

การหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดจีพีเอสประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ
ปี ค.ศ. 2005 ด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY

นาวาโท พัลลภ พัคเคิลศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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.

DETERMINATION OF SUITABLE APPROACH FOR THE MAPPING OF THE THAI GPS
COORDINATES INTO THE INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE
FRAME 2005 (ITRF2005) USING GIPSY SOFTWARE

Commander Punlop Payakleard

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

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดจีพีเอสประเทศ
ไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติปี ค.ศ. 2005 ด้วยซอฟต์แวร์
GIPSY

โดย

นาวาโท พัลลภ พยัคเลิศ

สาขาวิชา

วิศวกรรมสำรวจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. นิธิวัฒน์ ชูสกุล)

พัลลภ พยัคเลิศ: การหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดจีพีเอสประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ ปี ค.ศ. 2005 ด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY. (DETERMINATION OF SUITABLE APPROACH FOR THE MAPPING OF THE THAI GPS COORDINATES INTO THE INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE FRAME 2005 (ITRF2005) USING GIPSY SOFTWARE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก : ศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ 141หน้า.

เทคนิคการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การกำหนดกรอบอ้างอิงในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ โปรแกรมจีพีเอสที่ใช้เทคนิคการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงมีมากมายแต่โปรแกรม GIPSY-OASIS II เป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยของสถาบันต่างๆ ทั่วโลก การประมวลผลข้อมูลจีพีเอสด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II จะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรกคือการคำนวณผลของข้อมูลจีพีเอสที่ได้ในแต่ละวันของแต่ละสถานี ต่อจากนั้นเป็นขั้นตอนการหาค่าเฉลี่ยรายสัปดาห์และขั้นตอนสุดท้าย เป็นขั้นตอนการนำค่าเฉลี่ยรายสัปดาห์ที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 เข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ (International Terrestrial Reference Frame, ITRF) และในขั้นตอนนี้โดยทั่วไปจะใช้สถานี International GNSS service (IGS) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลง ทั้งนี้เพื่อให้ผลในขั้นตอนที่ 3 มีความถูกต้องและแม่นยำจึงต้องมีการเลือกสถานี IGS ที่จะใช้สำหรับการแปลงค่าเฉลี่ยรายสัปดาห์ที่ได้เข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจำนวนและการกระจายของสถานี IGS ที่มีผลกับค่าพิกัดโคสซายประเทศไทยและข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลจากกรมแผนที่ทหารมาใช้ในการตรวจสอบ 2 ช่วงเวลา (ก่อนและหลังแผ่นดินไหวที่เกาะสุมาตรา แถบทะเลอันดามัน ปี 2004) โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการเลือกสถานี IGS ที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนสุดท้ายของการแปลง ซึ่งจะใช้สถานี IGS ตั้งแต่ 4-30 สถานีมาพิจารณา จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้จำนวน IGS อย่างน้อย 14 สถานีทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือตามกรอบอ้างอิงนานาชาติ นอกจากนี้ยังพบว่าการกระจายของสถานี IGS ที่ดี ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการกระจายของสถานี IGS ที่ไม่ดี

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2554

5270411321 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS : GIPSY-OASIS II, PPP, IGS, ITRF2005, TRANSFORMATION

PUNLOP PAYAKLEARD : DETERMINATION OF SUITABLE APPROACH FOR THE
MAPPING OF THE THAI GPS COORDINATES INTO THE INTERNATIONAL
TERRESTRIAL REFERENCE FRAME 2005 (ITRF2005) USING GIPSY SOFTWARE.
ADVISOR : PROF. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D., 141 pp.

The GPS Precise Point Positioning (PPP) technique has been widely used for many high precision positioning applications especially in an establishment of national and region reference frames. Among the GPS PPP software packages, the GIPSY-OASIS II software package is the most popular software package used by many research institutes worldwide. The processing of GPS data with the GIPSY-OASIS II software requires three main steps. The first step is to compute a daily GPS solution for each station and the second step is to combine the 7 daily GPS solutions into a weekly averaged solution. The final step is to transform a weekly averaged solution into the latest International Terrestrial Reference Frame (ITRF) coordinate solution and this step generally requires the use of available International GNSS service (IGS) stations to compute for transformation parameters. In order to obtain high precision ITRF coordinate solutions, an investigation on a selection of IGS stations used for mapping the weekly averaged solution onto the ITRF solution is therefore needed. This research aims to investigate an effect of number and distribution of IGS stations used on the final ITRF coordinate solution in Thai region. Two different periods of GPS campaign (before and after the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake) measured by the Royal Thai Survey Department (RTSD) are used in this investigation. This research has proposed guidelines on how to select suitable IGS stations for the final transformation step. By varying the number of IGS station from 4 to 30 stations, results indicate that the use of at least 14 IGS stations in the final step can produce reliable and accurate ITRF solutions. In addition, it was found that the selection of well-distributed IGS stations yields better results as compared to the poor-distributed IGS stations.

Department : Survey Engineering Student's Signature

Field of Study : Survey Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้กับข้าพเจ้า และ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกரியงไกรเพชร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์ และ ดร. นิธิวัฒน์ ชูสกุล ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และ ตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ Wim Simon และ พ.ต.สรวิศ สุภเวทย์ ที่ช่วยเหลือข้าพเจ้าในการ แนะนำการใช้โปรแกรม GIPSY OASIS II ซึ่งเป็นโปรแกรมหลักของการทำวิจัยครั้งนี้ รวมถึง คำแนะนำและกำลังใจจาก พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชา วิศวกรรมสำรวจทุกคน

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ที่สนับสนุนทุนและให้โอกาสมาศึกษาต่อ และขอขอบคุณ น.ท. ฉัตรชัย เหลืองทองคำ (ร.น.) ที่ช่วยในเรื่องบทคัดย่อรวมถึง คุณ อรุณ บุรีรักษ์ ที่ตรวจอักษรและรูปแบบเล่ม

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ กรมแผนที่ทหาร ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลการรังวัด GPS ของโครงข่าย ทางยี่ออกदेशีของประเทศไทย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณในวิทยานิพนธ์นี้แต่ บิดา- มารดา ของข้าพเจ้าและคณาจารย์ทุก ท่านและที่สำ คัญขอขอบคุณ คุณ จุฬารัตน์ พยัคเลิศ คู่ชีวิตของข้าพเจ้า น้องนดา พยัคเลิศ และ น้องนวิน พยัคเลิศ ซึ่งเป็นกำลังใจที่สำคัญกับข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อสังคมและประเทศชาติต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 สันฐานของโลก	5
2.2 ระบบพิกัดและพื้นหลักฐาน (Coordinate systems and Datums).....	7
2.2.1 ระบบพิกัด (Coordinate systems).....	7
2.2.1.1 ค่าพิกัดทรงกลม (Spherical coordinates)	7
2.2.1.2 ค่าพิกัดทรงรี (Spheroidal coordinates)	9
2.2.1.3 ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates)	10
2.2.2 พื้นหลักฐาน (Datum).....	11
2.2.2.1 พื้นหลักฐานดาวเทียม (Satellite datums)	11
2.2.2.2 กรอบอ้างอิงนานาชาติ (International reference frames).....	13
2.3 ทฤษฎีการแปลงพื้นหลักฐานในระบบ 3 มิติ (Three-dimensional transformation) 15	
2.4 หลักการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning, PPP) ..	19
2.5 โครงสร้างและหลักการทำงานของโปรแกรม GIPSY-OASIS II.....	24

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	29
3.1 การเลือกสถานีโครงข่ายอ้างอิงในประเทศไทย.....	29
3.1.1 โครงข่ายอ้างอิงประเทศไทยช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่.....	29
3.1.2 โครงข่ายอ้างอิงประเทศไทยช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่	31
3.2 การเลือกสถานี IGS ในกรอบอ้างอิง ITRF2005.....	32
3.3 การออกแบบการวิจัย	36
3.3.1 การศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสม.....	36
3.3.2 การศึกษาการกระจายตัวของสถานี IGS	40
3.4 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY.....	43
บทที่ 4 ผลการศึกษา	52
4.1 การศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดเข้าสู่กรอบอ้างอิง ITRF2005	52
4.1.1 ผลการศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว	52
4.1.2 ผลการศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหว	64
4.2 การศึกษาการกระจายตัวที่เหมาะสมของสถานี IGS.....	76
4.2.1 ผลการศึกษาการกระจายตัวของสถานี IGS ที่เหมาะสมช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว	76
4.2.2 ผลการศึกษาการกระจายตัวของสถานี IGS ที่เหมาะสมช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหว	80
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	86
5.1 ผลที่ได้จากงานวิจัย.....	86
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	87
5.3 ข้อเสนอแนะและสิ่งที่ควรจะศึกษาต่อในอนาคต.....	88
รายการอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก	94
ภาคผนวก ก สถานภาพโครงข่ายยึดเดซีของประเทศไทยก่อนและหลังเหตุการณ์พิบัติ ...	95
ภาคผนวก ข รายละเอียดที่ตั้งของสถานีโครงข่าย IGS ในกรอบ ITRF2005 132 สถานี..	99
ภาคผนวก ค รายละเอียดที่ตั้งหมุดโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทยทั้ง 6 หมุด	104

ภาคผนวก ง รายละเอียด SCRIPT ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัย	122
ภาคผนวก จ การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย	131
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	141

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	การทำงานของโปรแกรมย่อยๆ ในโปรแกรมGIPSY-OASIS II..... 27
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลหอดูด GPS โคจรข่ายอ้างอิงของประเทศไทยที่ใช้ในงานวิจัย..... 32
ตารางที่ 3.2	แสดงรายชื่อสถานีGS ที่ใช้ในงานวิจัย..... 37
ตารางที่ 3.3	แสดงเวลาในการประมวลผลโดยโปรแกรมGIPSY-OASIS II ของแต่ละ COMBINATION ของข้อมูลปี 2004..... 38
ตารางที่ 3.4	แสดงเวลาในการประมวลผลโดยโปรแกรมGIPSY-OASIS II ของแต่ละ COMBINATION ของข้อมูล ปี 2008..... 39
ตารางที่ 3.5	จำนวนสถานีและชื่อสถานีGS ที่ใช้พิจารณาการกระจายตัว ในปี คศ.2004 41
ตารางที่ 3.6	จำนวนสถานีและชื่อสถานีGS ที่ใช้พิจารณาการกระจายตัว ในปี คศ.2008 42
ตารางที่ 4.1	การคัดเลือกสถานีที่ไม่ดีออกโดยใช้เกณฑ์ MEAN±2SD ปี 2004..... 53
ตารางที่ 4.2	ค่าสถิติในการวิเคราะห์และประมวลผลด้วยGIPSY-OASIS II (กรณี 6 สถานี จำนวน 500 ชุดข้อมูล)..... 55
ตารางที่ 4.3	สรุปค่าทางสถิติ(MEAN, MAX และ S.D.) ของทุก COMBINATION ในปี 2004..... 55
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดหอดูดอ้างอิงอิธANH, CHON และ OTRI ปี 2004..... 59
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดหอดูดอ้างอิงอิธHUK, SRIS และ UTHA ปี 2004..... 60
ตารางที่ 4.6	การคัดเลือกสถานีที่ไม่ดีออกโดยใช้เกณฑ์MEAN±2SD ปี 2008..... 64
ตารางที่ 4.7	ตารางผลลัพธ์ของค่าทางสถิติ(MEAN, MAX และ S.D.) ของทุก COMBINATION ในปี 2008..... 65
ตารางที่ 4.8	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดหอดูดอ้างอิงอิธANH, CHON และ OTRI ปี 2008..... 70
ตารางที่ 4.9	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดหอดูดอ้างอิงอิธHUK, SRIS และ UTHA ปี 2008..... 71
ตารางที่ 4.10	จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของGS ในแต่ละกรณี ปี 2004 76

ตารางที่ 4.11	จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของGS ในแต่ละกรณี ปี 2008.....	80
---------------	--	----

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	สัณฐานของโลกแบบต่างๆ	6
ภาพที่ 2.2	ค่าพิกัดทรงกลม.....	7
ภาพที่ 2.3	เส้นขนานละติจูดและเส้นเมริเดียน	7
ภาพที่ 2.4	ตัวแปรที่ใช้กำหนดรูปทรงรี.....	8
ภาพที่ 2.5	ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน.....	10
ภาพที่ 2.6	องค์ประกอบของพื้นหลักฐานWGS84.....	12
ภาพที่ 2.7	การแปลงการแปลงพื้นหลักฐานในระบบ 3 มิติ	16
ภาพที่ 2.8	รายละเอียดข้อมูลที่ทำให้บริการวงโคจรดาวเทียมและค่าแก่นาฬิกาดาวเทียม โดยหน่วยงานJPL.....	20
ภาพที่ 2.9	การล่าช้าเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และ โทรโพสเฟียร์.....	21
ภาพที่ 2.10	แผนผังแสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมประมวลผลGPS OASIS II.....	26
ภาพที่ 3.1	ข้อมูลการรังวัด GPS ในช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว จำนวน 7 หมด	30
ภาพที่ 3.2	ข้อมูลการรังวัด GPS ในช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ จำนวน 18 หมด	31
ภาพที่ 3.3	ตำแหน่งของสถานี IGS ทั่วโลกในกรอบอ้างอิง ITRF2005.....	32
ภาพที่ 3.4	Log file ของสถานี IGS ที่ตั้งอยู่บน BEDROCK และก่อตั้งเป็นเวลายาวนาน	33
ภาพที่ 3.5	การตรวจสอบข้อมูล Rinex file ของสถานี IGS ที่เลือก.....	33
ภาพที่ 3.6	ข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวจากเว็บไซต์ของ USGS.....	34
ภาพที่ 3.7	การกระโดดของ Time series ของสถานี NTUS ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 – ปัจจุบัน	35
ภาพที่ 3.8	Log file แสดงสถานะข้อมูลการเปลี่ยนความสูงของเสาอากาศ.....	35
ภาพที่ 3.9	แสดงตำแหน่งสถานี IGS ในปี ค.ศ. 2004 จำนวน 24 สถานี.....	40
ภาพที่ 3.10	แสดงตำแหน่งสถานี IGS ในปี ค.ศ. 2008 จำนวน 30 สถานี.....	42
ภาพที่ 3.11	ขั้นตอนการประมวลผลด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II.....	43
ภาพที่ 3.12	แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมประมวลผลจุดเดียวด้วยโปรแกรมGIPSY-OASIS II	44
ภาพที่ 3.13	ข้อมูลเกี่ยวกับ Ocean loading.....	46
ภาพที่ 3.14	ส่วนประกอบของข้อมูลเกี่ยวกับสถานีรังวัด.....	46
ภาพที่ 3.15	ไฟล์ผลลัพธ์ในขั้นตอนการประมวลผลแบบPPP.....	48

ภาพที่ 3.16	ไฟล์ผลลัพธ์ของการหาค่าพิกัดเฉลี่ยรายสัปดาห์.....	48
ภาพที่ 3.17	ค่า RMS ของการหาค่าพิกัดเฉลี่ยรายสัปดาห์.....	49
ภาพที่ 3.18	ไฟล์ผลลัพธ์ที่ได้จากการ MAPPING.....	50
ภาพที่ 3.19	ไฟล์แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงพื้นหลักฐาน.....	50
ภาพที่ 3.20	ไฟล์แสดงค่า RMS ของการแปลงค่าพิกัดเข้าสู่กรอบอ้างอิง ITRF2005.....	51
ภาพที่ 4.1	แสดงข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการ MAPPING.....	54
ภาพที่ 4.2	แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MEAN RMS กับ จำนวนสถานี IGS	56
ภาพที่ 4.3	แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MAX RMS กับ จำนวนสถานี IGS ...	57
ภาพที่ 4.4	แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า S.D. RMS กับ จำนวนสถานี IGS.....	58
ภาพที่ 4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมุด BANH ปี 2004.....	61
ภาพที่ 4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานีIGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมุด CHON ปี 2004.....	61
ภาพที่ 4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมุด OTRI ปี 2004.....	62
ภาพที่ 4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมุด PHUK ปี 2004.....	62
ภาพที่ 4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมุด SRIS ปี 2004.....	63
ภาพที่ 4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานีIGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมุด UTHA ปี 2004.....	63
ภาพที่ 4.11	แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MEAN RMS กับ จำนวนสถานี IGS	66
ภาพที่ 4.12	แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าMAX RMS กับ จำนวนสถานีIGS.....	67
ภาพที่ 4.13	แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าS.D. RMS กับ จำนวนสถานีIGS.....	68
ภาพที่ 4.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานีIGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมุด BANH ปี 2008.....	72
ภาพที่ 4.15	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานีIGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมุด CHON ปี 2008.....	73

