูลโดยเปลี่ยนกรอบพิกัดอ้างอิงใหม่ ให้มีความเป็นปัจจุบันมากขึ้น ทางผู้วิจัยจึงได้พิจารณาในการศึกษา ค่าผลลัพธ์จากการยึดตริงกับกรอบพิกัดอ้างอิงสากลทั้งสอง ว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างไร และในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีอัตราความต่างในทิศทางเหนือใต้เช่นเดียวกันหรือไม่ โดยมีรายละเอียดการดำเนินการศึกษา ดังนี้

#### 3.4.1 วิธีการประมวลผลข้อมูลการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS

ใช้เทคนิคการประมวลผลข้อมูล GPS แบบสัมบูรณ์ที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ผู้ใช้สามารถได้ค่าผลลัพธ์ที่มีความละเอียดทางราบในระดับ 2 - 3 มิลลิเมตร จากการประมวลผลข้อมูลในแต่ละวัน และทางตั้งในระดับเซนติเมตร จากเทคนิคการรังวัด GPS แบบสถิต ข้อมูลการรังวัดสองความถี่ จะถูกประมวลผลโดยซอฟต์แวร์ประมวลผลทางวิทยาศาสตร์ GIPSY-OASIS II ที่พัฒนาโดย หน่วยวิจัยอวกาศ (Jet Propulsion Laboratory: JPL) โดยเทคนิคการประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่มีความละเอียดถูกต้องสูง

#### 3.4.2 การยึดตริง ผลลัพธ์ค่าพิกัดเฉลี่ยของโครงข่าย เข้ากับระบบอ้างอิง ITRF2000 และ ITRF2005

สถานี GPS แบบถาวรของหน่วยงาน IGS ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหว ถูกเลือกใช้เป็นจุดควบคุมเพื่อหาค่าตัวแปรสำหรับการแปลงพื้นฐาน 7 ตัวแปรในการแปลงค่าพิกัดเข้าสู่กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 และ ITRF2005

#### 3.4.3 การเปรียบเทียบค่าพิกัด ของกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 และ ITRF2005

แม้ว่าค่าตัวแปรในการแปลงพื้นฐานระหว่างกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 และ ITRF2005 จะถูกนำเสนอแล้ว แต่ในการศึกษานี้ จะแสดงค่าที่เปรียบเทียบให้เห็นถึงผลลัพธ์ของค่าพิกัดที่แท้จริงจากการยึดตริงเข้าในกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 และ

ITRF2005 สถานีในโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทย จำนวน 3 สถานี ประกอบด้วย PHUK, CHON, OTRI และสถานี IGS ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จำนวน 2 สถานี ประกอบด้วย NTUS ประเทศสิงคโปร์ และ BAKO ประเทศอินโดนีเซีย ถูกเลือกใช้ในการเปรียบเทียบครั้งนี้

ค่าความแตกต่างของพิกัดในกรอบพิกัดอ้างอิงทั้งสอง จะถูกคำนวณและแสดงผล ระยะเวลาต่างๆ ตั้งแต่ช่วงเวลาของปี 1998 – 2008 ค่าความต่างเหล่านี้จะถูกแปลงให้เป็นในแนวทิศทาง เหนือ-ใต้ ตะวันออก-ตะวันตก และแนวแกนตั้ง แต่เนื่องจากค่าทางตั้งที่ได้จากการประมวลผลมีสิ่งรบกวนและค่าการแกว่งตัวที่สูงเกินกว่าค่าความต่างของพิกัดในทั้งสองระบบ ดังนั้น เฉพาะค่าทางราบเท่านั้นที่นำมาเปรียบเทียบให้เห็นในตารางที่ 3.2

ตาราง 3.2 เปรียบเทียบค่าความต่างพิกัดบนกรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2000 และ ITRF2005 ณ ระยะเวลาต่างๆ

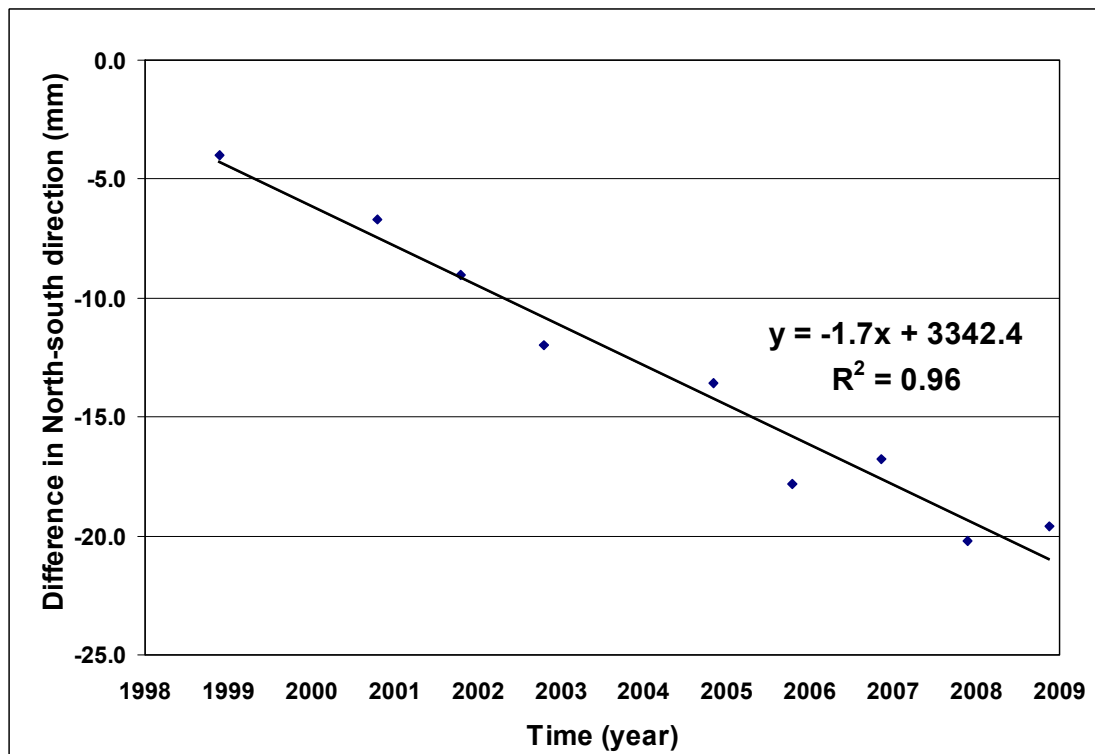
ลำดับวันในปี/ปี	ความแตกต่างระหว่าง ITRF2000 & 2005 ที่แต่ละสถานี (มม.)									
	PHUK		CHON		OTRI		NTUS		BAKO	
	dN	dE	dN	dE	dN	dE	dN	dE	dN	dE
326/1998	-4	0	-4	0	n.a.	n.a.	-4	1	-4	1
291/2000	-7	0	-6	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-7	1
291/2001	-9	0	-9	0	-9	0	-9	0	-9	1
291/2002	-12	3	-12	3	-12	3	-12	3	-12	3
305/2004	-14	4	-14	4	-13	4	-14	4	-13	4
287/2005	-18	-1	-18	-2	-18	-2	-18	-1	-17	1
312/2006	-17	1	-17	1	-16	0	n.a.	n.a.	-17	2
326/2007	-20	2	-20	1	-20	1	-20	2	-21	2
319/2008	-20	1	-19	0	-19	0	-20	1	-20	2

\* n.a. = ไม่มีข้อมูลการรังวัด

#### 3.4.4 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

จากตารางที่ 3.8 สามารถเห็นได้ชัดว่า ทุกสถานี ที่ทำการเปรียบเทียบ แสดงค่าความความต่างที่มากขึ้น ในแนวแกนเหนือ - ใต้ ในขณะที่ไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญในแนวแกน ตะวันออก - ตะวันตก ค่าความต่างที่เพิ่มมากขึ้นในแนวแกนเหนือ - ใต้ ไม่เป็นค่าคงที่ตามระยะเวลา จึงได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของความต่างของแต่ละสถานี ในห้วงเดียวกัน มาศึกษาแนวโน้มโดยใช้แบบจำลองของสมการเส้นตรง ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 3.8 โดยแกน Y เป็นข้อมูลขนาดของค่าเฉลี่ยการเคลื่อนตัวของสถานีต่างๆ และแกน X เป็นค่าของเวลา หน่วยเป็นปี ค.ศ. ตั้งแต่ปี 1998 เป็นต้นไป ดูภาพที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่า ค่าพิกัดในกรอบพิกัดอ้างอิงทั้งสอง มีการแยกห่างกันในแนวแกนเหนือ - ใต้ อย่างมีนัยสำคัญด้วยอัตรา 1.7 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่ง

สอดคล้องกับค่าตัวแปรในการแปลงค่าพิกัด ระหว่างกรอบพิกัดอ้างอิงทั้งสองที่ได้มีการประกาศแล้ว (ดูหัวข้อที่ 3.3.6)



ภาพที่ 3.5 การใช้แบบจำลองสมการเส้นตรง แสดงแนวโน้มค่าความต่างในแนวแกน เหนือ - ใต้ ของระบบพิกัด ITRF2000 และ ITRF2005 ระหว่างปี 1998 ถึง 2008 (Satirapod et al, 2011)

จากผลการศึกษาพบว่า ค่าพิกัดบนระบบพิกัดอ้างอิง ITRF2000 และ ITRF2005 มีการแยกห่างจากกัน ในแนวแกนเหนือ - ใต้ อย่างมีนัยสำคัญ ด้วยอัตรา 1.7 มิลลิเมตร / ปี ดังนั้น ค่าพิกัดบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 และ ITRF2005 (ในทุกประเภทที่ใช้ข้อมูลความละเอียดถูกต้องสูง เช่น การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเปลือกโลก) จึงไม่ควรนำมาวิเคราะห์ร่วมกัน

## บทที่ 4

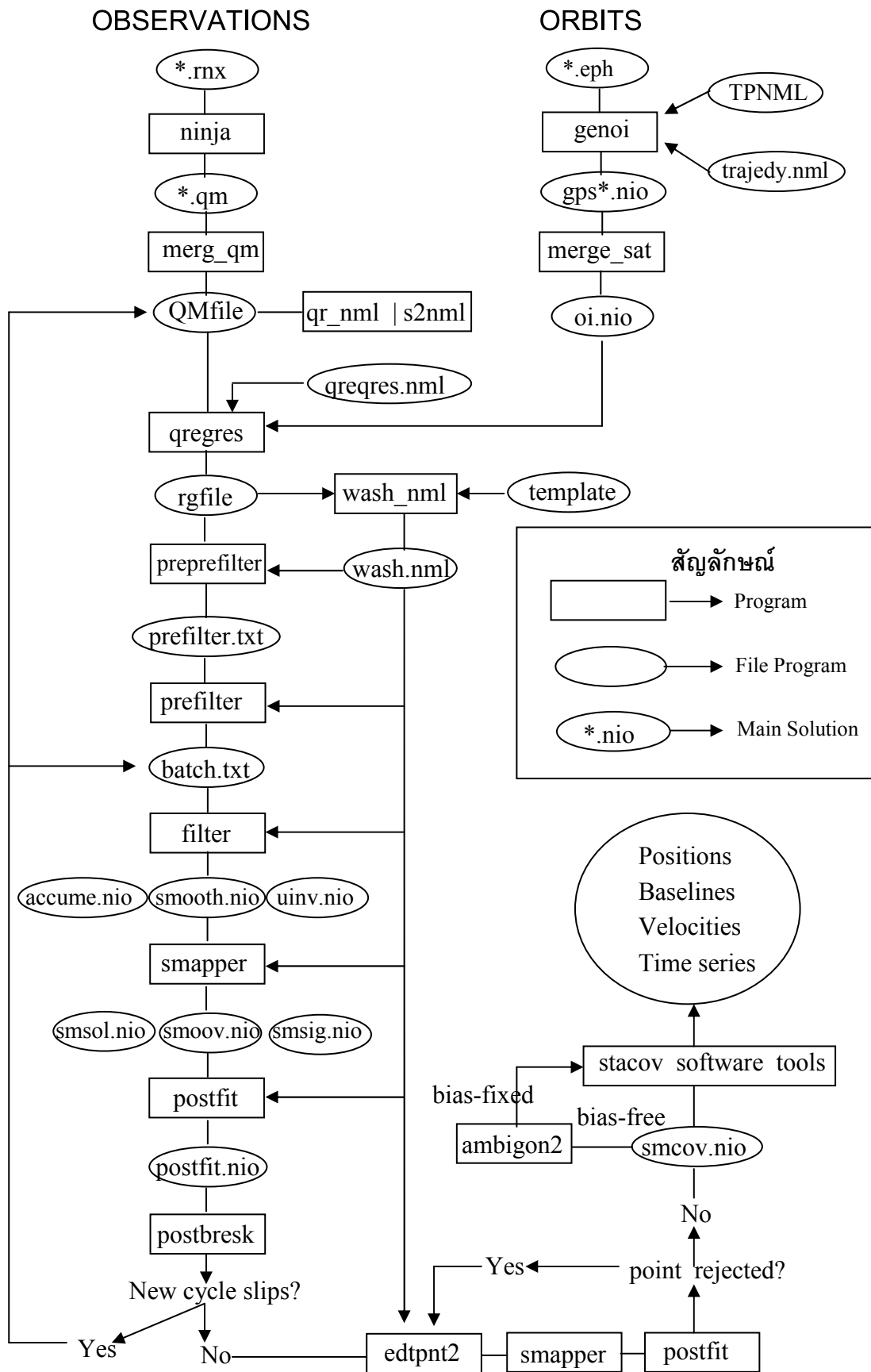
### การประมวลผลแบบจุดเดียวที่มีความละเอียดสูง

#### ด้วยโปรแกรม GIPSY OASIS II

##### 4.1 กล่าวนำ

The GPS Inferred Positioning System and Orbit Analysis and Simulation Software (GIPSY-OASIS II) เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาโดย The Jet Propulsion Laboratory (JPL) เพื่อใช้ในการหาดำแหน่งที่มีความละเอียดถูกต้องสูง สามารถประมวลผลได้ทั้งแบบสัมพัทธ์ และแบบสัมบูรณ์ที่ให้ค่าความละเอียดถูกต้องสูง (Precise Point Positioning : PPP) ที่เป็นคุณลักษณะเด่นของโปรแกรมนี้คือการประมวลผลแบบสัมบูรณ์ ไม่มีข้อจำกัดของระยะทางระหว่างหมุดที่รับวัดในโครงข่าย สามารถประมวลผลหาระยะระหว่างคู่หมุดหลักฐานในระดับเมตรจนถึงหลายพันกิโลเมตร ผลลัพธ์ที่ได้มีความละเอียดถูกต้องทางราบในระดับมิลลิเมตร และทางตั้งในระดับเซนติเมตร (Zumberge et al, 1997) เทคนิคสำคัญที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรม GIPSY OASIS II คือ การใช้ข้อมูลแบบจำลอง และค่าตัวแปรที่ดีที่สุด ที่ได้ผ่านกระบวนการแก้ไขค่าคลาดเคลื่อนมาแล้ว ภายหลังจากวันที่รับวัด มาใช้ในการประมวลผล เช่น ค่าพิกัดของสถานีในโครงข่ายการรับวัดของ IGS ที่มีความละเอียดถูกต้อง ค่าตัวแปรการหมุนของโลก ค่าตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมและค่าเวลาที่มีความละเอียดถูกต้องเป็นต้น ด้วยเทคนิคดังกล่าวนี้ กลุ่มดาวเทียมที่มีตำแหน่งวงโคจรที่มีความถูกต้อง รวมถึงค่าแก้เวลาที่ถูกต้อง จึงถูกนำไปใช้ในการประมวลผลของแต่ละสถานีอย่างเป็นอิสระต่อกัน นอกจากเทคนิคของการประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่ให้ค่าความละเอียดสูง โปรแกรม GIPSY นี้ยังมีความสามารถในการประมวลผลแบบโครงข่าย โดยใช้เทคนิคประมวลผลข้อมูลแบบ double differencing เพื่อแก้สมการหาจำนวนเต็มลูกคลื่น ทำให้ผลลัพธ์มีความละเอียดถูกต้องสูงขึ้น

ในงานทางด้านวิทยาศาสตร์การประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่ให้ค่าความละเอียดสูง ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการประมวลผลมากกว่าการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ (Satirapod et al, 2008) เนื่องจากการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ค่าความคลาดเคลื่อนของจุดที่ประมวลผลจะได้รับผลจากความคลาดเคลื่อนของจุดที่ใช้อ้างอิงรวมอยู่ด้วย จึงไม่สามารถได้ค่าการเคลื่อนตัวที่แท้จริงของจุดที่ประมวลผล โครงข่ายติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย รวมทั้งโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 ของประเทศไทย ก็ใช้เทคนิคการประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่ให้ค่าความละเอียดถูกต้องสูง ของโปรแกรม GIPSY OASIS II นี้เช่นเดียวกัน รวมถึงการประมวลผลข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้



ภาพที่ 4.1 แผนผังแสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมประมวลผล GIPSY OASIS II (Gregerius, 1996)



## 4.2 โครงสร้างการประมวลผลของโปรแกรม GIPSY OASIS II

โครงสร้างการประมวลผลของโปรแกรม GIPSY OASIS II เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ UNIX หรือ LINUX ประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมย่อย ๆ ที่ประมวลผลและให้ผลลัพธ์เป็นส่วนๆ ตามโครงสร้างการจัดการข้อมูลของโปรแกรม ความยากของการทำงานสำหรับผู้เริ่มต้นคือ ไม่รู้ว่าโปรแกรมย่อยแต่ละส่วนทำหน้าที่อะไร ให้ผลลัพธ์และจัดเก็บไว้ที่ไหน และต้องนำไปใช้ต่อไปในขั้นตอนใด การเตรียมข้อมูลที่จำเป็นมีอะไรบ้าง ต้องเตรียมข้อมูลไว้ตรงไหน สิ่งต่างๆที่กล่าวถึงเหล่านี้ เป็นข้อจำกัดอย่างมากของโปรแกรม GIPSY OASIS II เพราะหากระหว่างการประมวลผล ถ้าข้อมูลที่จำเป็นไม่ครบถ้วน โปรแกรมก็จะถูกขัดจังหวะและแสดงข้อความข้อผิดพลาด ผู้ใช้งานจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขให้ถูกต้อง โปรแกรมจึงสามารถจะประมวลผลต่อไปได้ ในภาพรวมของการประมวลผลมีขั้นตอนการเรียกใช้โปรแกรมย่อย และการตรวจสอบของการประมวลผล ตามโครงสร้างที่แสดงในภาพที่ 4.1

จากแผนผังแสดงโครงสร้างการประมวลผลของโปรแกรม GIPSY OASIS II ตามภาพที่ 4.1 เริ่มขั้นตอนแรกจากการนำเข้าข้อมูลการรังวัดดาวเทียม ข้อมูลแบบจำลองลอง และข้อมูลการประมาณค่าตัวแปรต่างๆ ที่จำเป็น ด้วยส่วนของโปรแกรมย่อยต่างๆที่ทำหน้าที่ในการนำเข้าข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบและความครบถ้วนของข้อมูล มีการจัดเรียงสร้างฐานข้อมูลที่จำเป็นเพื่อการเรียกใช้งานในขั้นตอนต่างๆ การประมวลผลจะดำเนินการกับข้อมูลของแต่ละวัน ของแต่ละสถานี อย่างเป็นอิสระต่อกัน มีการจัดเก็บผลลัพธ์ในแต่ละขั้นตอน และตรวจสอบผลลัพธ์ ตรวจสอบเงื่อนไข ทำการวนซ้ำการประมวลผลในบางขั้นตอน เพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จนได้ค่าผลลัพธ์สุดท้ายของการประมวลผลเป็นข้อมูลค่าพิกัดของแต่ละวัน ในระบบพิกัดที่อ้างอิงจากตำแหน่งของดาวเทียม ข้อมูลการรังวัดในแต่ละวันของแต่ละสถานี จะถูกรวมเป็นข้อมูลค่าพิกัดรายสัปดาห์ และตรวจสอบผลค่าพิกัดทางสถิติ ข้อมูลค่าพิกัดรายสัปดาห์ ที่ได้ถือว่าผ่านกระบวนการกรองค่ารบกวนมาในระดับหนึ่งแล้ว จะเป็นตัวแทนตำแหน่งของจุดที่รังวัด ในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อให้ค่าที่ได้จากการประมวลผล มีความถูกต้องบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF จึงจำเป็นต้องหาค่าตัวแปรการแปลงระบบพิกัด จากระบบของดาวเทียมที่อ้างอิง ยึดตรึงเข้ากับกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF โดยใช้สถานี IGS เป็นจุดรวมที่ทราบค่าพิกัดในทั้งสองระบบพิกัด หาค่าตัวแปรการแปลงระบบพิกัดด้วยเทคนิคของ Helmert Transformation จุดที่ทำการรังวัดอื่นๆ จะถูกแปลงเข้าสู่กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF โดยใช้ค่าตัวแปรประมวลผลได้ เพื่อให้มีความเข้าใจในหน้าที่การทำงาน of โปรแกรมย่อยแต่ละส่วน จึงขออธิบายการทำงานของโปรแกรมย่อยๆ พอสังเขปดังนี้

4.2.1 โปรแกรม `ninja` ทำหน้าที่อ่านข้อมูลการรังวัดในรูปแบบของ RINEX (Receiver Independent Exchange Format) ข้อมูลถูกเขียนเป็นรหัสเลขฐานสอง ส่งเข้าสู่ชุดคำสั่ง Turboedit ที่ทำการตรวจหาส่วนของการรังวัดที่ไม่ต่อเนื่อง และทำการปรับปรุงข้อมูลที่ตรวจพบให้มีคุณภาพที่สามารถนำไปใช้ในการประมวลผลต่อได้ ข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบแล้วจะถูกจัดเก็บในเบื้องต้น เรียกว่า quick measurement file (qm file)

4.2.2 โปรแกรม `Merg qm` ทำหน้าที่รวม qm files ที่เกิดหลายๆแฟ้มข้อมูลเข้าด้วยกัน และในขั้นตอนนี้ ผู้ประมวลผลสามารถที่จะกำหนดหรือจัดข้อมูลของดาวเทียมที่ไม่ประสงค์ใช้ข้อมูล ออกจากการประมวลผลได้

4.2.3 โปรแกรม `qr_nml` ทำหน้าที่สร้างข้อมูลรายชื่อเพื่อการใช้งานใน `qregres` ที่มีหน้าที่สร้างความสัมพันธ์โครงสร้างภายในของการประมวลผล เช่น ค่าตำแหน่งเบื้องต้นของจุดที่รับสัญญาณ ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวของโลกกับระบบเวลาดาวเทียม ข้อมูล `qregres` ถูกนำมาใช้กับ qm file , ระบบเวลาและวงโคจรของดาวเทียม , แบบจำลองของจานรับสัญญาณดาวเทียม , ศูนย์กลางของโลก ผลกระทบจากความไม่เสถียรของแกนหมุนของโลก ผลลัพธ์ของการทำงานในขั้นตอนนี้ ได้เป็นแฟ้มข้อมูล `rgfile` ที่จัดเก็บค่าประมาณเริ่มต้นของตัวแปร ที่ใช้ในการประมวลผล

4.2.4 โปรแกรม `geonoi` ทำหน้าที่นำเข้าข้อมูลวงโคจรและปรับปรุงโครงสร้างข้อมูลวงโคจรดาวเทียม

4.2.5 โปรแกรม `merge_sat` ทำหน้าที่รวมแฟ้มข้อมูลวงโคจรของดาวเทียม ให้อยู่ในรูปแบบที่ถูกต้องและพร้อมสำหรับการนำไปใช้ในการประมวลผล

4.2.6 โปรแกรม `wash_nml` ทำหน้าที่สร้างข้อมูลรายชื่อเพื่อการใช้งานในส่วนของโปรแกรมต่อไป และจัดเก็บค่าตัวแปรที่รับข้อมูลจากการกำหนดโดยผู้ใช้

4.2.7 โปรแกรม `preprefilter` , `prefilter` สร้างข้อมูลค่าทางสถิติ และสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลที่สำคัญที่ต้องใช้ในส่วนของการกรองข้อมูล หรือขจัดข้อมูลที่ไม่จำเป็นหรือมีค่าคลาดเคลื่อนสูงออกจากระบบ

4.2.8 โปรแกรม `filter` เป็นส่วนหลักของโปรแกรม ที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลด้วยวิธีการ Square Root Information Filter (SRIF) ซึ่งเป็นประเภทหนึ่งของ Kalman filter ในส่วนโปรแกรมนี้จะประมวลผลค่าตัวแปรต่างๆ ที่ได้ผ่านการประมาณค่าและปรับปรุงค่า มาในส่วนของโปรแกรมก่อนหน้าแล้ว ให้มีผลลัพธ์ของตัวแปรที่สอดคล้องกันในทุกๆค่า และเป็นค่าที่ดีที่สุด โดยวิธีปรับแก้แบบลีสท์สแควร์

4.2.9 โปรแกรม smapper ทำหน้าที่คำนวณค่า smoothes and maps the covariance sensitivity and solution of the parameter estimation.

4.2.10 โปรแกรม postfit ทำหน้าที่ คำนวณค่าเศษคงเหลือจากการประมวลผล

4.2.11 โปรแกรม postbreak ทำหน้าที่ ตรวจสอบค่าความไม่ต่อเนื่องของข้อมูล (cycle slip) ที่ยังคงเหลืออยู่ และส่งผลต่อค่าเศษคงเหลือ ถ้าตรวจพบ จะมีการสร้าง qm file ขึ้นมาใหม่ และนำผลลัพธ์ข้อมูลไปวนซ้ำการประมวลผลอีกครั้ง เพื่อขจัดค่าเศษคงเหลือที่เกินเกณฑ์

4.2.12 โปรแกรม edtpnt2 ตรวจสอบค่าเศษคงเหลือ จาก postfit และขจัดค่าที่เกินเกณฑ์ นัยสำคัญที่กำหนด ออกจากการประมวลผล และส่งผลลัพธ์ไปวนซ้ำประมวลผลใน smapper และ postfit จนกว่าจะไม่มีค่าที่เกินเกณฑ์

4.2.13 โปรแกรม ambigon2 ทำหน้าที่ประมวลผลโครงข่ายแบบ Double Difference เพื่อหาค่าจำนวนลูกคลื่น ปรับปรุงคุณภาพของค่าทางราบในทิศทาง ลองจิจูด ให้มีค่าที่ดีขึ้น 1 - 2 มิลลิเมตร การทำงานของโปรแกรมนี้อาจมีข้อมูลอย่างน้อย 2 สถานีขึ้นไป

4.2.14 โปรแกรม stacov เป็นส่วนของโปรแกรมที่ทำการคำนวณค่าตัวแปรในการแปลงระบบพิกัด จำนวน 7 ตัวแปร ในระบบพิกัดฉากสามมิติ ประกอบด้วย ค่าของการเลื่อน 3 ตัวแปร , การหมุน 3 ตัวแปร และอัตราส่วน 1 ตัวแปร

### 4.3 สรุปปัญหาที่พบ ในระหว่างการใช้งานโปรแกรม GIPSY OASIS II

จากการใช้งานโปรแกรมประมวลผล GIPSY OASIS II ทางผู้วิจัยได้พบปัญหา ในช่วงเริ่มต้น แม้จะไม่ใช่ปัญหาใหญ่ที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงาน แต่เป็นปัญหาที่ผู้เริ่มต้นควรจะทราบ เพื่อให้สามารถใช้งานโปรแกรมได้อย่างราบรื่น และมีประสิทธิภาพ สามารถสรุปได้ดังนี้

#### 4.3.1 การใช้งานโปรแกรม

โปรแกรม GIPSY OASIS II เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Unix หรือ Linux ทำให้การทำงานจำเป็นต้องเรียนรู้การใช้คำสั่งต่างๆ การแสดงผลส่วนใหญ่ อยู่ในรูปของตารางตัวเลขและตัวอักษรเป็นหลัก ผู้ใช้งานต้องเข้าใจลำดับขั้นตอนของการประมวลผล และรู้ คำสั่งที่ใช้ในการเรียกใช้งานโปรแกรมย่อย รวมถึงต้องทราบการกำหนดค่าตัวแปรควบคุมการทำงาน ของโปรแกรมย่อย

#### 4.3.2 การใช้งาน สคริปต์ โปรแกรม

ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อก่อนหน้า ถึงวิธีการทำงานของโปรแกรม GIPSY OASIS II ที่ต้องป้อนคำสั่งทีละขั้นตอน จะเห็นว่าหากจำเป็นต้องประมวลผลข้อมูลจำนวนมากๆ หลายๆ สถานีพร้อมกัน ย่อมเกิดความไม่สะดวกในการที่ผู้ใช้งานจะต้องป้อนคำสั่งในการทำงานทีละคำสั่ง

ดังนั้นในการใช้งานโปรแกรม GIPSY OASIS II จึงได้มีการพัฒนาชุดคำสั่งของโปรแกรม โดยการเขียนคำสั่งที่ใช้งานรวมถึงกำหนดค่าตัวแปรควบคุมการทำงานของโปรแกรมย่อย กำหนดวิธีการรวบรวมเข้าให้สามารถทำงานประมวลผลในสถานีถัดไปได้โดยอัตโนมัติ ชุดของคำสั่งนี้ช่วยอำนวยความสะดวกให้ผู้ประมวลผลเป็นอย่างมาก เพียงแต่ผู้ประมวลผลจำเป็นต้องสร้างฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม และจัดเตรียมข้อมูลตามโครงสร้าง และวางแฟ้มข้อมูลต่างๆ ในตำแหน่งที่ถูกต้อง เพื่อให้การวนซ้ำของแต่ละรอบการประมวลผล ได้รับค่าตัวแปรที่ถูกต้องกับสถานีนั้นๆ

#### 4.3.3 การจัดเตรียมข้อมูลที่จำเป็น

ในการประมวลผลด้วยโปรแกรม GIPSY OASIS II โดยใช้ชุดคำสั่ง เพื่อให้สามารถประมวลผลต่อเนื่อง จำเป็นต้องมีการเตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และจัดวางในตำแหน่งที่ถูกต้อง เนื่องจากชื่อของแฟ้มข้อมูลและตำแหน่งที่จัดเก็บของข้อมูลเหล่านี้ ถูกสร้างเป็นแฟ้มข้อมูลรายชื่อ และเขียนคำสั่งให้โปรแกรมอ่านข้อมูล เพื่อนำไปใช้กำหนดเป็นตัวแปรควบคุมการทำงานของส่วนโปรแกรมย่อย ดังนั้นหากข้อมูลส่วนหนึ่งส่วนใด ขาดหายไป หรือไม่ครบถ้วน การทำงานของโปรแกรมก็จะสะดุด และอาจถึงขั้นที่หยุดการทำงาน ข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นและต้องจัดเตรียมให้ครบถ้วนสมบูรณ์ ประกอบด้วย