ภาพที่ 4.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมด OTRI ปี 2008.....	74
ภาพที่ 4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมด PHUK ปี 2008.....	74
ภาพที่ 4.18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมด SRIS ปี 2008.....	77
ภาพที่ 4.19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D.ของค่าพิกัดหมด UTHA ปี 2008.....	75
ภาพที่ 4.20	ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย หมด ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่ อยู่เป็นกระจุก 4 สถานี และอยู่กระจาย 4 สถานี ปี 2004.....	78
ภาพที่ 4.21	ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 หมด ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี และอยู่กระจาย 8 สถานี ในแนวแกน N, E และ U ปี 2004.....	79
ภาพที่ 4.22	ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย หมด ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่ อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี และอยู่กระจุก 4 สถานี ในแนวแกน N, E และ U ปี 2008	81
ภาพที่ 4.23	ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย หมด ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่ อยู่เป็นกระจาย 8 สถานี และอยู่กระจุก 8 สถานี ในแนวแกน N, E และ U ปี 2008	82
ภาพที่ 4.24	ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย หมด ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่ อยู่เป็นกระจุก 4 สถานี และอยู่กระจุก 8 สถานี ในแนวแกน N, E และ U ปี 2008	83
ภาพที่ 4.25	ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย หมด ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่ อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี และอยู่กระจาย 8 สถานี ในแนวแกน N, E และ U ปี 2008	84
ภาพที่ 4.26	แสดงค่าเคลื่อนตัวทางราบเนื่องด้วยผลกระทบจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ (สุมาตรา-อินดามัน) และ แผ่นดินไหว นีแอส โดยใช้จุดในโครงข่ายชั้นที่หนึ่ง เป็นจุดรังวัด ช่วงเดือน พฤศจิกายน 2008.....	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการหาค่าพิกัดหรือตำแหน่งบนพื้นผิวโลกด้วยระบบดาวเทียมไม่ได้มีเฉพาะดาวเทียม GPS ของประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น แต่ยังมีประเทศอื่นๆ ที่ได้ดำเนินการพัฒนาและส่งดาวเทียมของตนขึ้นบนท้องฟ้าเพื่อใช้งานและให้บริการอย่างต่อเนื่อง เช่น ระบบดาวเทียม GLONASS ของประเทศรัสเซีย, ระบบดาวเทียม GALILEO ของทวีปยุโรป, ระบบดาวเทียม Beidou (หรือ Compass) ของประเทศจีน เป็นต้น ทำให้ผู้ใช้งานสามารถรับสัญญาณดาวเทียมหรือเลือกใช้งานระบบดาวเทียมได้อย่างสะดวกโดยไม่มีขีดจำกัดอีกต่อไป ซึ่งรวมเรียกระบบดาวเทียมนี้ว่าระบบ GNSS (Global Navigation Satellite Systems) ทำให้ในอนาคตอันใกล้คาดว่าจะมีดาวเทียมที่ใช้ในการหาตำแหน่งมากถึง 134 ดวง จำนวนดาวเทียมที่มากขึ้นมีผลทำให้ความต่อเนื่อง (Continuity), ความน่าเชื่อถือ (Reliability), ความถูกต้อง (Accuracy), การเพิ่มโอกาสการรับสัญญาณในพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุม (Availability) และประสิทธิภาพ (Efficiency) เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมของผู้ใช้ทั่วไป รวมถึงนักสำรวจก็ใช้เทคโนโลยีการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมเช่นกัน (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2552)

สำหรับประเทศไทยเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียม ได้เริ่มนำมาใช้ครั้งแรกเมื่อ ปี พ.ศ. 2534 โดยกรมแผนที่ทหาร และได้ทำการสำรวจขยายโครงข่ายทางราบของประเทศ มีหมุดแรกออกของโครงข่ายอยู่ที่ เขาสะแกกรัง คือ GPS 3001 จ.อุทัยธานี โดยที่ค่าพิกัดของหมุดแรกออกนั้น ได้แปลงมาจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เป็นพื้นหลักฐานดาวเทียม WGS84 (World Geodetic System 1984) ด้วยค่าพารามิเตอร์ทางแกน X, Y และ Z ทำให้หมุด GPS 3001 มีค่าพิกัดอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน WGS84 และถูกใช้เป็นจุดควบคุมสำหรับขยายโครงข่ายทางราบของประเทศไทยในเวลาต่อมา และในปี พ.ศ. 2537 กรมแผนที่ได้เข้าร่วมโครงการ GEODYSSSEA (GEODYnamics of the South and South East Asia) กับสหภาพยุโรป โดยมีสถาบัน IfAG (Institut für Angewandte Geodäsie) ประเทศเยอรมนี เป็นแกนนำของโครงการ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งประเทศไทยมีอยู่จำนวน 2 สถานี คือ GPS 3427 จ.ชลบุรี และ GPS 3657 จ.ภูเก็ต นับว่าเป็นครั้งแรกที่ประเทศไทยได้มีการศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ซึ่งจะต้องใช้กรอบอ้างอิงภาคพื้นดินนานาชาติ (International Terrestrial Reference Frame: ITRF) เนื่องจากพื้นหลักฐานดังกล่าว มี

ความละเอียดระดับมิลลิเมตร แต่พื้นหลักฐาน WGS84 มีความละเอียดระดับเซนติเมตร ดังนั้น การศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกจึงต้องใช้พื้นหลักฐาน ITRF และพื้นหลักฐาน ITRF ที่ประเทศไทยใช้อ้างอิงอยู่ในปัจจุบันคือ ITRF2005 โดยหมุดที่ทำารรังวัดติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกจะถูกประมวลผลด้วยโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงมาก โปรแกรมนี้คือ GIPSY-OASIS II (GIPSY: GPS Inferred Positioning System, OASIS: Orbit Analysis and Simulation Software) ด้วยเทคนิคการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดถูกต้องสูง (Precise Point Positioning: PPP) อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐานอ้างอิงนานาชาติ ซึ่งพัฒนาโดยหน่วยงานวิจัยอวกาศ (Jet Propulsion Laboratory: JPL) ผลลัพธ์ของค่าพิกัดที่ได้จะนำไปใช้ศึกษาและติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกเป็นหลัก

เนื่องจากเทคนิคการรังวัดและวิธีการประมวลผลด้วยโปรแกรม GIPSY -OASIS II เพื่อศึกษาและติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก มีความละเอียดถูกต้องสูงและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล กรมแผนที่ทหารจึงได้ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียมเป็นประจำอย่างต่อเนื่องทุกๆ ปีนับตั้งแต่การเกิดแผ่นดินไหวสุมาตรา- อินโดนีเซีย ในปี พ.ศ.2547 และได้ขยายพื้นที่การรังวัดให้ครอบคลุมทั่วทั้งประเทศไทยมากขึ้น ปัจจุบันมีการรังวัดทั้งสิ้นจำนวน 19 หมุด หมุดละ 7 วัน ข้อมูลที่รังวัดได้จะถูกส่งไปประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่าพิกัดที่สถาบัน Delft Institute for Earth-Oriented Space research (DEOS) ประเทศเนเธอร์แลนด์

การประมวลผลด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II มีขั้นตอนประมวลผล 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นการประมวลผลด้วยเทคนิค PPP ขั้นตอนที่สองเป็นการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละสถานี จากวันทั้งหมดที่ทำการรังวัดเป็นค่าเฉลี่ยต่อสัปดาห์ และขั้นตอนที่สามหรือขั้นสุดท้ายจะทำ การยึดตรงผลลัพธ์ค่าพิกัดเฉลี่ยของโครงข่ายที่ได้เข้ากับ ITRF2005 ต่อไป ซึ่งขั้นตอนที่สามนี้ถือว่าเป็น ขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะแม้ว่าการเตรียมข้อมูลในขั้นตอนแรกจะเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพแล้ว แต่ ถ้าในขั้นตอนการเลือกสถานี International GNSS Service (IGS) เป็นจุดร่วมเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐาน WGS84 ไปเป็นพื้นหลักฐาน ITRF ไม่ถูกต้อง ก็จะเป็นผลให้ค่าพิกัดสุดท้ายที่ได้จากการแปลงไม่ถูกต้องตามไปด้วย โดยปกติการเลือก สถานี IGS ที่ใช้ในการยึดตรงจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และการปฏิบัติงานของผู้คำนวณ และ ข้อมูลการประมวลผลประกอบด้วยข้อมูลการรังวัดสัญญาณดาวเทียมสองส่วนหลักๆ คือ ข้อมูลของหมุดควบคุมสถานี IGS และข้อมูลของสถานีที่ต้องการคำนวณหาค่าพิกัด แต่การเลือกใช้จำนวนหมุดควบคุมที่เหมาะสมจะมีหลักการและแนวทางการพิจารณาอย่างไร เป็นสิ่งที่ผู้วิจัยสนใจที่ต้องการจะศึกษาเพื่อให้ค่าพิกัดที่คำนวณได้มีความละเอียดถูกต้องที่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้

การหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดจีพีเอสประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ ปี ค.ศ. 2005 ด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY จึงเป็นประเด็นหลักของการทำวิจัยในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคำนวณหาค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องสูงด้วย โปรแกรม GIPSY-OASIS II ร่วมกับสถานี IGS กรณีศึกษาประเทศไทย ได้แก่

1.2.1 จำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสม

1.2.2 ลักษณะการกระจายตัวที่เหมาะสมของสถานี IGS

1.3 ขอบเขตการวิจัย

รวบรวมข้อมูลการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 6 หมุด โดยใช้ข้อมูลการรังวัด สอง ช่วงเวลา คือ ช่วงแรก เดือนตุลาคม ค.ศ. 2004 หรือ พ.ศ.2547 (ก่อนเกิดแผ่นดินไหว ครั้งใหญ่เมื่อ 26 ธันวาคม ค.ศ. 2004) และช่วงที่สอง คือ เดือน พฤศจิกายน ค.ศ. 2008 หรือ พ.ศ.2551 (หลังเกิดแผ่นดินไหว)

รวบรวมจำนวนสถานีและข้อมูลการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS แบบถาวรของสถานี IGS ที่ใช้เป็นจุดยึดตรึงในการคำนวณครั้งที่ผ่านๆมา ในช่วงเวลาเดียวกันกับข้อมูลที่ได้รับในประเทศไทย

คำนวณหา ค่าพิกัดแบบสัมบูรณ์ ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II และเปรียบเทียบความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัดที่คำนวณได้ร่วมกับสถานี IGS โดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี

1. ศึกษาหาจำนวนสถานี IGS ที่ใช้ประมวลผลที่เหมาะสม โดยจะเริ่มจากการใช้จำนวน สถานี IGS ตั้งแต่ 4 สถานีเป็นต้นไป โดยพิจารณาแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา (ช่วงก่อนและ หลังเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่)
2. ศึกษาการกระจายตัวของสถานี IGS ได้แก่ การกระจุกและการกระจายตัว ที่มีผลต่อการแปลงค่าพิกัดเข้าสู่กรอบอ้างอิง ITRF

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ศึกษาการใช้โปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ GIPSY-OASIS II
- 1.4.3 รวบรวมข้อมูลงานรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS ที่รังวัดเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทยของกรมแผนที่ทหาร
- 1.4.4 รวบรวมข้อมูลการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS แบบถาวรของสถานี IGS
- 1.4.5 ประมวลผลและเปรียบเทียบผลการคำนวณ
- 1.4.6 สรุป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ทราบถึงความละเอียดถูกต้องของ ขั้นตอนการแปลงค่าพิกัด เข้าสู่พื้นหลักฐานในกรอบอ้างอิงนานาชาติ ค .ศ.2005 จากการประมวลผลด้วย โปรแกรม GIPSY-OASIS II
- 1.5.2 ได้ทราบถึงจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการประมวลผลร่วมกับข้อมูลงานรังวัด GPS ของโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทย
- 1.5.3 ได้ทราบถึงลักษณะการกระจายตัวของสถานี IGS ที่เหมาะสม

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สัณฐานของโลก

ยิปอดเดซี (Geodesy) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการหารูปทรงสัณฐานและขนาดของโลกโดย “งานยิปอดเดซีเป็นการหาสัณฐานและสนามความถ่วงของโลกและวัตถุลอยฟ้าอื่นๆ รวมทั้งการหารูปทรงรีเฉลี่ยของโลก (Mean earth ellipsoid) จากปริมาณที่รังวัดได้บนและนอกผิวโลก ” (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ , 2537) สาเหตุที่ต้องมีการรังวัดทางยิปอดเดซีเนื่องมาจากโลกมีความโค้ง ซึ่งมีอิทธิพลต่อความถูกต้อง (Accuracy) ของการรังวัดในพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น ครอบคลุมระดับประเทศ หรือภูมิภาค เป็นลักษณะงานสำรวจชั้นสูง (Geodetic Survey) ต่างจากงานสำรวจบนพื้นราบ (Plane Survey) ที่ไม่ได้นำโค้งของโลกมาพิจารณาร่วมในการคำนวณ แต่ถือว่าพื้นผิวอ้างอิงของโลกเป็นระนาบราบ

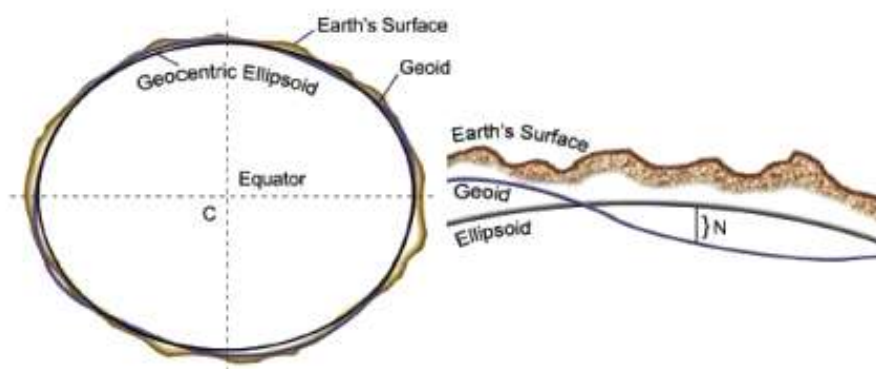
งานยิปอดเดซีสามารถแบ่งได้ 4 ลักษณะคือ

1. ยิปอดเดซีเรขาคณิต เป็นการรังวัดและคำนวณในพื้นที่ขนาดใหญ่เกินระนาบราบ ด้วยวิธีเรขาคณิต สิ่งที่ได้มาคือ ค่าพิคตัดทางราบ ค่าทางดิ่ง บนทรงรีที่เหมาะสมเหนือระดับทะเลปานกลาง
2. งานดาราศาสตร์ชั้นสูง เป็นการหาข้อมูลเพื่อโยงทรงรีอ้างอิงให้เข้ากับโลกจริง มีจุดประสงค์เพื่อรักษาทิศทางบนรูปทรงรีให้อยู่ในแนวเดียวกับการรังวัดดาราศาสตร์
3. ยิปอดเดซีความถ่วง เป็นการหารูปปร่างที่แท้จริงของยิปอดเดซี (Geoid)
4. ยิปอดเดซีดาวเทียม เป็นการหาจุดควบคุมงานรังวัดระดับภูมิภาคหรือระดับโลก โดยหาค่าพิคตัดจากสามมิติจากการรังวัดไปยังดาวเทียม

หากจะศึกษาเกี่ยวกับศาสตร์ทางด้านยิปอดเดซีสิ่งสำคัญพื้นฐานที่ควรจะต้องทราบคือ ลักษณะสัณฐานหรือรูปทรงของโลกที่ถูกกำหนดขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว สัณฐานของโลกนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ แสดงดังภาพที่ 2.1 คือ

1. สัณฐานทางกายภาพ (Terrestrial Surface) ได้แก่ แนวเขต ดิน น้ำ ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เป็นลักษณะของผิวโลกจริง ไม่สามารถนิยามรูปปร่างเป็นรูปทรงทางเรขาคณิต หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้

2. **สัณฐานย็อยด์ (Geoid)** เป็นการจินตนาการว่าผิวมหาสมุทรต่อเข้าไปในพื้นดินครอบคลุมทั่วทั้งโลกเนื่องจากผิวน้ำในมหาสมุทรเป็นผิวระดับสนามความถ่วงของโลกที่มีศักยภาพความถ่วงเท่ากันทุกจุด สัณฐานนี้เรียกว่า ย็อยด์ แต่เนื่องจากย็อยด์นั้นมีความบอบเบี้ยวไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ทำให้ยากต่อการคำนวณทางคณิตศาสตร์ จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นระบบอ้างอิงในงานย็อยเดซี และงานรังวัด
3. **สัณฐานรูปทรงรี (Ellipsoid)** เนื่องจากสัณฐานย็อยด์ไม่สะดวกต่อการคำนวณจึงได้มีการกำหนดรูปทรงรีอ้างอิง (Reference ellipsoid) ซึ่งมีรูปทรงใกล้เคียงย็อยด์มากที่สุด เป็นสัณฐานโลกรูปทรงรีโดยการนำเอาทรงรีหมุนรอบแกนสั้น เพื่อให้ได้รูปทรงเรขาคณิต สามารถนำไปใช้ในการคำนวณได้สะดวกขึ้น และเป็นส่วนสำคัญในการกำหนด พื้นหลักฐาน (Datum)



ภาพที่ 2.1 สัณฐานของโลกแบบต่างๆ (John, 2011)

นอกจากนั้นสัณฐานทรงรียังสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- a. **รูปทรงรีภูมิศาสตร์ (Terrestrial Ellipsoid)** เป็นทรงรีที่ใช้อ้างอิงแทนลูกโลก โดยจุดศูนย์กำเนิดอยู่ที่ใจกลางโลก แกนหมุนจะสมมาตรขนานกับแกนหมุนเฉลี่ยของโลก
- b. **รูปทรงรีภูมิภาค (Best fitted Ellipsoid)** เป็นทรงรีที่ใช้กับเฉพาะบริเวณในระดับภูมิภาค หรือประเทศ โดยจะมีความใกล้เคียงกับพื้นผิวย็อยด์บริเวณนั้นๆ มากที่สุด

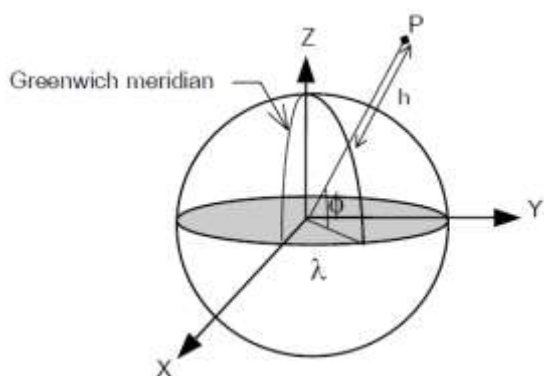
2.2 ระบบพิกัดและพื้นหลักฐาน (Coordinate systems and Datums)

ระบบพิกัดที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ เมื่อทำการรังวัดข้อมูล GPS จากสนามจะได้ระบบพิกัดจากคาร์ทีเซียน และในโปรแกรม GIPSY-OASIS II จะใช้ระบบพิกัดนี้เป็นหลักในการประมวลผล เมื่อโปรแกรมประมวลผลเรียบร้อยแล้วจะได้ผลลัพธ์เป็นระบบพิกัดจากพิกัดจากคาร์ทีเซียน ซึ่งผู้ใช้งานสามารถแปลงให้เป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์ หรือระบบใดๆ ก็ได้ขึ้นอยู่กับผู้ใช้โดยจะกล่าวต่อไป