4.3.3.1 ข้อมูลการรังวัดดาวเทียม ของจุดที่ต้องการหาค่าพิกัด ทำการรังวัดแบบ 2 ความถี่ อัตราการบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที มุมสูงของดาวเทียมในการรับสัญญาณ 15 องศา ระยะเวลาในการรังวัด 24 ชั่วโมง อย่างน้อย 3 วัน ในรูปแบบ RINEX Files

4.3.3.2 ข้อมูลการรังวัดของสถานี IGS ที่เลือกจากโครงข่ายของ IGS เพื่อใช้ในขั้นตอนการหาค่าตัวแปรแปลงระบบพิกัดเข้าสู่กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF สถานีที่ถูกเลือกจะต้องเป็นสถานีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตรา-อันดามันและนิแอส เป็นสถานีที่มีการเคลื่อนตัวอย่างคงที่ ควรมีการรังวัดมาต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 ปี

4.3.3.3 ข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมแบบละเอียด เป็นข้อมูลที่ได้ภายหลังจากการรังวัด ค่าพิกัดวงโคจรของดาวเทียมเป็นตำแหน่งที่ผ่านการแก้ค่าคลาดเคลื่อนแล้ว

4.3.3.4 ข้อมูลแบบจำลอง Ocean Loading ในงานวิจัยใช้แบบจำลองมาตรฐาน GOT00.2

4.3.4 ปัจจัยจากลักษณะการปฏิบัติงานรังวัดที่อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน

4.3.4.1 การรังวัดที่มีการเปลี่ยนจานรับสัญญาณ หรือใช้จานรับสัญญาณไม่เหมือนเดิมในแต่ละโครงการตามช่วงเวลา ผู้ประมวลผลจำเป็นต้องตรวจสอบและแก้ไขในแฟ้มข้อมูลเพื่อแก้ไขชนิดของจานรับสัญญาณให้ถูกต้อง

4.3.4.2 การวัดความสูงของงานรับสัญญา ควรจะมีการบันทึกโดยละเอียดหรือถ่ายรูปในขณะที่รังวัดไว้ เพราะค่าความสูงของงานรับสัญญาที่ผิดพลาด ส่งผลต่อค่าทางตั้งในขนาดที่เท่ากับค่าการวัดความสูงที่ผิดพลาดในทันที และอาจไม่สามารถตรวจสอบพบได้ถ้าขนาดไม่แตกต่างกันเห็นได้ชัด

4.3.4.3 ใช้งานรับสัญญาที่ไม่ได้รับการตรวจสอบศูนย์กลางการรับสัญญา โดยมาตรฐานของการผลิต ค่าศูนย์กลางการรับสัญญาจะมีการคลาดเคลื่อนในระดับ 1-3 มิลลิเมตร แต่ละงานรับสัญญาจะมีตำแหน่งที่เคลื่อนอย่างไม่เป็นระบบ ดังนั้นหากการรังวัดในแต่ละครั้ง ใช้งานรับสัญญาที่มีการคลาดเคลื่อนในทางตรงกันข้าม ก็จะเป็นผลให้การรังวัดมีค่าต่างกันทางราบได้ถึง 6 มิลลิเมตร เป็นต้น

4.3.4.4 การตั้งงานรับสัญญาไม่อยู่ตรงกึ่งกลางหัวหมุดหลักฐาน อาจเกิดจากความไม่เที่ยงของฐานควงสามเส้า ที่ใช้รองงานรับสัญญาดาวเทียม ทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนในทางราบ

4.3.4.5 ความไม่มั่นคงของการตั้งเครื่องมือ เนื่องจากการรังวัดในแต่ละโครงการ จำเป็นต้องรังวัดติดต่อกันเป็นระยะเวลาหลายวันติดต่อกัน และเครื่องมือรังวัดถูกติดตั้งอยู่ในภูมิประเทศ ที่อาจมีลมพัดกระโชก หรือฝนตกหนัก ดังนั้นขาตั้งกล้องที่ไม่มั่นคงเพียงพอ จึงอาจทำให้งานรับสัญญาเกิดการเคลื่อนตัวได้

## บทที่ 5

### กรณีศึกษาการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ด้วยสมการ

#### Logarithmic decay function

##### 5.1 กล่าวนำ

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวสุมาตราอันดามัน ในปี พ.ศ.2547 (2004) มีขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหว 9.2 ได้ส่งผลกระทบต่ออย่างกว้างขวางสามารถตรวจวัดการเคลื่อนตัวได้ไกลถึง 7800 กิโลเมตร จากศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหว ด้วยขนาดการเคลื่อนตัวที่มากกว่า 1 มิลลิเมตร และส่งผลกระทบต่อระบบอ้างอิงของโลก ดังเช่นสถานีที่ไม่มี การเคลื่อนตัวและถูกใช้เป็นจุดอ้างอิงเพื่อหาการเคลื่อนตัวก่อนหน้าการเกิดแผ่นดินไหวพบว่าได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนตัวเช่นเดียวกัน (Kreemer et al., 2006a) หลังจากนั้นในวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2548 (2005) ได้เกิดแผ่นดินไหว นีแอส ขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหว 8.7 จากข้อมูลการบันทึกโดยโครงข่าย Sumatra GPS Array (SuGAR) พบว่าขนาดของการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวครั้งนี้ ไม่นับสำคัญเมื่อเทียบกับการเคลื่อนตัวเนื่องจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งปี พ.ศ.2547 (Subarya et al, 2006) แต่ขนาดของการเคลื่อนตัวจากแผ่นดินไหว นีแอสนี้ สามารถตรวจวัดได้ที่บริเวณภาคใต้ของประเทศไทย ที่จังหวัดภูเก็ต มีขนาดการเคลื่อนตัวประมาณ 1.6 เซนติเมตร (Satirapod et al., 2008)

Kreemer et al.(2006b) และ Satirapod et al.(2008) ได้ทำการศึกษาค่าการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว พบว่ามีความสอดคล้องกับสมการ Logarithmic decay function (Marone et al, 1991) มากกว่าสมการ Exponential decay function (Savage and Prescott, 1978) โดยมีทิศทาง การเคลื่อนตัวเข้าสู่ศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหว (Vigny et al., 2005; Kreemer et al., 2006a)

ในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกับศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหว มีขนาดการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวเทียบต่อการเคลื่อนตัวขณะการเกิดแผ่นดินไหวคิดเป็นอัตราส่วนประมาณ 0.17 เท่า และในพื้นที่ย่านกลางมีอัตราส่วนประมาณ 0.4 เท่า (Fleitout., 2010) ส่วนในพื้นที่ย่านไกลหรือบริเวณประเทศไทยพบว่าขนาดของการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวเทียบต่อการเคลื่อนตัวขณะการเกิดแผ่นดินไหวคิดเป็นอัตราส่วนประมาณ 2.0 เท่า แสดงให้เห็นว่าในบริเวณประเทศไทย ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวมีอิทธิพลมากกว่าผลกระทบที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในขณะเกิดแผ่นดินไหว และผลกระทบนี้อาจใช้ระยะเวลาหลายสิบปี

การศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมและมีความละเอียดถูกต้อง ในการประมาณค่า การเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ในบริเวณพื้นที่ย่านไกล ที่ได้รับผลกระทบและขนาด การเคลื่อนตัวมีนัยสำคัญต่อความละเอียดถูกต้องของโครงข่ายทางยึดเดซีของประเทศ จึงเป็น สิ่งจำเป็นเพื่อให้สามารถประเมินผลกระทบ คงความถูกต้องและความเชื่อมั่นของงานด้านยึดเดซี และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านการสำรวจได้

## 5.2 ข้อมูลการสำรวจด้วยดาวเทียม GPS และข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัวทางราบของหมุดหลักฐานในประเทศไทย อันเนื่องมาจากการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส เมื่อปี พ.ศ.2547 (2004) และ พ.ศ.2548 (2005) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการปรับแก้ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานในโครงข่ายทางยึดเดซีของประเทศไทย และของหน่วยงานอื่นที่รังวัดขยายโครงข่ายจากโครงข่ายทางยึดเดซีของประเทศไทย ให้มีความถูกต้องและเป็นปัจจุบัน ดังนั้น ข้อมูลการศึกษาวิจัยนี้ จึงใช้ข้อมูลของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการพัฒนาโครงข่ายทางยึดเดซีของประเทศไทย เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญเพราะได้มีการสำรวจติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 (1994) นับเป็นเวลาก่อนการเกิดแผ่นดินไหวถึง 10 ปี และภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวแล้วยังคงรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งนี้ อย่างต่อเนื่อง และได้เพิ่มจำนวนสถานีในการรังวัด จากโครงข่ายอ้างอิงจำนวน 7 สถานี เป็นจำนวน 18 สถานี ในโครงข่ายชั้นที่ 1 มาตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 (2008) จนถึงปัจจุบัน (เดือน ธันวาคม พ.ศ.2553 (2010)) รายละเอียดข้อมูลการรังวัดแสดงไว้ดังตารางที่ 5.1 (ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีรังวัด แสดงในภาพที่ 2.2 บทที่ 2)

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลการรังวัดของโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 ที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อจุด	หมายเลขจุด	ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว							ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว															
		พ.ย.37	เม.ย.39	พ.ย.41	ต.ค.44	ต.ค.45	ต.ค.46	เม.ย.47	ต.ค.47	ม.ค.48	ก.พ.48	เม.ย.48	ก.ค.48	ต.ค.48	เม.ย.49	ก.ค.49	พ.ย.49	พ.ค.50	พ.ย.50	พ.ย.51	ธ.ค.52	พ.ย.53		
โครงข่ายอ้างอิง	OTRI 3217	w			w	w	w	w		w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	UTHA 3001	w	w		w	w	w	w	w		w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	SRIS 3052	w	w		w	w	w	w	w		w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	CHON 3427	w	w	w	w	w	w	w	w		w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	BANH 3315	w	w		w	w	w		w		w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	PHUK 3657	w	w	w	w	w			w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	PATT 3405	w																						
	PAT1 3402				w	w																		
	PAT2 3671												w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
โครงข่ายชั้นที่ 1	NKPH 3084							w	w				d		d		d		w	w	w			
	UDON 3093							w					d		d		d		w	w	w	w		
	LOEI 3109								w				d		d		d		w	w	w			
	CHAI 3159							w	w				d		d		d		w	w	w	w		
	HUAH 3300												d		d		d		w	w	w			
	MSTK 3239							w					d		d		d		w	w	w			
	NKTM 3335												d		d		d		w	w	w			
	MHSN 3656												d		d		d		w	w	w			
	CHRI 3658												d		d		d		w	w	w			
	CHTB 3659												d		d		d		w	w	w			
	KCNB 3660												d		d		d		w	w	w			
	RTSD 3166												p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p

หมายเหตุ d = รังวัด 24 ชั่วโมง , w = รังวัด 1 สัปดาห์ , p = สถานีรังวัดถาวร

นอกจากข้อมูลโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 ในงานวิจัยยังใช้ข้อมูลการรังวัดโครงข่ายชั้นที่ 2 ที่กรมแผนที่ทำการรังวัดโครงข่ายชั้นใหม่ ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวในระหว่าง ปี พ.ศ.2548 – 2550 (2005 – 2007) มีจำนวนหมุดหลักฐานในโครงข่ายทั้งสิ้น 95 หมุด (รวมหมุดในโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 จำนวน 19 หมุด) เป็นข้อมูลในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัวในงานวิจัยนี้ (ตำแหน่งที่ตั้งหมุดหลักฐานแสดงในภาพที่ 2.3 บทที่ 2)

นอกจากข้อมูลการรังวัดของกรมแผนที่ทหารแล้ว ข้อมูลการรังวัดของสถานี IGS อีกมากกว่า 30 สถานี ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากเหตุแผ่นดินไหว ในห้วงเวลาเดียวกันกับการรังวัดโครงข่ายของประเทศไทย ถูกนำมาประมวลผลร่วมกันและใช้เป็นจุดยึดตรึงโครงข่ายของประเทศไทย เข้าสู่กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF โครงข่ายของสถานี IGS (ตำแหน่งของโครงข่ายสถานี IGS แสดงในภาพที่ 3.1 บทที่ 3)



### 5.3 การประมวลผลข้อมูลการรังวัด

ข้อมูลการรังวัดในงานวิจัย ได้ดำเนินการประมวลผลเป็น 2 วิธี ตามคุณลักษณะการรังวัดและความละเอียดถูกต้องของชั้นงานโครงข่าย ดังนี้

5.3.1 ข้อมูลการรังวัดในโครงข่ายอ้างอิง ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 - 2553 (1994 - 2010) และข้อมูลโครงข่ายชั้นที่ 1 ตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 - 2553 (2008 - 2010) ถูกนำมาประมวลผล ให้อยู่บนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 โดยใช้เทคนิคการรังวัดแบบสัมบูรณ์ที่ให้ความละเอียดถูกต้องสูง ด้วยโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ GIPSY-OASIS II ขั้นตอนการประมวลผลสรุปได้ดังนี้

5.3.1.1 การเตรียมข้อมูล ค่าวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง, ค่าตัวแก้เวลา และค่าตัวแปรการหมุนของโลก ดาวโหลดข้อมูลได้ที่ <ftp://sideshow.jpl.nasa.gov> ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำทะเล (Ocean Loading) ดาวโหลดข้อมูลได้ที่ (<http://www.oso.chalmers.se/>)

5.3.1.2 การประมวลผลข้อมูลการรังวัดของแต่ละสถานีในโครงข่ายอ้างอิงโครงข่ายชั้นที่ 1 ของประเทศไทย และสถานีในโครงข่าย IGS ที่ถูกเลือกใช้เป็นจุดควบคุมในการยึดตรึงค่าพิกัดเข้าสู่กรอบพิกัดอ้างอิงนานาชาติ ITRF ถูกนำมาประมวลผลหาค่าพิกัดในแต่ละวัน โดยใช้ชุดคำสั่งการประมวลผลที่ถูกพัฒนาสร้างเป็นโปรแกรมอัตโนมัติ ซึ่งสามารถแก้ไขค่าตัวแปรที่จำเป็น ตรวจสอบข้อผิดพลาด และตรวจสอบผลลัพธ์ได้ ผลลัพธ์การประมวลผลในแต่ละวัน จะได้เป็นค่าพิกัดที่อ้างอิงตำแหน่งจากดาวเทียมและยังไม่มีมีความถูกต้องเมื่อเทียบกับกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF

5.3.1.3 ข้อมูลการรังวัดแต่ละวัน ของแต่ละสถานี จะถูกนำมารวมกันเป็นข้อมูลรายสัปดาห์ และตรวจสอบความละเอียดของผลลัพธ์ค่าพิกัดที่ได้ มีค่าต่างกันอยู่ในเกณฑ์ระดับมิลลิเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรและค่าน่าเชื่อถือจากการประมวลผล และถูกแปรผลลัพธ์มาเป็นข้อมูลค่าพิกัดรายสัปดาห์ ที่ยังคงอ้างอิงในระบบเดียวกันกับข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม

5.3.1.4 ผลลัพธ์ค่าพิกัดรายสัปดาห์ของสถานีในโครงข่ายในโครงข่ายของประเทศไทย และสถานีในโครงข่าย IGS ที่เลือกไว้ ถูกนำมาหาค่าความสัมพันธ์ในการแปลงระบบพิกัดเข้าสู่กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 โดยสมการของ Helmert Transformation 7 ตัวแปร สถานีในโครงข่าย IGS ที่มีค่าพิกัดทั้งในกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 และค่าพิกัดในระบบเดียวกันกับข้อมูลที่ประมวลผลในห้วงเวลาเดียวกัน ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้ จะได้ค่าตัวแปรในการแปลงค่าพิกัดของแต่ละสถานี เข้าสู่กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000

5.3.1.5 ผลลัพธ์ค่าตัวแปร ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ ตามข้อ 5.3.1.4 ถูกนำมาใช้แปลงค่าพิกัดของหมุดหลักฐานในโครงข่ายประเทศไทยเข้าสู่กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 ผลลัพธ์ที่ได้ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนในทางราบประมาณ 1 – 3 มม. และทางตั้งประมาณ 4 – 10 มม. (Panumastrakul et al., 2012)

5.3.2 ข้อมูลการรังวัดโครงข่ายชั้นที่ 1 ของปี พ.ศ.2548 – 2550 (2005 – 2007) ที่มีข้อมูลการรังวัด 24 ชั่วโมง ถูกนำมาประมวลผล ด้วยโปรแกรม Geomatic Trimble Office version 1.6 ของบริษัทผู้ผลิตยี่ห้อ Trimble โดยเทคนิคการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ โดยใช้ค่าวงโคจรของดาวเทียมแบบละเอียดและการปรับแก้แบบลิสต์สแควร์ โดยข้อมูลพื้นฐานในโครงข่ายชั้นที่ 1 ที่รังวัดในเดือน เมษายน พ.ศ.2548 (2005) ถูกยึดตรึงเข้ากับค่าพิกัดของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง ณ ระยะเวลา 2005.7 ส่วนข้อมูลโครงข่ายชั้นที่ 1 ที่รังวัดในปี พ.ศ.2549 – 2550 (2006 -2007) ถูกยึดตรึงเข้ากับค่าพิกัดของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง ณ ระยะเวลาที่สอดคล้องกับการรังวัดโครงข่ายชั้นที่ 1

5.3.3 ข้อมูลการรังวัดในโครงข่ายชั้นที่ 2 จำนวน 95 สถานี (รวมสถานีในโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 จำนวน 19 สถานี ) ถูกนำมาประมวลผล ด้วยโปรแกรม Geomatic Trimble Office version 1.6 ของบริษัทผู้ผลิตยี่ห้อ Trimble โดยเทคนิคการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ โดยใช้ค่าวงโคจรของดาวเทียมแบบละเอียด และการปรับแก้แบบลิสต์สแควร์ สรุปขั้นตอนได้ดังนี้

5.3.3.1 ข้อมูลการรังวัดของสถานีในโครงข่ายชั้นที่ 2 ที่ทำการรังวัด 6 ชั่วโมง ถูกนำมาประมวลผลโดยเทคนิคการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ โดยใช้ค่าวงโคจรแบบละเอียด ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล มีความถูกต้องตามคุณลักษณะของเครื่องมือ การประมวลผล และเทคนิควิธีการรังวัด ในทางราบ 0.5 ซม +/- 1 ppm (part per million)

5.3.3.2 เส้นฐานที่ผ่านการประมวลผลแล้ว จะถูกตรวจสอบผลลัพธ์ทางสถิติ เช่น ค่า reference variance ซึ่งเป็นการบอกถึงความเข้ากันได้ของข้อมูลการรังวัด ในการหาระยะเส้นฐาน ในทางอุดมคติควรเท่ากับ 1 และค่า ratio อัตราส่วนของค่าเศษคงเหลือในการหาค่าจำนวนเต็มของลูกคลื่น ถ้ามีค่าสูงแสดงถึงระดับของความน่าเชื่อถือของค่าจำนวนเต็มลูกคลื่น

5.3.3.3 ข้อมูลเส้นฐานที่ผ่านการตรวจสอบค่าทางสถิติในเบื้องต้นแล้ว ถูกนำมาประกอบกัน มีลักษณะเป็นโครงข่ายที่เข้าบรรจบตัวเอง เพื่อหาค่าอัตราส่วนของความคลาดเคลื่อนต่อระยะทางของเส้นฐาน ตามมาตรฐานของ FGCC เกณฑ์งาน ชั้น B มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 1:1,000,000

5.3.3.4 ข้อมูลโครงข่ายที่ผ่านการตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนสุดท้าย จะต้องผ่านขั้นตอนการปรับแก้ทั้งแบบ Minimally Constrain เพื่อตรวจสอบความละเอียดถูกต้อง ภายในโครงข่ายเอง และการปรับแก้แบบ Fully Constrain เพื่อยึดตรึงโครงข่ายเข้ากับจุดควบคุม จากโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 ที่มีค่าพิกัดในกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 ขณะ เวลา 2005.7 และ 2008.11 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบ ใช้เป็นจุดทดสอบ และใช้เป็นจุด ตรวจสอบ ในการศึกษาแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ข้อมูลค่าพิกัด บนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 ขณะเวลา 2005.7 และ 2008.11 แสดงใน ผนวก ก และ ผนวก ข ตามลำดับ

#### 5.4 แบบจำลอง Logarithmic decay function

Marone et al.(1991) ได้นำเสนอ สมการ Logarithmic decay function ซึ่งเป็น แบบจำลองที่ถูกใช้เป็นตัวแทนของพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหว มีรูปแบบ ของสมการดังนี้

$$U(t) = c + a \ln (1+t/\tau_{\log}) \quad (5-1)$$

เมื่อ

t	=	เวลานับจากการเกิดแผ่นดินไหว
U(t)	=	พิกัดตำแหน่ง N , E ,Up
c	=	ค่าการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว
a	=	ค่า amplitude ที่เกี่ยวเนื่องกับการถดถอย
$\tau_{\log}$	=	ค่าตัวแปรเวลาในการถดถอย

Satirapod et al.(2008) ได้ศึกษาและติดตามการเคลื่อนตัวของโครงข่ายของ ประเทศไทย ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวปี พ.ศ.2547 (2004) และ 2548 (2005) โดยใช้ข้อมูลการสำรวจถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2549 (2006) สรุปได้ว่า การเคลื่อนตัวของ การเกิดแผ่นดินไหว มีความเหมาะสมกับสมการ Logarithmic decay function และได้ใช้สมการ Logarithmic decay function ทดสอบกับข้อมูลการเคลื่อนตัวของประเทศไทย โดยแยกการ คำนวณตามแนวทิศเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.2 โดยมีค่า  $R^2$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสอดคล้องของข้อมูลกับแบบจำลอง อยู่ระหว่าง 0.7726 – 0.9996 นอกจากนี้ยังพบว่า การเกิดแผ่นดินไหวในแอส เมื่อ 28 มีนาคม พ.ศ.2548 (2005) ในขณะเกิด แผ่นดินไหวทำให้เกิดการเคลื่อนตัวที่มีนัยสำคัญ และสามารถตรวจวัดได้ที่จังหวัดภูเก็ต ทำให้การ

คำนวณค่าตัวแปรในสมการ Logarithmic decay function ของจุดนี้ ต้องแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ ก่อนและหลังการเกิดแผ่นดินไหวนิแอส (Satirapod et al., 2008)

ตารางที่ 5.2 ผลลัพธ์การใช้แบบจำลอง Logarithmic decay function กับข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส (Satirapod et al., 2008)

Station <sub>Direction</sub>	Validity	a (cm)	$\tau_{\log}$ (yr)	c (mm)	R <sup>2</sup>
BANH <sub>North</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-3.2	0.143	-75	0.9815
BANH <sub>East</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-7.5	0.291	-155	0.997
CHON <sub>North</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-2	0.183	-38	0.9822
CHON <sub>East</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-2.9	0.177	-68	0.9977
OTRI <sub>North</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-0.9	0.095	-22	0.9761
OTRI <sub>East</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-0.7	0.399	-23	0.7726
PHUK <sub>North1</sub>	12-26-04 to 03-28-05	-2.6	0.064	-101	0.9996
PHUK <sub>East1</sub>	12-26-04 to 03-28-05	-2.5	0.006	-236	0.9996
PHUK <sub>North2</sub>	03-28-05 to 11-06-06	-4.1	0.072	-95	0.9934
PHUK <sub>East2</sub>	03-28-05 to 11-06-06	-15.7	0.624	-281	0.9983
SRIS <sub>North</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-0.7	0.062	-18	0.848
SRIS <sub>East</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-1.1	0.154	-33	0.9757
UTHA <sub>North</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-1.7	0.151	-39	0.986
UTHA <sub>East</sub>	12-26-04 to 11-06-06	-2	0.166	-47	0.9738

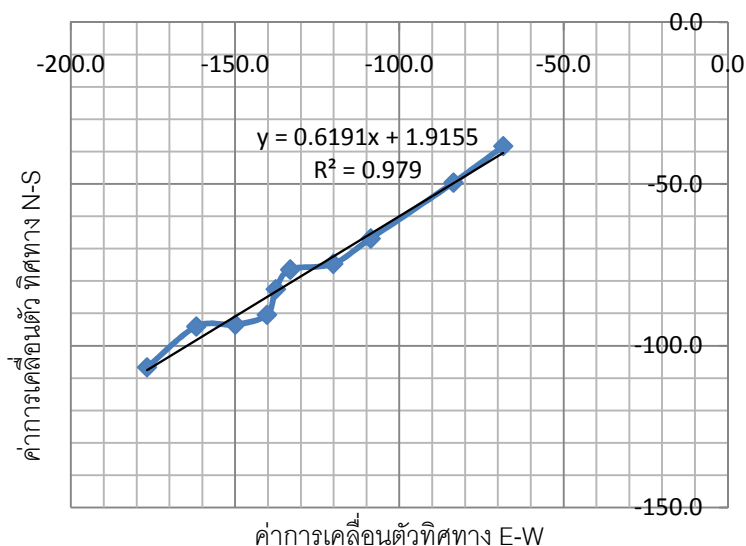
จากตารางที่ 5.2 ค่าตัวแปร  $\tau_{\log}$  ของสถานีเดียวกัน ในทิศทางเหนือ-ใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก มีค่าแตกต่างกันซึ่งไม่เป็นไปตามแนวทฤษฎีด้านยืดหยุ่น (Vigny, 2009b) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สถานี OTRI และ SRIS มีค่า  $\tau_{\log}$  ของแต่ละทิศทางแตกต่างกันมากกว่าสถานีอื่นๆ และค่า R<sup>2</sup> ที่แสดงถึงความสอดคล้องกับแบบจำลองก็มีค่าต่ำกว่าสถานีอื่นๆ เช่นกัน ในงานวิจัยนี้จึงพยายามหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของผลลัพธ์ให้มีความถูกต้องและสอดคล้องกับแนวทฤษฎีด้านยืดหยุ่น

## 5.5 การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว สมมาตรอัตโนมัติ โดยใช้ตัวกรองสมการเส้นตรง

5.5.1 เมื่อนำข้อมูลการเคลื่อนตัวของแต่ละสถานีมาลงตำแหน่งในกราฟ พบว่าค่าการเคลื่อนตัวมีทิศทางที่ไม่เป็นเอกภาพและเบี่ยงเบนไปมา (ดูภาพที่ 5.1) ไม่เป็นไปตามข้อมูลการศึกษา ที่ว่าการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวจะมีทิศทางของการเคลื่อนตัวเข้าสู่ศูนย์กลางแผ่นดินไหว (Vigny et al, 2005; Kreemer et al, 2006a) ทางผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์จากรายละเอียดส่วนต่างๆ ที่ได้ศึกษามาในระหว่างการทำวิจัย สามารถสรุปปัจจัยกระทบเนื่องมาจากสาเหตุดังนี้

5.5.1.1 การรบกวนที่มีลักษณะเป็นโครงการตามห้วงระยะเวลา ทำให้ข้อมูลไม่มีความต่อเนื่อง และได้รับผลค่าคลาดเคลื่อนจากความไม่ประณีตในขณะการปฏิบัติงานรังวัด การติดตั้งเครื่องมือสำรวจ การวัดค่าความสูง ความแตกต่างของจุดรับสัญญาณของจานรับสัญญาณดาวเทียม หรือ สภาพแวดล้อมที่เป็นสิ่งรบกวนการรับสัญญาณในพื้นที่ เป็นต้น

5.5.1.2 วิธีการประมวลผลในแต่ละห้วงเวลา อาจทำให้มีความแตกต่างของผลลัพธ์ค่าพิกัดอีกเล็กน้อย จากการเลือกสถานี IGS ที่แตกต่างกันเป็นจุดยึดตรง ในแต่ละโครงการ เป็นต้น



ภาพที่ 5.1 แผนผังแสดงตำแหน่ง และทิศทาง การเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว สถานี CHON (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

### 5.5.2 การใช้สมการเส้นตรงเป็นตัวกรองทิศทาง การเคลื่อนตัว

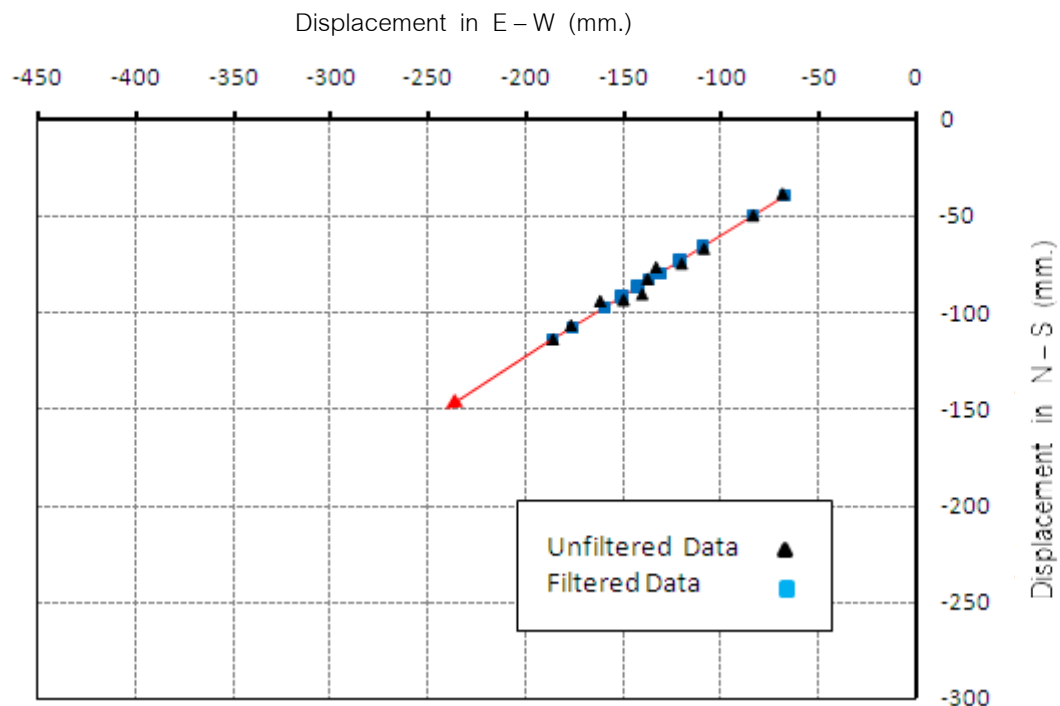
แม้ว่าในการประมวลผลจะใช้ข้อมูลที่มีระยะเวลาการรังวัดประมาณ 5 – 7 วัน และผลลัพธ์จากการประมวลผลแต่ละวันในโครงการ จะแสดงให้เห็นความละเอียดของการรังวัดใน

ครั้งนั้นๆก็ตาม แต่ค่าคลาดเคลื่อนบางส่วน เกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถถูกตรวจพบได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว เพื่อเป็นการขจัดสิ่งรบกวนของข้อมูลที่ได้จากการรังวัดตามช่วงเวลา และทำให้ทิศทางของการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว มีทิศทางหลักเข้าหาศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหว ทางผู้วิจัยจึงได้พิจารณาใช้เส้นตรงเป็นตัวแทนในการกำหนดทิศทางหลัก โดยกรองค่าการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว ให้มีทิศทางการเคลื่อนตัวไปในทิศทางหลักอย่างเป็นเอกภาพ ก่อนที่จะนำข้อมูลการเคลื่อนตัวที่ผ่านการกรองแล้ว ไปใช้ศึกษาด้วยสมการ Logarithmic decay function ในขั้นตอนต่อไป (Panumastrakul et al , 2012) เพื่อให้เกิดความเข้าใจ จึงขอยกตัวอย่างการกรองข้อมูลของสถานี GPS3427 (CHON) ที่ จ.ชลบุรี แสดงในภาพที่ 5.2 โดยมีขั้นตอนการกรองข้อมูล ดังนี้

5.5.3 นำข้อมูลการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหวและการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว มาลงตำแหน่งในกราฟโดยแกนตั้งเป็นค่าการเคลื่อนตัวในทิศทางเหนือ-ใต้และแกนนอนเป็นค่าการเคลื่อนตัวในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก

5.5.3.1 ใช้สมการเส้นตรง เป็นตัวแทนแนวโน้มหลักของการเคลื่อนตัว ไปยังศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหว

5.5.3.2 ปรับแก้ข้อมูลการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหวและการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ณ เวลาต่างๆ ให้อยู่ในแนวทิศทางหลัก ด้วยระยะที่น้อยที่สุด



ภาพที่ 5.2 การกรองข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว ของสถานี CHON

(Panumastrakul et al., 2012)

ค่าผลลัพธ์ข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว ที่ผ่านการกรองข้อมูลด้วยสมการเส้นตรงแล้ว ถูกนำไปใช้ในการทดสอบกับแบบจำลอง Logarithmic decay function ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับว่ามีความสอดคล้องกับขนาดของการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว ในพื้นที่ห่างไกลจากบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหว (Kreemer et al, 2006b) ตัวอย่างข้อมูลของสถานี Chon แสดงในตาราง 5.3

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลการเคลื่อนตัว และค่าการเคลื่อนตัวที่ผ่านการกรองด้วยสมการเส้นตรง ของสถานี CHON

Site	Epoch	DN	SD	DE	SD	Fit_N	Fit_E	Diff_N	Diff_E
CHON	14-02-05	-49.6	2.2	-83.5	2.9	-49.6	-83.5	0.0	0.0
CHON	05-07-05	-66.9	1.9	-108.7	2.6	-65.7	-109.4	1.2	-0.7
CHON	14-10-05	-74.7	1.7	-120.1	2.1	-73.0	-121.2	1.7	-1.1
CHON	05-04-06	-76.5	2.2	-133.2	2.7	-79.3	-131.4	-2.8	1.8
CHON	12-07-06	-82.6	2.3	-137.6	2.7	-83.0	-137.4	-0.4	0.2
CHON	06-11-06	-90.5	2.4	-140.3	2.8	-86.4	-142.8	4.1	-2.5
CHON	15-05-07	-93.5	2.7	-149.9	3.1	-91.5	-151.1	2.0	-1.2
CHON	23-11-07	-94.1	2.8	-161.8	3	-97.0	-160.0	-2.9	1.8
CHON	10-11-08	-106.7	3.1	-176.8	3.1	-107.2	-176.5	-0.5	0.3

DN , DE = ค่าการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

SD = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเคลื่อนตัว ที่  $1\sigma$  (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

Fit\_N, Fit\_E = ค่าการเคลื่อนตัวที่ผ่านการกรองแล้ว (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

Diff\_N, Diff\_E = ค่าต่างของค่าการเคลื่อนตัวก่อนและหลังการกรอง (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

## 5.6 การศึกษาแบบจำลอง Logarithmic decay function ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สมการ Logarithmic decay function ในการศึกษากับข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว ในแนวทางเดียวกันกับ Satirapod et al.(2008) และ Kreemer et al.(2006) ข้อมูลที่ใช้ศึกษาครอบคลุมถึงปี พ.ศ.2552 (2009) แต่ได้เพิ่มขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลโดยใช้ตัวกรองสมการเส้นตรง ข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว สุมาตราอันดามันและนิแอส ของหมุดในโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทย ที่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ตัวกรองสมการเส้นตรงแล้ว แสดงในตารางที่ 5.4

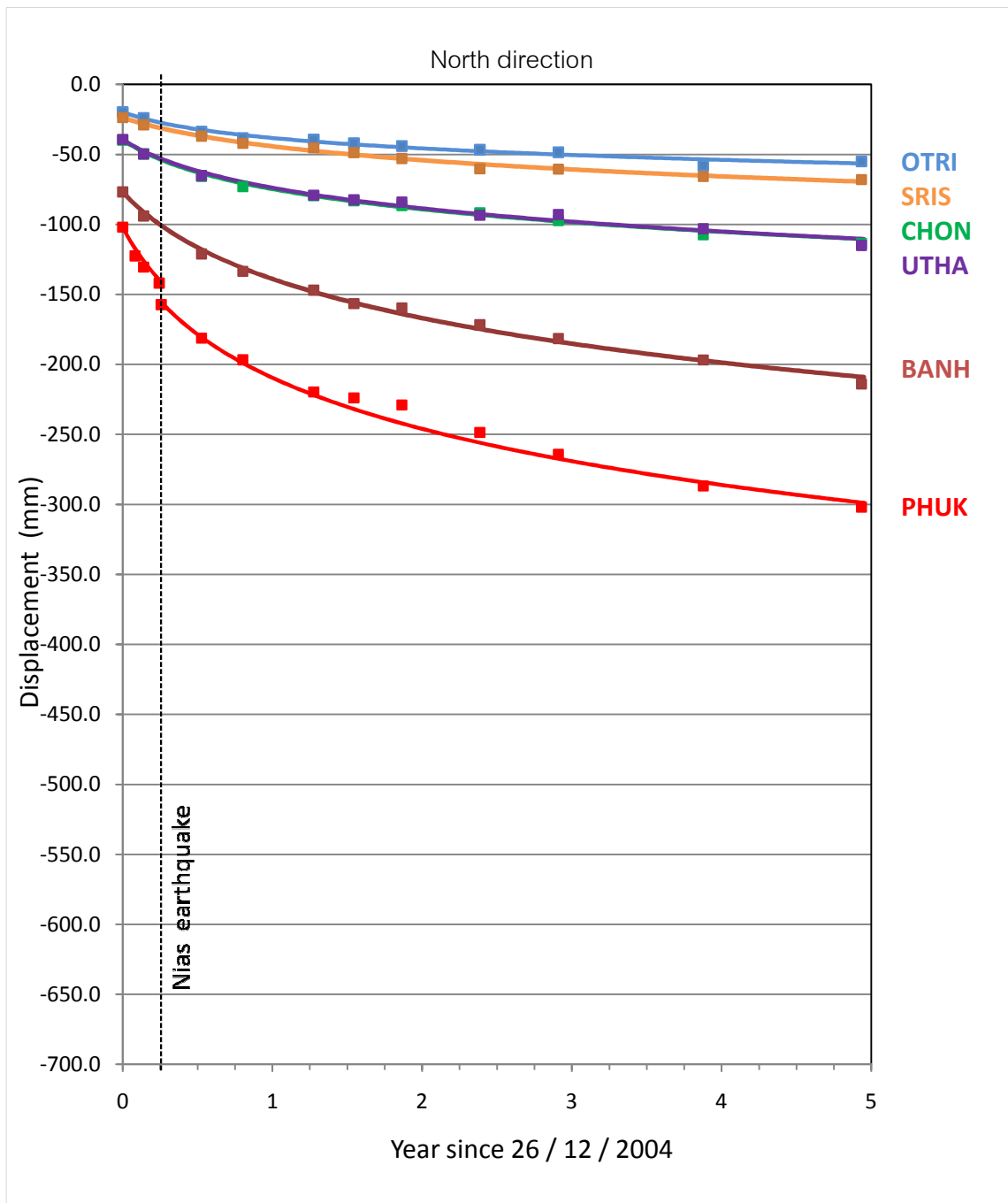
ตารางที่ 5.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส  
(หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

สถานี	แกน	เวลา	0.00	0.08	0.14	0.53	0.80	1.28	1.54	1.86	2.39	2.91	3.88	4.91
OTRI	N		-22.0		-27.8	-37.1	-43.8	-45.6	-46.0	-50.5	-59.7	-59.4	-69.6	-70.4
	E		-23.0		-26.9	-29.9	-30.7	-34.9	-42.1	-44.0	-45.6	-46.6	-41.8	-45.5
UTHA	N		-40.0		-52.0	-63.1		-80.2	-83.6	-81.3	-89.3	-89.2	-98.9	-127.1
	E		-47.0		-57.4	-78.9		-92.6	-96.2	-101.5	-113.7	-112.7	-124.7	-124.5
SRIS	N		-18.0		-21.6	-37.2	-43.4	-40.5	-39.0	-37.2	-47.7	-50.0	-59.7	-54.8
	E		-33.0		-39.3	-49.8	-55.4	-59.5	-66.3	-72.1	-70.7	-73.0	-86.9	-84.0
CHON	N		-38.4		-49.6	-66.9	-74.7	-76.5	-82.6	-90.5	-93.5	-94.1	-106.7	-114.0
	E		-68.4		-83.5	-108.7	-120.1	-133.2	-137.6	-140.3	-149.9	-161.8	-176.8	-186.0
BANH	N		-74.8		-91.8	-126.7	-137.2	-154.2	-153.4	-153.3	-166.9	-177.4	-202.3	-216.1
	E		-155.1		-186.6	-231.9	-255.6	-278.4	-301.6	-309.1	-330.0	-347.9	-370.5	-403.0
PHUK	N		-100.0	-122.5	-130.5	-181.3	-196.7	-219.6	-223.9	-228.9	-248.6	-264.1	-286.8	-301.9
	E		-236.0	-303.4	-314.3	-379.8	-411.2	-452.5	-480.3	-500.8	-531.0	-553.1	-598.9	-634.0

ข้อมูลของสถานี Pat2 และ สถานี RTSD ที่เป็นโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทย ไม่ถูกนำมาใช้ในแบบจำลอง เนื่องจากสถานี Pat2 เริ่มต้นรังวัดภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ทดแทนหตุ PATT เดิมที่ถูกทำลาย ส่วนสถานี RTSD เริ่มติดตั้งภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

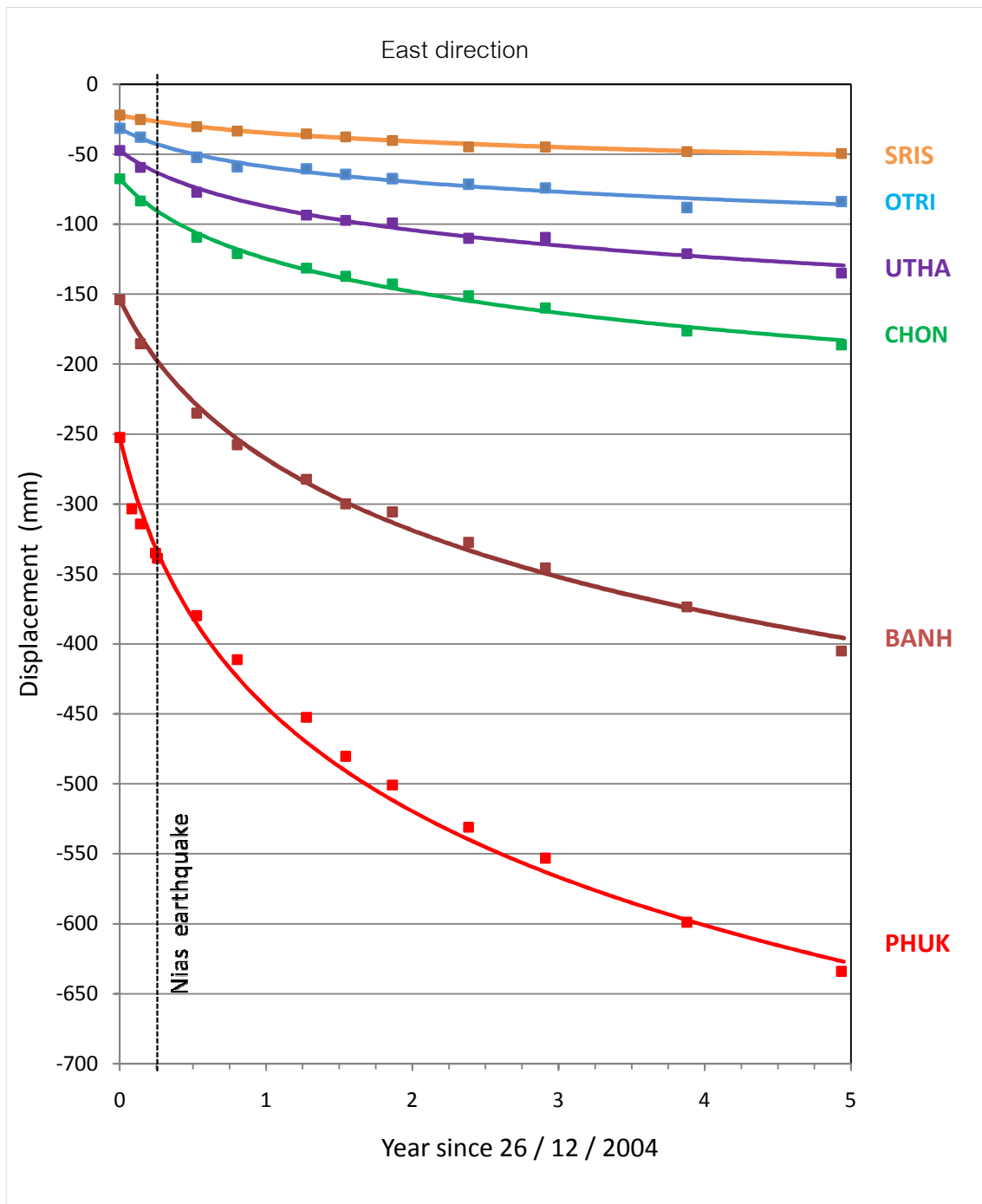
ข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส ตามตารางที่ 5.2 ถูกนำมาศึกษาด้วยสมการ Logarithmic decay function ตามสมการที่ 5-1 โดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ MAT LAB version 8 เป็นเครื่องมือในการนำเข้าข้อมูลค่าการเคลื่อนตัวและประมวลผลหาค่าตัวแปร โดยแยกประมวลผลในแนวทิศทางการเคลื่อนตัวเหนือ-ใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก สำหรับสถานี Phuk ได้พิจารณาถึงผลกระทบจากการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหวนิแอส ในแนวทางเดียวกันกับการศึกษาของ Satirapod et al. (2008) ทำให้ผลลัพธ์แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือก่อนการเกิดแผ่นดินไหวนิแอส และหลังการเกิดแผ่นดินไหวนิแอส ผลลัพธ์จากการศึกษาข้อมูลการเคลื่อนตัวด้วยแบบจำลอง Logarithmic decay function แสดงในภาพที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ และค่าผลลัพธ์ของตัวแปรต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.5





ภาพที่ 5.3 แผนผังแสดงค่าการเคลื่อนตัว ในทิศทางเหนือ-ใต้ จากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามัน และนิแอส ของหมุดในโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทย (เส้นที่บเป็นเส้นตัวแทนจากสมการ Logarithmic decay functions)

(Panumastakul et al., 2012)



ภาพที่ 5.4 แผนผังแสดงค่าการเคลื่อนตัว ในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก จากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามัน และนิแอส ของหมุดในโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทย (เส้นทึบเป็นเส้นตัวแทนจากสมการ Logarithmic decay functions (Panumastakul et al., 2012))

ตารางที่ 5.5 ผลลัพธ์การใช้แบบจำลอง Logarithmic decay function กับข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส (Panumastrakul et al., 2012)

Station <sub>Direction</sub>	Validity	a (mm)	$\tau_{\log}$ (yr)	c (mm)	R <sup>2</sup>
PHUK <sub>North1</sub>	26-12-04 to 28-3-05	-64.03	0.304	-101.9	0.995
PHUK <sub>East1</sub>	26-12-04 to 28-3-05	-130.30	0.294	-252.5	0.994
PHUK <sub>North2</sub>	28-3-05 to 1-12-09	-64.03	0.304	-116.4	0.995
PHUK <sub>East2</sub>	28-3-05 to 1-12-09	-130.30	0.294	-267.0	0.994
BANH <sub>North</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-53.37	0.453	-76.8	0.995
BANH <sub>East</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-97.47	0.452	-154.0	0.995
CHON <sub>North</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-26.6	0.356	-39.7	0.993
CHON <sub>East</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-42.78	0.356	-67.5	0.993
UTHA <sub>North</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-27.09	0.388	-39.3	0.987
UTHA <sub>East</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-31.43	0.391	-47.4	0.987
SRIS <sub>North</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-13.19	0.324	-19.7	0.974
SRIS <sub>East</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-19.40	0.320	-31.5	0.974
OTRI <sub>North</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-20.03	0.561	-23.7	0.990
OTRI <sub>East</sub>	26-12-04 to 1-12-09	-12.56	0.578	-22.1	0.990

### 5.6.1 วิเคราะห์ผลการศึกษาแบบจำลอง Logarithmic decay function

จากผลการศึกษาตามตารางที่ 5.5 ข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว ด้วยแบบจำลอง Logarithmic decay function พบว่า ข้อมูลการเคลื่อนตัวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยการใช้สมการเส้นตรงเป็นตัวกรองข้อมูล ก่อนการนำไปใช้กับแบบจำลอง Logarithmic decay function ได้ผลลัพธ์ที่มีความสอดคล้องกับแบบจำลองดีขึ้น โดยมีตัวชี้วัดที่สำคัญคือ

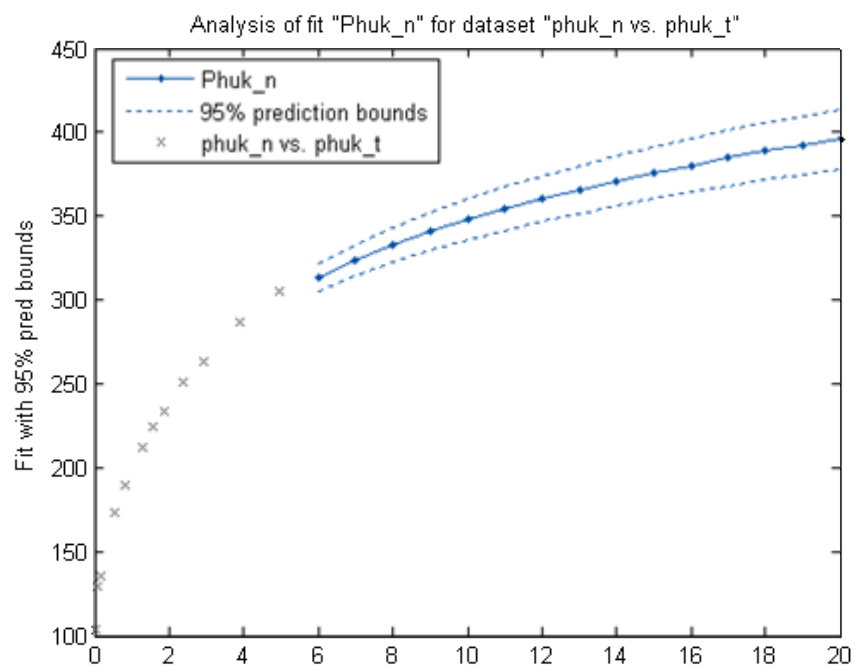
1) ค่าตัวแปรเวลาในการถดถอย ( $\tau_{\log}$ ) ของสมการ Logarithmic decay function ของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง มีความเป็นเอกภาพและสอดคล้องกันในทุกทิศทาง ทั้งในแนวเหนือใต้ และตะวันออกตะวันตก สอดคล้องกับแนวทางการศึกษาทางยี่ห้อฟิสิกส์ (Vigny, 2009b)

2) ค่า R<sup>2</sup> ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสอดคล้องของข้อมูล กับแบบจำลองที่ใช้ในศึกษา หากผลลัพธ์แสดงค่า เท่ากับ 1 หมายถึง แบบจำลองมีความสอดคล้องเข้ากันได้กับข้อมูลโดยสมบูรณ์ ซึ่งเป็นค่าในอุดมคติ จากผลลัพธ์ในงานวิจัยนี้ มีค่า R-Square อยู่ระหว่าง 0.974 – 0.995 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Logarithmic decay function มีความสอดคล้องกับข้อมูลการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส (Satirapod et al., 2008; Kreemer et al., 2006b)

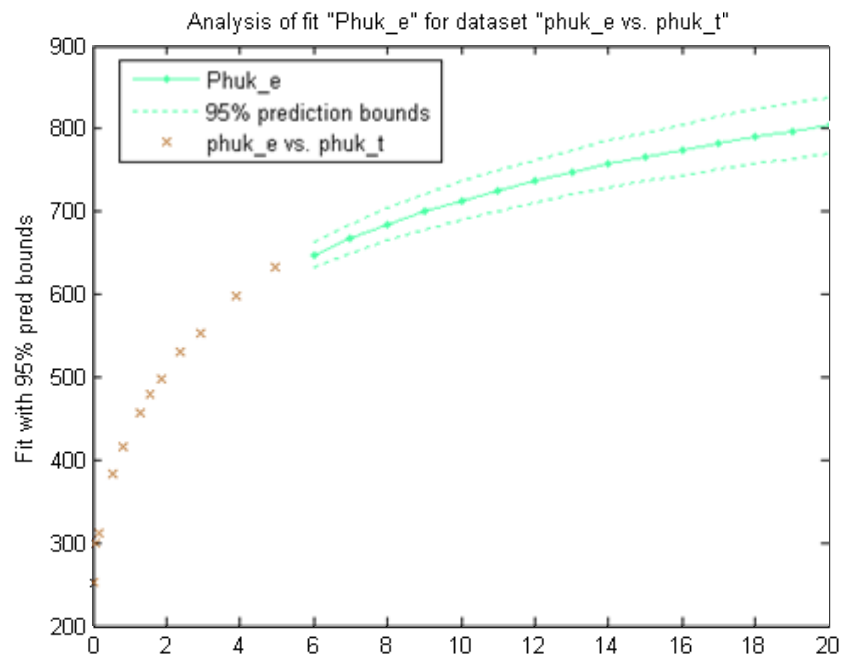
3) ทั้งในส่วนของ ค่าตัวแปรเวลาในการถดถอย ( $\tau_{\log}$ ) และ ค่า  $R^2$  มีคุณภาพดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (ผลลัพธ์การศึกษาก่อนหน้านี้ แสดงในตาราง 5.2)

## 5.7 การนำผลการศึกษาจากแบบจำลอง Logarithmic decay function ไปใช้ ประเมินค่าการเคลื่อนตัวในอนาคต

ผลลัพธ์จากการศึกษาข้อมูลการเคลื่อนตัวของเหตุแผ่นดินไหว ด้วยแบบจำลอง Logarithmic decay function สามารถนำไปใช้ประเมินค่าการเคลื่อนตัวในอนาคตได้ โดยการกำหนดค่าตัวแปรที่ได้จากการศึกษา ค่าตัวแปร  $a$  และ  $\tau_{\log}$  แทนในสมการ 5-1 ก็จะสามารถ ประเมินค่าการเคลื่อนตัว ในเวลาต่างๆ ได้ ดังตัวอย่างของหมุด GPS3657 (PHUK) จ.ภูเก็ต ผลลัพธ์จากการประเมินค่าไป ณ เวลาต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ในทิศทาง เหนือ-ใต้ และ ตะวันตก-ตะวันออก แสดงในภาพที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ (ตัวอย่างการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวใน ผนวก ๕)



ภาพที่ 5.5 กราฟแสดงแนวโน้มการเคลื่อนตัวของหมุด PHUK ในทิศทางเหนือ-ใต้ (แกนตั้ง ขนาดการเคลื่อนตัว หน่วยเป็น มิลลิเมตร , .แกนนอน ระยะเวลานับจากแผ่นดินไหว หน่วยเป็น ปี)



ภาพที่ 5.6 กราฟแสดงแนวโน้มการเคลื่อนตัวของหมุด PHUK ในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก (แกนตั้ง ขนาดการเคลื่อนตัว หน่วยเป็น มิลลิเมตร. แกนนอน ระยะเวลา นับจากแผ่นดินไหว หน่วยเป็น ปี)

## 5.8 กรณีศึกษา การเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว โดยแบบจำลอง Logarithmic decay function กับแบบจำลองทางฮืออพลิกส์

Fleitout.(2010) ได้ศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว Burger Model และติดตามการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวของสถานีต่างๆ พบว่าในพื้นที่ใกล้เคียงกับการเกิดแผ่นดินไหว มีขนาดการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว คิดเป็นอัตราส่วนเทียบต่อการเคลื่อนตัวขณะการเกิดแผ่นดินไหว ประมาณ 0.17 เท่า และในพื้นที่ย่านกลาง มีขนาดประมาณ 0.4 เท่า ส่วนในพื้นที่ย่านไกล เช่นบริเวณประเทศไทยพบว่าขนาดของการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคใต้ คิดเป็นอัตราส่วนต่อการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหวเท่ากับ 2.3 ,2.0 และ 1.7 เท่า ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 5.6 นับเป็นอัตราส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับพื้นที่ใกล้เคียงจุดศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหวและพื้นที่ย่านกลางที่เคยทำการศึกษาไว้

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษเปรียบเทียบข้อมูลการเคลื่อนตัวจากแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลการเคลื่อนตัวในท้องถิ่นเป็นตัวกำหนดค่าตัวแปรในแบบจำลองหรือ Logarithmic decay function กับแบบจำลองทางฮืออพลิกส์ Burger Mode ที่ใช้ข้อมูลระดับภูมิภาคในการสร้างหรือกำหนดตัวแปรในแบบจำลอง

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ต่อ การเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว บริเวณประเทศไทย (ข้อมูลถึง พฤศจิกายน พ.ศ.2553 (2010)) (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

พื้นที่	ขนาดการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว (1)	ขนาดการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว (2)	อัตราส่วน (2) : (1)
ภาคเหนือ (จ.ลำปาง)	32	75	23
ภาคกลาง (จ.ชลบุรี)	78	155	20
ภาคใต้ (จ.ภูเก็ต)	272	473	17

ภายใต้โครงการความร่วมมือ GEO2TECDI (Geodetic Earth Observation Technologies for Thailand : Environmental Change Detection and Investigation) ได้มีการนำเสนอแบบจำลองทางยี่ห้อฟิสิกส์ เพื่อการคำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ด้วยข้อมูลจากแบบจำลอง Burger Model (Fleitout, 2010) ในงานวิจัยจึงได้นำข้อมูลที่สร้างจากแบบจำลอง Burger Model ในย่านพื้นที่ย่านไกลหรือบริเวณประเทศไทย จำนวน 2 ห้วงเวลา คือ เวลา 3.03 ปี และ เวลา 4.11 ปี นับจากวันที่เกิดแผ่นดินไหว ซึ่งตรงกับวันที่ 9 ม.ค. พ.ศ.2551 (2008) และ 3 ก.พ. พ.ศ.2552 (2009) ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้รับมาอยู่ในรูปแบบของข้อมูลกริด โดยแยกค่าการเคลื่อนตัวในทางทิศทาง เหนือ-ใต้ , ตะวันออก-ตะวันตก และ ทางตั้ง มีความละเอียดของข้อมูลทุกๆ 1 องศา ครอบคลุมพื้นที่ละติจูดที่ 5 – 21 องศาเหนือ และ ลองจิจูดที่ 96 – 106 องศาตะวันออก ตัวอย่างข้อมูลบางส่วนแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ตัวอย่างข้อมูลการเคลื่อนตัว จากแบบจำลองทางยี่ห้อฟิสิกส์ (Fleitout, 2010)

Grid Point		Time 3.03		Time 4.11	
Latitude	Longitude	Diff_North	Diff_East	Diff_North	Diff_East
96	5	-1326.4	-2085.6	-1376.4	-2160.4
97	5	-461.3	-990.3	-491.6	-1041.1
98	5	-233.1	-592.1	-252.1	-627.6
99	5	-142.8	-428.9	-155.8	-458.5
100	5	-91.4	-334.8	-101.3	-361.5
101	5	-58.1	-262.8	-65.9	-286.7
102	5	-37.5	-205.7	-43.7	-226.5

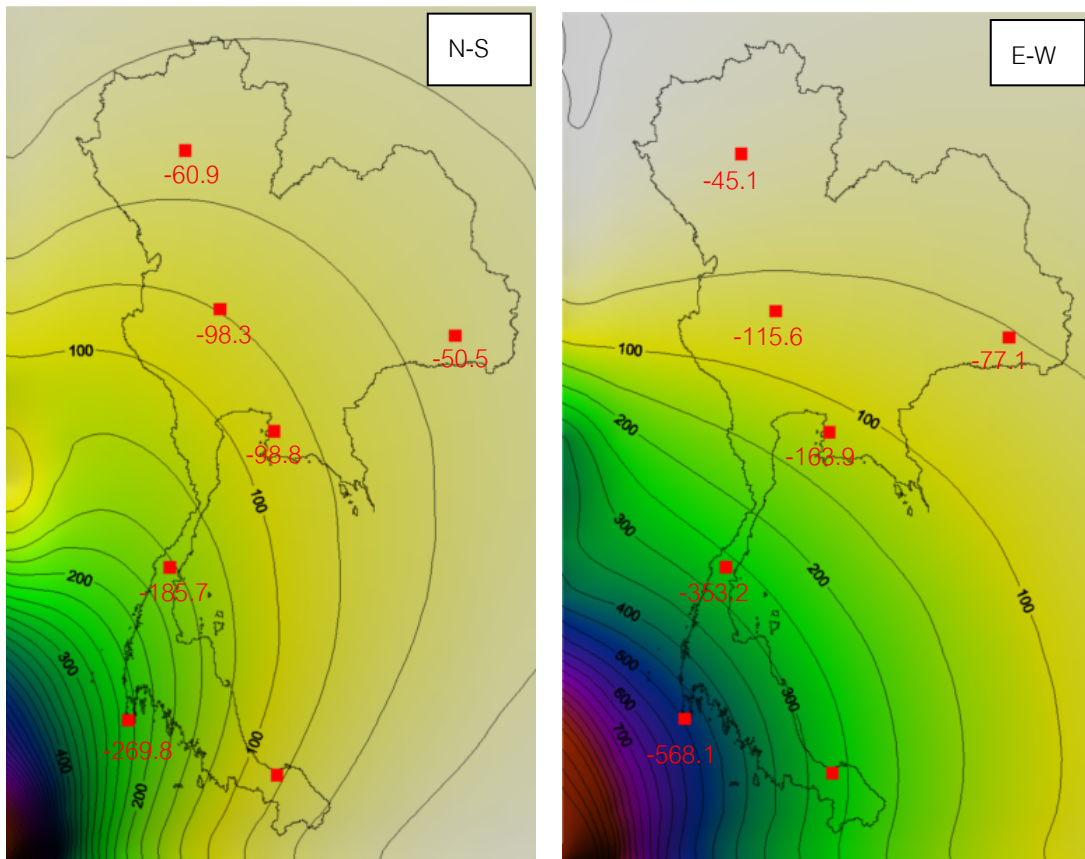
หมายเหตุ Time เป็นเวลานับจากวันที่เกิดแผ่นดินไหว 26 ธันวาคม พ.ศ.2547 (2004)  
 Time 3.03 ปี ตรงกับวันที่ 9 ม.ค. พ.ศ.2551 (2008)  
 Time 4.11 ปี ตรงกับวันที่ 3 ก.พ. พ.ศ.2552 (2009)  
 Diff\_North , Diff\_East เป็นค่าการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว  
 (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางฮิออฟิสติกส์ จะต้องเป็นข้อมูล ในขณะเวลาเดียวกัน จึงได้คำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง โดยใช้ แบบจำลอง Logarithmic decay function และค่าตัวแปรของแบบจำลองที่ได้จากการศึกษาใน ตารางที่ 5.5 คำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวในเวลา 3.03 และ 4.11 ปีนับจากวันที่เกิด แผ่นดินไหว ผลการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง ด้วยสมการ Logarithmic decay function แสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง จากการประมาณค่าโดยแบบจำลอง Logarithmic decay function (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