2.2.1 ระบบพิกัด (Coordinate systems)

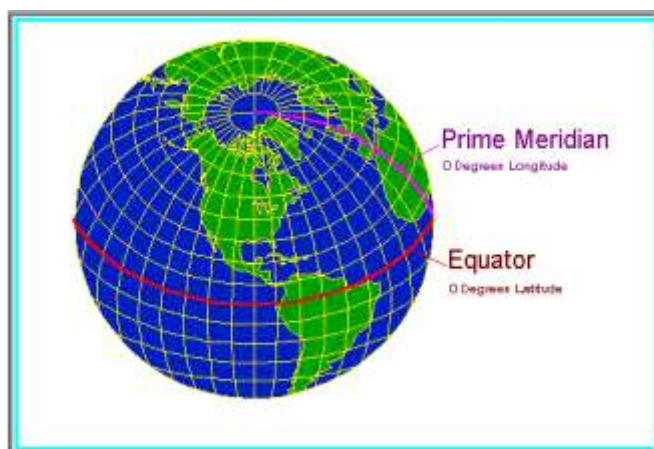
2.2.1.1 ค่าพิกัดทรงกลม (Spherical coordinates)

ค่าประมาณของรูปทรงและขนาดของโลกที่ใช้กันในยุคแรกๆ คือ รูปทรงกลมที่มีรัศมี 6,371 กิโลเมตร โดยมีค่าจำกัดความที่ใช้อธิบายค่าพิกัดทรงกลมอยู่ 3 อย่าง ซึ่งก็คือ ละติจูด (Latitude) เป็นมุมที่วัดจากระนาบศูนย์สูตร ขึ้นไปทางขั้วโลกเหนือหรือ ลงไปทางขั้วโลกใต้ก็ได้ โดยทั่วไปใช้สัญลักษณ์ ϕ และลองจิจูด (Longitude) เป็นมุมที่วัดไปทางตะวันออกหรือตกจากระนาบเมริเดียน (Meridian plane) ที่ผ่านเมืองกรีนวิช (Greenwich) โดยทั่วไปใช้สัญลักษณ์ λ ส่วนความสูง (Height) คือ ค่าระยะทางที่วัดเทียบจากพื้นผิวทรงกลมมาถึงจุดที่พิจารณา (หน่วยเป็นเมตร) และใช้ตัวย่อเป็น h แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ค่าพิกัดทรงกลม

นอกจากค่าจำกัดความที่กล่าวมาในข้างต้นแล้ว ยังมีค่าที่เกี่ยวข้องอีก 2 ค่าคือ เส้นขนานละติจูด (Parallel of latitude) คือ เส้นที่อยู่บนพื้นผิวทรงกลมและขนานกับเส้น ละติจูดเส้นเมริเดียน (Meridian) คือ เส้นที่มีค่าลองจิจูดที่เท่ากัน แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เส้นขนานละติจูดและเส้นเมริเดียน (ปรับปรุงจาก Dana, 2005)

ในงานที่ไม่ต้องการค่าความถูกต้องสูงมากนัก เรามักจะใช้รูปทรงกลมเป็นตัวแทนของโลกในการคำนวณค่าระยะทางและอะซิมูทระหว่างจุด 2 จุด บนรูปทรงกลมมีรายละเอียด ดังนี้ สมมุติให้ค่าพิกัดของจุด A และจุด B เป็น (ϕ_A, λ_A) และ (ϕ_B, λ_B) ระยะทางระหว่างจุดทั้งสองสามารถหาได้จาก

$$\cos L_{AB} = \sin \phi_A \sin \phi_B + \cos \phi_A \cos \phi_B \cos \Delta\lambda \quad (2.1)$$

โดยที่ $\Delta\lambda$ คือค่าต่างของลองจิจูดทั้งสองจุด $(\lambda_B - \lambda_A)$ ค่าตอบที่ได้จากสมการที่ (2.1) จะมีหน่วยเป็นค่ามุม ซึ่งเราสามารถแปลงเป็นค่าระยะทางได้ดังความสัมพันธ์

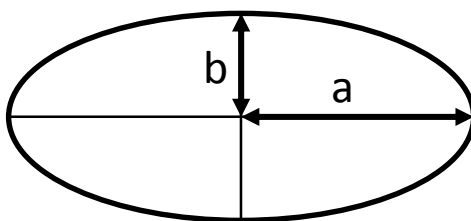
$$L_{(km)} = 6371 \frac{\pi}{180} L_{(degrees)} \quad (2.2)$$

ค่าอะซิมูทของเส้น AB สามารถหาได้จาก

$$\cot A_{(AB)} = \frac{\cos \phi_A \tan \phi_B - \sin \phi_A \cos \Delta\lambda}{\sin \Delta\lambda} \quad (2.3)$$

2.2.1.2 ค่าพิกัดทรงรี (Spheroidal coordinates)

เป็นรูปทรงที่ใช้ประมาณสัณฐานของโลกที่ดีขึ้นกว่ารูปทรงกลม ในบางที่ก็อาจเรียกว่า Ellipsoid หรือ Spheroid ซึ่งถูกสร้างจากการหมุนวงรีรอบแกนโท (แกนหมุนของโลก) การกำหนดรูปทรงรีต้องอาศัยตัวแปรอย่างน้อย 2 ตัวคือ ค่าความยาวกึ่งแกนโท (b) และค่าความยาวกึ่งแกนเอก (a) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ตัวแปรที่ใช้กำหนดรูปทรงรี

จากตัวแปรทั้งสอง เราสามารถที่จะคำนวณค่าตัวแปรอื่นๆ ได้ เช่น อัตราการยุบตัว (Flattening, f) ซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (2.4)$$

ค่าการเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity, e) ซึ่งหาได้จาก

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (2.5)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง e และ f มีดังนี้

$$e^2 = 2f - f^2 \quad (2.6)$$

$$\sqrt{1 - e^2} = 1 - f = \frac{b}{a} \quad (2.7)$$

ดังนั้นในการกำหนดรูปทรงรีขึ้นมา เราจำเป็นต้องทราบตัวแปรอย่างน้อย 2 ตัวแปร เช่น a กับ f , a กับ e หรือ a กับ b เป็นต้น จากตัวแปร 2 ตัวที่ทราบเราสามารถหาค่าตัวแปรอื่นๆ ได้จากความสัมพันธ์ข้างต้น

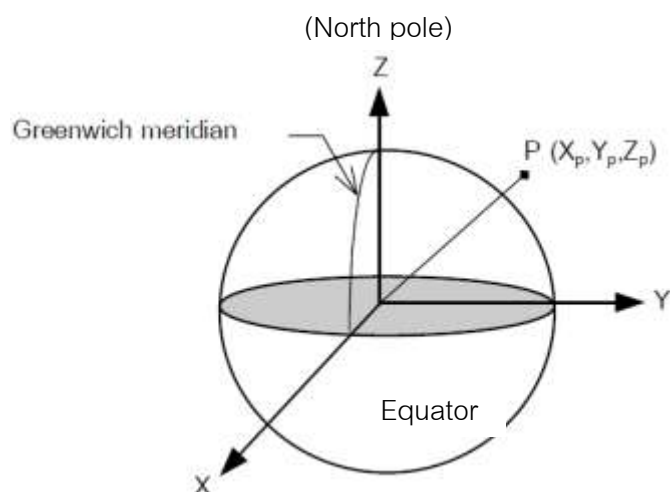
จากการที่เราสร้างรูปทรงรีขึ้นจากตัวแปร 2 ตัว เราก็สามารถกำหนดค่าพิกัดที่อยู่บนรูปทรงรีได้โดยใช้ตัวแปร 3 ตัว เช่นเดียวกับกรณีของค่าพิกัดที่อยู่บนรูปทรงกลม นั่นก็คือ ค่าละติจูด ลองจิจูด และความสูง โดยที่ค่าละติจูดและลองจิจูดจะถูกกำหนดตามทิศทางของแนวเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวทรงรี ค่าพิกัดในระบบนี้อาจถูกเรียกว่า ค่าพิกัดเยอเดซี (Geodetic coordinates) หรือค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic coordinates) ซึ่งจะเป็นค่าพิกัดที่เป็นพื้นฐานของงานสำรวจรังวัดและทำแผนที่

ในสมัยก่อนค่าพิกัดทรงรีมักจะถูกใช้ในงานรังวัดภาคพื้นดินแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานรังวัดขั้นสูง แต่ต่อมาการคำนวณต่างๆ ที่เกี่ยวกับค่าพิกัดทรงรีได้ถูกแทนที่โดยการนำค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) ซึ่งได้จากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสโดยตรง และในกรณีที่ระยะทางสั้นๆ เราสามารถคำนวณโดยใช้ค่าพิกัดที่ได้จากการฉายแผนที่ ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการคำนวณงานที่อาศัยค่าพิกัดทรงรีน้อย งานที่ต้องอาศัยค่าพิกัดแบบนี้มีเพียงไม่กี่งาน ด้วยเหตุนี้สูตรที่จำเป็นต่อการคำนวณและขั้นตอนการคำนวณ จะมีรายละเอียดอยู่ในหนังสือหลายเล่ม เช่น ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ (2537), สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร (2531) และ Torge (1991) เป็นต้น

2.2.1.3 ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates)

สูตรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณงานบนค่าพิกัดทรงรีนั้นค่อนข้างจะยุ่งยากและซับซ้อน ซึ่งไม่เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ เช่น ในงานรังวัดดาวเทียมที่ต้องเกี่ยวข้องกับข้อมูลที่เป็นระยะทางระหว่างจุดบนพื้นผิวโลกไปยังตัวดาวเทียม ทำให้การนำค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียนนั้นมีความเหมาะสมและคล่องตัวกว่าการนำค่าพิกัดทรงรี

ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียนจะอยู่ในรูป 3 มิติคือ X Y และ Z จุดศูนย์กลางกำเนิดของค่าพิกัดชนิดนี้จะอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก โดยมีแกน Z วางตามแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งไปทางขั้วโลกเหนือของรูปทรงรี ซึ่งจะเป็นแนวเดียวกันกับแกนหมุนของโลก ส่วนแกน X จะอยู่บนระนาบศูนย์สูตรและวางตามแนวเมริเดียนที่ผ่านเมืองกรีนิช และแกน Y จะตั้งฉากกับแกน X และ Z ซึ่งเป็นไปตามระบบมือขวา (โดยนิ้วหัวแม่มือเป็นทิศของแกน Z นิ้วชี้เป็นทิศของแกน X และนิ้วกลางเป็นทิศของแกน Y) ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ค่าพิกัดฉากคาร์ทีเซียน

2.2.2 พื้นหลักฐาน (Datum)

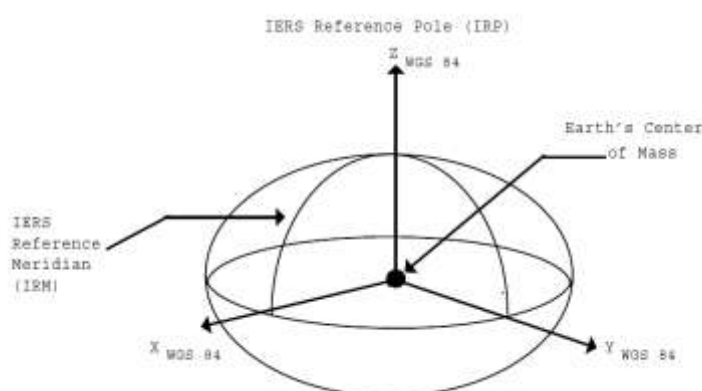
พื้นหลักฐานที่ใช้ในงานวิจัยจะกล่าวถึงพื้นหลักฐานทั่วโลกเป็นสำคัญ เนื่องจากรายงานวิจัยจะใช้ข้อมูลพิกัดของพื้นหลักฐาน WGS 84 และ กรอบอ้างอิงนานาชาติ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดดังนี้

2.2.2.1 พื้นหลักฐานดาวเทียม (Satellite datums)

เมื่อพิจารณาพื้นหลักฐานทั่วโลกแล้ว รูปทรงรีอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดคือการกำหนดให้จุดศูนย์กลางกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก และให้มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับพื้นผิวหยาบคายให้มากที่สุด พื้นหลักฐานที่มีจุดกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารของโลกซึ่งจะถูกเรียกว่า Geocentric datum พื้นหลักฐานนี้มีความสำคัญและจำเป็นต่อการคำนวณวงโคจรดาวเทียมเป็นอย่างมาก

ในช่วงปลายทศวรรษที่ 1960 (พ.ศ. 2503) ได้มีความพยายามที่จะกำหนดพื้นหลักฐานทั่วโลกขึ้นและได้เรียกว่าพื้นหลักฐาน World Geodetic System 1984 หรือย่อสั้นๆ ว่า WGS84 พื้นหลักฐานดังกล่าว The U.S. National Imagery and Mapping Agency เป็นผู้ดูแลซึ่งมีองค์ประกอบของพื้นหลักฐาน แสดงดังภาพที่ 2.6 โดยมีค่าตัวแปรที่ใช้กำหนดรูปทรงรีอ้างอิงดังนี้ (Seeber, 1993)

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



ภาพที่ 2.6 องค์ประกอบของพื้นหลักฐาน WGS84 (NIMA, 1997)

จากการที่ได้กำหนดให้พื้นหลักฐาน WGS84 เป็นพื้นหลักฐานทั่วโลกทำให้ผู้ใช้จีพีเอสทั้งหลายสามารถหาค่าพิกัดที่อยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 ได้โดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งของดาวเทียมจีพีเอสที่คำนวณได้จากข้อมูลวงโคจรดาวเทียม (Satellite orbits หรือ ephemerides) นั้นอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 เช่นกัน แต่ในกรณีที่ผู้ใช้จีพีเอสนำข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise satellite orbits) ที่ได้จากหน่วยงาน International GPS Service (IGS) มาใช้คำนวณตำแหน่งดาวเทียมจะมีผลทำให้ค่าพิกัดของจุดที่ต้องการอยู่บนพื้นหลักฐานต่างกับพื้นหลักฐาน WGS84 ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการเชื่อมโยงโครงข่ายสถานีฐานที่คอยติดตามดาวเทียมจีพีเอสให้เข้ากับกรอบอ้างอิงภาคพื้นดินนานาชาติ (International Terrestrial Reference Framework)

พื้นหลักฐานดาวเทียมที่เป็นที่รู้จักกันอีกอันหนึ่งคือ พื้นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบดาวเทียม GLONASS ของรัสเซีย พื้นหลักฐานที่ใช้กับระบบดาวเทียมนี้เรียกว่า Soviet Geodetic System 1990 ซึ่งเรียกโดยย่อว่า SGS90 บางครั้งก็เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า PZ90 โดยมีค่าตัวแปรที่ใช้กำหนดรูปทรงรีอ้างอิงดังนี้ (Hofmann et al., 2008)

- รูปทรงรี : SGS90 หรือ PZ90
- ขนาดของครึ่งแกนยาว (a) : 6,378,136.0 เมตร
- อัตราการยุบตัว (1/f) : 298.257839303
- อัตราการเร็วเชิงมุม (ω) : $7292115.0 \times 10^{-11}$ radians/second
- ค่าสัมประสิทธิ์มวลสารของโลก : $3986004.4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$

จากค่า a และ f ข้างต้น จะเห็นได้ว่าทั้งรูปร่างและขนาดของรูปทรงรีอ้างอิง SGS90 นั้นมีความใกล้เคียงกับ WGS84 มาก โดยนักวิจัยและนักวิชาการหลายท่าน (Misra and Abbot, 1994, Rossbach et al., 1996) ได้พยายามหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงระหว่างพื้นหลักฐานทั้งสองซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีความแตกต่างกันน้อย

2.2.2.2 กรอบอ้างอิงนานาชาติ (International reference frames)

พื้นหลักฐาน WGS84 และ SGS90 ถือเป็นตัวอย่างของระบบกรอบอ้างอิงภาคพื้นดินนานาชาติ (International Terrestrial Reference System, ITRS) นอกจากนี้พื้นหลักฐานที่ใช้งานกับระบบดาวเทียม GPS ปัจจุบัน ยังมีพื้นหลักฐานหนึ่งที่มีการพัฒนาปรับปรุงอยู่ตลอดเวลา และใช้เทคนิคการรังวัดที่แตกต่างจากพื้นหลักฐาน WGS84 ซึ่งก็คือ พื้นหลักฐานอ้างอิงนานาชาติหรือพื้นหลักฐาน ITRF (International Terrestrial Reference Frame)

พื้นหลักฐาน ITRF ถูกสร้างขึ้นโดย IERS (International Earth Rotation Service) จะให้ความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร นำมาใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก เนื่องจากรูปร่างที่แท้จริงของโลกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จำเป็นต้องมีกรอบที่นำมาใช้อ้างอิง โดยกรอบอ้างอิงนี้จะกำหนดตำแหน่งที่อยู่บนผิวโลกเป็นสถานีติดตามการเคลื่อนตัว การทวัดตัวของแผ่นเปลือกโลกในระดับภูมิภาค หรือใช้เป็นตัวแทนของโลกในการวัดการหมุนในอวกาศ เทคนิคในการจัดทำคือ VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging), GPS (Global Positioning System) และ DORIS (Doppler Orbitography and Ratio positioning Integrated by Satellite) รวมทั้งได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมที่เรียกว่า Precise ephemeris ซึ่งจัดทำโดย IGS (International GPS Service for Geodynamics) เข้าร่วมในการหาค่าพิกัดบนพื้นผิวโลก จึงทำให้พื้นหลักฐาน ITRF มีความถูกต้องสูง

ในงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งสูง เราไม่สามารถใช้ระบบอ้างอิง หรือพื้นหลักฐานที่ไม่ขึ้นกับเวลา เนื่องจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกจะมีผลทำให้ค่าพิกัดของจุดที่อยู่ในระบบอ้างอิงที่ไม่ขึ้นกับเวลา มีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก

ซึ่งมีขนาดเป็นหลายเซนติเมตรต่อปี ด้วยเหตุนี้กรอบอ้างอิง ITRF จึงได้รวมเอาอัตราเร็วของการเคลื่อนตัวของจุดอ้างอิงในโครงข่ายเข้าไปอยู่ในนิยามของกรอบอ้างอิงด้วย ดังนั้นในการใช้งานค่าพิกัดจึงต้องมีการระบุไปยังจุดของเวลาซึ่งใช้ปีคริสต์ศักราชกำกับอยู่ด้านท้าย เช่น ITRF92 หรือ ITRF94 เป็นต้น

ในตอนต้นของการกำหนดพื้นหลักฐาน WGS84 นั้นมีความถูกต้องที่ประมาณ 50 เซนติเมตร เท่านั้น จากนั้นก็มีการปรับค่าใหม่ซึ่งสอดคล้องกับกรอบอ้างอิง ITRF92 ในระดับ 10 เซนติเมตร (Hooijberg, 1997) ต่อจากนั้นก็มีการปรับค่าอีกเรื่อยมา ซึ่งมีการขยับค่อนข้างน้อยจะมีระดับนัยสำคัญเฉพาะกับงานที่มีความละเอียดถูกต้องที่สูงมากเท่านั้น

ในส่วนของ การปรับปรุงความถูกต้องของค่าพิกัดพื้นหลักฐาน WGS84 ให้ดีขึ้น หน่วยงาน NIMA (National Imagery and Mapping Agency) จึงได้ทำการคำนวณหาค่าพิกัดใน ส่วนของสถานีควบคุมดาวเทียม GPS ใหม่ ในวันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2537 ค่าพิกัดใหม่นี้อ้างอิงกับพื้นหลักฐาน ITRF91 ณ ช่วงเวลา 1994.0 ในการคำนวณครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูล Precise ephemeris ของหน่วยงาน NIMA เข้าร่วมประมวลผลด้วย แล้วเสร็จในวันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2537 รู้จักกันในนาม WGS84 (G730) และในเดือนกันยายน พ.ศ.2539 ได้ทำการคำนวณหาค่าพิกัดในส่วนของ สถานีควบคุมดาวเทียม GPS ใหม่อีกครั้งหนึ่งและแล้วเสร็จในวันที่ 29 มกราคม พ.ศ.2540 รู้จักกันในนาม WGS84 (G873) และ ครั้งล่าสุด ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2544 ได้ทำการคำนวณหาค่าพิกัดในส่วนของสถานีควบคุมดาวเทียม GPS ใหม่อีกครั้งหนึ่งและแล้วเสร็จในวันที่ 2 มกราคม พ.ศ.2545 รู้จักกันในนาม WGS84 (G1150) (G730, G873 และ G1150 หมายถึงสัปดาห์ของระบบดาวเทียม GPS ที่ใช้ข้อมูล Precise ephemeris เข้าร่วมในการประมวลผล)

ปัจจุบันนี้ กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF นับได้ว่าเป็นกรอบอ้างอิงค่าพิกัดของโลกที่มีความละเอียดถูกต้องดีที่สุดในระบบที่นำไปใช้อย่างแพร่หลายทั้งด้านการสำรวจแผนที่ การติดตามการเคลื่อนตัว การรังวัดที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง นอกจากนี้หลาย ๆ ประเทศ ยังได้นำไปประยุกต์ใช้เป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงของประเทศเช่น ประเทศออสเตรเลีย มาเลเซีย จีน เกาหลี ญี่ปุ่น และประเทศไทย เป็นต้น กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 (1988) ได้มีการประกาศใช้ จำนวน 12 ครั้ง ดังนี้ ITRF88 ,ITRF89 ,ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005 และ ITRF2008 จะเห็นได้ว่าพื้นหลักฐาน ITRF มีการปรับปรุงและพัฒนาความถูกต้องมาอย่างต่อเนื่อง มาตามลำดับ จึงทำให้ค่าพิกัดที่คำนวณได้เป็นไปตามลักษณะของโลกที่เป็นอยู่จริงตลอดเวลา

อีกทั้งพื้นหลักฐาน WGS84 ได้มีการปรับให้อยู่ในกับกรอบอ้างอิงนานาชาติ ITRF โดยใช้ค่าตัวแปร 7 ตัวแปร จำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ ขณะเวลา G730 (สัปดาห์ที่สองของเดือน มกราคม ค .ศ.1994) ทำให้ค่าพิกัดของพื้นหลักฐาน WGS84 มีความถูกต้องมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพิกัดของพื้นหลักฐาน ITRF92 ปรากฏว่าพื้นหลักฐานทั้งสองมีค่าต่างกัน ประมาณ 10 ซม. ต่อมาครั้งที่สอง ได้มีการเปรียบเทียบในลักษณะเดียวกันอีก โดยเปรียบเทียบพื้นหลักฐาน WGS84 ขณะเวลา G873 กับพื้นหลักฐาน ITRF94 ผลที่ได้ยังคงเป็นลักษณะเดิม จนกระทั่งล่าสุดได้ เปรียบเทียบพื้นหลักฐาน WGS84 ขณะเวลา G1150 กับพื้นหลักฐาน ITRF00 ผลที่ได้ต่างกัน 1 ซม. และในการเปรียบเทียบ ค่าตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมของหน่วยงาน NIMA ที่อ้างอิงบนพื้นหลักฐาน WGS84 เปรียบเทียบกับหน่วยงาน IGS ที่อ้างอิงบนพื้นหลักฐาน ITRF94 ปรากฏว่ามีความต่างกันไม่เกิน 2 เซนติเมตร ดังนั้นในการปฏิบัติงานด้านแผนที่ สามารถพิจารณาได้ว่าพื้นหลักฐานทั้งสองเหมือนกัน (NIMA, 1997)

2.3 ทฤษฎีการแปลงพื้นหลักฐานในระบบ 3 มิติ (Three-dimensional transformation)

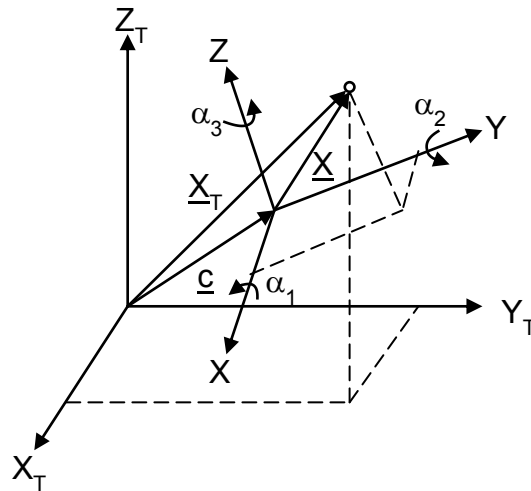
ในการหาค่าพิกัดของจุดๆ หนึ่งบนพื้นหลักฐานที่ต่างกันย่อมจะให้ค่าพิกัดที่แตกต่างกัน ด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากขนาดและรูปร่างของทรงรีที่ต่างกัน ทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีไม่เหมือนกัน จุดศูนย์กลางของรูปทรงรีไม่ใช่จุดเดียวกัน หน่วยวัดระยะทางไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ฯลฯ ดังนั้นในการแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐานหนึ่งไปอีกพื้นหลักฐานหนึ่งจำเป็นต้องอาศัย ค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพื้นหลักฐาน ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยสมการ ดังนี้

$$\underline{X}_T = \underline{c} + \mu \underline{R} \underline{X} \quad (2.8)$$

โดยที่

\underline{X}_T	คือ เวกเตอร์ค่าพิกัดหลังการแปลง
\underline{X}	คือ เวกเตอร์ค่าพิกัดก่อนการแปลง
\underline{c}	คือ เวกเตอร์ค่าเลื่อนแกน (Translation หรือ Shift of Origin)
μ	คือ เวกเตอร์ค่าย่อ/ขยายตามแนวแกน (Scaling)
\underline{R}	คือ เมทริกซ์ค่าหมุนแกนรอบจุดกำเนิด (Rotation)

ผลที่เกิดจากการแปลงพื้นหลักฐานด้วยองค์ประกอบดังกล่าวแทนได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การแปลงการแปลงพื้นหลักฐานในระบบ 3 มิติ (Hofmann, 1994)

เวกเตอร์ของค่าเลื่อนแกน (Shift) สามารถแยกองค์ประกอบได้ดังสมการที่ 2.9

$$\underline{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

โดยที่

c_1, c_2, c_3 คือ ค่าพารามิเตอร์การเลื่อนแกนทั้งสามแกน

เมทริกซ์การหมุนในทิศทางทั้งสามแกน เขียนแทนได้ดังสมการ

$$\underline{R} = \underline{R}_3\{\alpha_3\}\underline{R}_2\{\alpha_2\}\underline{R}_1\{\alpha_1\} \quad (2.10)$$

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_2 \cos \alpha_3 & \cos \alpha_1 \sin \alpha_3 + \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \alpha_3 & \sin \alpha_1 \sin \alpha_3 - \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \alpha_3 \\ -\cos \alpha_2 \sin \alpha_3 & \cos \alpha_1 \cos \alpha_3 - \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin \alpha_3 & \sin \alpha_1 \cos \alpha_3 + \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin \alpha_3 \\ \sin \alpha_2 & -\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 & \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

โดยที่

R_1, R_2, R_3 คือ ค่าพารามิเตอร์การหมุนแกนทั้งสามแกน

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ คือ มุมการหมุนแกนทั้งสาม

จะเห็นว่าหากเราทราบค่าพารามิเตอร์ \underline{c} , μ และ \underline{R} ก็จะสามารถแปลงค่าพิกัดที่อยู่ในพื้นหลักฐาน \underline{X} ไปยังพื้นหลักฐาน \underline{X}_T ได้

ดังนั้น การที่จะแปลงพิกัดจากสามมิติ จากพื้นหลักฐานหนึ่งไปอีกพื้นหลักฐานหนึ่ง เราจำเป็นต้องทราบพารามิเตอร์ของการแปลง หากยังไม่ทราบก็จำเป็นต้องทำการหาพารามิเตอร์ของการแปลงพิกัดก่อนโดยอาศัย จุดร่วมที่ทราบพิกัดทั้งสองระบบของพิกัดจากสามมิติซึ่งมีพารามิเตอร์ 7 ตัว ต้องการจุดร่วมอย่างน้อย 3 จุด ซึ่งจะนำมาเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ 9 สมการ ซึ่งในทางทฤษฎี การคำนวณหาพารามิเตอร์อาจเลือกใช้ 7 สมการใดๆ จาก 9 สมการสามารถสร้างได้ แต่ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ค่าพารามิเตอร์การแปลงพิกัดเป็นค่าที่สำคัญเนื่องจากจะถูกใช้ในการคำนวณของจุดอื่นๆ ที่เหลือ หากพารามิเตอร์ผิดพลาดแล้วก็หมายความว่าพิกัดของจุดอื่นๆ จำนวนมากที่จะทำการแปลงพิกัดจะผิดพลาดไปด้วย ในทางปฏิบัติการหาพารามิเตอร์จึงจำเป็นต้องมีจำนวนสมการให้มากเกินไป เพื่อให้ระบบมี Redundancy สำหรับตรวจสอบความผิดพลาด (อิทธิ ตรินิตรีสต์ยวงส์, 2551)

จากสมการที่ 2.8 หากเป็นระบบสมการที่ไม่ใช่เชิงเส้น สามารถสร้างเป็นระบบสมการเชิงเส้นได้โดยการหาค่า เวกเตอร์ค่าประมาณของพารามิเตอร์ μ_0, R_0, c_0 ยกตัวอย่างเช่น การแปลงพื้นหลักฐานระหว่าง WGS84 ไปสู่พื้นหลักฐานท้องถิ่น (Local system) จะใช้ค่าประมาณของ $\mu_0 = 1$ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\mu = \mu_0 + \Delta\mu = 1 + \Delta\mu \quad (2.12)$$

โดยที่

μ_0 คือ เวกเตอร์ค่าประมาณของพารามิเตอร์

$\Delta\mu$ คือ เวกเตอร์ค่าแก้ของพารามิเตอร์

นอกจากนี้ มุมหมุน α_i ในสมการที่ 2.11 หากมีค่ามุมที่น้อยมาก โดยให้แทนปริมาณค่าต่างของมุมเป็น $\Delta\alpha_i$ และกำหนดให้ $\cos \Delta\alpha_i = 1$ และ $\sin \Delta\alpha_i = \Delta\alpha_i$ สามารถเขียนสมการใหม่ ดังนี้

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta\alpha_3 & -\Delta\alpha_2 \\ -\Delta\alpha_3 & 1 & \Delta\alpha_1 \\ \Delta\alpha_2 & -\Delta\alpha_1 & 1 \end{bmatrix} = \underline{I} + \underline{\Delta R} \quad (2.13)$$

โดยที่

\underline{I} คือ เมทริกซ์ของค่าจริง

$\underline{\Delta R}$ คือ เมทริกซ์ค่าต่างการหมุนรอบแกนทั้งสาม

จะได้ว่าค่าประมาณของ $\underline{R}_0 = \underline{I}$
 ส่วนค่าเลื่อนแกน สามารถเขียนแยกได้ดังสมการ

$$\underline{c} = \underline{c}_0 + \Delta \underline{c} \quad (2.14)$$

โดยที่ค่าประมาณเวกเตอร์การเลื่อน เท่ากับ

$$\underline{c}_0 = \underline{X}_T - \underline{X} \quad (2.15)$$

จากองค์ประกอบการแปลงพื้นหลักฐานดังกล่าวข้างต้น ดังสมการที่ 2.12, 2.13, 2.14 และ 2.8 ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณการแปลงค่าพิกัด ดังเช่น Hofmann-Wellenhof et al. (1994) โดยมีโมเดลการแปลงดังสมการ

$$\underline{X}_{T_i} - \underline{X}_i - \underline{c}_0 = \underline{A}_i \Delta \underline{p} \quad (2.16)$$

โดยที่

\underline{A}_i คือ Design Matrix
 $\Delta \underline{p}$ คือ เมทริกซ์ของตัวแปรไม่ทราบค่า

ค่าเมทริกซ์ \underline{A}_i และ $\Delta \underline{p}$ สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\underline{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_i & 0 & -Z_i & Y_i \\ 0 & 1 & 0 & Y_i & Z_i & 0 & -X_i \\ 0 & 0 & 1 & Z_i & -Y_i & X_i & 0 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\Delta \underline{p} = [\Delta C_1 \quad \Delta C_2 \quad \Delta C_3 \quad \Delta \mu \quad \Delta \alpha_1 \quad \Delta \alpha_2 \quad \Delta \alpha_3]^T \quad (2.18)$$

จากสมการ 2.16 เป็นระบบสมการเชิงเส้นของจุดเดี่ยว (Single point) หากในการแปลงมีหลายจุด สามารถแทนเมทริกซ์ A ได้เป็น

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} \underline{A}_1 \\ \underline{A}_2 \\ \vdots \\ \underline{A}_n \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

ยกตัวอย่างดังเช่น หากมี 3 จุด (Point) สามารถเขียน Design Matrix ได้ดังสมการ

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_1 & 0 & -Z_1 & Y_1 \\ 0 & 1 & 0 & Y_1 & Z_1 & 0 & -X_1 \\ 0 & 0 & 1 & Z_1 & -Y_1 & X_1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & X_2 & 0 & -Z_2 & Y_2 \\ 0 & 1 & 0 & Y_2 & Z_2 & 0 & -X_2 \\ 0 & 0 & 1 & Z_2 & -Y_2 & X_2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & X_3 & 0 & -Z_3 & Y_3 \\ 0 & 1 & 0 & Y_3 & Z_3 & 0 & -X_3 \\ 0 & 0 & 1 & Z_3 & -Y_3 & X_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

2.4 หลักการหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning, PPP)

หลักการหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงเป็นวิธีประมวลที่นำมาใช้ในโปรแกรม GIPSY-OASIS II โดยจะต้องพยายามลดค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นให้มากที่สุด ดังมีรายละเอียดเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ ดังนี้

1. ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรดาวเทียม (Satellite orbit error) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรดาวเทียม มีสาเหตุมาจากวงโคจรดาวเทียมที่มาจากข้อมูลดาวเทียม ในสัญญาณที่ได้รับนั้นเป็นวงโคจรที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้า โดยอาศัยรูปจำลองของแรงต่างๆ ที่กระทำต่อดาวเทียม รูปจำลองที่ใช้อาจจะไม่ถูกต้องหรือไม่ละเอียดเพียงพอ เมื่อเทียบกับแรงจริงๆ ที่กระทำต่อดาวเทียม ในขณะที่ทำการ رصد ดังนั้นตำแหน่งของดาวเทียมจากอิพิเมอร์สดาวเทียมที่ส่งกระจายลงมาพร้อมสัญญาณดาวเทียมนั้นจึงไม่ถูกต้อง

แนวทางแก้ไข เราสามารถลดความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมได้โดยเราใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่คำนวณหาได้หลังจากที่ดาวเทียมนั้น ได้โคจรผ่านตำแหน่งนั้นๆ แล้ว โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกจัดทำโดยหน่วยงาน Jet Propulsion Laboratory (JPL) และข้อมูลดังกล่าวก็สามารถดาวน์โหลดได้จาก อินเทอร์เน็ต (ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/JPL_GPS_Products/Final/) โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.10

DATA PRODUCTS

GIPSY-OASIS Products:

GIPSY-OASIS is used to routinely generate precise estimates of the GPS satellite orbit positions and clock offsets. The latencies of these products vary from < 2 hours (near real time) to 14-days. The accuracy of the products improves with longer latencies.

JPL's Precise Orbit and Clock Estimates for GPS Constellation in GIPSY Format:

Product	Latency	3-D RMS Accuracy (cm)	Product Location (anonymous FTP)
Ultra-Rapid	< 2 hours	5	ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/JPL_GPS_Products/Ultra
Rapid	Next-Day (16:00 UTC)	3.5	ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/JPL_GPS_Products/Rapid
Final	< 14 days	2.5	ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/JPL_GPS_Products/Final

Note: Mozilla Firefox is recommended for viewing the above Product Locations.