Time		OTRI	UTHA	SRIS	CHON	BANH	PHUK
3.03	N	-60.9	-98.3	-50.5	-98.8	-185.7	-269.8
	E	-45.1	-115.6	-77.1	-163.9	-353.2	-568.1
4.11	N	-66.2	-105.7	-54.2	-106	-200	-287.6
	E	-48.4	-124.1	-82.5	-175.7	-379.3	-604.4

แม้ว่าจะมีข้อมูลการเคลื่อนตัวขณะเวลาเดียวกันจากแบบจำลองทางฮิออฟิสติกส์ และแบบจำลอง Logarithmic decay function แล้วก็ตาม แต่เนื่องจากข้อมูลทั้งสองยังมีลักษณะ โครงสร้างที่แตกต่างกันคือ ข้อมูลการเคลื่อนตัวจากแบบจำลองทางฮิออฟิสติกส์ตามตารางที่ 5.7 เป็นข้อมูลที่เป็นเชิงกริด ส่วนข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง Logarithmic decay function เป็นข้อมูลตำแหน่งของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลจาก แบบจำลองทั้งสองแบบจำลองนี้ได้ จึงต้องจัดทำข้อมูลทั้งสองส่วนให้สามารถซ้อนทับกันหรือมีค่า การเคลื่อนตัวในตำแหน่งพิกัดที่ตรงกันด้วย ดังนั้นข้อมูลการเคลื่อนตัวจากแบบจำลองทาง ฮิออฟิสติกส์ในแต่ละทิศทางทั้งสองช่วงเวลา จึงถูกนำมาสร้างเป็นพื้นผิวสามมิติ ด้วยโปรแกรม Surfer version 8.0 และข้อมูลการเคลื่อนตัวจากแบบจำลอง Logarithmic decay function ของ หมุดในโครงข่ายอ้างอิง ถูกสร้างเป็นจุดตำแหน่งบนภาพที่แสดงพื้นผิวสามมิติของแบบจำลองทาง ฮิออฟิสติกส์ โดยแยกตามทิศทางและช่วงเวลาที่สุดคัลของข้อมูลทั้งสองประเภท ดังแสดงใน ภาพที่ 5.7 และ 5.8, ตามลำดับ และค่าผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ



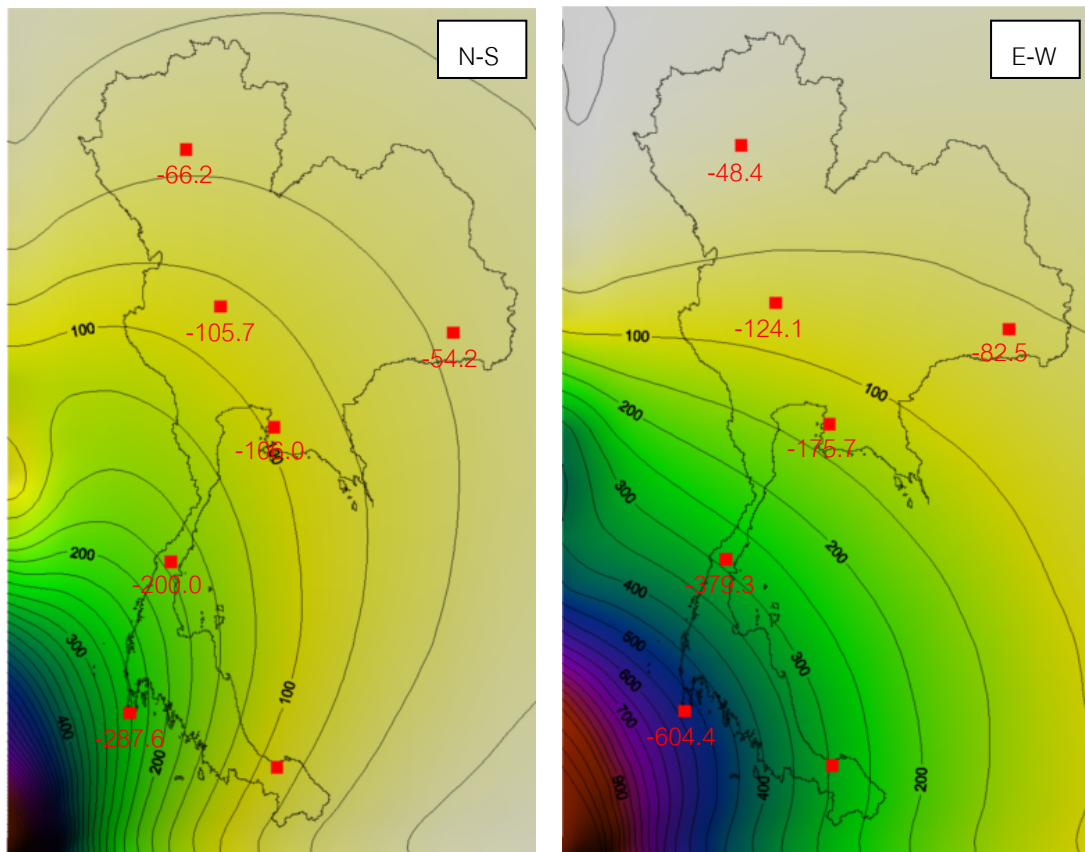
ภาพที่ 5.7 ภาพซ้าย : ทิศทางเหนือ-ใต้ และ ภาพขวา : ทิศทางตะวันออก-ตะวันตก แสดงให้เห็นชั้นค่าการเคลื่อนตัวจากแบบจำลองยืดหยุ่นฟิสิกส์ และค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง ที่ได้จากแบบจำลอง Logarithmic decay function (ข้อมูลตรงกับวันที่ 9 ม.ค. พ.ศ.2551 (2008) เท่ากับ 3.038 ปี นับจากวันที่เกิดแผ่นดินไหว)

ตารางที่ 5.9 ค่าแตกต่างระหว่างค่าการเคลื่อนตัวจากแบบจำลอง Logarithmic decay function กับแบบจำลอง Geophysics : ข้อมูลนับจากวันที่เกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 3.038 ปี (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

หมุด	Logarithmic (1)		Geophysics (2)		ค่าต่าง (2) - (1)	
	N-S	E-W	N-S	E-W	DN	DE
OTRI	-60.9	-45.1	-40.2	-18.3	20.7	26.8
UTHA	-98.3	-115.6	-74.4	-67.5	23.9	48.1
SRIS	-50.5	-77.1	-53.1	-52.2	-2.6	24.9
CHON	-98.8	-163.9	-85.8	-117.6	13.0	46.3
BANH	-185.7	-353.2	-153.3	-264.0	32.4	89.2
PHUK	-269.8	-568.1	-235.3	-495.1	34.5	73.0

หมายเหตุ Logarithmic เป็นค่าที่ได้จากการประมาณค่าโดยแบบจำลอง Logarithmic decay function  
Geophysics เป็นค่าที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลทางยืดหยุ่นฟิสิกส์





ภาพที่ 5.8 ภาพซ้าย : ทิศทางเหนือ-ใต้ และ ภาพขวา : ทิศทางตะวันออก-ตะวันตก แสดงเส้นชั้นค่าการเคลื่อนตัวจากแบบจำลองยืดหยุ่นและค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง ที่ได้จากแบบจำลอง Logarithmic decay function (ข้อมูลตรงกับวันที่ 3 ก.พ. พ.ศ.2552 เท่ากับ 4.111 ปี นับจากวันที่เกิดแผ่นดินไหว)

ตารางที่ 5.10 ค่าแตกต่างระหว่างค่าการเคลื่อนตัวของหมุดแบบจำลอง Logarithmic และ แบบจำลอง Geophysics : ข้อมูลนับจากวันที่เกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 4.111 ปี (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

หมุด	Logarithmic (1)		Geophysics (2)		ค่าต่าง (2) - (1)	
	N-S	E-W	N-S	E-W	DN	DE
OTRI	-66.2	-48.4	-44.5	-19.7	21.7	28.7
UTHA	-105.7	-124.1	-82.7	-73.9	23.0	50.2
SRIS	-54.2	-82.5	-59.5	-57.7	-5.3	24.8
CHON	-106.0	-175.7	-96.1	-130.1	9.9	45.6
BANH	-200.0	-379.3	-169.3	-289.2	30.7	90.1
PHUK	-287.6	-604.4	-253.7	-533.6	33.9	70.8

หมายเหตุ Logarithmic เป็นค่าที่ได้จากการประมาณค่าโดยแบบจำลอง Logarithmic decay function

Geophysics เป็นค่าที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลทางยืดหยุ่น

จากข้อมูลการเปรียบเทียบ ในตารางที่ 5.9 และ 5.10 พบว่าขนาดของการเคลื่อนตัวที่ได้จากแบบจำลองทางย็ออพิลิกส์ มีขนาดการเคลื่อนตัวที่น้อยกว่าขนาดการเคลื่อนตัวจากแบบจำลอง Logarithmic decay function มีสาเหตุเนื่องมาจากแบบจำลองทางย็ออพิลิกส์ที่ได้นำมาเปรียบเทียบ เป็นการประมวลผลหาค่าของการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวในระดับภูมิภาคและครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยกำหนดค่าตัวแปรตามทฤษฎีโครงสร้างทางกายภาพของโลก ทำให้ค่าตัวแปรบางตัวยังไม่เหมาะสมและสอดคล้องกับผลการวัดที่มีความละเอียดในระดับมิลลิเมตร จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวในพื้นที่ย่านไกล และปรับปรุงคุณภาพของค่าตัวแปรในอนาคตต่อไป ดังนั้นการประมาณค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนในท้องถิ่นจึงควรใช้ข้อมูลในท้องถิ่นเป็นจุดควบคุมในการประมาณค่าและใช้แบบจำลองที่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากกว่า (Vigny, 2009b)

## 5.9 สรุปท้ายบท

จากผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการศึกษาเรื่องต่างๆ ในบทที่ 5 สามารถสรุปได้ ดังนี้

ข้อมูลรังวัดการเคลื่อนตัวที่เป็นโครงการตามห้วงเวลา อาจมีความคลาดเคลื่อนแฝงจากลักษณะการปฏิบัติงานรังวัด ทำให้ข้อมูลที่ได้ถูกลดทอนความถูกต้องลง การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลการเคลื่อนตัวด้วยตัวกรองสมการเส้นตรง ช่วยปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลให้ดีขึ้น และมีความสอดคล้องกับแบบจำลอง Logarithmic decay function มากขึ้น และผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกับทฤษฎีทางด้านย็ออพิลิกส์

แบบจำลอง Logarithmic decay function ที่ใช้ข้อมูลการเคลื่อนตัวในท้องถิ่นเป็นข้อมูลในการสร้างและกำหนดค่าตัวแปร ทำให้มีความสอดคล้องกับค่าการเคลื่อนตัวในบริเวณประเทศไทยมากกว่าแบบจำลองทางย็ออพิลิกส์ที่ใช้ประมาณค่าการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวในระดับภูมิภาค ผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่สอดคล้องกับค่าการเคลื่อนตัวจริงในพื้นที่ย่านไกล หรือบริเวณประเทศไทย

## บทที่ 6

### การประมาณค่าการเคลื่อนตัวของโครงข่ายหมุดหลักฐาน

ในสภาวะที่การเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ยังคงมีผลกระทบต่อโครงข่ายอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้การปรับปรุงค่าพิกัดของหมุดหลักฐานในโครงข่ายมีความจำเป็นเพื่อให้โครงข่ายมีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือ ตามมาตรฐานของชั้นงานที่กำหนด สิ่งนี้อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้งานหมุดหลักฐาน นักสำรวจ หรือผู้ที่ใช้งานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับค่าพิกัดอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ หากต้องการที่จะปรับปรุงค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดในห้วงเวลาต่างๆ ให้มีความเป็นปัจจุบันเทียบเท่ากับโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทยนั้น อาจมีความจำเป็นต้องทำการรังวัดใหม่ หรืออย่างน้อยก็ต้องผ่านกระบวนการประมวลผลหรือปรับแก้ใหม่ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าว ไม่สามารถกระทำได้ง่าย หากสามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนอย่างถูกต้อง เพื่อนำมาเป็นค่าแก้ให้กับค่าพิกัดเหล่านั้น โดยมีความละเอียดถูกต้องเพียงพอเทียบเท่า หรืออยู่ในเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ย่อมเป็นหนทางที่ช่วยในการปรับปรุงข้อมูลต่างๆเหล่านั้น ให้เป็นปัจจุบันเทียบเท่าโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทยในชั้นงานโครงข่ายรองได้ ในบทนี้จะได้อธิบายถึงการศึกษาเทคนิคของการประมาณค่าภายใน (Interpolation) ที่ถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าการเคลื่อนตัว และใช้เป็นค่าแก้ของค่าพิกัดต่างๆ ให้มีค่าเป็นปัจจุบันเทียบเท่าโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทย

#### 6.1 ความสัมพันธ์ของค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ในสมการหาค่าพิกัด ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

ก่อนหน้าการเกิดแผ่นดินไหว แผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียง ด้วยอัตราเร็วค่อนข้างคงที่ ต่อมาเกิดแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส ในขณะเกิดแผ่นดินไหว แผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย มีการเคลื่อนตัวไปสู่ศูนย์กำเนิดการเกิดแผ่นดินไหว อย่างทันทีทันใด และภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว แผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ยังคงมีการคลายตัว และเคลื่อนที่ในทิศทางไปสู่ศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว ด้วยขนาดที่ไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย ในขณะเดียวกันแผ่นเปลือกโลกใหญ่ Sunda Block ก็ยังคงมีการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียง ด้วยอัตราเร็วคงที่ อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นค่าการเคลื่อนตัวที่มีผลต่อแผ่นเปลือกโลกประเทศไทย ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

- การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกใหญ่ หรือการเคลื่อนตัวของหมุดหลักฐานที่มีการตรวจวัดก่อนการเกิดแผ่นดินไหว

- การเคลื่อนตัวขณะการเกิดแผ่นดินไหว
- การเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

จากสมการหาค่าพิกัดที่เวลาใดๆ ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว ตามสมการที่ 2-2

$$\text{pos}(t) = \text{pos}(t_{\text{ref}}) + (\text{Vel} * \Delta t) + \text{disp}_{\text{co,Post}}$$

ข้อมูลการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ทั้ง 3 ส่วน มีความสัมพันธ์เป็นตัวแปรที่แสดงอยู่ในสมการ คือ พจน์ของสมการ  $(\text{Vel} * \Delta t)$  เป็นการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกใหญ่ในระหว่างห้วงเวลาที่สนใจ และพจน์ของสมการ  $\text{disp}_{\text{co,Post}}$  เป็นการเคลื่อนตัวขณะการเกิดแผ่นดินไหว รวมกับการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวในระหว่างห้วงเวลาที่สนใจ

ดังนั้นถ้าเราทราบค่าพิกัดของจุดใดๆ ใน 2 ห้วงเวลาที่ต่างกัน ก็จะสามารถหาค่าผลรวมของค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกรวมกับการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากการเกิดแผ่นดินไหวนี้ได้ ตามสมการที่ 6-1

$$\text{pos}(t) - \text{pos}(t_{\text{ref}}) = (\text{Vel} * \Delta t) + \text{disp}_{\text{co,Post}} \quad (6-1)$$

เมื่อ

$\text{pos}(t)$	=	ค่าพิกัดของสถานี ณ เวลาที่ต้องการคำนวณ
$\text{pos}(t_{\text{ref}})$	=	ค่าพิกัดของสถานี ณ เวลาอ้างอิง
$\text{vel}$	=	อัตราเร็วในการเคลื่อนตัวของตำแหน่งที่พิจารณา
$\text{disp}_{\text{co,post}}$	=	ค่าการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหวและภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว นับจากเวลาอ้างอิง ถึงเวลาที่ต้องการคำนวณ

ข้อมูลการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ที่กรมแผนที่ทำการรังวัดในลักษณะของโครงการตามห้วงระยะเวลา จะได้ค่าพิกัดของสถานีต่างๆ ในแต่ละห้วงเวลาการรังวัดครั้งนั้น หากพิจารณาตามสมการ ที่ (6-1) เมื่อนำค่าพิกัดของโครงการที่รังวัดใน 2 ห้วงเวลา มาหักลบกัน ค่าความต่างของค่าพิกัด จะเท่ากับ ค่าการเคลื่อนตัวรวม ที่ประกอบด้วย ค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกก่อนการเกิดแผ่นดินไหวของ Sunda Block รวมกับค่าการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว ในระหว่าง 2 ห้วงเวลานั้น ค่าความต่างพิกัดของสถานีในโครงข่ายแต่ละสถานี ก็ จะแตกต่างกันตามขนาดของผลรวมของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกกับการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหว ทุกๆจุดบนแผ่นเปลือกโลกของประเทศไทยก็ได้รับอิทธิพลในลักษณะเดียวกันกับหมุดในโครงข่ายของประเทศไทยที่มีข้อมูลการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัว ข้อมูลการรังวัดติดตาม

ของหมุดเหล่านี้สามารถนำมาหาค่าความต่างพิกัด และใช้เทคนิคของการประมาณค่าภายใน เพื่อประมาณค่าของการเคลื่อนตัวของทุกๆ ตำแหน่งในประเทศไทย

ด้วยแนวคิดของวิธีการประมาณค่าภายใน ที่ถูกใช้ในการประมาณค่าแนวโน้ม การเปลี่ยนแปลงทางด้านธรณีวิทยา ยีออเดซี ยีออฟิสิกส์ และอีกหลายๆศาสตร์ (Dressler, 2009) ในงานวิจัยนี้จึงนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของภายในโครงข่ายของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลของหมุดในโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 ที่มีการร่ววดติดตามการเคลื่อนตัวของประเทศไทย เป็นข้อมูลในการสร้างความสัมพันธ์ของการประมาณค่าภายใน

## 6.2 การประมาณค่าภายใน (Interpolation)

การประมาณค่าภายใน เป็นการประมาณค่าที่สนใจ หรือประมาณค่าแนวโน้มที่เป็นไปได้ บนแนวเส้น หรือพื้นผิว ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่างๆ โดยใช้ข้อมูลจากจุดตัวอย่างที่มีอยู่อย่างจำกัดในบริเวณโดยรอบ เป็นข้อมูลตั้งต้นในการสร้างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่ง และ/หรือ สร้างความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนัก เพื่อการประมาณค่าในจุดอื่นๆ ที่พิจารณา (Dressler, 2009)

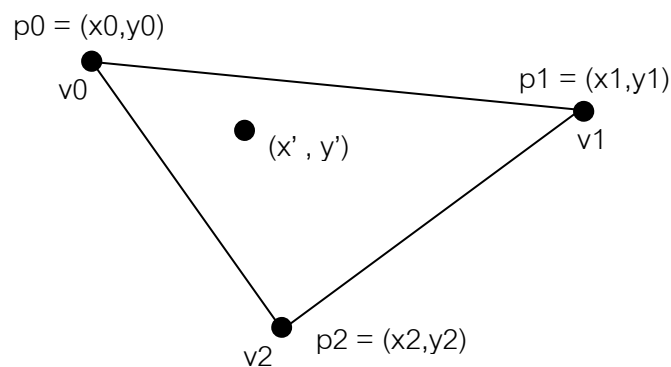
ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของบนพื้นผิวเปลือกโลกประเทศไทย วิธีการประมาณค่าภายในบนพื้นผิวมีหลายวิธีเช่น วิธีการประมาณค่าภายในโดยสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม (Triangulation with linear interpolation) (Dressler, 2009), วิธีการ Inverse Distance Weighted (Tomczak, 1998), วิธีการของ Natural Neighbors (Boissonnat and Cazais, 2001), วิธีการของ Kriging (Krige, 1951) เป็นต้น

ในวิธีการที่กล่าวถึงนั้น คือวิธีการสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม เป็นวิธีพื้นฐานและไม่ซับซ้อน ส่วนวิธีการที่นิยมใช้ในในศาสตร์ด้านปฐพีวิทยา ธรณีวิทยา และเป็นวิธีที่เป็นที่นิยมของโปรแกรมด้านการประมวลผลแผนที่สามมิติคือวิธีการของ Kriging ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้พิจารณาเลือกวิธีการทั้งสองนี้ในการศึกษา และใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของบริเวณประเทศไทย

### 6.2.1 การประมาณค่าภายในโดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม

เป็นวิธีการประมาณค่าบนพื้นผิวที่เป็นพื้นฐานและไม่ซับซ้อน เมื่อนำมาข้อมูลทั่วพื้นผิวมาสร้างรูปสามเหลี่ยมที่ต่อเนื่องกัน โดยเงื่อนไขของ delaunay triangulation ภายในรูปสามเหลี่ยมแต่ละรูปจะเป็นพื้นผิวระนาบ ที่จุดปลายของรูปสามเหลี่ยมทั้งสามจะมีค่าพิกัด  $x, y$  ที่เป็นตัวแทนตำแหน่ง และมีค่าที่สนใจ  $v$  (value) ที่แตกต่างกัน เช่น ค่าความสูง ค่าปริมาณน้ำฝน หรืออื่นๆ (ในงานวิจัยนี้ ค่าที่สนใจคือขนาดของการเคลื่อนตัว) จุดใดๆ ภายในรูปสามเหลี่ยม

สามารถคำนวณได้จากสมการเส้นตรง ที่สร้างความสัมพันธ์จากจุดปลายทั้งสาม โดยปกติวิธีการนี้ เราจะคุ้นเคยกับการหาความสูงของพื้นผิว แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าการเคลื่อนตัว ที่มีความเปลี่ยนแปลงในลักษณะเส้นตรง หรือเกือบจะเป็นเส้นตรง โดยมีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ได้เช่นเดียวกัน ดูภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 แสดงการประมาณค่าโดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม

ความสัมพันธ์ของตำแหน่ง  $x, y$  กับค่าที่สนใจ  $v$  สามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$f(x, y) = v = Ax + By + C \quad (6-2)$$

เมื่อ

$A, B$  และ  $C$  เป็นค่าตัวแปรในสมการเส้นตรง  
 $x$  และ  $y$ . เป็นค่าพิกัดตำแหน่งของจุดปลายรูปสามเหลี่ยม  
 $v$  เป็นตัวแปรที่ต้องการทราบค่า

ข้อมูลที่จำเป็นต้องทราบในการแก้ปัญหสมการนี้ คือ ค่าพิกัดของจุดปลายรูปสามเหลี่ยมและขนาดของค่าที่สนใจ ของจุดปลายทั้งสาม  $\{(x_0, y_0, v_0), (x_1, y_1, v_1), (x_2, y_2, v_2)\}$  สามารถเขียนในรูปของสมการเส้นตรงได้ 3 สมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} Ax_0 + By_0 + C &= v_0 \\ Ax_1 + By_1 + C &= v_1 \\ Ax_2 + By_2 + C &= v_2: \end{aligned} \quad (6-3)$$

### 6.2.2 วิธีประมาณค่าภายในโดยวิธีการ Kriging

การประมาณค่าโดยวิธี Kriging เป็นที่รู้จักใช้งานในหลายแขนงวิชา โดยเฉพาะด้านที่เกี่ยวข้องกับธรณีวิทยา สามารถแสดงค่าแนวโน้มที่ดีในเกือบทุกรูปแบบของข้อมูล ภายใต้แนวคิดที่ว่า ค่าตัวแปรที่ต้องการทราบค่า สามารถสร้างความสัมพันธ์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเอกลักษณ์ในรูปแบบต่างๆได้ โดยสร้างความสัมพันธ์หาค่าน้ำหนักของจุดตัวแปรที่ต้องการทราบค่ากับจุดโดยรอบที่มีค่าตัวอย่างต่างๆจุดด้วยวิธี Variogram (Bohling, 2005) และสร้างสมการความผันแปรร่วม (Covariance function) เพื่อประมาณค่าทางสถิติที่มีความเกี่ยวพันเชิงพื้นที่ ตัวอย่างการใช้งานวิธีการประมาณค่าภายใน แบบ Kriging โดยโปรแกรมประยุกต์ Surfer Version 8 ที่ใช้ในงานวิจัย แสดงรายละเอียดในผนวก จ.

การประมาณค่าของ Kriging โดยวิธีสมการเชิงเส้นมีรูปแบบสมการดังนี้

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n W_i Z(X_i) \quad (6-4)$$

เมื่อ

$$Z(X_0) = \text{ค่าที่ได้จากการประมาณค่า}$$

$$W_i = \text{ค่าน้ำหนัก}$$

$$Z(X_i) = \text{ค่าจากจุดตัวอย่าง}$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = \text{ผลรวมของค่าน้ำหนัก เท่ากับ 1}$$

### 6.3 การศึกษาและเปรียบเทียบ ผลต่างของการประมาณค่าภายในโดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธี Kriging

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาค่าความต่างของผลลัพธ์ ที่ได้จากวิธีการประมาณค่าภายในด้วยสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม กับวิธีการ Kriging และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธี เพื่อศึกษาว่าวิธีที่เลือกใช้ทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ มีรายละเอียดวิธีดำเนินการดังนี้

### 6.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

6.3.1.1 ข้อมูลค่าพิกัดของสถานีโครงข่ายอ้างอิง และสถานีในโครงข่ายชั้นที่ 1 ของประเทศไทย รวมทั้งสิ้น 19 สถานี จำนวน 2 ชุดข้อมูลที่รังวัดในห้วงเวลาต่างกัน คือ ข้อมูลชุดที่ 1 รังวัดเมื่อ เดือน เมษายน และ กรกฎาคม พ.ศ.2548 (เวลา 2005.7) และข้อมูลชุดที่ 2 รังวัดเมื่อ เดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2551 (เวลา 2008.11) ข้อมูลโครงข่ายอ้างอิงทั้งสองชุด ผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ GIPSY OASIS II โดยใช้เทคนิคการประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่ให้ความละเอียดถูกต้องสูง และข้อมูลโครงข่ายชั้นที่ 1 ผ่านการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ด้วยโปรแกรม Trimble Geomatic Office version 1.6 ของบริษัทผู้ผลิต Trimble โดยใช้ค่าวงโคจรดาวเทียมแบบละเอียด และผ่านกระบวนการปรับแก้โยงยึดเข้ากับโครงข่ายอ้างอิงของแต่ละช่วงเวลา

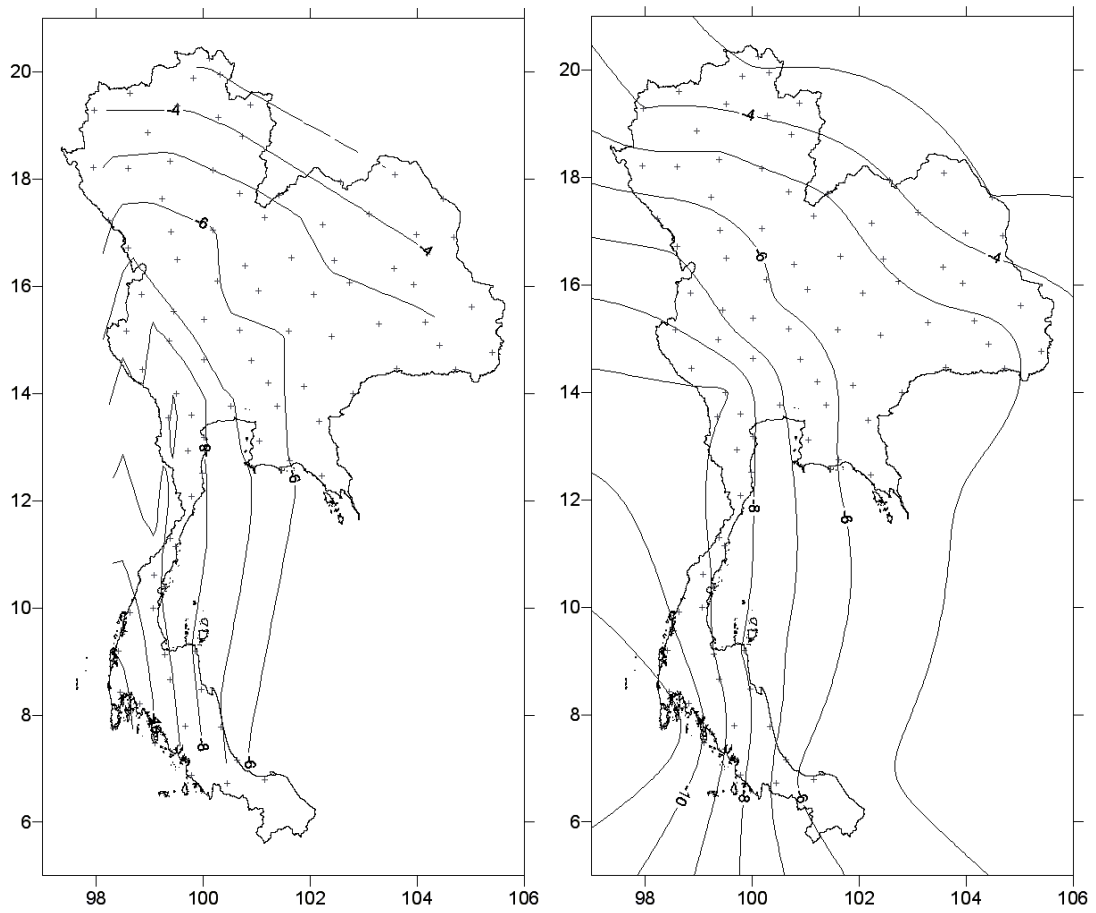
6.3.1.2 ข้อมูลการรังวัดของสถานีในโครงข่ายชั้นที่ 2 ที่ทำการรังวัดภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามัน โยงยึดกับสถานีในโครงข่ายอ้างอิง และโครงข่ายชั้นที่ 1 มีจำนวน 95 หมุด (รวมหมุดในโครงข่ายอ้างอิง และโครงข่ายชั้นที่ 1 จำนวน 19 หมุด) ประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ด้วยโปรแกรม Trimble Geomatic Office version 1.6 ของบริษัทผู้ผลิต Trimble ผ่านกระบวนการปรับแก้โยงยึดเข้ากับโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 ของข้อมูลชุดที่ 1 (ITRF2000 เวลา 2005.7) และ ข้อมูลชุดที่ 2 (ITRF2000 เวลา 2008.11)

### 6.3.2 วิธีการดำเนินการเปรียบเทียบ

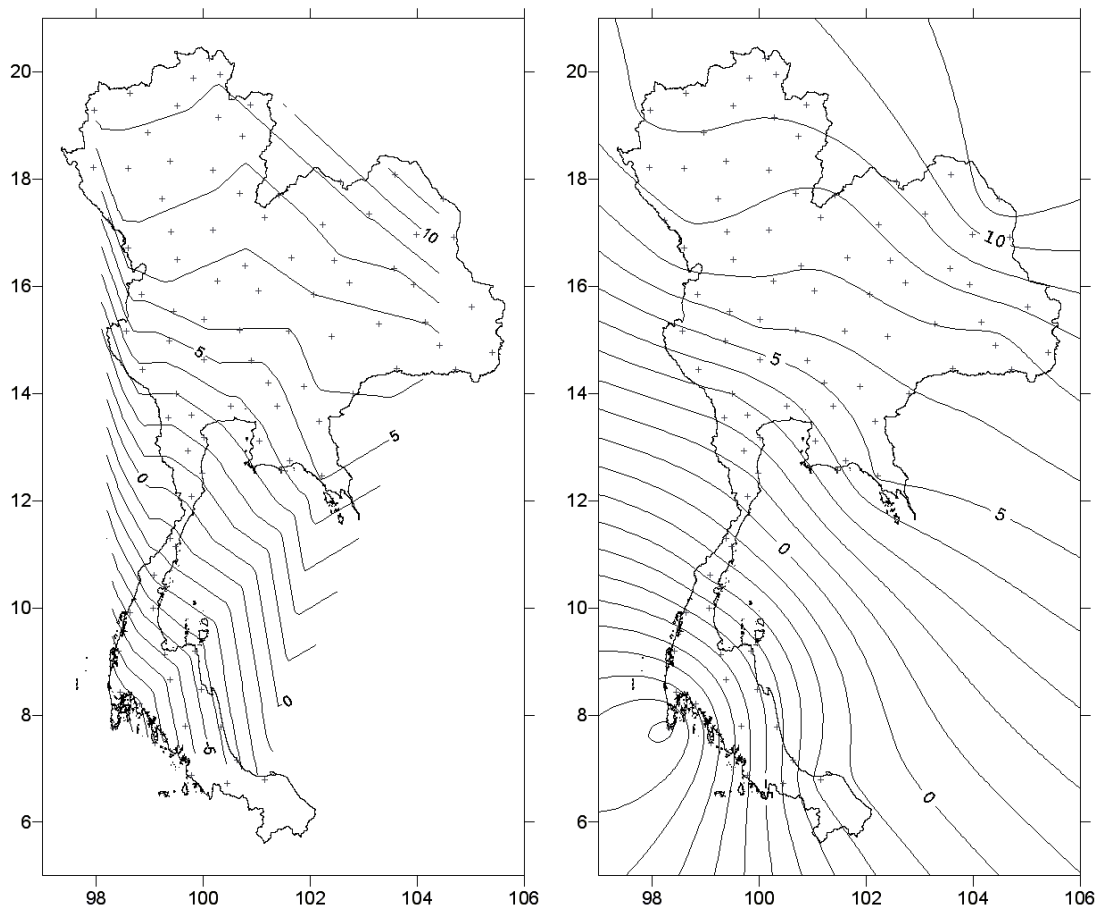
6.3.2.1 หาค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง และ โครงข่ายชั้นที่ 1 ในระหว่างห้วงเวลา 2005.7 และ 2008.11 โดยวิธีตามสมการที่ ( 6-1 ) โดยแยกค่าความต่างเป็น 2 ทิศทาง ในทิศทางเหนือ-ใต้และตะวันออก-ตะวันตก ค่าที่คำนวณได้ถูกนำมาสร้างเป็นฐานข้อมูลประกอบด้วยค่าพิกัด  $x, y$  และ ค่าการเคลื่อนตัวเป็นค่า  $v$  รายละเอียดข้อมูลในผนวก ค

6.3.2.2 ข้อมูลที่ได้จากข้อ 6.3.2.1 เฉพาะค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 รวมจำนวน 19 หมุด นำมาสร้างเป็นพื้นผิวสามมิติ โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ SURFER version 8.0 ในการจัดทำพื้นผิวสามมิติ และแสดงผลในรูปของเส้นชั้นแสดงค่าการเคลื่อนตัว แยกดำเนินการในแต่ละทิศทางโดยวิธีสมการเส้นตรงจากโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมและวิธีการ Kriging ภายหลังการดำเนินการแล้วเสร็จ นำผลลัพธ์ที่ได้มาแสดงเป็นภาพการเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองวิธี ในทิศทางเหนือ-ใต้ แสดงตามภาพที่ 6.2 และทิศทางตะวันออก-ตะวันตก แสดงตามภาพที่ 6.3





ภาพที่ 6.2 ภาพซ้าย : วิธีกรรมการเส้นตรงจากโครงข่ายรูปสามเหลี่ยม และ ภาพขวา : วิธีกรรมการ Kriging แสดงค่าการเคลื่อนตัวทิศทางเหนือ-ใต้ ระหว่างช่วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.



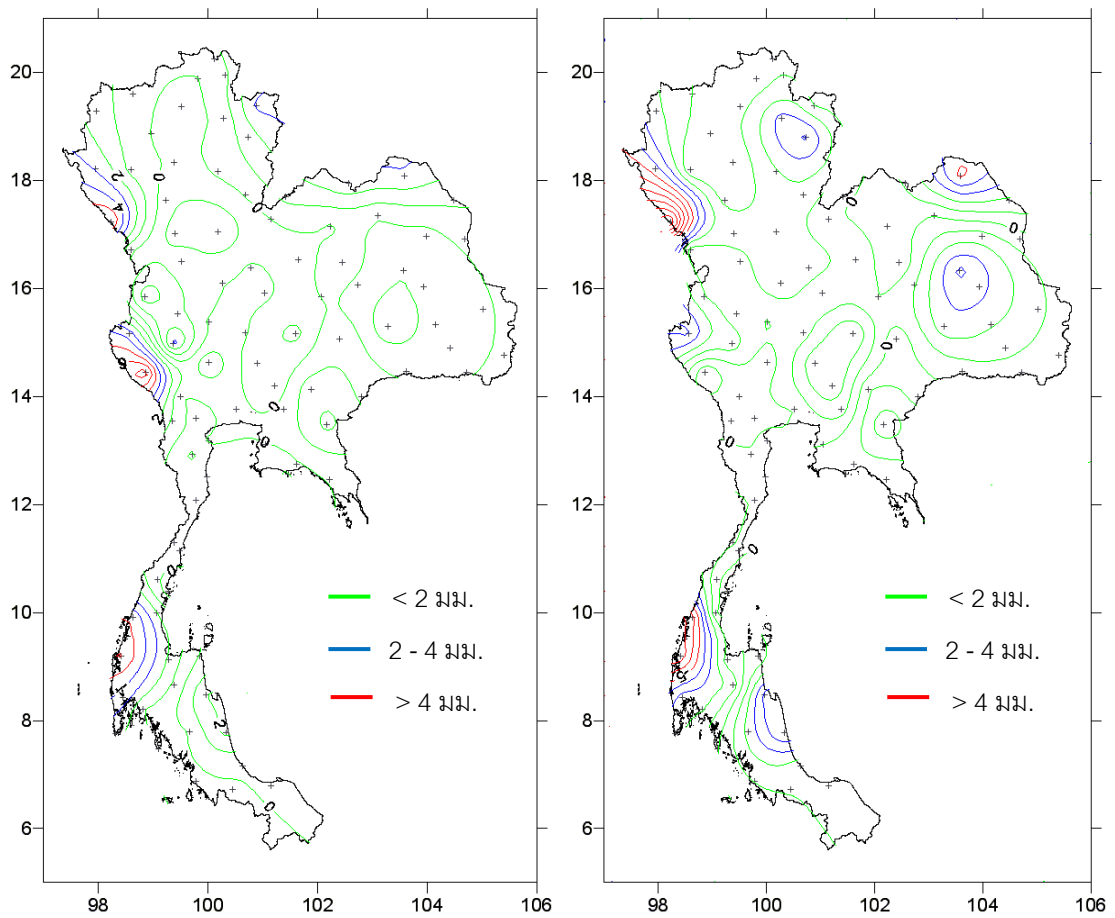
ภาพที่ 6.3 ภาพซ้าย : วิธีการสมการเส้นตรงจากโครงข่ายรูปสามเหลี่ยม และ ภาพขวา : วิธีการ Kriging แสดงค่าการเคลื่อนตัวของทิศทางตะวันออก-ตะวันตก ระหว่างช่วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.11

6.3.2.3 เมื่อได้ค่าพื้นผิวที่แสดงค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกประเทศไทย ระหว่างช่วงเวลา 2005.7 และ 2008.11 แล้ว จึงคำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวของจุดต่างๆ ในโครงข่ายชั้นที่ 2 จำนวน 76 หมู่ จากจำนวนทั้งหมด 95 หมู่ เมื่อหักหมู่โครงข่ายชั้นที่ 1 จำนวน 19 หมู่ออก จะคงเหลือหมู่ที่ใช้เป็นค่าตรวจสอบ 76 หมู่ โดยสร้างข้อมูลค่าตำแหน่ง  $x, y$  ของหมู่ในโครงข่ายชั้นที่ 2 และใช้โปรแกรมประยุกต์ Surfer version 8.0 คำนวณหาค่าของการเคลื่อนตัว แยกคำนวณในแต่ละทิศทางเหนือ-ใต้และตะวันออก-ตะวันตก ด้วยวิธีการของสมการเส้นตรงจากโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมและวิธีการ Kriging ตามลำดับ เมื่อได้ผลลัพธ์ที่เป็นค่า  $v$  ซึ่งเป็นค่าการเคลื่อนตัวในทิศทางเหนือ-ใต้และตะวันออก-ตะวันตก ของแต่ละวิธีแล้ว จึงนำค่าการเคลื่อนตัวที่เป็นผลลัพธ์ของแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกัน ตามตารางที่ 6.1 (รายละเอียดข้อมูลทั้งโครงข่ายใน ผนวก ง)

ตารางที่ 6.1 ตารางเปรียบเทียบค่าความต่างของการเคลื่อนตัวในโครงข่ายชั้นที่ 2 ที่ได้จากวิธีการประมาณค่าภายในโดยสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธีการประมาณค่าภายใน Kriging (ข้อมูลตัวอย่างบางส่วน) (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

หมู่ด	วิธีรูปสามเหลี่ยม(1)		วิธี Kriging (2)		ค่าต่าง (1) – (2)	
	TIN_N	TIN_E	Kriging_N	Kriging_E	Diff_N	Diff_E
3099	-37	93	-40	92	3	1
3105	-48	80	-49	80	1	0
3114	-58	69	-58	70	0	-2
3118	-58	68	-58	68	0	0
3134	-50	75	-50	76	0	-1
3155	-46	80	-45	85	-1	-4
3171	-70	61	-69	61	-1	0
3182	-63	77	-62	78	-2	-1
3187	-64	73	-64	73	0	-1
3190	-60	67	-60	69	0	-2
3197	-60	74	-58	76	-2	-1
3211	-50	82	-50	84	0	-2
3220	-45	89	-45	90	0	0

6.3.2.4 จากผลค่าความต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการการประมาณค่าภายในโดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธี Kriging ตามตารางที่ 6.1 เพื่อให้เห็นภาพรวมของค่าต่างจากผลลัพธ์ของทั้งสองวิธีในทุกๆจุดของประเทศไทย จึงนำค่าต่างของผลลัพธ์มาแสดงด้วยแผนผังแสดงเส้นชั้นค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในจากทั้งสองวิธี แยกในทิศทางเหนือ-ใต้และตะวันออก-ตะวันตก ตามภาพที่ 6.4 ค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในทั้งสองวิธี ตามตารางที่ 6.2



ภาพที่ 6.4 ภาพซ้าย : ทิศทางเหนือ-ใต้ และ ภาพขวา : ทิศทางตะวันออก-ตะวันตก  
แสดงค่าต่างผลลัพธ์การเคลื่อนจากการประมาณค่าภายใน วิธีสมการเส้นตรงจากโครงข่ายรูป  
สามเหลี่ยม เปรียบเทียบกับวิธีการ Kriging

ตารางที่ 6.2 ค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในโดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูป  
สามเหลี่ยมและวิธี Kriging

ค่าสถิติ	N-S	E-W
ค่าเฉลี่ย (มม.)	-0.8	0.0
ค่าสูงสุด (มม.)	5.3	7.6
ค่าต่ำสุด (มม.)	-11.1	-6.1
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)	2.3	1.9
ความแปรปรวน (มม. <sup>2</sup> )	5.5	3.6

### 6.3.3 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบ

จากแผนผังแสดงค่าต่างของผลลัพธ์การประมาณค่าภายในโดยวิธีสมการเส้นตรง จากรูปสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับวิธี Kriging แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าภายในจากทั้งสองวิธี มีค่าต่างกันโดยส่วนใหญ่ น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร และมีค่าต่างที่มากกว่า 4 มิลลิเมตร ในบริเวณขอบของประเทศ

จากตารางที่ 6.2 แสดงค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์การประมาณค่าภายในโดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับวิธี Kriging มีค่าต่างทางเหนือ-ใต้เฉลี่ยเท่ากับ -0.8 มิลลิเมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.3 มิลลิเมตร และทางตะวันออก-ตะวันตก เฉลี่ยเท่ากับ 0 มิลลิเมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.9 มิลลิเมตร สรุปได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการประมาณค่าภายในด้วยสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมและวิธี Kriging ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากขนาดของค่าการเคลื่อนตัวมีลักษณะค่อยๆแปรเปลี่ยนอย่างค่อยเป็นค่อยไป ไม่มีการแปรเปลี่ยนอย่างทันทีทันใด

## 6.4 การประมาณค่าการเคลื่อนตัวของจุดใด ๆ ในประเทศไทย ด้วยการประมาณค่าภายใน โดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธี Kriging

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธี Kriging เปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวของจุดตรวจสอบ ในโครงข่ายชั้นที่ 2 ที่ได้จากการปรับแก้ เพื่อศึกษาว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละวิธี มีค่าแตกต่างจากค่าตรวจสอบและมีความละเอียดถูกต้องที่ได้จากการประมาณค่าเป็นเท่าไร สามารถนำวิธีการประมาณค่าภายในมาใช้ในการประมาณค่าการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากเหตุแผ่นดินไหว ได้หรือไม่ อย่างไร โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

### 6.4.1 ข้อมูลและวิธีการประมวลผลข้อมูล

การศึกษานี้ใช้วิธีการประมาณค่าภายใน เพื่อประมาณค่าการเคลื่อนตัวของจุดใด ๆ ในประเทศไทย ในระหว่างห้วงเวลาที่พิจารณา ในการการศึกษานี้ เลือกใช้ห้วงเวลา 2 ห้วงเวลาที่มีการปรับแก้โครงข่ายของประเทศไทย คือ ค่าอ้างอิง ณ ขณะเวลา เดือน กรกฎาคม พ.ศ.2548 (2005.7) และ เดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2551 (2008.11) ใช้ข้อมูลของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง และโครงข่ายชั้นที่ 1 รวมจำนวน 19 หมุด เป็นข้อมูลอ้างอิงในการสร้างสมการของการประมาณค่าภายใน ใช้หมุดในโครงข่ายชั้นที่ 2 จำนวน 76 หมุด เป็นข้อมูลในการทดสอบและตรวจสอบผลการประมาณค่า ใช้เทคนิคการประมาณค่าภายในแบบสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และ Kriging เป็นวิธีในการประมาณค่าการเคลื่อนตัว โดยใช้โปรแกรมประยุกต์

Surfer Version 8 เป็นเครื่องมือในการประมวลผลการประมาณค่าภายใน เนื่องจากการศึกษาในหัวข้อนี้ เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากหัวข้อก่อนหน้า ชุดของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่า และวิธีการดำเนินการประมาณค่าภายใน โปรแกรมที่ใช้ในสร้างพื้นผิวการประมาณค่าภายใน รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมและวิธี Kriging เป็นข้อมูลชุดเดียวกันทั้งสิ้น

#### 6.4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าภายใน

การศึกษาในหัวข้อนี้ เป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าภายในของแต่ละวิธี มาทำการเปรียบเทียบกับค่าตรวจสอบที่เสมือนเป็นค่าจริง ซึ่งได้จากการนำค่าพิกัดของหมุดในโครงข่ายชั้นที่ 2 ที่ทำการรังวัดใหม่ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว นำมาปรับแก้โยงยึดเข้ากับโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 เวลา 2005.7 และเวลา 2008.11 จากนั้นหาค่าการเคลื่อนตัวระหว่างห้วงเวลาดังกล่าว โดยวิธีหาค่าต่างกันของพิกัดตามสมการที่ (6-1) ผลของค่าต่างที่ได้จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวของหมุดหลักฐานในโครงข่ายชั้นที่ 2 ระหว่างห้วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.11 ผลลัพธ์ค่าการเคลื่อนตัว ตามผนวก ค

#### 6.4.3 ผลลัพธ์จากการประมาณค่าการเคลื่อนตัวโดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม

ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานในโครงข่ายชั้นที่ 2 ถูกใช้เป็นจุดหาค่าการเคลื่อนตัวระหว่างห้วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.11 โดยการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม ผลลัพธ์ตามผนวก ง

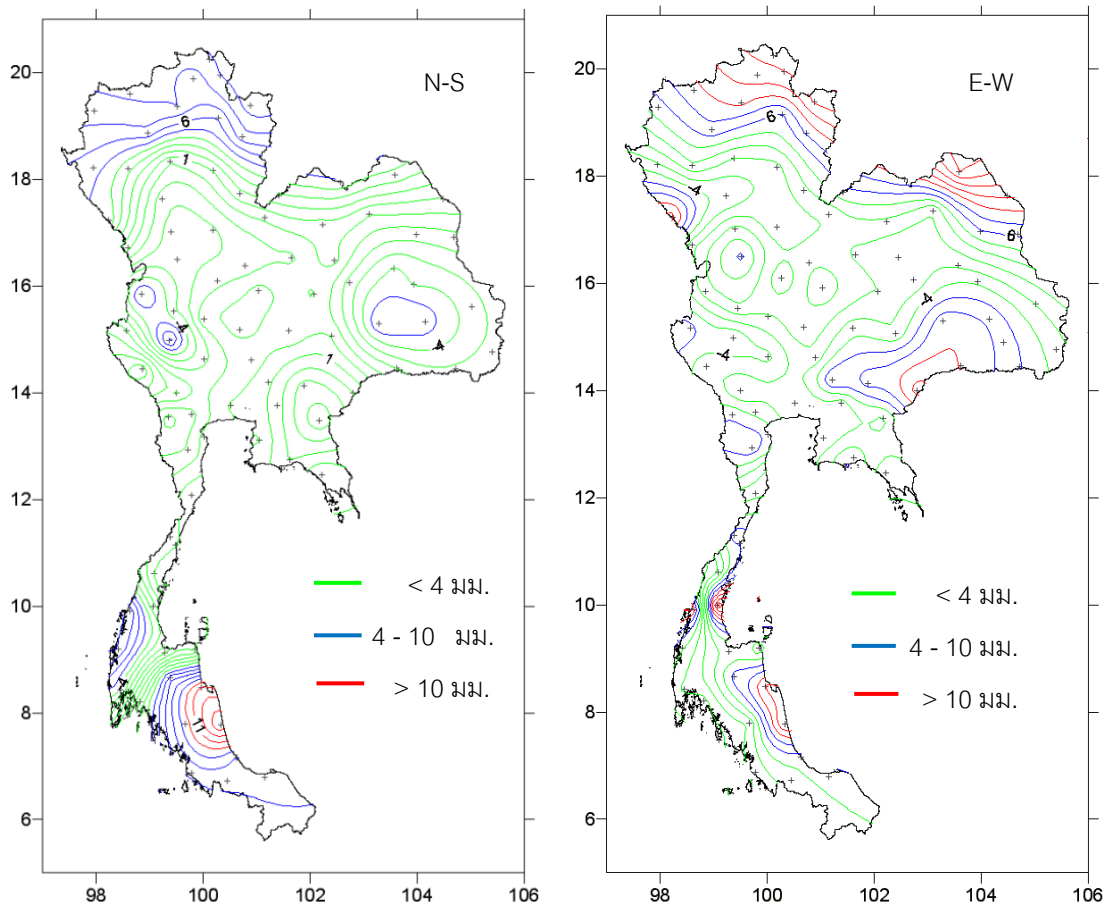
ค่าผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาหาค่าต่างจากค่าการเคลื่อนตัวที่ใช้เป็นค่าตรวจสอบ ตามข้อ 6.4.2 ผลลัพธ์ค่าต่างแสดงในผนวก ง. และแสดงผลเป็นเส้นชั้นแสดงค่าต่างของการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม กับค่าตรวจสอบ โดยแยกค่าต่างเป็นทิศทางเหนือ-ใต้และตะวันออก-ตะวันตก ตามภาพที่ 6.5 ค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในกับค่าตรวจสอบ ตามตารางที่ 6.3

#### 6.4.4 ผลลัพธ์จากการประมาณค่าการเคลื่อนตัว โดยวิธี Kriging

ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานในโครงข่ายชั้นที่ 2 ถูกใช้เป็นจุดหาค่าการเคลื่อนตัวระหว่างห้วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.11 โดยการประมาณค่าภายในด้วยวิธี Kriging ผลลัพธ์ตามผนวก ง

ค่าผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาหาค่าต่างจากค่าการเคลื่อนตัวที่ใช้เป็นค่าตรวจสอบ ตามข้อ 6.4.2 ผลลัพธ์ค่าต่าง แสดงในผนวก ง. และแสดงผลเป็นเส้นชั้นแสดงค่าต่างของการประมาณค่าภายในด้วยวิธี Kriging กับค่าตรวจสอบ โดยแยกค่าต่างเป็นทิศทางเหนือ-ใต้และตะวันออก-

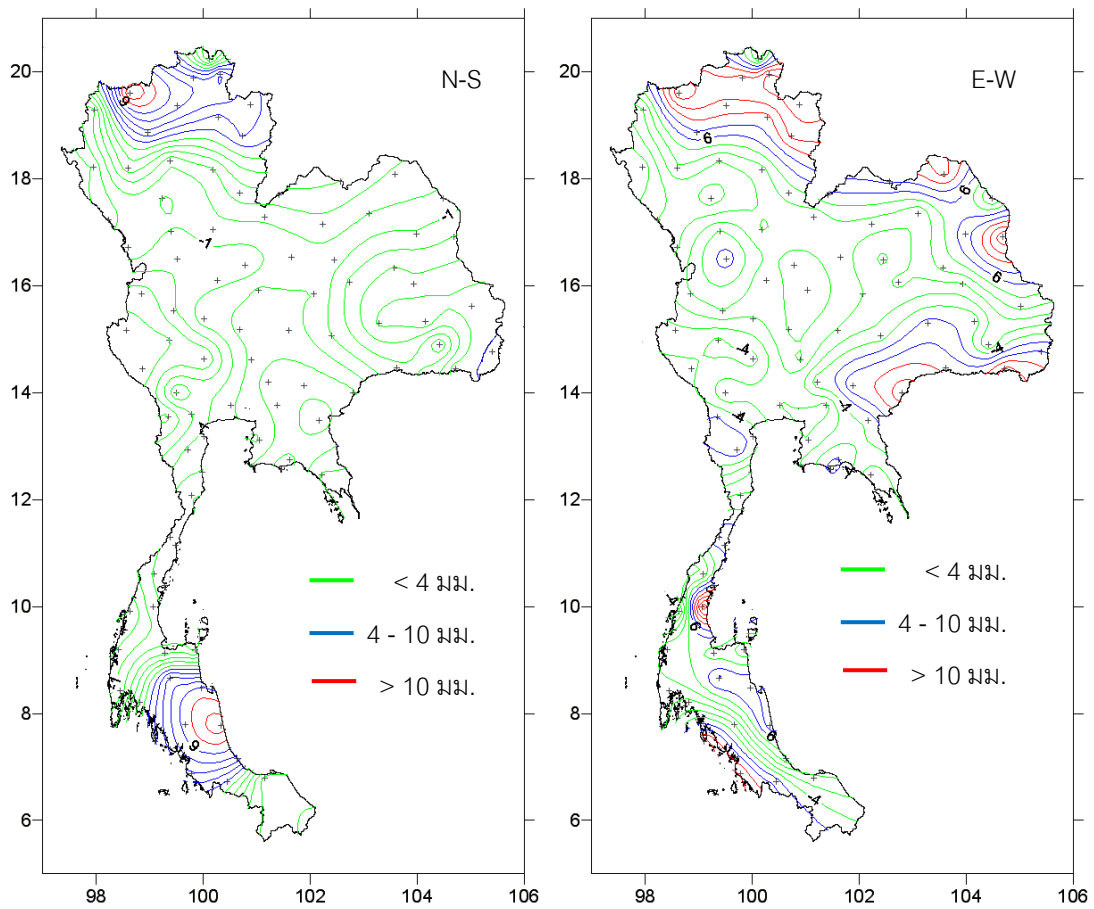
ตะวันตก ตามภาพที่ 6.6 ค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในกับค่าตรวจสอบ ตามตารางที่ 6.4



ภาพที่ 6.5 ภาพซ้าย : ทิศทางเหนือ-ใต้ และ ภาพขวา : ทิศทางตะวันตก-ตะวันออก  
แสดงค่าต่างของการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมกับค่าตรวจสอบ

ตารางที่ 6.3 ค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมกับค่าตรวจสอบ

ค่าสถิติ	N-S	E-W
ค่าเฉลี่ย (มม.)	0.7	0.6
ค่าสูงสุด (มม.)	14.0	18.1
ค่าต่ำสุด (มม.)	-7.9	-13.1
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)	4.3	6.7
ความแปรปรวน (มม. <sup>2</sup> )	18.6	45.3



ภาพที่ 6.6 ภาพซ้าย : ทิศทางเหนือ-ใต้ และ ภาพขวา : ทิศทางตะวันตก-ตะวันออก  
แสดงค่าต่างของการประมาณค่าภายในด้วยวิธี Kriging กับค่าตรวจสอบ

ตารางที่ 6.4 ค่าทางสถิติของค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในด้วยวิธี Kriging กับค่าตรวจสอบ

ค่าสถิติ	N-S	E-W
ค่าเฉลี่ย (มม.)	0.7	0.9
ค่าสูงสุด (มม.)	12.3	17.8
ค่าต่ำสุด (มม.)	-5.3	-13.6
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)	3.8	6.7
ความแปรปรวน (มม. <sup>2</sup> )	14.2	44.7



#### 6.4.1 วิเคราะห์ผล

จากแผนผังแสดงค่าต่าง และตารางค่าทางสถิติ ค่าต่างของผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายใน เปรียบเทียบกับค่าตรวจสอบ ที่ได้จากการเคลื่อนตัวในโครงข่ายชั้นที่ 2 ที่มีการกระจายตัวครอบคลุมทั่วพื้นที่ประเทศไทย สรุปได้ดังนี้

ค่าทางสถิติของผลลัพธ์ค่าต่างจากการประมาณค่าภายในเปรียบเทียบกับค่าตรวจสอบ ของการประมาณค่าภายในจากทั้งสองวิธี มีค่าไม่แตกต่างกัน และไม่มีนัยสำคัญ ทั้งค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความแปรปรวน ยกเว้นค่าต่างสูงสุด และค่าต่างต่ำสุด ที่ได้จากการประมาณค่าจากทั้งสองวิธี มีความต่างกันในระดับ มิลลิเมตร

ค่าทางสถิติของผลลัพธ์ค่าต่างจากการประมาณค่าภายในเปรียบเทียบกับค่าตรวจสอบ จากทั้งสองวิธีมีค่าต่างจากค่าตรวจสอบโดยเฉลี่ย มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทั้งในทิศทางเหนือ-ใต้และตะวันออก-ตะวันตก มีขนาดเล็กกว่า 7 มิลลิเมตร

ค่าต่างของการประมาณค่าด้วยการประมาณค่าภายในของทั้งสองวิธี เทียบกับค่าตรวจสอบ พบว่าจุดทดสอบส่วนใหญ่ที่อยู่ภายในโครงข่าย มีค่าต่างน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร และมีค่าต่างสูงสุดและต่ำสุดเกิดขึ้นในเฉพาะบริเวณขอบชายแดนของประเทศ เมื่อนำมาพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งแล้วพบว่า จุดที่มีค่าต่างเกิน 10 มิลลิเมตร จะมีที่ตั้งอยู่นอกของโครงข่ายอ้างอิง และโครงข่ายชั้นที่ 1 ที่ใช้เป็นข้อมูลหลักในการประมาณค่าภายใน (ตำแหน่งที่ตั้งหมุดหลักฐานแสดงในภาพที่ 2.2 บทที่ 2)

จากผลค่าสถิติของค่าต่างจากการประมาณค่าด้วยวิธีการประมาณค่าภายในของทั้งสองวิธี เทียบกับค่าตรวจสอบ ที่มีการกระจายตัวทั่วประเทศไทย สรุปได้ว่า ค่าการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ที่ได้จากการประมาณค่าโดยวิธีการประมาณค่าภายในแบบสมการเส้นจากรูปสามเหลี่ยม และแบบ Kriging มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยน้อยกว่า 7 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับเกณฑ์การทำงานรังวัดของโครงข่ายชั้นรอง ที่มีค่าความละเอียดถูกต้องจากการรังวัดในทางราบ เท่ากับ 0.5 ซม +/- 1 ppm และมีค่าความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัด (point uncertainty) จากการปรับแก้ อยู่ในเกณฑ์ประมาณ 5 เซนติเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าการเคลื่อนตัวของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าทั้งสองวิธี สามารถใช้เป็นค่าแก้การเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายชั้นรองได้