ดัชนีของ ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/JPL_GPS_Products/Final/

ขั้นไปสู่ไดเรกทอรีระดับสูงกว่า

ชื่อ	ขนาด	แก้ไขล่าสุด
1996		10/28/2011 10:07:00 AM
1997		11/3/2011 3:43:00 PM
1998		11/3/2011 4:28:00 PM
1999		9/29/2011 10:38:00 AM
2000		9/20/2011 12:13:00 PM
2001		8/23/2011 12:00:00 AM
2002		7/26/2011 12:00:00 AM
2003		7/11/2011 12:00:00 AM
2004		7/11/2011 12:00:00 AM
2005		7/11/2011 12:00:00 AM
2006		7/11/2011 12:00:00 AM
2007		8/5/2011 12:00:00 AM
2008		7/26/2011 12:00:00 AM
2009		7/27/2011 12:00:00 AM
2010		8/1/2011 12:00:00 AM
2011		1/5/2012 4:28:00 PM
2012		3/9/2012 12:40:00 PM

ภาพที่ 2.10 รายละเอียดข้อมูลที่ให้บริการวงโคจรดาวเทียมและค่าแก้नाฟีกาดาวเทียม
โดยหน่วยงาน JPL (JPL, 2012)

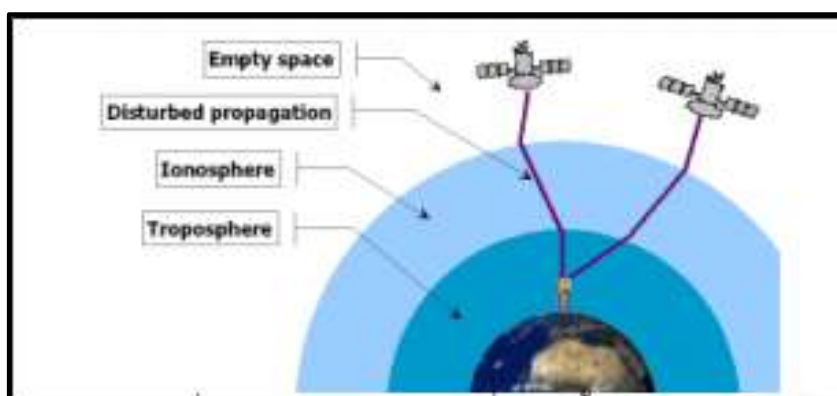
2. ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฟีกาดาวเทียม (Satellite clock error) ความคลาดเคลื่อนของนาฟีกาดาวเทียมจะเกิดจากการเทียบเวลา และความถี่มาตรฐานที่ต่างกัน โดยข้อมูลความคลาดเคลื่อนของนาฟีกาดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ในข้อมูลดาวเทียมที่ส่งลงมาที่สัญญาณซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าจากสถานีควบคุมหลักเช่นเดียวกับวงโคจรดาวเทียม

แนวทางแก้ไข เราสามารถลดความคลาดเคลื่อนของนาฟีกาดาวเทียมได้จากข้อมูลของหน่วยงาน JPL เช่นเดียวกับความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม

3. ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาของเครื่องรับสัญญาณ (Receiver clock error) จะเกิดขึ้นเนื่องจากนาฬิกาที่อยู่ในตัวเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ประเภทของนาฬิกาที่ใช้ในเครื่องรับเป็นนาฬิกาที่ทำจาก ควอตซ์ ซึ่งมีความถูกต้องน้อยกว่านาฬิกาบนดาวเทียมมาก ซึ่งนาฬิกาที่ใช้บนดาวเทียมจะมีความเสถียรสูง มีความเที่ยงตรงมาก

แนวทางแก้ไข สามารถคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนตัวนี้ได้โดยการกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าตัวหนึ่งในสมการ

4. การล่าช้าเนื่องมาจาก การเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ (Atmospheric delay) เมื่อคลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จึงเกิดการล่าช้าอันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ ในทางทฤษฎีเราสมมุติว่าคลื่นเดินทางในสุญญากาศ โดยมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง แต่ในความเป็นจริงในการเดินทางของคลื่นนั้นไม่ได้ผ่านสุญญากาศโดยตลอด โดยจะต้องมีการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกหลาย ๆ ชั้น ซึ่งมีชั้นบรรยากาศอยู่สองชั้นที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่นคือชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) และชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) รูปภาพที่ 2.11 ประกอบ



ภาพที่ 2.11 การล่าช้าเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และโทรโพสเฟียร์ (Kowoma, 2005)

การล่าช้าอันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay) ชั้นไอโอโนสเฟียร์จะมีขอบเขตของความสูงเหนือพื้นโลกตั้งแต่ 50 ถึง 1,000 กิโลเมตร (Hofmann-Wellenhof et al., 1997; Seeber, 1993) ในชั้นนี้จะมีเลคตรอนอิสระซึ่งมีผลทำให้คลื่นสัญญาณจีพีเอสเดินทางด้วยความเร็วที่ต่างจากความเร็วแสง เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วแสง การเดินทางของคลื่นสัญญาณจีพีเอสผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์จะมีผลทำให้สัญญาณเดินทางได้

ช้าลง ดังนั้นระยะที่วัดได้จึงยาวกว่าที่ควรจะเป็น ในทางกลับกันเฟสของคลื่นส่งจะเดินทางได้เร็วขึ้น ดังนั้นระยะที่วัดได้จึงสั้นลงกว่าที่ควรจะเป็น ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นทางที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้การล่าช้าของ การเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ขึ้นอยู่กับปัจจัย หลายประการ เช่น ปริมาณรวมของอิเล็กตรอน (Total Electron Content) ตามแนวเส้นทาง ความถี่ของคลื่นสัญญาณ ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ฤดูกาลและเวลา เป็นต้น (Lin, 1997) ในกรณีที่แย่ที่สุด การหักเหในแนวตั้งอาจมีค่าถึง 50 เมตร และเพิ่มเป็น 3 เท่าเมื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมที่อยู่ใกล้ในแนวราบ (Rizos, 1997)

แนวทางแก้ไข วิธีการที่ใช้ลดค่าคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าของ การเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ สามารถทำได้โดย

- ใช้เครื่องรับแบบสองความถี่ เนื่องจากการหักเหของคลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แปรผันกับความถี่ ดังนั้นการใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับแบบสองความถี่สามารถกำจัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเดินทางผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ให้หมดไปได้
- ใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสามพิกัด โดยอาศัยเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับหรือค่าต่างครั้งที่สองเพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าของ การเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ซึ่งประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับระยะเส้นฐาน
- เลือกใช้แบบจำลองปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าของ การเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Klobuchar, 1987) ซึ่งเหมาะกับผู้ใช้เครื่องรับแบบความถี่เดียว อย่างไรก็ตามค่าความถูกต้องของแบบจำลองปรับแก้อยู่ที่ประมาณ 50%
- หรือพยายามรับสัญญาณดาวเทียมในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากขนาดของค่าคลาดเคลื่อนในเวลากลางคืนจะน้อยกว่าเวลากลางวันมาก วิธีนี้เหมาะกับผู้ใช้เครื่องรับแบบความถี่เดียว

5. การล่าช้าอันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์ (Tropospheric delay) ชั้นโทรโพสเฟียร์จะเริ่มจากพื้นโลกจนถึงความสูงประมาณ 50 กิโลเมตร (Spilker, 1996) ในชั้นนี้จะประกอบไปด้วยชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนประกอบคือ ส่วนประกอบแห้งและส่วนประกอบชื้น โดยส่วนประกอบแห้งจะมีขนาดประมาณ 90 % ของการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ส่วนประกอบชื้นจะมีขนาดประมาณ 10% ของการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยทั่วไปเราสามารถที่จะหาค่าคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าของ การ

เดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์ในส่วนแห่งนี้ได้ดี แต่ในส่วนชั้นนั้นๆยากที่จะหาค่าที่ถูกต้อง ซึ่งทั้งสองส่วนประกอบมีผลทำให้คลื่นเดินทางมาถึงเครื่องรับช้ากว่าความเป็นจริง ทำให้ระยะที่วัดได้ยาวกว่าที่ควรจะเป็น ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นทางที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้เช่นเดียวกับในชั้นไอโอโนสเฟียร์ การล่าช้าของการเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นในอากาศขณะทำการรังวัด เป็นต้น ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะมีขนาดตั้งแต่ 2 เมตรเมื่อตำแหน่งของดาวเทียมอยู่ในแนวตั้งของเครื่องรับจนกระทั่ง 20 เมตร เมื่อตำแหน่งของดาวเทียมอยู่ใกล้เคียงกับแนวราบ (Brunner and Welsch, 1993) เนื่องจากการล่าช้าของการเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์ไม่ได้ขึ้นกับความถี่ของคลื่นสัญญาณ ดังนั้นการใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับแบบสองความถี่จึงไม่สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการล่าช้าของการเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์ให้หมดไปได้เหมือนกับกรณีของชั้นไอโอโนสเฟียร์

แนวทางแก้ไข วิธีการที่ใช้ลดค่าคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าของการเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์สามารถทำได้โดย

- ใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ โดยอาศัยเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับหรือค่าต่างครั้งที่สองเพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าของการเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นโทรโพสเฟียร์เช่นเดียวกันประสิทธิผลของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับระยะเส้นฐาน
- ใช้แบบจำลองมาตรฐานในการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าของการเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้น โทรโพสเฟียร์ เช่น Hopfield model, Simplified Hopfield model, Saastamoinen model เป็นต้น จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลของการใช้แบบจำลองมาตรฐานโทรโพสเฟียร์ที่กล่าวมาทั้งสามแบบจำลองกับข้อมูลที่รังวัดในประเทศไทยโดย Satirapod and Chalermwattanachai (2005) พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสามไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามแบบจำลอง Hopfield model และ Saastamoinen model ให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือที่สุด
- หรือการกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและทำการประมาณค่าในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล วิธีนี้เหมาะกับงานที่ต้องการค่าความถูกต้องสูงมากๆ และไม่สามารถทำได้ในซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ วิธีการนี้จะใช้ได้กับซอฟต์แวร์สำหรับงานทางวิทยาศาสตร์ (Scientific software) เท่านั้น

2.5 โครงสร้างและหลักการทำงานของโปรแกรม GIPSY-OASIS II

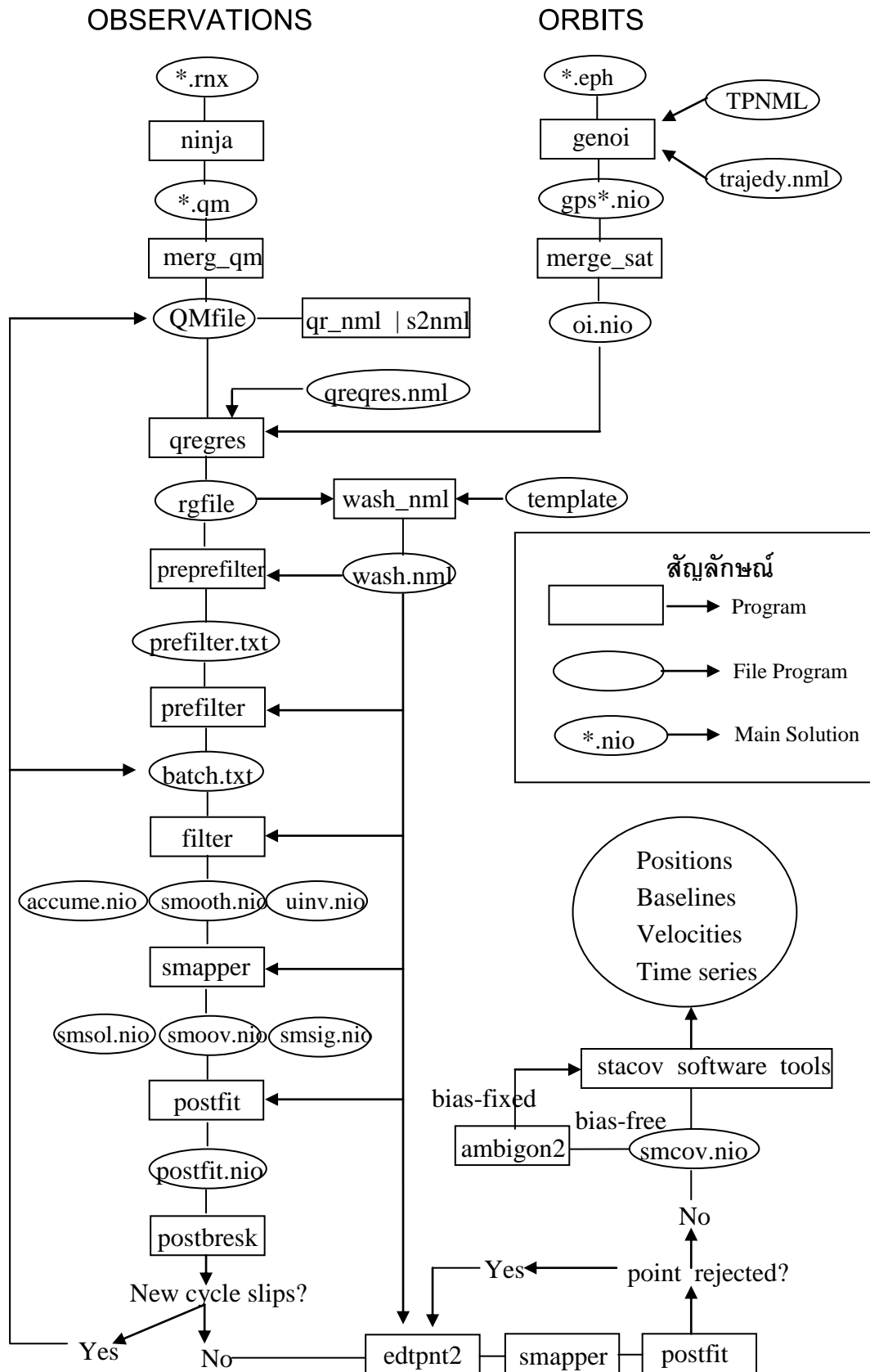
The GPS Inferred Positioning System and Orbit Analysis and Simulation Software (GIPSY-OASIS II) เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาโดย The Jet Propulsion Laboratory (JPL) เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งที่มีความละเอียดถูกต้องสูง สามารถประมวลผลได้ทั้งแบบสัมพัทธ์ และแบบสัมบูรณ์ที่ให้ค่าความละเอียดถูกต้องสูง (Precise Point Positioning: PPP) ที่เป็นคุณลักษณะเด่นของโปรแกรมนี้คือการประมวลผลแบบสัมบูรณ์ ไม่ มีข้อจำกัดของระยะทางระหว่างหอดูดาวที่รับวัดในโครงข่าย สามารถประมวลผลหาระยะระหว่างหอดูดาวหลักฐานในระดับเมตร จนถึงหลายพันกิโลเมตร 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 นี้ยังมีความสามารถในการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ โดยใช้เทคนิคประมวลผลข้อมูลแบบ double differencing เพื่อแก้สมการหาจำนวนเต็มลูกคลื่น ทำให้ผลลัพธ์มีความละเอียดถูกต้องสูงขึ้น

ในงานทางด้านวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะเรื่องการศึกษาการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก การประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่ให้ค่าความละเอียดสูง ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการประมวลผลมากกว่าการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ (Satirapod et al, 2008) เนื่องจากการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ค่าความคลาดเคลื่อนของจุดที่ประมวลผลจะได้รับผลจากความคลาดเคลื่อนของจุดที่ใช้อ้างอิงรวมอยู่ด้วย จึงไม่สามารถได้ค่าการเคลื่อนตัวที่แท้จริงของจุดที่ประมวลผล โครงข่ายติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย รวมทั้งโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายขั้นที่ 1 ของประเทศไทย ก็ใช้เทคนิคการประมวลผลแบบสัมบูรณ์ที่ให้ค่าความละเอียดถูกต้องสูงของโปรแกรม GIPSY-OASIS II นี้เช่นเดียวกัน รวมถึงการประมวลผลข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

โครงสร้างการประมวลผลของโปรแกรม GIPSY OASIS II เป็นโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ UNIX หรือ LINUX ประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมน้อย ๆ ที่ประมวลผลและให้ผลลัพธ์เป็นส่วนๆ ตามโครงสร้างการจัดการข้อมูลของโปรแกรม ความยากของการทำงาน

สำหรับผู้เริ่มต้นคือ ไม่รู้ว่าโปรแกรมย่อยแต่ละส่วนทำหน้าที่อะไร ให้ผลลัพธ์และจัดเก็บไว้ที่ไหน และต้องนำไปใช้ต่อไปในขั้นตอนใด การเตรียมข้อมูลที่จำเป็นมีอะไรบ้าง ต้องเตรียมข้อมูลไว้ตรงไหน สิ่งต่างๆ ที่กล่าวถึงเหล่านี้ เป็นข้อจำกัดอย่างมากของโปรแกรม GIPSY OASIS II เพราะหากระหว่างการประมวลผล ถ้าข้อมูลที่จำเป็นไม่ครบถ้วน โปรแกรมก็จะถูกขัดจังหวะและแสดงข้อความข้อผิดพลาด ผู้ใช้งานจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขให้ถูกต้อง โปรแกรมจึงสามารถจะประมวลผลต่อไปได้ ในภาพรวมของการประมวลผลมีขั้นตอน การเรียกใช้โปรแกรมย่อย และการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมประมวลผลทุกขั้นตอน

การประมวลผลของโปรแกรม GIPSY OASIS II เริ่มขั้นตอนแรกจากการนำเข้าข้อมูลการรังวัดดาวเทียม ข้อมูลแบบจำลอง และข้อมูลการประมาณค่าตัวแปรต่างๆ ที่จำเป็น โดยส่วนของโปรแกรมย่อยต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการนำเข้าข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องขอ รูปแบบและความครบถ้วนของข้อมูล มีการจัดเรียง สร้างฐานข้อมูลที่จำเป็นเพื่อการเรียกใช้งานในขั้นตอนต่างๆ การประมวลผลจะดำเนินการกับข้อมูลของแต่ละวัน ของแต่ละสถานี อย่างเป็นอิสระต่อกัน มีการจัดเก็บผลลัพธ์ในแต่ละขั้นตอน และตรวจสอบผลลัพธ์ ตรวจสอบเงื่อนไข ทำการวนซ้ำ การประมวลผลในบางขั้นตอน เพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จนได้ค่าผลลัพธ์สุดท้ายของการประมวลผลเป็นข้อมูลค่าพิกัดของแต่ละวัน ในระบบพิกัดที่อ้างอิงจากตำแหน่งของดาวเทียม ข้อมูลการรังวัดในแต่ละวันของแต่ละสถานี จะถูกรวมเป็นข้อมูลค่าพิกัดรายสัปดาห์ และตรวจสอบผลค่าพิกัดทางสถิติ ข้อมูลค่าพิกัดรายสัปดาห์ ที่ได้ถือว่าผ่านกระบวนการกรองค่ารบกวนมาในระดับหนึ่งแล้ว จะเป็นตัวแทนตำแหน่งของจุดที่รังวัด ในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อให้ค่าที่ได้จากการประมวลผล มีความถูกต้องบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF จึงจำเป็นต้องหาค่าตัวแปรการแปลงระบบพิกัด จากระบบของดาวเทียมที่อ้างอิง ยึดตรงเข้ากับกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF โดยใช้สถานี IGS เป็นจุดร่วมที่ทราบค่าพิกัดในทั้งสองพื้นหลักฐาน หาค่าตัวแปรการแปลงระบบพิกัดด้วยเทคนิคของ Helmert Transformation จุดที่ทำกรังวัดอื่นๆ จะถูกแปลงเข้าสู่กรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF โดยใช้ค่าตัวแปรประมวลผลได้ เพื่อให้มีความเข้าใจในหน้าที่การทำงานของโปรแกรมย่อยแต่ละส่วน จึงขออธิบายการทำงานของโปรแกรมย่อยๆ พอสังเขปได้ภาพที่ 2.12 และตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.12 แผนผังแสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมประมวลผล GIPSY OASIS II

(Grogerius, 1996)

ตารางที่ 2.1 การทำงานของโปรแกรมย่อยๆ ในโปรแกรม GIPSY OASIS II

ชื่อโปรแกรม	หน้าที่
ninja	อ่านข้อมูลการรังวัดในรูปแบบของ RINEX (Receiver Independent Exchange Format) ข้อมูลถูกเขียนเป็นรหัสเลขฐานสอง ส่งเข้าสู่ชุดคำสั่ง Turboedit ที่ทำการตรวจสอบส่วนของการรังวัดที่ไม่ต่อเนื่อง และทำการปรับปรุงข้อมูลที่ตรวจพบให้มีคุณภาพที่สามารถนำไปใช้ในการประมวลผลต่อได้ ข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบแล้วจะถูกจัดเก็บในเบื้องต้น เรียกว่า quick measurement file (qm file)
Merg qm	รวม qm files ที่เกิดหลายๆแฟ้มข้อมูลเข้าด้วยกัน และในขั้นตอนนี้ ผู้ประมวลผลสามารถที่จะกำหนดหรือจัดข้อมูลของดาวเทียมที่ไม่ประสงค์ออกจากประมวลผลได้
qr_nml	สร้างข้อมูลรายชื่อเพื่อการใช้งานใน qregres ที่มีหน้าที่สร้างความสัมพันธ์โครงสร้างภายในของการประมวลผล เช่นค่าตำแหน่งเบื้องต้นของจุดที่รับสัญญาณ ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวของโลกกับระบบเวลาดาวเทียม ข้อมูล qregres ถูกนำมาใช้กับ qm file , ระบบเวลาและวงโคจรของดาวเทียม , แบบจำลองของจานรับสัญญาณดาวเทียม , ศูนย์กลางของโลก ผลกระทบจากความไม่เสถียรของแกนหมุนของโลกผลลัพธ์ของการทำงานในขั้นตอนนี้ ได้เป็นแฟ้มข้อมูล rgfile ที่จัดเก็บค่าประมาณเริ่มต้นของตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผล
geonoi	นำเข้าข้อมูลวงโคจรและปรับปรุงโครงสร้างข้อมูลวงโคจรดาวเทียม
merge_sat	รวมแฟ้มข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมให้อยู่ในรูปแบบที่ถูกต้องและพร้อมสำหรับการนำไปใช้ในการประมวลผล
wash_nml	สร้างข้อมูลรายชื่อเพื่อการใช้งานในส่วนของโปรแกรมต่อไป และจัดเก็บค่าตัวแปรที่รับข้อมูลจากการกำหนดโดยผู้ใช้
preprefilter, prefilter	สร้างข้อมูลค่าทางสถิติ และสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เป็นต้องใช้ในการส่วนของการกรองข้อมูล หรือจัดข้อมูลที่ไมจำเป็นหรือมีค่าคลาดเคลื่อนสูง ออกจากระบบ

ตารางที่ 2.1 การทำงานของโปรแกรมย่อยๆ ในโปรแกรม GIPSY OASIS II (ต่อ)

ชื่อโปรแกรม	หน้าที่
filter	เป็นส่วนหลักของโปรแกรมที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล ด้วยวิธีการ Square Root Information Filter (SRIF) ซึ่งเป็นประเภทหนึ่งของ Kalman filter ในส่วนโปรแกรมนี้จะประมวลผลค่าตัวแปรต่างๆ ที่ได้ผ่านการประมาณค่าและปรับปรุงค่า มาในส่วนของโปรแกรมก่อนหน้าแล้ว ให้มีผลลัพธ์ของตัวแปรที่สอดคล้องกันในทุกๆค่า และเป็นค่าที่ดีที่สุด โดยวิธีปรับแก้แบบลีสทิงสแควร์
smapper	คำนวณค่า smoothes and maps the covariance sensitivity and solution of the parameter estimation
postfit	คำนวณค่าเศษคงเหลือจากการประมวลผล
postbreak	ตรวจสอบค่าความไม่ต่อเนื่องของข้อมูล (cycle slip) ที่ยังคงเหลืออยู่ และส่งผลต่อค่าเศษคงเหลือ ถ้าตรวจพบ จะมีการสร้าง qm file ขึ้นมาใหม่ และนำผลลัพธ์ข้อมูลไปวนซ้ำการประมวลผลอีกครั้ง เพื่อขจัดค่าเศษคงเหลือที่เกินเกณฑ์
edtpnt2	ตรวจสอบค่าเศษคงเหลือ จาก postfit และขจัดค่าที่เกินเกณฑ์นัยสำคัญที่กำหนด ออกจากการประมวลผล และส่งผลลัพธ์ไปวนซ้ำประมวลผลใน smapper และ postfit จนกว่าจะไม่มีค่าที่เกินเกณฑ์
ambigon2	ประมวลผลโครงข่ายแบบ Double Difference เพื่อหาค่าจำนวนลูกคลื่น ปรับปรุงคุณภาพของค่าทางราบในทิศทาง ลองจิจูด ให้มีค่าที่ดีขึ้น 1 - 2 มิลลิเมตร การทำงานของโปรแกรมนี้จะมีข้อมูลอย่างน้อย 2 สถานีขึ้นไป
stacov	เป็นส่วนของโปรแกรมที่ทำกรคำนวณค่าตัวแปรในการแปลงระบบพิกัด จำนวน 7 ตัวแปร ในระบบพิกัดจากสามมิติ ประกอบด้วย ค่าของการเลื่อน 3 ตัวแปร, การหมุน 3 ตัวแปร และอัตราส่วน 1 ตัวแปร

เมื่อได้ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่จะใช้เรียบร้อยแล้วก็นำหลักการและทฤษฎีเหล่านี้ไปใช้วางแผนวิธีดำเนินการวิจัยในบทต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยจะมีขั้นตอนหลักๆ 2 ส่วน คือ ขั้นตอนหนึ่ง รวบรวมข้อมูลการรังวัดพิกัด GPS ในรูป Rinex file ของทั้งสองช่วงเวลา (ช่วงวันที่ 25-31 ตุลาคม ค.ศ. 2004 และช่วงวันที่ 7-13 พฤศจิกายน ค.ศ. 2008) จำนวน 6 หมู่ อีกทั้งรวบรวมข้อมูลการรังวัดพิกัดของสถานี IGS ที่อยู่ในกรอบอ้างอิง ITRF2005 โดยใช้สถานี IGS จำนวน 29 สถานีในปี ค.ศ. 2004 และใช้สถานี IGS จำนวน 32 สถานี ในปี ค.ศ. 2008 ซึ่งเป็นจำนวนตั้งต้นในการวิจัย ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นการประมวลโดยใช้โปรแกรม GIPSY-OASIS II ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้เวลามากที่สุดเพราะต้องทดลองและตรวจสอบเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้อง โดยแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยๆ ได้อีก 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 หาค่าพิกัด แบบ PPP โดยใช้หลักการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงในโปรแกรม GIPSY ของทุกสถานีที่รวบรวมไว้ในแต่ละปี และขั้นตอนต่อจากนี้ก็จะเลือกสถานี IGS ที่ใช้เป็นจุดร่วมในการแปลงพื้นหลักฐานจากพื้นหลักฐานดาวเทียมเป็นพื้นหลักฐานในกรอบอ้างอิง ITRF2005 และการแปลงพื้นหลักฐานโดยใช้กลุ่มจำนวนสถานี IGS ที่ต่างกันก็ทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ต่างกันด้วย ซึ่งในงานวิจัยจะแบ่งเป็นหัวข้อที่จะศึกษาดังนี้ คือศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมที่ใช้แปลงค่าพิกัดโครงข่าย อ้างอิง ประเทศไทย โดยพิจารณาจากค่าพิกัดของโครงข่ายอ้างอิงที่ได้หลังจากใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแปลง และศึกษาการกระจายตัวที่เหมาะสมของสถานี IGS ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

3.1 การเลือกหมุดโครงข่ายอ้างอิงในประเทศไทย

3.1.1 โครงข่ายอ้างอิงในประเทศไทยช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่

ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้ข้อมูลการรังวัด GPS ในช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว สุมาตรา-อันดามัน (26 ธันวาคม ค.ศ. 2004) ช่วงวันที่ 25-31 ตุลาคม ค.ศ. 2004 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการรังวัดการเคลื่อนตัวบริเวณประเทศไทย หรือเรียกว่า ข้อมูลโครงข่ายสำหรับการศึกษการเคลื่อนตัวของประเทศไทย ซึ่งกรมแผนที่ทหารได้ทำการรังวัดทั้งสิ้น 7 วันต่อเนื่อง (GPS DAY=299-305) โดยช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหวมีเพียง 7 หมุด คือ 3217 (จ.ลำปาง), 3220 (จ.นครสวรรค์), 3001 (จ.อุทัยธานี), 3052 (จ.ศรีสะเกษ), 3427 (จ.ชลบุรี), 3315 (จ.ชุมพร) และ 3657 (จ.ภูเก็ต) แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ข้อมูลการรังวัด GPS ในช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว จำนวน 7 จุด
(อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล, 2545)

3.1.2 โครงข่ายอ้างอิงในประเทศไทยช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่

รวบรวมข้อมูลการรังวัด GPS 7 วันต่อเนื่อง ของกรมแผนที่ทหารช่วงวันที่ 7-13 พฤศจิกายน ค.ศ. 2008 (GPS DAY=312-318) จำนวน 18 หมู่ด คือ PAT2 3671 (จ.ปัตตานี), KCNB 3660 (จ.กาญจนบุรี), CHTB 3659 (จ.จันทบุรี), CHRI 3658 (จ.เชียงราย), PHUK 3657 (จ.ภูเก็ต), MHSN 3656 (จ.แม่ฮ่องสอน), CHON 3427 (จ.ชลบุรี), NKTM 3335 (จ.นครศรีธรรมราช), MSTK 3329 (อ.แม่สอด จ.ตาก), BANH 3315 (อ.ท่าแซะจ.ชุมพร), HUAH 3300 (จ.ประจวบคีรีขันธ์), OTRI 3217 (จ.ลำปาง), CHAI 3159 (จ.ชัยภูมิ), LOEI 3109 (จ.ร้อยเอ็ด), UDON 3093 (จ.อุดรธานี), NKPH 3084 (จ.นครพนม), SRIS 3052 (จ.ศรีสะเกษ) และ UTHA 3001 (จ.อุทัยธานี) แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ข้อมูลการรังวัด GPS ในช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ จำนวน 18 หมู่ด
(เอกภพ ภาณุมาศตระกูล, 2545)

การเลือกข้อมูล GPS โคจรข่ายอ้างอิงของประเทศไทย ได้ทำการคัดเลือกสถานีที่มีข้อมูลทั้งช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหวและหลังเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ ทั้งสิ้น 6 หมด (รายละเอียดที่ตั้งของหมดแสดงดังภาคผนวก ค) ได้แก่ UTHA (3001) จ.อุทัยธานี, SRIS (3052) จ.ศรีสะเกษ, OTRI (3217) จ.ลำปาง, BANH (3315) จ.ชุมพร, CHON (3427) จ.ชลบุรี และ PHUK (3657) จ.ภูเก็ต ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลหมด GPS โคจรข่ายอ้างอิงของประเทศไทยที่ใช้ในงานวิจัย

ปี ค.ศ.	หมดโครงข่ายที่ใช้			หมดโครงข่ายที่ตัดออก		
2004	BANH(3315)	CHON (3427)	OTRI(3217)	NAKH		
	PHUK(3657)	SRIS(3052)	UTHA(3001)			
2008	BANH(3315)	CHON (3427)	OTRI(3217)	CHAI	CHRI	MHSN
	PHUK(3657)	SRIS(3052)	UTHA(3001)	PAT2	NKPH	NKTM
				HUAH	UDON	CHTB
				LOEI	KCNB	MSTK

3.2 การเลือกสถานี IGS ในกรอบอ้างอิง ITRF2005

การเลือกสถานี IGS จากทั่วโลกในกรอบอ้างอิง ITRF2005 ที่จะนำไปใช้ในขั้นตอน MAPPING จากจำนวนรวมทั้งสิ้น 132 สถานี โดยมีตำแหน่งดังภาพที่ 3.3 รายละเอียดดังภาคผนวก ข ซึ่งจะมีหลักในการพิจารณาเลือกสถานี IGS ขั้นต้น คือ เลือกใช้สถานี IGS ที่สร้างตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996, สถานี IGS อยู่ห่างจากจุดเกิดแผ่นดินไหว, เป็นสถานีที่ไม่มีการกระโดดของ Time series และเลือกสถานีที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงเสาอากาศบ่อยครั้งโดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งของสถานี IGS ทั่วโลกในกรอบอ้างอิง ITRF2005

- การพิจารณาเลือกใช้สถานี IGS ที่สร้างตั้งแต่ปี ค.ศ.1996
จะพิจารณาเลือก สถานี IGS ที่ตั้งอยู่บน BEDROCK และก่อสร้างเป็นเวลายาวนาน (CORE IGS) ตั้งแต่ ค.ศ.1996 เป็นต้นไป การคัดเลือกทำได้โดยพิจารณาจาก Log file ดังภาพที่ 3.4

1. Site Identification of the GNSS Monument	
Site Name	: ALGO CACS-GSD
Four Character ID	: ALGO
Monument Inscription	: 883160
IERS DOMES Number	: 40104M002
CDP Number	:
Monument Description	: Concrete Pier
Height of the Monument	: 2.00 (m)
Monument Foundation	: Exposed bedrock
Foundation Depth	: 1.50 (m)
Marker Description	: Brass Plate
Date Installed	: 1991-01-19T00:00Z
Geologic Characteristic	: BEDROCK
Bedrock Type	: IGNEOUS
Bedrock Condition	: WEATHERED
Fracture Spacing	: 10-50 cm

ภาพที่ 3.4 Log file ของสถานีฐาน IGS ที่ตั้งอยู่บน BEDROCK และก่อสร้างเป็นเวลายาวนาน

- ตรวจสอบข้อมูล Rinex file ของสถานี IGS ที่เลือกตามช่วงเวลาที่ต้องการ
เนื่องจากว่าบางครั้งในช่วงเวลาดังกล่าว ไม่มีข้อมูลหรือเครื่องรับสัญญาณเสีย โดยเราสามารถดูได้จาก เว็บไซต์ (<http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbDataBySite.cgi>) ตามตัวอย่างภาพที่ 3.5 จะเห็นว่าข้อมูล Rinex file ของสถานี COCO มีข้อมูล แต่สถานี LHAS, XIAN และ KWJ1 ไม่มีข้อมูล ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการ ดาวน์โหลดข้อมูล และเสียเวลาในการประมวลผลด้วย

Data Availability (obs) - 305, 2008 to 312, 2008								
Instructions: click on a percent complete value to download the corresponding obs file. Some browsers may require you to right-click the value and select "Save Link As" to download. Using Internet Explorer, and still unable to download? Try these browser setting instructions Alert: all RINEX obs files listed use the hatanaka (d file) format.								
site	2008 305	2008 306	2008 307	2008 308	2008 309	2008 310	2008 311	2008 312
coco	96	94	97	100	100	100	100	100
kwi1	-	-	-	-	-	-	-	-
lhas	-	-	-	-	-	-	-	-
xian	-	-	-	-	-	-	-	-

ภาพที่ 3.5 การตรวจสอบข้อมูล Rinex file ของสถานี IGS ที่เลือก

(<http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/>, 2012)

- เลือกสถานี IGS ที่อยู่ห่างจากจุดเกิดแผ่นดินไหว

ผู้วิจัยได้พิจารณาที่ความแรงมากกว่า 7 ริกเตอร์สเกล โดยตรวจสอบกับเว็บไซต์ <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/> ของ USGS ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รวบรวมข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวทั่วโลกไว้ในฐานข้อมูล ดังภาพที่ 3.6 แสดงตัวอย่างบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับสถานี IGS