## 6.5 เปรียบเทียบปัจจัย ข้อดีและข้อเสีย ของวิธีการประมาณค่าภายในแบบสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมและแบบ Kriging

จากผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่าการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของหมุดหลักฐาน โดยการประมาณค่าภายในของทั้งสองวิธี ให้ผลลัพธ์ และผลทางสถิติที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่ผู้วิจัยได้พบในระหว่างการศึกษา มาเป็นปัจจัยเปรียบเทียบ เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อดีข้อเสียทางด้านอื่นๆ ของการประมาณค่าภายในทั้งสองวิธี แสดงในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการประมาณค่าภายในแบบสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และแบบ Kriging

หัวข้อพิจารณา	สมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม	Kriging
วิธีการประมวลผลหาค่าแทรก	เฉพาะจุดปลายของสามเหลี่ยม ถูกนำมาสร้างเป็นพื้นราบ และหาค่าการประมาณค่าภายในภายในรูปสามเหลี่ยม	ทุก ๆ จุดข้อมูลมีความสัมพันธ์ถึงกันตลอดพื้นที่ แต่มีค่าน้ำหนักที่กระทบแตกต่างกัน
ความละเอียดถูกต้อง ผลลัพธ์	อยู่ในเกณฑ์ 7 มิลลิเมตร	อยู่ในเกณฑ์ 7 มิลลิเมตร
การทำนายค่านอกขอบเขต	ไม่สามารถทำได้ โดยโปรแกรมประยุกต์ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แต่สามารถคำนวณนอกขอบเขต ด้วยตนเองได้ (manual compute)	สามารถหาค่าแนวโน้มนอกขอบเขตได้
การประยุกต์ใช้งานในพื้นที่เล็ก ๆ	สามารถเลือกคำนวณเฉพาะรูปสามเหลี่ยมได้ โดยใช้จุดควบคุมเพียง 3 จุด	ต้องใช้โปรแกรมในการประมวลผล ทั้งโครงข่าย และมีจำนวนจุดที่มากเพียงพอ
ความเป็นพื้นฐาน	วิธีการง่าย ไม่ซับซ้อน	วิธีการซับซ้อน
ความต่อเนื่องของข้อมูล	ข้อมูลในทุกๆจุดบนพื้นผิวมีความต่อเนื่องกัน แต่ไม่เรียบ	ข้อมูลในทุกๆจุดบนพื้นผิวมีความต่อเนื่องกัน อย่างค่อยเป็นค่อยไป

## 6.6 สรุปท้ายบท

จากการศึกษาการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธี Kriging สรุปได้ดังนี้

- ข้อมูลการเคลื่อนตัวระหว่าง 2 ห้วงเวลาของการปรับแก้โครงข่าย สามารถหาได้จากค่าต่างของพิกัดระหว่าง 2 ห้วงเวลาของการปรับแก้โครงข่าย

- ค่าผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธี Kriging ไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

- ค่าผลลัพธ์จากการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม และวิธี Kriging เมื่อเปรียบเทียบกับค่าตรวจสอบแล้ว ไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนของหมวดหลักฐานที่เป็นผลลัพธ์จากการรังวัดและปรับแก้

- ผลลัพธ์ความถูกต้องของค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากการประมาณค่าภายในทั้งสองวิธี อยู่ในเกณฑ์ 7 มิลลิเมตร ในทางราบ

- ค่าการเคลื่อนตัวของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าทั้งสองวิธี สามารถใช้เป็นค่าแก้การเคลื่อนตัวของหมวดในโครงข่ายชั้นรอง ของประเทศไทยได้

- จากการศึกษาและเปรียบเทียบปัจจัยในด้านอื่นๆ ประกอบ สรุปได้ว่า ทั้งสองวิธี ให้ผลลัพธ์ความถูกต้องทางสถิติที่ไม่แตกต่างกัน แต่วิธี Kriging มีความอ่อนตัวกว่า คือ สามารถประมาณค่าแนวโน้มภายนอกโครงข่ายได้ทำให้สามารถครอบคลุมในทุกพื้นที่ของประเทศไทย แม้ว่าการประมวลผลจะช้ากว่าและต้องใช้ทรัพยากรเครื่องประมวลผลที่มากกว่า แต่ด้วยเทคโนโลยีของเครื่องประมวลผลในปัจจุบัน ทำให้ข้อจำกัดนี้ไม่เป็นอุปสรรคต่อการประมวลผล

## บทที่ 7

### สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาวิจัยในหัวข้อ การติดตามการเคลื่อนตัว และแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัวในโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทย จากเหตุแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ปี พ.ศ. 2547 (2004) และ 2548 (2005) สามารถสรุปงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป ได้ดังนี้

#### 7.1 ผลการศึกษา

ผลจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่สุมาตรา-อันดามัน เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ.2547 (2004) มีขนาดโมเมนต์แผ่นดินไหวเท่ากับ 9.2 และนิแอส เมื่อ 28 มีนาคม พ.ศ.2548 (2005) ได้ก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกอย่างรุนแรงในขณะเกิดแผ่นดินไหวและยังคงส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวอย่างซ้ำๆต่อเนื่องในภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว โดยมีขนาดของการเคลื่อนตัวที่ไม่เท่ากัน ทำให้พิกัดตำแหน่งของหมุดหลักฐานในโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทย มีการคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมด้วยขนาดการเคลื่อนตัวที่ไม่เท่ากัน ในงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาติดตามการเคลื่อนตัว เพื่อศึกษาพฤติกรรมและขนาดของการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ข้อมูลการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ของกรมแผนที่ทหาร ที่ทำการรังวัดบนหมุดในโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 เป็นข้อมูลหลักในการศึกษาวิจัยและพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ในการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของหมุดหลักฐาน ทั้งในส่วนที่อยู่ในโครงข่ายของกรมแผนที่ทหารเอง และของหน่วยงานอื่นๆ ที่ได้ทำการรังวัดออกจากโครงข่ายของกรมแผนที่ทหาร และใช้ข้อมูลการรังวัดในโครงข่ายชั้นที่ 2 ที่ได้ทำการรังวัดขึ้นใหม่ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว เป็นข้อมูลในการตรวจสอบและประเมินความถูกต้องของการศึกษาวิจัย สามารถสรุปเนื้อหาจากการศึกษาวิจัยเป็นหัวข้อ ดังนี้

##### 7.1.1 การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย

จากข้อมูลการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 (1994) จนถึงการรังวัดครั้งล่าสุดเมื่อ พฤศจิกายน พ.ศ.2553 (2010) สรุปพฤติกรรมและขนาดการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยได้ดังนี้

ประเทศไทยมีการรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวก่อนการเกิดแผ่นดินไหวเป็นระยะเวลาประมาณ 10 ปี พบว่าบริเวณแผ่นเปลือกโลกประเทศไทย มีการเคลื่อนตัวไปในทิศทาง

ตะวันออกเฉียงมาทางใต้เล็กน้อย ด้วยขนาดเท่าๆกันทั้งประเทศ ประมาณ 3 เซนติเมตรต่อปี การเคลื่อนตัวก่อนหน้าการเกิดแผ่นดินไหว มีลักษณะเป็นเส้นตรง

ในขณะที่เกิดแผ่นดินไหวมีการเคลื่อนตัวในบริเวณประเทศไทยด้วยขนาดที่ไม่เท่ากันทั้งประเทศ ที่ จังหวัดภูเก็ต ประมาณ 27.2 เซนติเมตร จังหวัดชลบุรี 7.8 เซนติเมตร และ จังหวัดลำปาง 3.2 เซนติเมตร มีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว ขนาดของการเคลื่อนตัวนี้ มีความสอดคล้องกับแบบจำลองการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหวของสมการ Okada

ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยยังคงมีการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบจากเหตุแผ่นดินไหวอย่างช้าๆ ด้วยขนาดที่ไม่เท่ากัน มีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหว จากข้อมูลการรังวัด เดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2553 (2010) เฉพาะในส่วนของการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว มีขนาดการเคลื่อนตัว ที่ จังหวัดภูเก็ต 47.3 เซนติเมตร จังหวัดชลบุรี 15.5 เซนติเมตร และจังหวัดลำปาง 7.5 เซนติเมตร คิดเป็นอัตราส่วนต่อการเคลื่อนที่ขณะเกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 1.7, 2.0 และ 2.3 เท่า ตามลำดับ การเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว มีความสอดคล้องกับแบบจำลอง Logarithmic decay function

#### 7.1.2 ผลกระทบต่อโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทย

ผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวทำให้โครงข่ายของประเทศไทยเกิดการบิดเบี้ยว โดยมีขนาดการเคลื่อนตัวสะสมจากเหตุแผ่นดินไหว รังวัดเมื่อ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553 (2010) ที่จังหวัดภูเก็ต 74.6 เซนติเมตร จังหวัดชลบุรี 23.3 เซนติเมตรและจังหวัดลำปาง 10.5 เซนติเมตร ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว แม้ว่าจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่มีอัตราส่วนมากกว่าขณะการเกิดแผ่นดินไหวเฉลี่ยประมาณ 2 เท่า และยังคงมีการเคลื่อนตัวต่อไปอีกในอนาคตข้างหน้า ทำให้อาจมีขนาดการเคลื่อนตัวสะสม ที่จังหวัดภูเก็ตมากกว่า 80 เซนติเมตร ในอีก 5 ปีข้างหน้า (ปี พ.ศ. 2559 (2016))

#### 7.1.3 กรณีศึกษาค่าความแตกต่างของกรอบพิกัดอ้างอิงนานาชาติ ITRF2000 และ ITRF2005

จากผลการศึกษาพบว่า ค่าพิกัดบนระบบพิกัดอ้างอิง ITRF2000 และ ITRF2005 มีการแยกห่างจากกัน ในแนวแกนเหนือ-ใต้ อย่างมีนัยสำคัญ ด้วยอัตรา 1.7 มิลลิเมตร / ปี สอดคล้องกับค่าตัวแปรในการแปลงพิกัดที่ได้ประกาศใช้โดยหน่วยงาน IERS ดังนั้นค่าพิกัดบนกรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2000 และ ITRF2005 จึงไม่ควรนำมาวิเคราะห์ร่วมกันในทุกประเภทที่ใช้ ข้อมูลความละเอียดถูกต้องสูง

7.1.4 กรณีศึกษาแบบจำลองแบบจำลอง Logarithmic decay function และการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลการเคลื่อนตัวด้วยสมการเส้นตรง

ข้อมูลรังวัดการเคลื่อนตัวที่เป็นโครงการตามห้วงเวลา อาจมีความคลาดเคลื่อนแฝงจากลักษณะการปฏิบัติงานรังวัด ทำให้ข้อมูลที่ได้ถูกลดทอนความถูกต้องลง การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลการเคลื่อนตัวด้วยตัวกรองสมการเส้นตรง ช่วยปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลให้ดีขึ้น ข้อมูลที่ผ่านการกรองด้วยสมการเส้นตรงแล้ว เมื่อนำเข้าสู่แบบจำลอง Logarithmic decay function มีความสอดคล้องกับแบบจำลองมากขึ้น โดยพิจารณาจาก ค่าเวลาในการถดถอยของสมการ ที่มีความสอดคล้องกันทั้งในทิศทางเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก และค่า R-Square ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.974 – 0.995 หากผลลัพธ์แสดงค่าเท่ากับ 1 หมายถึง แบบจำลองมีความสอดคล้องเข้ากันได้กับข้อมูลโดยสมบูรณ์ ซึ่งเป็นค่าในอุดมคติ

7.1.5 กรณีศึกษาเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวจากแบบจำลอง Logarithmic decay function กับแบบจำลองทางยี่ห้อฟิสิกส์

จากการศึกษาสรุปได้ว่า แบบจำลองทางยี่ห้อฟิสิกส์ Burger Model ที่เป็นแบบจำลองประมาณค่าการเคลื่อนตัวในระดับภูมิภาค ให้ผลลัพธ์ที่ไม่สอดคล้องกับค่าการเคลื่อนตัวในพื้นที่ย่านไกล หรือบริเวณประเทศไทย และไม่เทียบเท่ากับแบบจำลอง Logarithmic decay function เนื่องจากแบบจำลองทางยี่ห้อฟิสิกส์ที่ได้นำมาเปรียบเทียบ เป็นการประมวลผลหาค่าของการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวในระดับภูมิภาคและครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยกำหนดค่าตัวแปรตามทฤษฎีโครงสร้างทางกายภาพของโลก จึงอาจเป็นไปได้ว่า ค่าตัวแปรบางตัวยังไม่เหมาะสม และจำเป็นต้องมีการศึกษาการเคลื่อนตัวจากเหตุแผ่นดินไหวในพื้นที่ย่านไกล และปรับปรุงคุณภาพของค่าตัวแปรในอนาคตต่อไป ดังนั้นการประมาณค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนในท้องถิ่น จึงควรใช้ข้อมูลในท้องถิ่นเป็นจุดควบคุมในการประมาณค่า และใช้แบบจำลองที่เหมาะสม ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากกว่า

7.1.6 กรณีศึกษาการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของโครงข่ายหมุดหลักฐานในโครงข่ายทางยี่ห้อเดซีของประเทศไทย โดยแบบจำลองประมาณค่าภายในโดยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมและวิธี Kriging

มีค่าต่างทาง N-S เฉลี่ยเท่ากับ -0.8 มิลลิเมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.3 มิลลิเมตร และทาง E-W เฉลี่ยเท่ากับ 0 มิลลิเมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.9 มิลลิเมตร สรุปได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการประมาณค่าภายในด้วยสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมและวิธี Kriging ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสามารถเลือกใช้วิธีการประมาณค่าภายในทั้งสองวิธี

ทดแทนกันได้ เฉพาะในกรณีการประมาณค่าการเคลื่อนตัวของหมุดหลักฐานในโครงข่ายทาง ยึดอเดซีของประเทศไทย เท่านั้น

ผลลัพธ์การประมาณค่าการเคลื่อนตัว จากการประมาณค่าภายในโดยวิธีสมการ เส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าตรวจสอบ มีค่าต่างเฉลี่ย เท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร มีค่าต่างสูงสุด 18.1 มิลลิเมตร และค่าต่างต่ำสุด -13.1 มิลลิเมตร (ค่าสูงสุดและต่ำสุด เกิดขึ้นในบริเวณขอบของประเทศที่อยู่ภายนอกโครงข่ายชั้นที่ 1) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใน ทิศทาง เหนือ-ใต้เท่ากับ 4.3 มิลลิเมตร และทิศทางตะวันออก-ตะวันตก เท่ากับ 6.7 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์การประมาณค่าการเคลื่อนตัว จากการประมาณค่าภายในโดยวิธี Kriging เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าตรวจสอบ มีค่าต่างเฉลี่ย เท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร มีค่าต่าง สูงสุด 17.8 มิลลิเมตร และต่ำสุด -13.6 มิลลิเมตร (ค่าสูงสุดและต่ำสุดเกิดขึ้นในบริเวณขอบของ ประเทศที่อยู่ภายนอกโครงข่ายชั้นที่ 1) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในทิศทาง เหนือ-ใต้เท่ากับ 3.8 มิลลิเมตร และทิศทางตะวันออก-ตะวันตก เท่ากับ 6.7 มิลลิเมตร

จากผลค่าสถิติของค่าต่างที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีการประมาณค่าภายใน ของทั้งสองวิธี เทียบกับค่าตรวจสอบ ที่มีการกระจายตัวทั่วประเทศไทย สรุปได้ว่า ค่าการเคลื่อน ตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย ที่ได้จากการประมาณค่าโดยวิธีการประมาณค่าภายใน แบบสมการเส้นจากรูปสามเหลี่ยม และแบบ Kriging มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยน้อยกว่า 7 มิลลิเมตร ซึ่งเทียบเท่าหรืออยู่ในเกณฑ์ที่ไม่มีนัยสำคัญต่อความถูกต้อง เมื่อเปรียบเทียบกับ การทำงานรังวัดที่มีค่าความละเอียดถูกต้องจากการรังวัดในทางราบ เท่ากับ 5 มิลลิเมตร +/- 1 ppm และมีค่าความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัด (point uncertainty) จากการปรับแก้ในเกณฑ์ ประมาณ 50 มิลลิเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลลัพธ์การประมาณค่าการเคลื่อนตัวจากการประมาณค่าภายในทั้งสองวิธี ให้ ผลลัพธ์ความที่ไม่แตกต่างกัน แต่วิธี Kriging ขนาดของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ดีกว่าเล็กน้อย และมีความอ่อนตัวกว่าคือสามารถประมาณค่าแนวโน้มของจุดใดๆที่อยู่ ภายนอกโครงข่ายได้ ทำ ให้สามารถครอบคลุมในทุกพื้นที่ของประเทศไทย แม้ว่าการประมวลผลจะช้ากว่าและต้องใช้ ทรัพยากรเครื่องประมวลผลที่มากกว่า แต่ด้วยเทคโนโลยีของเครื่องประมวลผลในปัจจุบัน ทำให้ ข้อจำกัดนี้ไม่เป็นข้อจำกัดต่อการประมวลผล

## 7.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

7.2.1 ทำให้ทราบและเข้าใจถึงพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวในภูมิภาคประเทศไทย ทั้งก่อนการเกิดแผ่นดินไหว ขณะการเกิดแผ่นดินไหว และภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว

7.2.2 ทำให้ทราบและเข้าใจถึงผลกระทบของการเคลื่อนตัว ต่อโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศ สามารถประเมินผลกระทบและหาแนวทางแก้ไข เพื่อรักษาความเป็นมาตรฐานของโครงข่ายทางยึดอเดซีของประเทศไทย ที่มีบทบาทในการเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายติดตามการเคลื่อนตัวในระดับภูมิภาค

7.2.3 ทำให้เข้าใจและสามารถเลือกใช้แบบจำลองที่มีความเหมาะสม เพื่อการคำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวของหมุดหลักฐานในประเทศไทย จากเหตุแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันและนิแอส ในปี พ.ศ.2547 (2004) และ 2548 (2005) ได้

7.2.4 ทำให้หน่วยงานต่างๆ ที่มีข้อมูลการรังวัดหรือค่าพิกัดหมุดหลักฐานที่ในห้วงเวลาต่างกันหรือที่อ้างอิงในโครงข่ายที่ประกาศใช้ในขณะเวลาก่อนหน้า สามารถคำนวณหาค่าแก้และปรับค่าพิกัดให้เป็นห้วงเวลาที่ต้องการ และ/หรือเป็นห้วงเวลาเดียวกันโครงข่ายของประเทศไทย ณ ขณะเวลาที่มีการปรับแก้โครงข่ายได้ (ขั้นตอนการคำนวณ และตัวอย่างการคำนวณ ใน ผนวก ฉ)

7.2.5 การแก้ปัญหาข้อขัดแย้งทางกฎหมาย ในเรื่องของค่าพิกัดหมุดหลักฐาน ที่อ้างอิงกับพื้นหลักฐานหรือกรอบพิกัดอ้างอิงในอดีต ที่อาจมีค่าต่างจากค่าพิกัดของโครงข่ายปัจจุบันมากถึงระดับเมตร สามารถใช้แนวทางการประมาณค่าภายใน ประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงค่าพิกัดเหล่านั้นให้เป็นปัจจุบันได้

7.2.6 มีการพัฒนาและเผยแพร่องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก และผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ และองค์ความรู้เหล่านี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในอนาคตที่มีเหตุการณ์ในลักษณะเดียวกัน หรือประยุกต์ใช้ในภูมิภาคอื่นๆ ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ในลักษณะเดียวกันได้

## 7.3 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย

7.3.1 ปัญหาจากความไม่ประณีตจากการปฏิบัติงานรังวัด การบันทึกข้อมูลที่ไม่ชัดเจนคลุมเครือ ทำให้เกิดธุรการที่ต้องตรวจสอบ และสอบถามจากผู้รังวัดโดยตรง

7.3.2 องค์ความรู้ที่มีอยู่อย่างจำกัดของการศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในประเทศไทย ทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถแลกเปลี่ยนความคิดเห็น แลกเปลี่ยนประสบการณ์การศึกษา กับผู้อื่นได้ นอกเหนือจากอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศ



## 7.4 ข้อจำกัดของงานวิจัย

### 7.4.1 ประเด็นความไม่ครอบคลุมพื้นที่ของข้อมูลโครงข่าย

เนื่องจากในงานวิจัยใช้ข้อมูลของโครงข่ายอ้างอิง และโครงข่ายชั้นที่ 1 มีจำนวน 19 หมู่ เป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการประมาณค่าภายใน แต่ในสภาพความเป็นจริง มีหมู่หลักฐานชั้นรอง หรือหมู่ของหน่วยงานอื่นๆ ที่อยู่ภายนอกขอบเขตพื้นที่ของโครงข่าย ที่อาจมีค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าการเคลื่อนตัวโดยวิธีการประมาณค่าภายในสูงกว่าในพื้นที่อื่นๆ

7.4.2 ห้วงเวลาของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา เป็นระยะเวลานับจากการเกิดแผ่นดินไหวประมาณ 6 ปี ซึ่งอาจจะยังไม่ยาวนานเพียงพอที่จะสามารถสรุปลักษณะการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวได้อย่างครบถ้วน จากการศึกษาที่มีข้อมูลที่บ่งชี้ว่าผลกระทบจากการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ อาจมีระยะเวลายาวนานนับร้อยปี

## 7.5 ข้อเสนอแนะและสิ่งที่ควรศึกษาหรือดำเนินการเพิ่มเติมในอนาคต

7.5.1 แนวทางการใช้การประมาณค่าการเคลื่อนตัวนี้ สามารถใช้ประมาณค่าการเคลื่อนตัวของหมู่หลักฐานหรือตำแหน่งใดๆ ที่ต้องการความถูกต้องไม่เกินเกณฑ์งานของโครงข่ายชั้นรองของประเทศ และ/หรือ หมู่หลักฐานที่อ้างอิงอยู่ในพื้นที่หลักฐานหรือกรอบพิกัดอ้างอิงในอดีตที่อาจมีค่าต่างจากค่าพิกัดของโครงข่ายปัจจุบันสามารถใช้แนวทางการประมาณค่าภายในประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงค่าพิกัดเหล่านั้น ให้เป็นปัจจุบันได้ อย่างไรก็ตามจะต้องตระหนักว่า ค่าที่ได้จากการประมาณค่าภายใน ไม่สามารถแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของหมู่หลักฐานที่เกิดขึ้นจากข้อผิดพลาดของการรังวัด การถูกเคลื่อนย้ายหมู่หลักฐาน หรือความคลาดเคลื่อนอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่ (Blunder) และไม่ใช่สาเหตุจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก

7.5.2 การศึกษาการเคลื่อนตัวในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะทางราบเท่านั้น เนื่องจากเปลือกโลกเป็นผิวโค้ง อิทธิพลที่เป็นผลจากยุบตัวของแผ่นเปลือกโลกในทางดิ่ง อาจทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในทางราบมากขึ้น และพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวที่ศึกษาและตรวจพบเป็นเพียงส่วนหนึ่งของพฤติกรรมทางด้านยืดหยุ่นที่พิจารณาว่าการเคลื่อนตัวภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวอยู่บนสมมติฐานที่ว่า เปลือกโลกเป็นเนื้อเดียวกันและมีการคืนตัวในลักษณะของ Elastic แต่จากการศึกษาพบว่ามีทฤษฎีด้านยืดหยุ่น อีกหลายประการที่ยังอยู่ในห้วงของการศึกษาและพิสูจน์สมมติฐาน เช่น Burger Model (Fleitout., 2010) เป็นต้น

7.5.3 จากประเด็นข้อ 7.4.1 ข้อมูลจากโครงข่ายชั้นที่ 2 ซึ่งมีจำนวนหมุดหลักฐานครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยมากกว่าโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 มีระยะห่างระหว่างหมุดน้อยกว่า สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการประมาณค่าของหมุดหลักฐานในโครงข่ายงานชั้นรอง หรือโครงข่ายที่ต้องการความละเอียดถูกต้องต่ำกว่า และอาจทำให้ผลลัพธ์ของความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าภายในลดน้อยลง เนื่องจากมีข้อมูลจุดตัวอย่างที่มากขึ้นและหนาแน่นขึ้น จึงควรมีการศึกษาและทดสอบเพิ่มเติมในประเด็นนี้

7.5.4 สามารถที่จะพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัย โดยการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ เฉพาะสำหรับการประมาณค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าภายใน ตามข้อมูลการปรับแก้โครงข่ายทางยี่ห้อเดซีของประเทศ เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อผู้ใช้งาน โดยนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นเช่น เวลาเริ่มต้นที่พิกัดนั้นอ้างอิงอยู่ เวลาที่ต้องการหาค่าการเคลื่อนตัวนับจากเวลาเริ่มต้น และตำแหน่งเริ่มต้นที่ต้องการหาค่าการเคลื่อนตัว เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กรมทรัพยากรธรณี. 2550. การศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ที่แสดงร่องรอยการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ กระบี่ พังงา และภูเก็ต (รอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย). กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมทรัพยากรธรณี. 2554. แผ่นดินไหวในประเทศไทย. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dmr.go.th>  
[2554.มิถุนายน 20]

ชัยวัฒน์ พรหมทอง, เกียรติกร บุญเต็ม และ พลภัทร เทียนไทย. 2551. โครงข่ายหมุดหลักฐาน GPS ใหม่ ของกรมแผนที่ทหาร ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว เมื่อ 26 ธันวาคม 2547. กองยี่ออเดซีและยี่ออพิสิคส์ กรมแผนที่ทหาร .

โสภณา แดงเหมือน. 2550. การศึกษาด้านแผ่นดินไหวบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย ภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวสุมาตรา อินเดีย 26 ธันวาคม 2547. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาบัณฑิต, ภาควิชาธรณีฟิสิกส์ คณะฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล. 2545. รายงานการปรับแก้โครงข่าย GPS. กองยี่ออเดซีและยี่ออพิสิคส์ กรมแผนที่ทหาร .

อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2551 การรังวัดโครงข่ายควบคุมตามแนวชายแดนประเทศไทย-มาเลเซีย หลังเกิดเหตุแผ่นดินไหวสองครั้งใหญ่โดยใช้การสำรวจจริงวัดด้วยจีพีเอส การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่13 โรงแรมจอมเทียนปาล์มบีช ชลบุรี 14-16 พฤษภาคม

เอกภพ ภาณุมาศตระกูล, เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และ ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. 2552. ผลกระทบจากการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ต่อการปรับแก้โครงข่ายในประเทศไทย. การประชุมวิชาการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ อิมแพ็คคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เมืองทองธานี 16-18 ธันวาคม

## ภาษาอังกฤษ

- Altamimi, Z., Collilieux, X. and Boucher, C. 2007. Accuracy assessment of the ITRF datum definition, VI Hotine-Marussi Symposium of Theoretical and Computational Geodesy: Challenge and Role of Modern Geodesy, International Association of Geodesy
- Blewitt, G., Heflin, M.B., Webb, H.F, Lindqwister, U.J. and Malla, R.P. 1992. Global coordinates with centimeter accuracy in the international terrestrial reference frame using GPS. Geophysical Research Letters 9(19) : 853-856.
- Bohling, G. 2005. Introduction to Geostatic and Variogram analysis. Kansas Geological survey. [Online]. Available from: <http://people.ku.edu/~gbohling/cpe940> [2011, Sep 24]
- Boissonnat, J. and Cazais, F. 2001. Natural Neighbor coordinates of points on a surface. Computational Geometry 19(2-3) : 155-173.
- Dressler, M. 2009. Art of Surface Interpolation. PhD. Kunstat. [Online]. Available from: <http://m.dressler.sweb.cz/AOSIM.pdf> [2011, July 28]
- Duerrast, H., Dangmuan, S., and Lohawijarn, W. 2007. Khlong marui and ranong fault zones in southern Thailand re-activated by the 26 december 2004 Mw 9.3 sumatra-andaman earthquake. GEOETHAI'07 International Conference , 10 pp
- Fleitout, L. 2010. Observation and modelisation of postseismic deformation in the SUMatra region. Presentation made at the GEO2TECDI final workshop TUDelft, The Netherlands, 27 April, 30pp
- Gerasimenko, M. D., Shestakov. N. V. and Teruyuki Kato. 2000. On optimal geodetic network design for fault-mechanics studies. Earth Planets Space 52 : 985-987
- Goudarzi, Mohammad Ali., Tsehaie Woldai. and Valentyn A. Tolpekin. 2011. Surface deformation cause by April 6th 2009 earthquake in L'Aquila (Italy): A comparative analysis from ENVISAT ASAR, ALOS PALSAR and ASTER. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 13 : 801-811

- Gregorius, T. 1996. GIPSY-OASIS II (How it works). University of Newcastle: Department of Geomatics.
- IERS. 2011. The International Earth Rotation and Reference Systems Service. The Federal Agency for Cartography and Geodesy. [Online]. Available from: <http://www.iers.org> [2011, July 10]
- IGN. 2011. International Terrestrial Reference Frame. Institut Geographique National. [Online]. Available from: <http://itrf.ensg.ign.fr> [2011, July 4]
- Kreemer, C., Blewitt, G., Hammond, W., and Plag, H. 2006a. Global deformation from the great 2004 Sumatra-Andaman Earthquake observed by GPS: Implications for rupture process and global reference frame. Earth Planets Space, 58 : 141–148.
- Kreemer, C., Blewitt, G., and Maerten, F. 2006b. Co and postseismic deformation of the 28 March 2005 Nias Mw 8.7 earthquake from continuous GPS data. Geophysical Research Letters 33(L07307) : 1–4.
- Krige, D.G. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Wit-watersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical, and Mining Society of South Africa 52 : 119 -139.
- Marone, C. J., Scholz, C. H. and Bilham, R. 1991. On the mechanics of earthquake afterslip. Journal of Geophysical Research 96: 8441-8452.
- Nasa. 2011. Plate Velocity. National Aeronautics and Space Administration. [Online]. Available from: <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html> [2011, Sep 24]
- Okada, Y. 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half space. Bull. Of the Seism. Soc. of America. 75. n.4 : 1135-1154.
- Panumastrakul E., Simons W.J.F. and Satirapod C. 2012. Modeling the post-seismic displacement in Thai Geodetic Network due to the Sumatra-Andaman and Nias earthquake using GPS observation. Survey Review. (in press)
- Piersanti, A., Nostro, C. and Riguzzi, F. 2001. Active displacement field in the Sues-Sinak area: the role of postseismic deformation. Earth and Planetary Science Letters. 193 : 13-23

- Reddy, C.D., Sanjay, K., Prajapati and Sunif. P.S. 2010. Co and Postseismic characterisiescs of Indian sub-continent in response to the 2004 sumatra earthquake. Journal of Asian Earht Sciences. 39 : 620-626.
- Satirapod, C., Simons, W. J. F., Promthong, C., Yousamran, S. and Trisirisatayawong, I.. 2007a. Deformation of Thailand as detected by GPS measurements due to the December 26th, 2004 mega-thrust Earthquake. Survey Review . 39(304) : 109-115.
- Satirapod, C., Laoniyomthai, N. and Chabangborn, A. 2007b. Crustal Movement of Thailand Disc Due to 28 March 2005 Earthquake as Observed from GPS Measurements. International Journal of Geoinformatics 3(1) : 29-33.
- Satirapod, C., Simons, W. J. F. and Promthong, C. 2008. Monitoring deformation of Thai Geodetic Network due to the 2004 Sumatra-Andaman and 2005 Nias Eauthquakes by GPS. Journal of Surveying Engineering (ASCE) 134(3) : 83-88.
- Satirapod, C., Simons, W. J. F., Panumastakul, E. and Trisirisatayawong, I. 2011. Updating Thai Reference Frame to ITRF2005 Using GPS: Diversion between ITRF2000 and 2005 in Southeast Asia. Survey Review. 43(319) : 45-53.
- Savage, J. C., and W. H. Prescott. 1978. Asthenosphere readjustment and the earthquake cycle, Journal of Geophysical Research 83 : 3369-3376.
- Sibuet. J. et al. 2007. 26th December 2004 great Sumatra-Andaman earthquake: Co-Seismic and post-seismic motion in northern Sumatra. Earth and planetary Science Letters. 263: 88-103
- Simons, W.J.F. and Ambrosius, B.A.C., 2001. Analysis of 1994 – 2000 GPS Data Set of the THAICA and Thai GEODYSEA network. DEOS official report to RTSD. 8 pp., Delft, The Netherlands
- Simons, W.J.F., Ambrosius, B.A.C., Phomthong, C. and Yousamran, S. 2006. Deformation of Thailand measured by GPS due to the December 2004 mega-thrust earthquake. DEOS official report to RTSD. 14 pp., Delft, The Netherlands

- Simons, W.J.F., A. Socquet, C. Vigny, B.A.C. Ambrosius, S. Haji Abu, Chaiwat Promthong, C. Subarya, D.A. Sarsito, S. Matheussen, P. Morgan and W. Spakman. 2007. A Decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries. Journal of Geophysical Research 112, doi:10.1029/2005JB003868.
- Simons, W.J.F., Panumastakul, E. and Yousamran, S. 2009. Processing the RTSD November 2008 GPS Campaign. DEOS official report to RTSD. 18 pp., Delft, The Netherlands.
- Simons, W.J.F. and Panumastakul, E., 2011. Processing the RTSD November 2010 GPS Campaign, DEOS official report to RTSD, 22 pp., Delft, The Netherlands
- Subarya, C., et al. 2006. Plate-boundary deformation of the Aceh-Andaman earthquake, Nature 440 : 46-51
- Tomczak, M. 1998. Spatial Interpolation and its Uncertainty Using Automated Anisotropic Inverse Distance Weighting (IDW) – Cross-Validation/Jackknife Approach. Journal of Geographic Information and Decision Analysis. 2(2): 18-30.
- USGS. 2011. Plate Tectonics. U.S.Geological Survey. [Online]. Available from: <http://pubs.usgs.gov/publications/text/slabs.html> [2011, Sep 24]
- Vigny, C., Simons, W. J. F., Abu, S., Ronnachai, B., Satirapod, C., Chhoosakul, M., Subarya, C., Omar, K., Abidin, H.Z., Socquet, A. and Ambrosius, B.A.C. 2005. Insight into the 2004 Sumatra–Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia. Nature 436 : 201-206.
- Vigny, C. 2009a. Elastic Deformation. Presentation made at the GEO2TECDI workshop. Bangkok, Thailand, 23 June, 27pp
- Vigny, C. 2009b ,24 June. Geophysics Researcher. Personal communication during GEO2TECDI Project. Bangkok Thailand.
- Zumberge, J., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M., and Webb, F.H. 1997. Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. Journal of Geophysical Research 102(B3) : 5005–5017

.

..

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก ค่าพิกัดการปรับแก้โครงข่ายชั้นที่ 2 โดยกำหนดจุดควบคุมจากโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 บนกรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2000 เวลา 2005.7

(Northing และ Easting เป็นค่าพิกัด UTM โซน 47 , error = ค่าคลาดเคลื่อน , Fix = จุดควบคุมโครงข่ายในการปรับแก้ )

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
0200	17°43'42.38742"	.010	100°41'04.18047"	.043	117.609	.091	1960941.418	.010	678617.072	.043	
0240	18°47'37.75385"	.009	100°43'45.92640"	.028	189.768	.081	2078900.793	.009	682266.783	.028	
0290	18°12'08.85201"	.012	98°35'49.70019"	.032	255.019	.100	2012631.825	.012	457400.722	.032	
0300	19°08'57.19145"	.008	100°16'29.82830"	.022	260.528	.067	2117827.827	.008	634077.268	.022	
3001	15°23'01.53493"	.000	100°00'47.54966"	.000	107.671	.000	1701027.309	.000	608735.656	.000	Lat Long h
3009	14°38'00.03850"	.006	100°01'08.96123"	.020	-23.174	.042	1618019.490	.006	609756.421	.020	
3035	15°04'09.13405"	.005	102°23'37.53231"	.017	142.787	.040	1668792.485	.005	864922.646	.017	
3045	14°28'11.18632"	.008	103°36'45.30853"	.034	174.527	.073	1604694.288	.008	997561.878	.034	
3052	14°54'04.06082"	.000	104°24'57.39404"	.000	115.126	.000	1654494.813	.000	1083280.120	.000	Lat Long h
3056	14°27'12.31203"	.010	104°43'22.43231"	.039	197.014	.088	1605591.611	.010	1117694.855	.039	
3059	14°45'31.67994"	.021	105°24'09.06808"	.091	139.626	.157	1641504.413	.021	1190343.499	.091	
3078	16°55'16.60532"	.010	104°40'50.58766"	.040	120.116	.076	1879607.522	.010	1105756.118	.040	
3084	17°37'56.59095"	.000	104°28'56.31406"	.000	120.630	.000	1957971.879	.000	1082292.906	.000	Lat Long h
3093	17°21'31.55724"	.000	103°06'17.71749"	.000	140.273	.000	1923914.150	.000	936410.272	.000	Lat Long h
3099	17°57'28.19996"	.010	102°33'33.74041"	.033	138.045	.077	1989135.021	.010	877091.730	.033	

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3105	17°42'17.09366"	.010	101°24'47.93705"	.035	209.169	.079	1959160.578	.010	755963.840	.035	
3109	17°16'48.10380"	.000	101°08'43.77973"	.000	321.628	.000	1911802.519	.000	728075.693	.000	Lat Long h
3114	16°23'09.26158"	.006	100°46'54.26850"	.026	80.843	.048	1812457.776	.006	690287.067	.026	
3118	15°55'00.92660"	.006	101°01'37.63916"	.024	57.783	.049	1760799.139	.006	717013.083	.024	
3134	16°04'21.36862"	.008	102°44'02.13499"	.029	148.027	.066	1780574.804	.008	899595.226	.029	
3155	16°20'06.98094"	.008	103°34'22.05601"	.028	113.776	.058	1811517.190	.008	988866.111	.028	
3159	15°51'12.93662"	.000	102°04'01.55326"	.000	158.753	.000	1755144.591	.000	828525.941	.000	Lat Long h
3166	13°45'37.11118"	.000	100°30'26.67779"	.000	-16.694	.000	1521727.911	.000	662970.524	.000	Lat Long h
3171	15°31'48.95511"	.010	99°26'50.84922"	.032	125.853	.076	1717027.236	.010	547984.914	.032	
3182	17°01'28.29563"	.014	99°23'26.81856"	.043	78.945	.098	1882309.817	.014	541591.055	.043	
3187	16°30'27.70098"	.011	99°31'14.38470"	.032	46.332	.076	1825166.810	.011	555564.296	.032	
3190	16°05'32.31316"	.011	100°15'34.21526"	.040	-4.037	.082	1779556.588	.011	634703.540	.040	
3197	17°02'45.05963"	.008	100°10'50.29819"	.028	17.365	.060	1885006.710	.008	625647.787	.028	
3211	18°10'18.28146"	.008	100°10'21.71419"	.025	123.013	.067	2009582.786	.008	624031.214	.025	
3217	18°20'07.22532"	.000	99°22'16.36697"	.000	240.193	.000	2027326.913	.000	539222.859	.000	Lat Long h
3220	18°51'40.11997"	.007	98°57'55.03335"	.022	279.814	.065	2085463.863	.007	496343.445	.022	
3229	18°12'43.95633"	.019	97°56'14.61967"	.053	251.529	.159	2013989.563	.019	387639.885	.053	

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3235	17°13'57.98852"	.016	98°13'46.50619"	.045	137.442	.131	1905469.160	.016	418094.398	.045	
3239	16°43'16.54640"	.000	98°35'16.55615"	.000	176.982	.000	1848765.613	.000	456073.537	.000	Lat Long h
3247	17°38'07.65549"	.009	99°14'10.48312"	.028	129.887	.080	1949870.642	.009	525060.490	.028	
3259	19°36'25.79125"	.013	98°37'26.78063"	.035	700.959	.109	2168054.447	.013	460582.652	.035	
3263	19°22'01.21488"	.008	99°30'32.63431"	.023	509.827	.071	2141515.218	.008	553461.039	.023	
3271	19°52'54.22245"	.023	99°48'35.70831"	.070	479.825	.198	2198597.272	.023	584787.040	.070	
3272	19°56'58.18384"	.020	100°18'49.24317"	.064	377.807	.176	2206430.269	.020	637470.732	.064	
3280	19°23'27.63046"	.013	100°52'46.72438"	.039	296.290	.116	2145167.874	.013	697393.620	.039	
3293	13°32'53.40827"	.007	99°20'26.32693"	.027	92.077	.059	1497782.625	.007	536857.596	.027	
3300	12°30'59.34546"	.000	99°58'30.87230"	.000	-27.412	.000	1383862.038	.000	605962.257	.000	Lat Long h
3309	11°17'37.42177"	.010	99°22'34.87507"	.045	48.672	.084	1248483.840	.010	541073.409	.045	
3315	10°36'34.33856"	.000	99°04'32.20189"	.000	-4.490	.000	1172807.474	.000	508270.788	.000	Lat Long h
3316	10°23'56.93248"	.008	99°16'34.99341"	.040	-23.535	.068	1149557.396	.008	530253.194	.040	
3335	9°11'08.12267"	.000	99°50'37.34957"	.000	-19.371	.000	1015479.502	.000	592690.786	.000	Lat Long h
3345	8°28'43.34204"	.007	99°58'14.05883"	.031	-17.518	.057	937353.601	.007	606832.681	.031	
3348	9°11'38.72469"	.008	98°24'50.96973"	.036	-19.400	.062	1016362.935	.008	435641.417	.036	
3356	8°25'33.49733"	.006	98°26'53.66443"	.028	23.813	.049	931433.006	.006	439260.389	.028	

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3358	8°12'52.56768"	.007	98°48'36.08005"	.037	18.222	.060	908027.530	.007	479075.662	.037	
3375	7°46'42.60706"	.014	100°19'35.58255"	.057	-15.665	.113	860040.243	.014	646275.302	.057	
3388	6°52'57.13998"	.010	99°47'15.57794"	.041	-12.802	.082	760835.662	.010	587022.169	.041	
3427	13°07'13.90524"	.000	101°02'40.96096"	.000	51.522	.000	1451362.792	.000	721666.287	.000	Lat Long h
3435	12°34'08.80248"	.007	101°27'39.70140"	.026	56.678	.061	1390736.527	.007	767405.097	.026	
3436	12°45'14.52140"	.007	101°36'54.31396"	.027	-12.043	.071	1411366.790	.007	783949.880	.027	
3452	13°28'48.70615"	.006	102°09'58.41835"	.023	66.983	.052	1492449.623	.006	842834.493	.023	
3475	14°26'39.12564"	.010	98°52'03.19938"	.029	97.962	.077	1596857.817	.010	485725.092	.029	
3482	15°10'08.32962"	.016	98°33'10.76058"	.046	135.152	.124	1677065.136	.016	451980.509	.046	
3492	15°10'55.20843"	.006	100°40'33.52746"	.021	65.508	.044	1679146.200	.006	680049.349	.021	
3500	15°10'10.08761"	.004	101°36'20.54191"	.015	219.641	.033	1678737.005	.004	779994.889	.015	
3509	14°12'02.17563"	.008	101°13'04.42009"	.029	-22.037	.061	1571049.228	.008	739355.868	.029	
3515	14°08'07.70020"	.005	101°52'32.99276"	.018	26.691	.041	1564613.126	.005	810496.083	.018	
3519	13°45'31.58267"	.005	101°23'04.49435"	.016	3.153	.038	1522324.726	.005	757845.650	.016	
3531	15°17'47.10974"	.008	103°17'20.27617"	.029	106.377	.062	1695668.135	.008	960827.571	.029	
3539	14°37'14.17476"	.008	100°53'33.41498"	.027	-5.515	.065	1617213.916	.008	703857.162	.027	
3555	16°32'08.11288"	.007	101°38'58.04721"	.026	733.982	.051	1830042.326	.007	782787.228	.026	

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3565	17°09'13.53370"	.007	102°13'44.89586"	.024	207.459	.054	1899422.599	.007	843589.643	.024	
3575	16°29'27.56789"	.006	102°26'34.38934"	.023	172.588	.049	1826385.467	.006	867633.647	.023	
3592	16°58'24.18495"	.007	103°58'51.69380"	.030	260.890	.057	1883358.838	.007	1030829.893	.030	
3598	16°01'50.84324"	.009	103°56'28.82021"	.037	121.091	.073	1778653.787	.009	1029160.423	.037	
3609	15°36'35.73698"	.009	105°01'06.57891"	.037	112.806	.079	1734945.252	.009	1146186.145	.037	
3618	18°05'31.42032"	.008	103°35'24.99138"	.030	137.321	.064	2006427.155	.008	986108.436	.030	
3631	7°28'06.79903"	.008	99°05'52.70729"	.042	.891	.069	825547.755	.008	510810.208	.042	
3652	15°50'45.49695"	.015	98°51'03.92202"	.043	380.227	.116	1751903.367	.015	484055.663	.043	
3654	14°59'18.02252"	.011	99°21'46.58922"	.031	339.086	.078	1657068.265	.011	539021.258	.031	
3656	19°17'18.02783"	.000	97°57'51.10502"	.000	195.666	.000	2133057.236	.000	391166.211	.000	Lat Long h
3657	7°45'32.64102"	.000	98°18'12.94083"	.000	-1.788	.000	857725.490	.000	423210.483	.000	Lat Long h
3658	20°14'46.83945"	.000	100°06'34.44072"	.000	331.825	.000	2239130.508	.000	615890.415	.000	Lat Long h
3659	12°27'18.07905"	.000	102°13'17.07082"	.000	-16.791	.000	1378995.118	.000	850248.969	.000	Lat Long h
3660	13°59'58.30916"	.000	99°30'09.77948"	.000	20.543	.000	1547731.980	.000	554289.478	.000	Lat Long h
3661	13°35'52.06146"	.008	99°46'30.44411"	.033	-24.951	.064	1503378.500	.008	583851.994	.033	
3662	13°10'21.94885"	.007	100°00'41.92557"	.028	-27.138	.059	1456461.705	.007	609633.029	.028	
3663	12°55'20.47985"	.007	99°42'33.04045"	.031	35.978	.056	1428655.811	.007	576929.835	.031	

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3664	12°05'09.50866"	.010	99°47'16.22947"	.048	2.450	.080	1336184.000	.010	585738.918	.048	
3665	9°54'54.74546"	.007	98°37'39.24316"	.038	-18.578	.062	1096060.359	.007	459172.266	.038	
3666	9°59'12.66515"	.008	99°03'36.52040"	.039	-15.037	.065	1103959.340	.008	506591.839	.039	
3667	9°07'07.45921"	.007	99°16'55.56143"	.034	-20.092	.058	1007991.729	.007	530996.722	.034	
3668	8°39'45.60242"	.007	99°22'23.32035"	.032	15.263	.055	957578.089	.007	541051.372	.032	
3669	7°47'13.74598"	.008	99°40'03.55657"	.036	49.917	.068	860825.374	.008	573614.267	.036	
3670	6°43'50.65120"	.013	100°26'57.62824"	.049	14.954	.105	744220.378	.013	660187.955	.049	
3671	6°47'10.73574"	.000	101°08'36.84995"	.000	2.632	.000	750650.772	.000	736919.605	.000	Lat Long h
3672	11°09'02.13055"	.010	99°28'53.80272"	.045	-21.090	.090	1232673.266	.010	552586.821	.045	
3673	7°09'47.54721"	.010	100°38'00.44768"	.040	-8.931	.083	792111.644	.010	680377.503	.040	
3674	13°59'50.27498"	.007	102°47'59.56677"	.025	50.583	.058	1550724.562	.007	910624.404	.025	
3675	15°20'25.22185"	.011	104°09'14.59201"	.047	101.853	.093	1702572.868	.011	1053860.073	.047	

ภาคผนวก ข ค่าพิกัดการปรับแก้โครงข่ายชั้นที่ 2 โดยกำหนดจุดควบคุมจากโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 บนกรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2000 เวลา 2008.11

(Northing และ Easting เป็นค่าพิกัด UTM โซน 47 , error = ค่าคลาดเคลื่อน , Fix = จุดควบคุมโครงข่ายในการปรับแก้)

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
0200	17°43'42.38564"	.010	100°41'04.18303"	.043	117.556	.091	1960941.364	.010	678617.148	.043	
0240	18°47'37.75228"	.009	100°43'45.92898"	.028	189.710	.081	2078900.745	.009	682266.859	.028	
0290	18°12'08.85021"	.012	98°35'49.70306"	.032	254.972	.100	2012631.769	.012	457400.806	.032	
0300	19°08'57.18996"	.008	100°16'29.83104"	.022	260.462	.067	2117827.782	.008	634077.349	.022	
3001	15°23'01.53291"	.000	100°00'47.55174"	.000	107.631	.000	1701027.247	.000	608735.719	.000	Lat Long h
3009	14°38'00.03624"	.006	100°01'08.96300"	.020	-23.211	.042	1618019.421	.006	609756.474	.020	
3035	15°04'09.13227"	.005	102°23'37.53457"	.017	142.718	.040	1668792.431	.005	864922.714	.017	
3045	14°28'11.18458"	.008	103°36'45.31095"	.034	174.454	.073	1604694.236	.008	997561.951	.034	
3052	14°54'04.05904"	.000	104°24'57.39619"	.000	115.070	.000	1654494.759	.000	1083280.186	.000	Lat Long h
3056	14°27'12.31043"	.010	104°43'22.43491"	.039	196.934	.088	1605591.564	.010	1117694.934	.039	
3059	14°45'31.67851"	.021	105°24'09.07076"	.091	139.540	.157	1641504.371	.021	1190343.581	.091	
3078	16°55'16.60414"	.010	104°40'50.59056"	.040	120.039	.076	1879607.488	.010	1105756.205	.040	
3084	17°37'56.58987"	.000	104°28'56.31795"	.000	120.562	.000	1957971.849	.000	1082293.022	.000	Lat Long h
3093	17°21'31.55589"	.000	103°06'17.72054"	.000	140.212	.000	1923914.110	.000	936410.363	.000	Lat Long h
3099	17°57'28.19856"	.010	102°33'33.74317"	.033	137.989	.077	1989134.979	.010	877091.813	.033	

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3105	17°42'17.09197"	.010	101°24'47.93955"	.035	209.119	.079	1959160.527	.010	755963.914	.035	
3109	17°16'48.10196"	.000	101°08'43.78221"	.000	321.572	.000	1911802.464	.000	728075.766	.000	Lat Long h
3114	16°23'09.25971"	.006	100°46'54.27073"	.026	80.792	.048	1812457.720	.006	690287.134	.026	
3118	15°55'00.92470"	.006	101°01'37.64129"	.024	57.730	.049	1760799.081	.006	717013.147	.024	
3134	16°04'21.36700"	.008	102°44'02.13749"	.029	147.959	.066	1780574.756	.008	899595.301	.029	
3155	16°20'06.97951"	.008	103°34'22.05874"	.028	113.705	.058	1811517.148	.008	988866.193	.028	
3159	15°51'12.93483"	.000	102°04'01.55560"	.000	158.686	.000	1755144.537	.000	828526.011	.000	Lat Long h
3166	13°45'37.10888"	.000	100°30'26.67899"	.000	-16.732	.000	1521727.840	.000	662970.561	.000	Lat Long h
3171	15°31'48.95292"	.010	99°26'50.85119"	.032	125.824	.076	1717027.169	.010	547984.973	.032	
3182	17°01'28.29363"	.014	99°23'26.82105"	.043	78.915	.098	1882309.756	.014	541591.129	.043	
3187	16°30'27.69895"	.011	99°31'14.38694"	.032	46.303	.076	1825166.748	.011	555564.362	.032	
3190	16°05'32.31123"	.011	100°15'34.21758"	.040	-4.081	.082	1779556.529	.011	634703.609	.040	
3197	17°02'45.05770"	.008	100°10'50.30076"	.028	17.321	.060	1885006.652	.008	625647.863	.028	
3211	18°10'18.27978"	.008	100°10'21.71701"	.025	122.953	.067	2009582.735	.008	624031.297	.025	
3217	18°20'07.22360"	.000	99°22'16.36995"	.000	240.128	.000	2027326.861	.000	539222.946	.000	Lat Long h
3220	18°51'40.11829"	.007	98°57'55.03617"	.022	279.761	.065	2085463.811	.007	496343.527	.022	
3229	18°12'43.95462"	.019	97°56'14.62270"	.053	251.506	.159	2013989.511	.019	387639.974	.053	



Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3235	17°13'57.98646"	.016	98°13'46.50888"	.045	137.421	.131	1905469.097	.016	418094.478	.045	
3239	16°43'16.54418"	.000	98°35'16.55875"	.000	176.976	.000	1848765.544	.000	456073.614	.000	Lat Long h
3247	17°38'07.65360"	.009	99°14'10.48602"	.028	129.835	.080	1949870.585	.009	525060.576	.028	
3259	19°36'25.78963"	.013	98°37'26.78325"	.035	700.913	.110	2168054.397	.013	460582.729	.035	
3263	19°22'01.21334"	.008	99°30'32.63705"	.023	509.769	.071	2141515.171	.008	553461.119	.023	
3271	19°52'54.22113"	.023	99°48'35.71101"	.070	479.760	.199	2198597.232	.023	584787.119	.070	
3272	19°56'58.18256"	.021	100°18'49.24584"	.064	377.741	.176	2206430.230	.021	637470.810	.064	
3280	19°23'27.62907"	.013	100°52'46.72700"	.039	296.223	.116	2145167.832	.013	697393.697	.039	
3293	13°32'53.40548"	.007	99°20'26.32786"	.028	92.035	.059	1497782.539	.007	536857.624	.028	
3300	12°30'59.34284"	.000	99°58'30.87270"	.000	-27.462	.000	1383861.957	.000	605962.269	.000	Lat Long h
3309	11°17'37.41891"	.010	99°22'34.87437"	.045	48.595	.084	1248483.752	.010	541073.388	.045	
3315	10°36'34.33559"	.000	99°04'32.20096"	.000	-4.578	.000	1172807.382	.000	508270.760	.000	Lat Long h
3316	10°23'56.92955"	.008	99°16'34.99213"	.040	-23.611	.068	1149557.306	.008	530253.155	.040	
3335	9°11'08.12009"	.000	99°50'37.34808"	.000	-19.457	.000	1015479.423	.000	592690.740	.000	Lat Long h
3345	8°28'43.33916"	.007	99°58'14.05690"	.031	-17.586	.057	937353.512	.007	606832.622	.031	
3348	9°11'38.72137"	.008	98°24'50.96725"	.036	-19.444	.062	1016362.833	.008	435641.341	.036	
3356	8°25'33.49376"	.006	98°26'53.66141"	.029	23.781	.049	931432.897	.006	439260.296	.029	

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3358	8°12'52.56419"	.007	98°48'36.07718"	.037	18.186	.060	908027.422	.007	479075.574	.037	
3375	7°46'42.60429"	.014	100°19'35.58082"	.057	-15.729	.113	860040.158	.014	646275.249	.057	
3388	6°52'57.13707"	.010	99°47'15.57635"	.041	-12.850	.082	760835.573	.010	587022.120	.041	
3427	13°07'13.90313"	.000	101°02'40.96218"	.000	51.477	.000	1451362.727	.000	721666.324	.000	Lat Long h
3435	12°34'08.80041"	.007	101°27'39.70286"	.026	56.599	.061	1390736.463	.007	767405.142	.026	
3436	12°45'14.51934"	.007	101°36'54.31558"	.027	-12.117	.071	1411366.728	.007	783949.929	.027	
3452	13°28'48.70421"	.006	102°09'58.42026"	.023	66.903	.052	1492449.564	.006	842834.551	.023	
3475	14°26'39.12296"	.010	98°52'03.20072"	.029	97.927	.077	1596857.735	.010	485725.132	.029	
3482	15°10'08.32716"	.016	98°33'10.76230"	.046	135.137	.124	1677065.060	.016	451980.560	.046	
3492	15°10'55.20639"	.006	100°40'33.52938"	.021	65.461	.044	1679146.138	.006	680049.407	.021	
3500	15°10'10.08569"	.004	101°36'20.54402"	.015	219.580	.033	1678736.947	.004	779994.952	.015	
3509	14°12'02.17355"	.008	101°13'04.42195"	.029	-22.093	.061	1571049.164	.008	739355.924	.029	
3515	14°08'07.69822"	.005	101°52'32.99489"	.018	26.625	.041	1564613.066	.005	810496.148	.018	
3519	13°45'31.58060"	.005	101°23'04.49589"	.016	3.096	.038	1522324.663	.005	757845.697	.016	
3531	15°17'47.10811"	.008	103°17'20.27871"	.029	106.303	.062	1695668.087	.008	960827.648	.029	
3539	14°37'14.17266"	.008	100°53'33.41665"	.027	-5.563	.065	1617213.852	.008	703857.213	.027	
3555	16°32'08.11112"	.007	101°38'58.04961"	.026	733.922	.051	1830042.273	.007	782787.300	.026	

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3565	17°09'13.53211"	.007	102°13'44.89854"	.024	207.398	.054	1899422.551	.007	843589.723	.024	
3575	16°29'27.56627"	.006	102°26'34.39197"	.023	172.524	.049	1826385.418	.006	867633.727	.023	
3592	16°58'24.18368"	.007	103°58'51.69684"	.030	260.819	.057	1883358.801	.007	1030829.984	.030	
3598	16°01'50.84179"	.009	103°56'28.82296"	.037	121.019	.073	1778653.744	.009	1029160.506	.037	
3609	15°36'35.73558"	.009	105°01'06.58151"	.037	112.728	.079	1734945.211	.009	1146186.224	.037	
3618	18°05'31.41913"	.008	103°35'24.99446"	.030	137.258	.064	2006427.121	.008	986108.528	.030	
3631	7°28'06.79562"	.008	99°05'52.70494"	.042	.847	.069	825547.650	.008	510810.136	.042	
3652	15°50'45.49469"	.015	98°51'03.92407"	.043	380.213	.116	1751903.298	.015	484055.724	.043	
3654	14°59'18.02020"	.011	99°21'46.59108"	.031	339.057	.078	1657068.193	.011	539021.313	.031	
3656	19°17'18.02655"	.000	97°57'51.10820"	.000	195.645	.000	2133057.196	.000	391166.303	.000	Lat Long h
3657	7°45'32.63713"	.000	98°18'12.93715"	.000	-1.805	.000	857725.371	.000	423210.370	.000	Lat Long h
3658	20°14'46.83853"	.000	100°06'34.44393"	.000	331.727	.000	2239130.480	.000	615890.508	.000	Lat Long h
3659	12°27'18.07726"	.000	102°13'17.07250"	.000	-16.956	.000	1378995.064	.000	850249.020	.000	Lat Long h
3660	13°59'58.30620"	.000	99°30'09.78049"	.000	20.486	.000	1547731.889	.000	554289.508	.000	Lat Long h
3661	13°35'52.05878"	.008	99°46'30.44508"	.033	-24.995	.064	1503378.417	.008	583852.024	.033	
3662	13°10'21.94623"	.007	100°00'41.92650"	.028	-27.185	.059	1456461.625	.007	609633.057	.028	
3663	12°55'20.47714"	.007	99°42'33.04121"	.031	35.930	.057	1428655.727	.007	576929.858	.031	

Name	Latitude (D M S)	N error (m.)	Longitude (D M S)	E error (m.)	Height (m.)	h error (m.)	Northing (m.)	N error (m.)	Easting (m.)	E error (m.)	Fix
3664	12°05'09.50593"	.010	99°47'16.22954"	.048	2.389	.080	1336183.916	.010	585738.920	.048	
3665	9°54'54.74235"	.007	98°37'39.24165"	.038	-18.643	.062	1096060.264	.007	459172.220	.038	
3666	9°59'12.66218"	.008	99°03'36.51841"	.039	-15.100	.065	1103959.248	.008	506591.778	.039	
3667	9°07'07.45624"	.007	99°16'55.55939"	.034	-20.154	.058	1007991.638	.007	530996.660	.034	
3668	8°39'45.59924"	.007	99°22'23.31791"	.032	15.212	.055	957577.991	.007	541051.298	.032	
3669	7°47'13.74286"	.008	99°40'03.55451"	.036	49.861	.068	860825.278	.008	573614.204	.036	
3670	6°43'50.64882"	.013	100°26'57.62721"	.049	14.899	.105	744220.305	.013	660187.923	.049	
3671	6°47'10.73396"	.000	101°08'36.84942"	.000	2.572	.000	750650.718	.000	736919.589	.000	Lat Long h
3672	11°09'02.12770"	.010	99°28'53.80205"	.045	-21.166	.090	1232673.179	.010	552586.801	.045	
3673	7°09'47.54486"	.010	100°38'00.44647"	.040	-8.987	.083	792111.571	.010	680377.466	.040	
3674	13°59'50.27313"	.007	102°47'59.56915"	.025	50.507	.058	1550724.506	.007	910624.477	.025	
3675	15°20'25.22030"	.011	104°09'14.59458"	.047	101.779	.094	1702572.822	.011	1053860.151	.047	

ภาคผนวก ค ค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง โครงข่ายชั้นที่ 1 และ  
โครงข่ายชั้นที่ 2 ระหว่างช่วงเวลา 2005.7 ถึง 2008.11

( Diff\_E = ค่าการเคลื่อนตัวทิศทาง E-W , Diff\_N = ค่าการเคลื่อนตัวทิศทาง N-S)

หมุด	ลองจิจูด (องศา)	ละติจูด (องศา)	พิกัดตะวันออก (ม.)	พิกัดเหนือ (ม.)	Diff_E (มม.)	Diff_N (มม.)
3001	100.01320824	15.38375970	608735.656	1701027.309	63	-62
3052	104.41594279	14.90112801	1083280.120	1654494.813	66	-54
3084	104.48230946	17.63238638	1082292.906	1957971.879	116	-30
3093	103.10492153	17.35876590	936410.272	1923914.150	91	-40
3109	101.14549437	17.28002883	728075.693	1911802.519	73	-55
3159	102.06709813	15.85359351	828525.941	1755144.591	70	-54
3166	100.50741050	13.76030866	662970.524	1521727.911	37	-71
3217	99.37121305	18.33534037	539222.859	2027326.913	87	-52
3239	98.58793226	16.72126289	456073.537	1848765.613	77	-69.
3300	99.97524231	12.51648485	605962.257	1383862.038	12	-81
3315	99.07561164	10.60953849	508270.788	1172807.474	-28	-92
3335	99.84370821	9.18558963	592690.786	1015479.502	-46	-79
3427	101.04471138	13.12052923	721666.287	1451362.792	37	-65
3656	97.96419584	19.28834106	391166.211	2133057.236	92	-40
3657	98.30359468	7.75906695	423210.483	857725.490	-113	-119
3658	100.10956687	20.24634429	615890.415	2239130.508	93	-28
3659	102.22140856	12.45502196	850248.969	1378995.118	51	-54
3660	99.50271652	13.99953032	554289.478	1547731.980	30	-91
3671	101.14356943	6.78631548	736919.605	750650.772	-16	-54
200	100.68449458	17.72844095	678617.072	1960941.418	76	-54
240	100.72942400	18.79382051	682266.783	2078900.793	76	-48
290	98.59713894	18.20245889	457400.722	2012631.825	84	-56
300	100.27495231	19.14921985	634077.268	2117827.827	81	-45
3009	100.01915590	14.63334403	609756.421	1618019.490	53	-69
3035	102.39375898	15.06920390	864922.646	1668792.485	68	-54
3045	103.61258570	14.46977398	997561.878	1604694.288	73	-52
3056	104.72289786	14.45342001	1117694.855	1605591.611	79	-47
3059	105.40251891	14.75879998	1190343.499	1641504.413	82	-42
3078	104.68071879	16.92127926	1105756.118	1879607.522	87	-34

หมู่	ลองจิจูด (องศา)	ละติจูด (องศา)	พิกัดตะวันออก (ม.)	พิกัดเหนือ (ม.)	Diff_E (มม.)	Diff_N (มม.)
3099	102.55937234	17.95783332	877091.730	1989135.021	83	-42
3105	101.41331585	17.70474824	755963.840	1959160.578	74	-51
3114	100.78174125	16.38590599	690287.067	1812457.776	67	-56
3118	101.02712199	15.91692406	717013.083	1760799.139	64	-58
3134	102.73392639	16.07260239	899595.226	1780574.804	75	-48
3155	103.57279334	16.33527248	988866.111	1811517.190	82	-42
3171	99.44745812	15.53026531	547984.914	1717027.236	59	-67
3182	99.39078293	17.02452656	541591.055	1882309.817	74	-61
3187	99.52066242	16.50769472	555564.296	1825166.810	66	-62
3190	100.25950424	16.09230921	634703.540	1779556.588	69	-59
3197	100.18063839	17.04584990	625647.787	1885006.710	76	-58
3211	100.17269839	18.17174485	624031.214	2009582.786	83	-51
3220	98.96528704	18.86114444	496343.445	2085463.863	82	-52
3229	97.93739435	18.21221009	387639.885	2013989.563	89	-52
3235	98.22958505	17.23277459	418094.398	1905469.160	80	-63
3247	99.23624531	17.63545986	525060.490	1949870.642	86	-57
3259	98.62410573	19.60716424	460582.652	2168054.447	77	-50
3263	99.50906509	19.36700413	553461.039	2141515.218	80	-47
3271	99.80991898	19.88172846	584787.040	2198597.272	79	-40
3272	100.31367866	19.94949551	637470.732	2206430.269	78	-39
3280	100.87964566	19.39100846	697393.620	2145167.874	77	-42
3293	99.34064637	13.54816896	536857.596	1497782.625	28	-86
3309	99.37635419	11.29372827	541073.409	1248483.840	-21	-88
3316	99.27638706	10.39914791	530253.194	1149557.396	-39	-90
3345	99.97057190	8.47870612	606832.681	937353.601	-59	-89
3348	98.41415826	9.19409019	435641.417	1016362.935	-76	-102
3356	98.44824012	8.42597148	439260.389	931433.006	-93	-109
3358	98.81002224	8.21460213	479075.662	908027.530	-88	-108
3375	100.32655071	7.77850196	646275.302	860040.243	-53	-85
3388	99.78766054	6.88253888	587022.169	760835.662	-49	-89
3435	101.46102817	12.56911180	767405.097	1390736.527	45	-64
3436	101.61508721	12.75403372	783949.880	1411366.790	49	-62
3452	102.16622732	13.48019615	842834.493	1492449.623	58	-59

หมู่	ลองจิจูด (องศา)	ละติจูด (องศา)	พิกัดตะวันออก (ม.)	พิกัดเหนือ (ม.)	Diff_E (มม.)	Diff_N (มม.)
3475	98.86755538	14.44420157	485725.092	1596857.817	40	-82
3482	98.55298905	15.16898045	451980.509	1677065.136	51	-76
3492	100.67597985	15.18200234	680049.349	1679146.200	58	-62
3500	101.60570609	15.16946878	779994.889	1678737.005	63	-58
3509	101.21789447	14.20060434	739355.868	1571049.228	56	-64
3515	101.87583132	14.13547228	810496.083	1564613.126	65	-60
3519	101.38458176	13.75877296	757845.650	1522324.726	47	-63
3531	103.28896560	15.29641937	960827.571	1695668.135	77	-48
3539	100.89261527	14.62060410	703857.162	1617213.916	51	-64
3555	101.64945756	16.53558691	782787.228	1830042.326	72	-53
3565	102.22913774	17.15375936	843589.643	1899422.599	80	-48
3575	102.44288593	16.49099108	867633.647	1826385.467	80	-49
3592	103.98102606	16.97338471	1030829.893	1883358.838	91	-37
3598	103.94133895	16.03078979	1029160.423	1778653.787	83	-43
3609	105.01849414	15.60992694	1146186.145	1734945.252	79	-41
3618	103.59027538	18.09206120	986108.436	2006427.155	92	-34
3631	99.09797425	7.46855529	510810.208	825547.755	-72	-105
3652	98.85108945	15.84597138	484055.663	1751903.367	61	-69
3654	99.36294145	14.98833959	539021.258	1657068.265	55	-72
3661	99.77512336	13.59779485	583851.994	1503378.500	30	-83
3662	100.01164599	13.17276357	609633.029	1456461.705	28	-80
3663	99.70917790	12.92235551	576929.835	1428655.811	23	-84
3664	99.78784152	12.08597463	585738.918	1336184.000	02	-84
3665	98.62756754	9.91520707	459172.266	1096060.359	-46	-95
3666	99.06014456	9.98685143	506591.839	1103959.340	-61	-92
3667	99.28210040	9.11873867	530996.722	1007991.729	-62	-91
3668	99.37314454	8.66266734	541051.372	957578.089	-74	-98
3669	99.66765460	7.78715166	573614.267	860825.374	-63	-96
3670	100.44934118	6.73073644	660187.955	744220.378	-32	-73
3672	99.48161187	11.15059182	552586.821	1232673.266	-20	-87
3673	100.63345769	7.16320756	680377.503	792111.644	-37	-73
3674	102.79987966	13.99729861	910624.404	1550724.562	73	-56
3675	104.15405334	15.34033940	1053860.073	1702572.868	78	-46





ภาคผนวก ง ค่าการเคลื่อนตัวจากของการประมาณค่าภายใน ด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยมและวิธี Krigging ระหว่างช่วงเวลา 20057 ถึง 200811

(หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

TIN\_E และ TIN\_N = ค่าจากการประมาณค่าภายในด้วยวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม  
 Err\_TIN\_E และ Err\_TIN\_N = ค่าต่างจากค่าตรวจสอบ ของวิธีสมการเส้นตรงจากรูปสามเหลี่ยม  
 Kriging\_E และ Kriging\_N = ค่าจากการประมาณค่าภายในด้วยวิธี Kriging ในแต่ละทิศทาง  
 Err\_Krig\_E และ Err\_Krig\_N = ค่าต่างจากค่าตรวจสอบ ของวิธี Kriging ในแต่ละทิศทาง)

Point Name	TIN_E	TIN_N	Err_TIN_E	Err_TIN_N	Kriging_E	Kriging_N	Err_Krig_E	Err_Krig_N
3001	63	-62	00	00	63	-62	00	00
3052	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	66	-54	00	00
3084	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	115	-30	-01	00
3093	91	-40	00	00	91	-40	00	00
3109	73	-55	00	00	73	-55	00	00
3159	70	-54	00	00	70	-54	00	00
3166	37	-71	00	00	37	-71	00	00
3217	87	-52	00	00	87	-52	00	00
3239	76	-69	-01	00	77	-69	00	00
3300	12	-81	00	00	12	-81	00	00
3315	-28	-92	00	00	-28	-92	00	00
3335	-46	-79	00	00	-46	-79	00	00
3427	37	-65	00	00	37	-65	00	00
3656	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	92	-40	00	00
3657	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-112	-118	01	01
3658	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	93	-28	00	00
3659	50	-54	-01	00	50	-54	-01	00
3660	30	-91	00	00	30	-91	00	00
3671	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-17	-54	-01	00
0200	78	-52	02	02	79	-52	03	02
0240	84	-40	08	08	88	-42	12	06
0290	86	-53	02	03	86	-53	02	03
0300	87	-39	06	06	90	-39	09	06
3009	48	-71	-05	-02	48	-73	-05	-04

Point Name	TIN_E	TIN_N	Err_TIN_E	Err_TIN_N	Kriging_E	Kriging_N	Err_Krig_E	Err_Krig_N
3035	66	-54	-02	00	65	-55	-03	-01
3045	63	-54	-10	-02	64	-54	-09	-02
3056	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	66	-52	-13	-05
3059	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	74	-47	-08	-05
3078	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	103	-36	16	-02
3099	93	-37	10	05	92	-40	09	02
3105	80	-48	06	03	80	-49	06	02
3114	69	-58	02	-02	70	-58	03	-02
3118	68	-58	04	00	68	-58	04	00
3134	75	-50	00	-02	76	-50	01	-02
3155	80	-46	-02	-04	85	-45	03	-03
3171	61	-70	02	-03	61	-69	02	-02
3182	77	-63	03	-02	78	-62	04	-01
3187	73	-64	07	-02	73	-64	07	-02
3190	67	-60	-02	-01	69	-60	00	-01
3197	74	-60	-02	-02	76	-58	00	00
3211	82	-50	-01	01	84	-50	01	01
3220	89	-45	07	07	90	-45	08	07
3229	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	84	-54	-05	-02
3235	67	-58	-13	05	78	-65	-02	-02
3247	82	-59	-04	-02	83	-58	-03	-01
3259	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	93	-38	16	12
3263	91	-39	11	08	91	-39	11	08
3271	92	-33	13	07	92	-33	13	07
3272	92	-30	14	09	93	-31	15	08
3280	91	-32	14	10	92	-36	15	06
3293	22	-89	-06	-03	22	-90	-06	-04
3309	-14	-88	07	00	-13	-88	08	00
3316	-29	-89	10	01	-30	-89	09	01
3345	-47	-78	12	11	-51	-80	08	09
3348	-80	-110	-04	-08	-73	-104	03	-02
3356	-95	-113	-02	-04	-92	-110	01	-01
3358	-91	-106	-03	02	-89	-105	-01	03

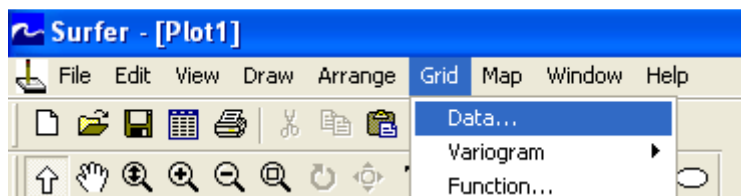
Point Name	TIN_E	TIN_N	Err_TIN_E	Err_TIN_N	Kriging_E	Kriging_N	Err_Krig_E	Err_Krig_N
3375	-39	-71	14	14	-44	-73	09	12
3388	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-61	-82	-12	07
3435	39	-63	-06	01	38	-62	-07	02
3436	43	-60	-06	02	43	-60	-06	02
3452	56	-54	-02	05	54	-57	-04	02
3475	38	-79	-02	03	36	-87	-04	-05
3482	44	-77	-07	-01	48	-80	-03	-04
3492	60	-62	02	00	60	-62	02	00
3500	60	-59	-03	-01	63	-58	00	00
3509	48	-63	-08	01	51	-63	-05	01
3515	56	-57	-09	03	55	-58	-10	02
3519	46	-61	-01	02	48	-62	01	01
3531	68	-54	-09	-06	70	-52	-07	-04
3539	51	-65	00	-01	53	-64	02	00
3555	72	-54	00	-01	73	-54	01	-01
3565	82	-47	02	01	81	-47	01	01
3575	78	-49	-02	00	77	-49	-03	00
3592	97	-38	06	-01	98	-38	07	-01
3598	79	-47	-04	-04	83	-46	00	-03
3609	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	82	-46	03	-05
3618	110	-30	18	04	105	-33	13	01
3631	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-85	-99	-13	06
3652	62	-75	01	-06	63	-73	02	-04
3654	49	-79	-06	-07	51	-76	-04	-04
3661	27	-85	-03	-02	27	-85	-03	-02
3662	23	-81	-05	-01	23	-81	-05	-01
3663	15	-86	-08	-02	15	-85	-08	-01
3664	03	-83	01	01	04	-83	02	01
3665	-58	-103	-12	-08	-51	-98	-05	-03
3666	-43	-94	18	-02	-43	-92	18	00
3667	-60	-92	02	-01	-59	-90	03	01
3668	-67	-91	07	07	-65	-91	09	07
3669	-63	-87	00	09	-65	-87	-02	09

Point Name	TIN_E	TIN_N	Err_TIN_E	Err_TIN_N	Kriging_E	Kriging_N	Err_Krig_E	Err_Krig_N
3670	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-39	-68	-07	05
3672	-14	-87	06	00	-14	-87	06	00
3673	-32	-65	05	08	-33	-65	04	08
3674	60	-54	-13	02	59	-55	-14	01
3675	71	-52	-07	-06	73	-51	-05	-05
		Ave	0.6	0.7		Ave	0.9	0.7
		Max	18.1	14.0		Max	17.8	12.3
		Min	-13.1	-7.9		Min	-13.6	-5.3
		Std	6.7	4.3		Std	6.7	3.8
		Var	45.3	18.6		Var	44.7	14.2

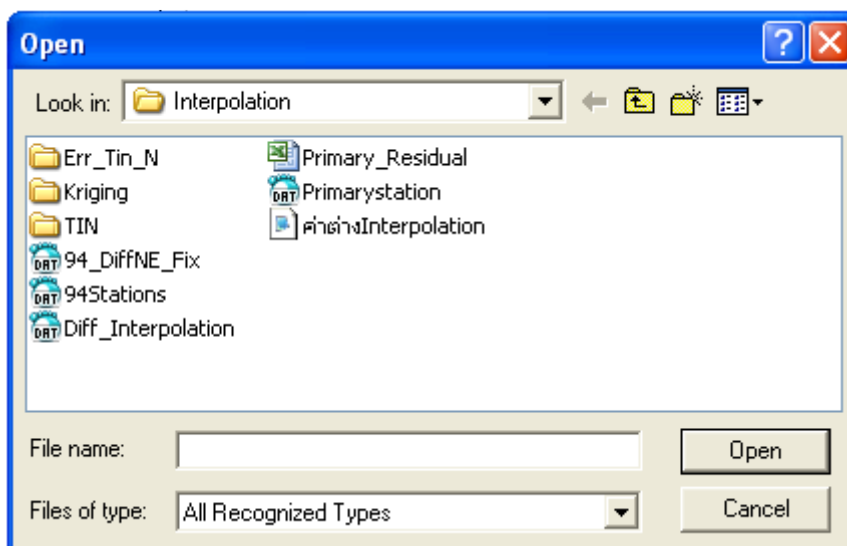
n.a. เป็นหมุดที่อยู่ภายนอกรูปโครงข่ายสามเหลี่ยม จึงไม่สามารถประมาณค่าภายในได้

## ภาคผนวก จ การกำหนดเงื่อนไขการประมาณค่าภายในโดยวิธี Kriging ในโปรแกรมประยุกต์ Surfer เวอร์ชัน 8.0

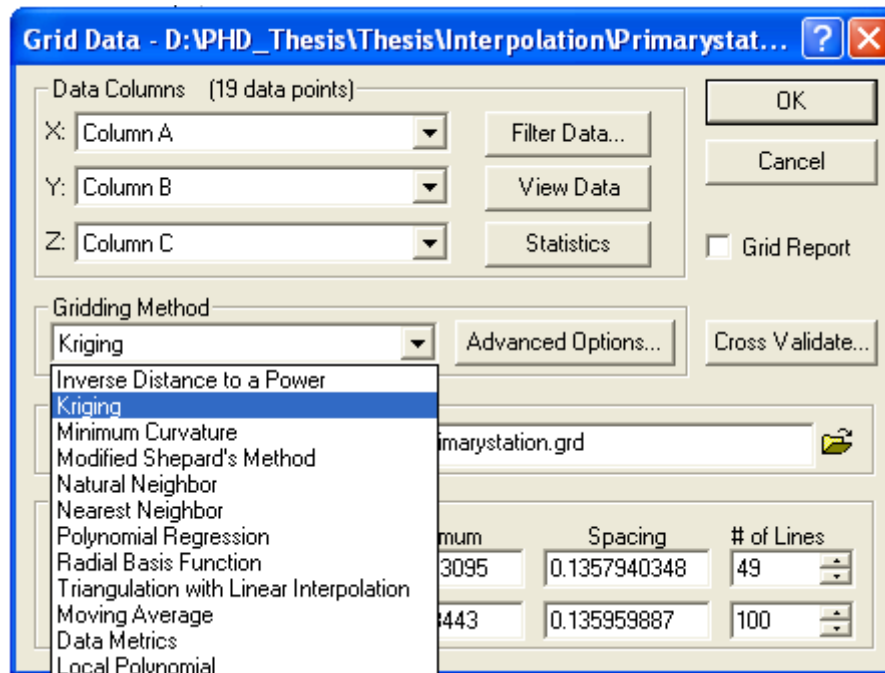
1. เลือกที่ หัวข้อ Grid | Data.



2. ในหน้าต่าง Open เลือกข้อมูลที่ต้องการใช้ในการประมาณค่าภายใน จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Open .

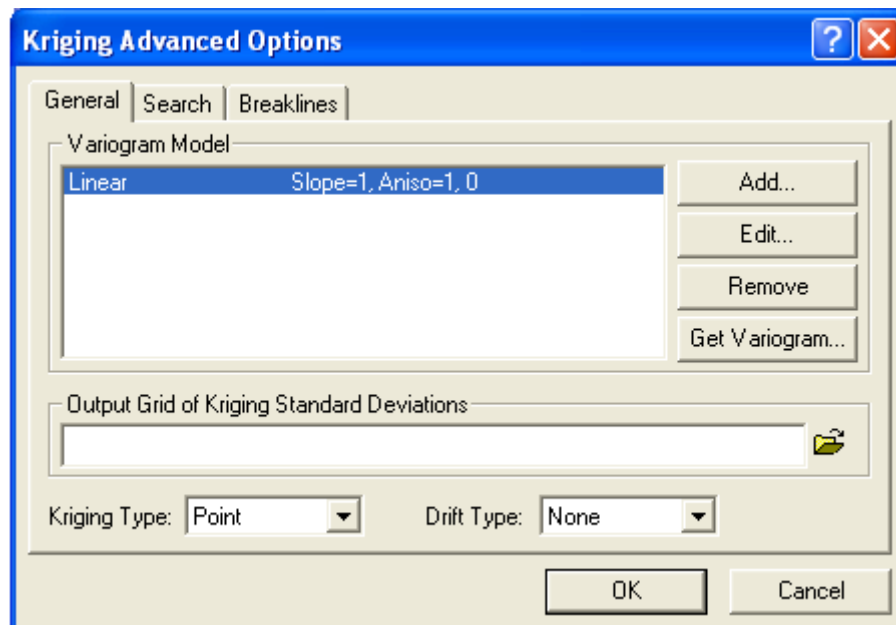


3. ในหน้าต่าง Grid Data, เลือก *Kriging* ในวิธีการสร้างกริด.



4. เลือกที่ปุ่ม *Advanced Options* เพื่อที่จะแสดงเงื่อนไขพิเศษของหน้าต่าง *Kriging*

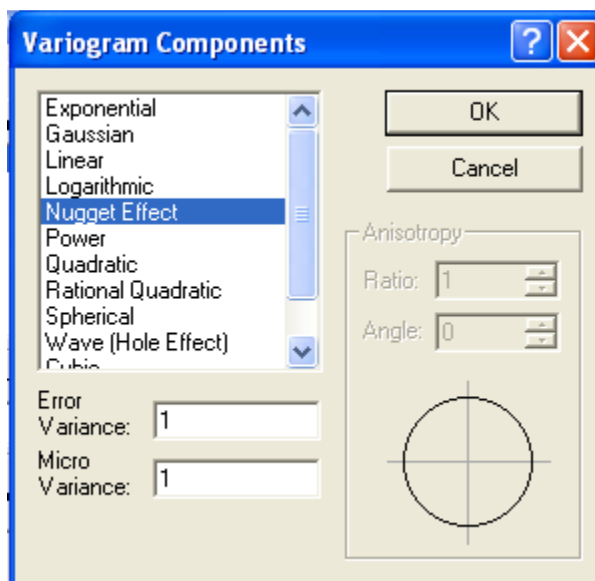
Advanced Options



### 5. ในแถบของ General

- คลิกที่ปุ่ม *Add* เพื่อเพิ่ม variogram components. สามารถเพิ่มรูปแบบสมการที่เหมาะสม ของค่าน้ำหนัก ด้วย Variogram Components

- คลิกที่ปุ่ม *Edit* เพื่อแสดงหน้าต่าง Variogram Components สามารถแก้ไขข้อมูลตัวแปรต่างๆ ของ Variogram Components. เมื่อดำเนินการแก้ไขแล้วเสร็จ ให้คลิกที่ปุ่ม OK เพื่อกลับสู่หน้าต่างก่อนหน้า



ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการเคลื่อนตัว ขณะเวลาใดและตำแหน่งใด ๆ  
ในระหว่างห้วงเวลาของการปรับแก้โครงข่าย

1. ขั้นตอนการประยุกต์ใช้งานหาค่าพิกัด ณ ขณะเวลาใด ๆ

จากข้อมูลการหาค่าตัวแปรในสมการ Logarithmic decay function ตามตาราง  
ที่ 5.5 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการเคลื่อนตัวของสถานี PHUK ณ ขณะเวลา 20 ปี นับจากวัน  
เกิดแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามัน ในทิศทาง N-S และ E-W

จากสมการ  
เมื่อ 
$$U(t) = c + a \ln (1+t/\tau_{\log})$$

t	=	เวลานับจากการเกิดแผ่นดินไหว
U(t)	=	พิกัดตำแหน่ง N , E ,Up
c	=	ค่าการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว
a	=	ค่า amplitude ที่เกี่ยวเนื่องกับการถดถอย
$\tau_{\log}$	=	ค่าตัวแปรเวลาในการถดถอย

ค่าตัวแปรในสมการ Logarithmic decay function ของ สถานี PHUK มีค่าดังนี้

StationDirection	Validity	a (mm)	$\tau_{\log}$ (yr)	c (mm)	R2
PHUK <sub>North2</sub>	28-3-05 to 1-12-09	-64.03	0.304	-116.4	0.995
PHUK <sub>East2</sub>	28-3-05 to 1-12-09	-130.30	0.294	-267.0	0.994

แทนค่าในสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 U(20)_N &= -116.4 + (-64.03) \ln (1+20/0.304) \\
 &= -385.4 \text{ มม.} \\
 U(20)_e &= -267.0 + (-130.3) \ln (1+20/0.294) \\
 &= -818.7 \text{ มม.} \\
 \text{คิดเป็นระยะขจัด} &= ((-385.4)^2 + (-818.7)^2)^{1/2} \\
 &= 904.9 \text{ มม.}
 \end{aligned}$$



## 2. การประยุกต์ใช้งานหาค่าพิกัด ณ ตำแหน่งใดๆ ที่เป็นช่วงเวลาเดียวกันกับการปรับแก้โครงข่ายของประเทศไทย ด้วยวิธีการประมาณค่าภายใน

2.1 ตัวอย่างการหาค่า การเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งใดๆ ด้วยวิธีการประมาณค่าภายใน ของจุดใดๆ จากช่วงเวลา 2005.7 ถึงช่วงเวลา 2008.11 ที่อ้างอิงในกรอบพิกัด ITRF2000 มีขั้นตอนดังนี้ที่มีข้อมูลการรังวัด

- ค่าการเคลื่อนตัวของหมุดในโครงข่ายอ้างอิง และโครงข่ายชั้นที่ 1 ใน ผนวก ค นำมาใช้เป็นค่าของจุดตัวอย่างในการประมาณค่าภายใน (จากเวลา 2005.7 ถึง 2008.11)
- ค่าการเคลื่อนตัวของจุดตัวอย่างถูกนำมาสร้างเป็นพื้นผิวค่าการเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งใดๆ จากเวลา 2005.7 ถึง 2008.11
- ค่าพิกัดของตำแหน่งใดๆ ถูกนำเข้าในสมการของการประมาณค่าภายใน เพื่อหาค่าการเคลื่อนตัว (การดำเนินการสามารถใช้โปรแกรมประยุกต์ ที่ทำการประมาณค่าภายในได้ เป็นเครื่องมือในการคำนวณ)

2.2 ตัวอย่างการหาค่า การเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งใดๆ ด้วยวิธีการประมาณค่าภายใน ของจุดใดๆ จากช่วงเวลา 1996.3 ในกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF1994 ถึงช่วงเวลา 2008.11 ที่อ้างอิงในกรอบพิกัด ITRF2000 มีขั้นตอนดังนี้ที่มีข้อมูลการรังวัด

- แปลงค่าพิกัดของจุดต่างๆ บนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF1994 ขณะเวลา 1996.3 เป็นค่าพิกัดบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2000 ขณะเวลา 1996.3 โดยใช้ค่าตัวแปรที่ประกาศใช้ ของหน่วยงาน IERS
- คำนวณหาค่าต่างของจุดร่วมระหว่าง 2 ช่วงเวลา เช่นหมุดในโครงข่ายอ้างอิงและหมุดในโครงข่ายชั้นที่ 1 เป็นต้น
- นำค่าต่างที่ได้จากข้อ 3.2 มาสร้างเป็นพื้นผิวค่าการเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งใดๆ จากเวลา 1996.3 ถึง 2008.11
- คำนวณหาค่าการเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งใดๆ นับจากเวลา 1996.3 ถึงเวลา 2008.11 บนกรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2000 (การดำเนินการสามารถใช้โปรแกรมประยุกต์ ที่ทำการประมาณค่าภายในได้ เป็นเครื่องมือในการคำนวณ)

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

**ชื่อ :** พันเอก เอกภพ ภาณุมาศตระกูล

**วันเดือนปีเกิด :** 28 มีนาคม พ.ศ.2514

**คุณวุฒิทางการศึกษา :**

พ.ศ. 2537 วิศวกรรมแผนกที่ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

พ.ศ. 2543 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ  
ภาควิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2554 กำลังศึกษาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ  
ภาควิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประวัติการทำงาน

พ.ศ.2537 - 2543 ประจำแผนกยี่ห้อเดซี กองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิลิกส์ กรมแผนที่ทหาร

พ.ศ.2543 - 2545 อาจารย์ผู้ช่วย หัวหน้าหมวดวิชาวิศวกรรมสำรวจ โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร

พ.ศ.2545 - 2551 นักยี่ห้อเดซี กองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิลิกส์ กรมแผนที่ทหาร

พ.ศ.2551 - 2554 หัวหน้าแผนกยี่ห้อเดซี กองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิลิกส์ กรมแผนที่ทหาร

พ.ศ.2554 ผู้ช่วยผู้อำนวยการกองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิลิกส์ กรมแผนที่ทหาร

### ผลงานทางวิชาการ: บทความตีพิมพ์ :

1. Panumastakul E., Simons W.J.F., Satirapod C. 2012. MODELING THE POST-SEISMIC DISPLACEMENTS IN THAI GEODETIC NETWORK DUE TO THE SUMATRA-ANDAMAN AND NIAS EARTHQUAKES USING GPS OBSERVATIONS. Survey Review. (Inpress)
2. Satirapod C., Simons W.J.F., Panumastakul E. and Trisirisatayawong T. 2011. UPDATING THAI REFERENCE FRAME TO ITRF2005 USING GPS: DIVERSION BETWEEN ITRF2000 AND ITRF2005 IN SOUTHEAST ASIA. Survey Review. 43(319) : 45-53
3. เอกภพ ภาณุมาศตระกูล เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และ ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ พ.ศ.2552 ผลกระทบจากการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ต่อการปรับแก้โครงข่ายในประเทศไทย การประชุมวิชาการ การแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ อิมแพ็ค คอนเวนชันเซ็นเตอร์ เมืองทองธานี 16-18 ธันวาคม
4. อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2551 การรังวัดโครงข่ายควบคุมตามแนวชายแดนประเทศไทย-มาเลเซีย หลังเกิดเหตุแผ่นดินไหวสองครั้งใหญ่โดยใช้การสำรวจรังวัดด้วยจีพีเอส การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13, โรงแรม จอมเทียน ปาล์ม บีช, ชลบุรี, 14-16 พฤษภาคม
5. อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล ชัยวัฒน์ พรหมทอง และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2550 โครงข่ายเชื่อมโยงพื้นหลักฐานไทย-มาเลเซีย โดยรังวัดดาวเทียม GPS การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ 28-30 พฤศจิกายน