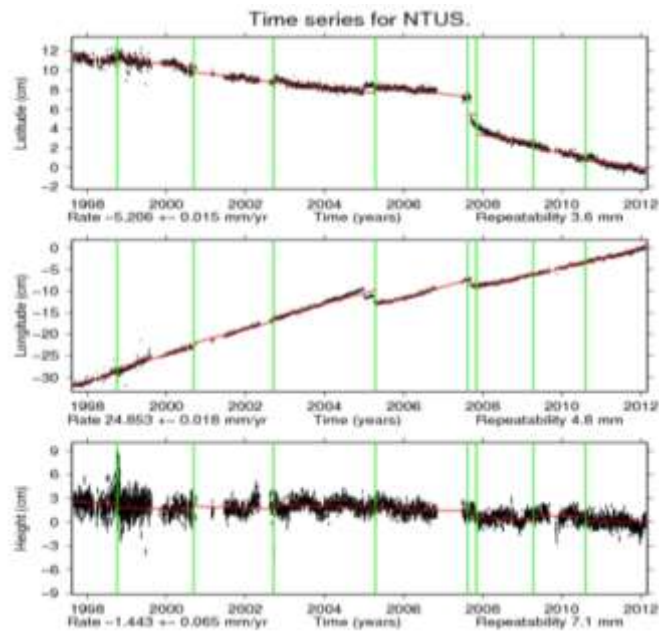


ภาพที่ 3.6 ข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวจากเว็บไซต์ของ USGS

(http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/quakes_all.php, 2012)

- เลือกสถานีที่ไม่มีการกระโดดของ Time series

ในการพิจารณาในหัวข้อนี้อาจจะสังเกตยาก เนื่องจากภาพที่เห็นไม่สามารถเห็นรายละเอียดได้ชัดเจนนัก ซึ่งอาจจะดูได้จากค่า RMS ที่ใช้ในการ MAPPING ของแต่ละสถานีได้ ถ้าหากมีการกระโดดของค่าทางดังอย่างชัดเจน ก็จะทำให้ทราบว่าสถานีนั้นอาจจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งจะไม่สามารถใช้สถานีนี้ในการ MAPPING ได้ ตามตัวอย่างการกระโดดของ Time series แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การกระโดดของ Time series ของสถานี NTUS ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 - ปัจจุบัน

(<http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html>, 2012)

- เลือกสถานีที่ไม่มีการเปลี่ยนเสาอากาศบ่อยครั้ง

เพราะอาจทำให้ค่าตำบลที่ทางดิ่งที่คำนวณได้มีความผิดพลาดเนื่องจากการใช้ค่าความสูงของเสาอากาศที่ไม่ถูกต้อง โดย สามารถดูได้จาก Log file ในส่วนเกี่ยวกับจานรับ GNSS Antenna Information แสดงดังภาพที่ 3.8

```

4.1 Antenna Type      : ACAD/H_B      NONE
   Serial Number      : 111
   Antenna Reference Point : PCR
   Marker->ARP Up Ecc. (m) : 0.1160
   Marker->ARP North Ecc (m) : 0.0000
   Marker->ARP East Ecc (m) : 0.0000
   Alignment from True N : 0.0 (deg)
   Antenna Radome Type  : NONE
   Radome Serial Number :
   Antenna Cable Type  :
   Antenna Cable Length : 0.00 (m)
   Date Installed      : 1991-01-19T00:00Z
   Date Removed       : 1994-02-16T17:36Z
   Additional Information :

4.2 Antenna Type      : ACAD/H_T      NONE
   Serial Number      : 173
   Antenna Reference Point : EPA
   Marker->ARP Up Ecc. (m) : 0.0000
   Marker->ARP North Ecc (m) : 0.0000
   Marker->ARP East Ecc (m) : 0.0000
   Alignment from True N : 0.0 (deg)
   Antenna Radome Type  : NONE
   Radome Serial Number :
   Antenna Cable Type  :
   Antenna Cable Length : 0.00 (m)
   Date Installed      : 1994-02-16T19:13Z
   Date Removed       : 1994-02-16T23:38Z
   Additional Information :
  
```

ภาพที่ 3.8 Log file แสดงสถานะข้อมูลการเปลี่ยนความสูงของเสาอากาศ

3.3 การออกแบบการวิจัย

หลังจากได้พิจารณาเลือกสถานี IGS ในขั้นต้นแล้วจะได้สถานีที่ผ่านขั้นตอนการกรองข้อมูลระดับหนึ่งแล้ว ต่อไปจะนำสถานี IGS ที่เหลือเข้าสู่กระบวนการ MAPPING โดยจะต้องมีการออกแบบการทดลองเพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

3.3.1 การศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาคัดเลือกสถานี IGS ตามลักษณะที่ตั้งและองค์ประกอบต่างๆ ในขั้นต้นเรียบร้อยแล้ว จะเหลือสถานี IGS ที่จะเข้าสู่กระบวนการประมวลผลด้วยโปรแกรม GIPSY โดยจะทำการศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสม 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ค.ศ.2004 และ ค.ศ.2008

- ปี ค.ศ. 2004 จะใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25-31 เดือนตุลาคม ค.ศ. 2004 จำนวนรวมทั้งสิ้น 132 สถานี เมื่อผ่านการคัดกรองจะเหลือสถานี IGS ทั้งหมด 29 สถานี ตามตารางที่ 3.2 ขั้นตอนต่อมา จะใช้สถานี IGS ทั้งหมดมาทำการ MAPPING ในครั้งเดียว และหาค่าทางสถิติมาเป็นเกณฑ์ในการเลือกสถานีที่ไม่ดีออก เกณฑ์ที่ใช้คือ ค่า RMS เกินจากช่วง (MEAN \pm 2SD) ซึ่งจะพิจารณาในทุกแกนและจะสามารถตัดสถานีที่ไม่ดีออกได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยจากตารางเป็นตัวอย่งการตัดสถานีที่ไม่ดีออกได้ 5 สถานี ได้แก่ DARW, IISC, KOKB, MAC1 และ TSKB จากทั้งหมด 29 สถานี คงเหลือสถานีที่ใช้ในการ MAPPING 24 สถานี และสถานีโครงข่ายประเทศไทยอีก 6 สถานี ได้แก่ BANH, CHON, OTRI, PHUK, UTHA, และ SRIS รวมเป็น 30 สถานี

- ส่วนปี ค.ศ. 2008 ใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 7-13 เดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 2008 จำนวนรวมทั้งสิ้น 132 สถานี เมื่อผ่านการคัดกรองจะเหลือสถานี IGS ทั้งหมด 32 สถานี ตามตารางที่ 3.2 การเลือกสถานี IGS ที่ดี จะใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาเช่นเดียวกับปี ค.ศ. 2004 โดยสามารถตัดสถานีที่ไม่ดีออก 2 สถานี ได้แก่ FAIR และ NTUS คงเหลือสถานีที่ใช้ในการ MAPPING 30 สถานี และสถานีโครงข่ายประเทศไทยอีก 6 สถานี ได้แก่ BANH, CHON, OTRI, PHUK, UTHA, และ SRIS รวมเป็น 36 สถานี ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงรายชื่อสถานี IGS ที่ใช้ในในงานวิจัย

ปี ค.ศ.	สถานี IGS ที่ใช้				
2004	ALGO	BAKO	COCO	FAIR	GOLD
	GUAM	KARR	KERG	KIT3	KOSG
	KUNM	LHAZ	MAS1	MKEA	NTUS
	ONSA	PERT	PIMO	SHAO	TIDB
	VILL	WUHN	YAR1	YELL	
2008	ALGO	ALIC	BAKO	COCO	DARW
	DGAR	GUAM	HYDE	IISC	KARR
	KERG	KIT3	KOKB	KOSG	KUNM
	LHAZ	MAC1	MAS1	MKEA	ONSA
	PERT	PIMO	SHAO	TIDB	TNML
	TSKB	VILL	WUHN	YAR1	YELL

หลังจากคัดเลือกสถานี IGS ที่ผ่านเกณฑ์แล้วก็จะเข้าไปสู่การประมวลผลด้วยโปรแกรม GIPSY – OASIS II ในขั้นตอนของการ MAPPING โดยจะสุ่มกลุ่มตัวอย่างของสถานี IGS ในแต่ละ COMBINATION ตั้งแต่ 4 COMBINATIONS ถึงจำนวน COMBINATION ที่มีสถานี IGS ที่มากที่สุด ในแต่ละปี เช่น ปี 2004 จะมี 4-24 COMBINATIONS และปี 2008 จะมี 4-30 COMBINATIONS ซึ่งจำนวนกลุ่มตัวอย่างจะพิจารณา จาก Yamane(1973) (รายละเอียด การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัยแสดงดังภาคผนวก จ ดังสมการ

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (3.1)$$

โดยที่

- n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ
- N คือ ขนาดของประชากร
- e คือ ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

เหตุผลที่ต้องใช้การสุ่มเพราะถ้าทำการประมวลผลทุกกรณีในแต่ละ COMBINATION จะใช้เวลานานดังแสดงในตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 แสดงเวลาในการประมวลผลโดยโปรแกรม GIPSY-OASIS II ของแต่ละ COMBINATION ของข้อมูลปี 2004

ข้อมูลปี 2004 (IGS จำนวน 24 สถานี)				
Order	No. IGS	Combination	No. case	คิดเป็นวัน
1	24	4	10,626	2
2	24	5	42,504	7
3	24	6	134,596	23
4	24	7	346,104	60
5	24	8	735,471	128
6	24	9	1,307,504	227
7	24	10	1,961,256	340
8	24	11	2,496,144	433
9	24	12	2,704,156	469
10	24	13	2,496,144	433
11	24	14	1,961,256	340
12	24	15	1,307,504	227
13	24	16	735,471	128
14	24	17	346,104	60
15	24	18	134,596	23
16	24	19	42,504	7
17	24	20	10,626	2
18	24	21	2,024	0
19	24	22	276	0
20	24	23	24	0
21	24	24	1	0

ตารางที่ 3.4 แสดงเวลาในการประมวลผลโดยโปรแกรม PPSY-OASIS II ของแต่ละ COMBINATION ของข้อมูล ปี 2008

ข้อมูล ปี 2008 (IGS จำนวน 30 สถานี)				
Order	No. GIS	Combination	No. case	คิดเป็นวัน
1	30	4	27,405	5
2	30	5	142,506	25
3	30	6	593,775	103
4	30	7	2,035,800	353
5	30	8	5,852,925	1,016
6	30	9	1,4307,150	2,484
7	30	10	30,045,015	5,216
8	30	11	54,627,300	9,484
9	30	12	86,493,225	15,016
10	30	13	119,759,850	20,792
11	30	14	145,422,675	25,247
12	30	15	155,117,520	26,930
13	30	16	145,422,675	25,247
14	30	17	119,759,850	20,792
15	30	18	86,493,225	15,016
16	30	19	54,627,300	9,484
17	30	20	30,045,015	5,216
18	30	21	14,307,150	2,484
19	30	22	5,852,925	1,016
20	30	23	2,035,800	353
21	30	24	593,775	103
22	30	25	142,506	25
23	30	26	27,405	5
24	30	27	4,060	1
25	30	28	435	0
26	30	29	30	0
27	30	30	1	0

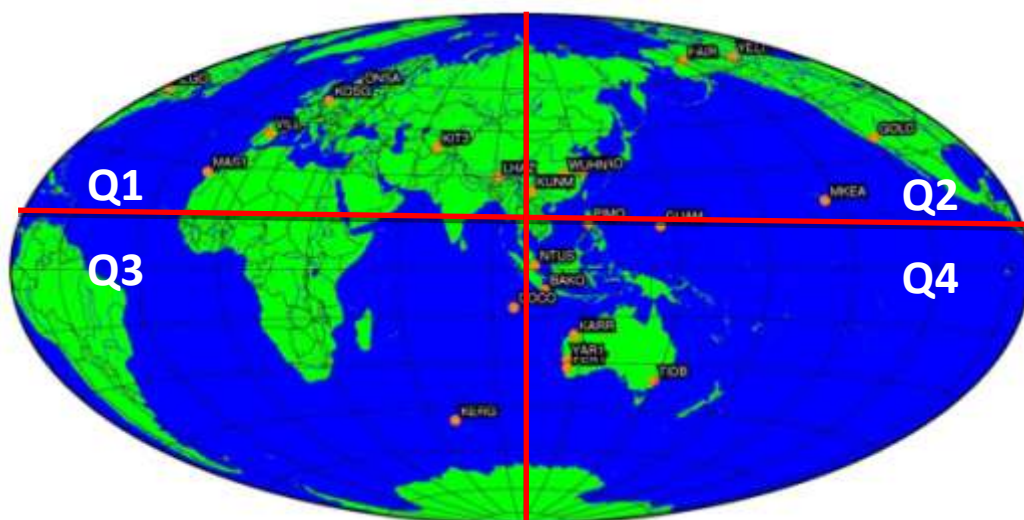
หลังจากนั้นก็จะทำการสุ่มสถานีที่เหมาะสมจาก COMBINATION 4-24 ของปี 2004 และสุ่มสถานีที่เหมาะสมจาก COMBINATION 4-30 ของปี 2008 ซึ่งในการสุ่มหาขนาดของจำนวนตัวอย่างจะให้สูตรการหาขนาดของ Yamane (1973) และสูตร Krejcie & Morgan (1970) โดยจะทำการสุ่ม สถานี IGS แต่ละ COMBINATION จำนวน 500 ชุด มาทำการ MAPPING ก็จะได้ผลลัพธ์ของการ MAPPING เป็นค่า Overall RMS ทั้งหมด 500 ชุด พร้อมกับได้ค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงหลังจาก MAPPING ด้วย

โดยค่า Overall RMS ทั้งหมด 500 ชุด ที่ได้จะนำมาหาค่าทางสถิติของข้อมูลในแต่ละแกน (N, E และ U) ซึ่งจะใช้ค่าทางสถิติมาแสดงและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการ MAPPING ในแต่ละ COMBINATION พร้อมกันนั้นจะพิจารณาค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงที่ได้หลังจากการแปลงด้วย ซึ่งในขั้นตอนนี้จะสามารถทราบว่าจำนวนสถานีเท่าใดที่เหมาะสม สำหรับการแปลงค่าพิกัดจีพีเอส ประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติปี ค.ศ. 2005 ด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY

ในแต่ละครั้งที่ MAPPING จะได้ค่า RMS และค่าพิกัดโครงข่าย อ้างอิงของประเทศไทย ด้วยทุกครั้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ค่าพิกัดของโครงข่ายทั้ง 6 สถานี ที่กล่าวข้างต้น มาแสดงผลเป็น กราฟเพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้ โดยจะใช้ค่าทางสถิติ 2 ค่า มาแสดงคือ ค่า MAX และ S.D. ซึ่งค่าพิกัด ที่ได้หลังจากการ MAPPING ในโปรแกรม GIPSY-OASIS II จะอยู่ในระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน (X,Y,Z) ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องทำการแปลงค่าพิกัดจากระบบคาร์ทีเซียนไปเป็นระบบ UTM ก่อน แล้ว หลังจากนั้นก็จะวิเคราะห์ผลจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิง ประเทศไทยกับจำนวนสถานี IGS ในแต่ละ COMBINATION

3.3.2 การศึกษาการกระจายตัวของสถานี IGS

จะนำตำแหน่งของสถานี IGS ทั้ง 24 สถานี ในปี ค.ศ. 2004 ไป PLOT บนแผนที่โลกและ แบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน หรือ 4 จตุภาค(Q) โดยให้ประเทศไทยอยู่ตรงกลาง แสดงดังภาพที่ 3.9 และตารางที่ 3.5



ภาพที่ 3.9 แสดงตำแหน่งสถานี IGS ในปี ค.ศ. 2004 จำนวน 24 สถานี

ตารางที่ 3.5 จำนวนสถานีและชื่อสถานี IGS ที่ใช้พิจารณาการกระจายตัว ในปี ค.ศ.2004

2004	Q1	Q2	Q3	Q4
1	ONSA	FAIR	COCO	TIDB
2	KOSG	YELL	KERG	KARR
3	KIT3	GOLD		YAR1
4	LHAS	KUNM		PERT
5	VILL	MKEA		BAKO
6	MAS1	SHAO		GUAM
7	ALGO	WUHN		PIMO
8				NTUS

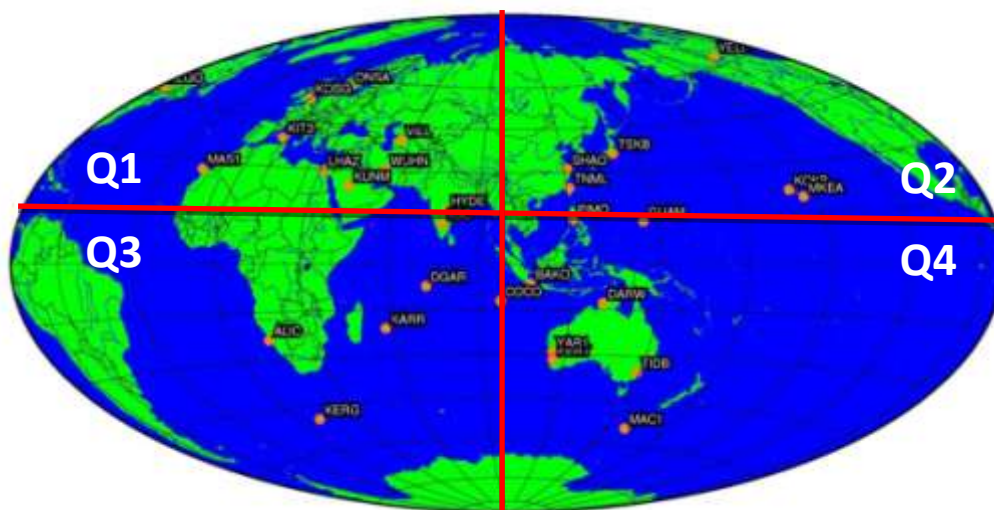
สถานี IGS ที่เลือกจากตารางจะแบ่งเป็น 4 จตุภาค (Q) ประกอบด้วย จำนวนสถานี IGS ใน Q1 มี 7 สถานี , Q2 มี 7 สถานี , Q3 มี 2 สถานี และ Q4 มี 8 สถานี ซึ่งจะพิจารณาดำเนินการกระจายตัวของสถานี IGS โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ

- การกระจายตัวของกลุ่มสถานี IGS จะแยกจตุภาคมาทำการ MAPPING โดยใช้ข้อมูลใน COMBINATION 4 และ 8 มาพิจารณา ดังนี้
 - COMBINATION 4 ใช้สถานี IGS ที่ตกอยู่ใน Q1, Q2 และ Q4 จำนวนจตุภาค ละ 4 สถานี เช่น ใน Q1 มี 7 สถานี เลือกมา 4 สถานี เป็นต้น (ใน Q2 ไม่ได้นำมาพิจารณา เนื่องจากมีจำนวน IGS เพียง 2 สถานี)
 - COMBINATION 8 ใช้สถานี IGS ที่ตกอยู่ใน Q4 เลือกมา 8 สถานี (ใน Q1, Q2 และ Q3 ไม่ได้นำมาพิจารณา เนื่องจากมีจำนวน IGS น้อยกว่า 8 สถานี)
- การกระจายตัวของสถานี IGS จะใช้ข้อมูลในแต่ละ จตุภาค มาทำการ MAPPING แบ่งออกเป็น COMBINATION 4 และ 8 ดังนี้
 - COMBINATION 4 จะเลือกสถานี IGS ที่ตกอยู่ใน Q1, Q2, Q3 และ Q4 สถานีจตุภาค ละ 1 สถานี มาทำการ MAPPING
 - COMBINATION 8 จะเลือกสถานี IGS ที่ตกอยู่ใน Q1, Q2, Q3 และ Q4 สถานีจตุภาค ละ 2 สถานี มาทำการ MAPPING

หลังจากนั้นนำค่าพิกัดที่ได้มาหาค่าทางสถิติ คือ S.D. วิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดของสถานีโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทยที่ได้จากการ MAPPING ของกลุ่ม IGS ที่เป็นกลุ่มตัวแทนการกระจาย และค่าพิกัดของสถานีโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทยที่ได้จากการ MAPPING

ของกลุ่ม IGS ที่เป็นกลุ่มตัวแทนการกระจาย โดยผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ทราบผลของการกระจายตัวของสถานี IGS ของปี 2004 นั้นมีผลต่อค่าพิคัดของโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทยจะเป็นอย่างไร

ส่วนในปี ค.ศ. 2008 จะพิจารณาเช่นเดียวกับปี ในปี ค.ศ. 2004 โดยใช้สถานี IGS จำนวน 30 สถานี มาแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน โดยให้ประเทศไทยอยู่ตรงกลางแสดงดังภาพที่ 3.10 และตารางที่ 3.6



ภาพที่ 3.10 แสดงตำแหน่งสถานี IGS ในปี ค.ศ. 2008 จำนวน 30 สถานี

ตารางที่ 3.6 จำนวนสถานีและชื่อสถานี IGS ที่ใช้พิจารณาการกระจายตัว ในปี ค.ศ.2008

2008	Q1	Q2	Q3	Q4
1	MAS1	SHAO	COCO	TIDB
2	ALGO	MKEA	KERG	ALIC
3	VILL	KOKB	DGAR	GUAM
4	HYDE	WUHN	IISC	YAR1
5	ONSA	YELL		KARR
6	KIT3	KUNM		PERT
7	KOSG	TSKB		MAC1
8	LHAZ	TNML		DARW
9				PIMO
10				BAKO

สถานี IGS ที่เลือกจากตารางใน 4 จตุภาค ประกอบด้วย Q1 8 สถานี , Q2 8 สถานี , Q3 4 สถานี และ Q4 10 สถานี ซึ่งจะพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ

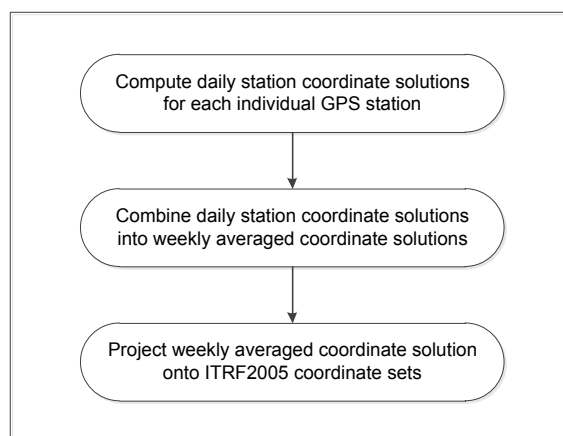
- การกระจายตัวของกลุ่มสถานี IGS จะแยก จตุภาค มาทำการ MAPPING โดยใช้ข้อมูลใน COMBINATION 4 และ COMBINATION 8 มาพิจารณา ดังนี้

- COMBINATION 4 ใช้สถานี IGS ที่ตกอยู่ใน Q1, Q2, Q3 และ Q4 จำนวน จตุภาค ละ 4 สถานี เช่น ใน Q1 มี 8 สถานี เลือกมา 4 สถานี เป็นต้น
 - COMBINATION 8 ใช้สถานี IGS ที่ตกอยู่ใน Q1, Q2 และ Q4 เลือกมา 8 สถานี (ใน Q3 ไม่ได้นำมาพิจารณา เนื่องจากมีจำนวน IGS น้อยกว่า 8 สถานี)
- การกระจายตัวของสถานี IGS จะใช้ข้อมูลในแต่ละ จตุภาค มาทำการ MAPPING แบ่งออกเป็น COMBINATION 4 และ COMBINATION 8 ดังนี้
- COMBINATION 4 จะเลือกสถานี IGS ที่ตกอยู่ใน Q1, Q2, Q3 และ Q4 สถานี จตุภาค ละ 1 สถานี มาทำการ MAPPING
 - COMBINATION 8 จะเลือกสถานี IGS ที่ตกอยู่ใน Q1, Q2, Q3 และ Q4 สถานี จตุภาค ละ 2 สถานี มาทำการ MAPPING

3.4 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY

GIPSY เป็นโปรแกรมวิทยาศาสตร์ที่ใช้ประมวลผลข้อมูล GPS แบบสมบูรณโดยใช้หลักการ PPP โดยจะประมวลผลบนระบบปฏิบัติการ LINUX โดยการทำงานจะใช้วิธีการป้อนคำสั่งแบบทีละ แถว (line by line) คล้าย DOS ดังนั้นผู้ใช้ต้องศึกษาคำสั่งที่ใช้บ่อยๆ เช่น DIR, COPY, REMOVE, CHMOD ฯลฯ สำหรับการดูผลลัพธ์จะใช้โปรแกรมที่มีอยู่ในระบบเช่น โปรแกรม VI (View editor) หรือ โปรแกรม PICO ก็ได้ ซึ่งจากประสบการณ์ของผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมICO เนื่องจากใช้ง่าย

โดยปกติการใช้โปรแกรม GIPSY จะต้องไปทำงานหน้าเครื่องเพราะเป็นโปรแกรมที่ติดตั้งอยู่ที่ ห้อง SERVER ชั้น 3 ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ทำให้มีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการทำงาน ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้โปรแกรมPuTTY ซึ่งเป็นโปรแกรมลูกข่ายที่ใช้เชื่อมต่อไปยังเครื่อง ผู้ให้บริการหรือ SERVER ผ่านโปรโตคอล Telnet หรือ SSH (secure shell) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถ login เพื่อใช้ทรัพยากรต่างๆ ของเครื่องผู้ให้บริการจากระยะไกลได้

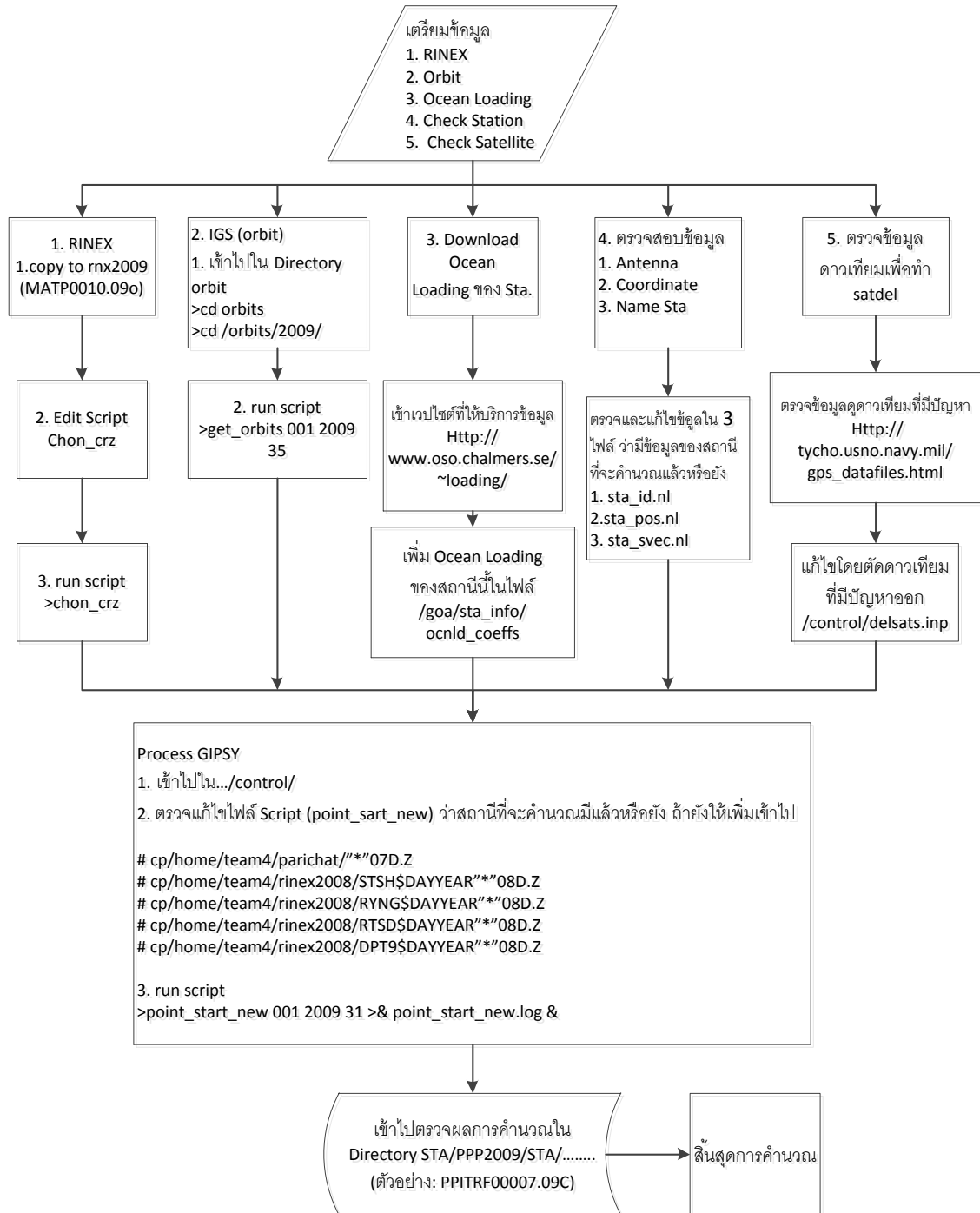


ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการประมวลผลด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II (Satirapod et al, 2008)

■ **ขั้นตอนที่ 1 การประมวลผลข้อมูล GPS แบบ PPP**

แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยๆ ได้แก่ การเตรียมข้อมูลและการประมวลผล

ดั่งภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมประมวลผลจุดเดียวด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II

(สมชาย เกரியงไกรวศิน, 2552)

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

- ส่วนที่ 1 การเตรียมข้อมูล RINEX

เมื่อได้ข้อมูลการรังวัดจากสนามมาแล้วจะต้องตรวจสอบและแก้ไขรูปแบบข้อมูลที่ได้จากสนามให้เป็นรูปแบบมาตรฐานของข้อมูลการรังวัด GPS รูปแบบนั้น คือ RINEX FILE ซึ่งในขั้นนี้จะต้องใช้ script ชื่อ `chon_crz` เพื่อจะทำการบีบอัดไฟล์ให้อยู่ในรูปไฟล์ที่บีบอัด และทำการแก้ไขไฟล์นี้ โดยการใช้โปรแกรมแก้ไข และใส่ชื่อไฟล์ RINEX ทุกไฟล์ที่จะทำการคำนวณ

- ส่วนที่ 2 เตรียมข้อมูลวงโคจร จาก JPL

1. เข้าไปใน ไดเรกทอรี `orbits` แล้ว run script ที่ชื่อ `get_orbits`

```
> cd /home/punlop/orbits/2004/
> ls
```
2. พิมพ์ `get_orbits` ตามด้วย วันเริ่มต้นที่ต้องการจะคำนวณ เช่น 299 ตามด้วย ปีที่จะคำนวณ 2004 และจำนวนวันที่ต้องการ 7 เช่น 299 2004 7 ตามด้วยไฟล์ที่จะเก็บข้อมูล รายงานการผิดพลาดที่เกิด ถ้ามี error เกิดขึ้น

```
> get_orbits 299 2004 7 > &get_orbits.log&
```

- ส่วนที่ 3 (ในกรณีที่ไม่เคยมีค่าแก้ไขในสถานีที่จะคำนวณมาก่อน ถ้ามีแล้วไม่ต้องทำขั้นตอนนี้)

1. เข้าไปใน website ที่ให้บริการค่าแก้ไข <http://www.oso.chalmers.se/~loading/> (OSO, 2012)
2. ใส่ค่าพิกัดของสถานีนี้พร้อมชื่อสถานีของจีพีเอสในช่องที่ website กำหนด
3. ทาง website ที่ให้บริการจะส่งข้อมูลมาให้ทาง email address ที่เราให้ไว้ใน website
4. ค่าแก้ไขนี้จะส่งกลับมาให้เราในเวลาประมาณ 1-5 นาที ขึ้นอยู่จำนวนสถานีที่ส่งไป คำนวณว่าอย่างน้อยแค่ไหน
5. นำค่าที่ได้ copy มาใส่ในไฟล์ `/goa/sta_info/ocnld_co coeffs` (ไฟล์นี้จะเก็บอยู่ในไดเรกทอรี ที่เก็บโปรแกรมหลักของ GIPSY จะอนุญาตให้เฉพาะผู้ที่ Root เท่านั้นในการแก้ไขไฟล์ ข้อมูลเกี่ยวกับ ocean loading แสดงดังภาพที่

```

$$ Computed by OLMPP by H G Scherneck, Onsala Space Observatory, 2004
$$ RYNG,          RADI TANG lon/lat: 101.0328 12.7644
.00225 .00093 .00042 .00040 .00402 .00258 .00131 .00056 .00070 .00037 .00034
.00205 .00105 .00047 .00031 .00138 .00131 .00046 .00029 .00008 .00003 .00001
.00088 .00036 .00024 .00007 .00142 .00083 .00046 .00017 .00005 .00002 .00003
-169.7 -47.6 173.7 -79.6 -76.7 -110.3 -78.8 -129.8 -171.0 -175.0 -178.3
132.2 148.6 122.4 149.9 2.8 -21.7 0.5 -27.2 -35.5 -26.4 -153.1
-69.1 -70.3 -83.6 -74.0 91.8 59.1 89.8 50.9 12.1 16.7 2.5
$$ END TABLE

```

ภาพที่ 3.13 ข้อมูลเกี่ยวกับ Ocean loading

- ส่วนที่ 4 ตรวจสอบข้อมูลเสาอากาศ ชื่อสถานี และค่าพิกัดของสถานีที่จะคำนวณ(ในกรณีที่ไม่เคยคำนวณสถานีนี้มาก่อน ถ้าเคยคำนวณแล้ว ไม่ต้องทำขั้นตอนนี้ โดยตรวจสอบจาก 3 ไฟล์ที่อยู่ในไฟล์ PPP2004 ดังนี้

> cd/home/punlop/PPP2004/

> ls

> vi sta_id.nl (เป็นการเปิดโปรแกรมที่ใช้ในการ edit file)

ในการแก้ไขให้กด shift r (จะเป็นการสั่งให้พิมพ์ทับข้อมูล) หลังจากแก้ไขแล้วให้กด esc แล้วพิมพ์ :wq (เป็นการจบการแก้ไข และออกจากโปรแกรม vi) ทำการแก้ไขทั้ง 3 ไฟล์ ดังแสดงผลลัพธ์ดังภาพที่ 3.14

- sta_id.nl จะเป็นไฟล์ที่เก็บชื่อสถานี
- sta_pos.nl จะเป็นไฟล์ที่เก็บค่าพิกัดของสถานี
- sta_svec.nl จะเป็นไฟล์ที่เก็บชื่อของเสาอากาศ และความสูงของเสาอากาศ

```

sta_id:
ID S/N Description
...
NTUS 0 Singapore, IGS GPS
RYNG 0 RYNG, DEOS SITE GPS
...

sta_pos:          1x coordinates + velocities from starting epoch possible
ID YYYY MM DD hh:mm:ss.ssss period(dy) X(m) Y(m) Z(m) U(m/yr) V(m/yr) W(m/yr) Com
...
NTUS 2004 03 01 00:00:00.00 2592000. -1508022.7277 6195576.7791 148799.4563 0.00000000e-00 0.00000000e-00 0.00000000e-00 !
RYNG 2004 03 01 00:00:00.00 2592000. -1190631.9239 6106576.0607 1400007.2095 0.00000000e-00 0.00000000e-00 0.00000000e-00
...

sta_svec:          Any tie is given as: X Y Z Hght c or E N U Hght l
ID(to) ID(fr) MM DD hh:mm:ss.ssss period(s) Ant. Type S1(m) S2(m) S3(m) Hght(m) lc Com.
...
NTUS NTUS 2004 03 01 00:00:00.00 2678400.00 ACAD_M_T 00.0000 00.0000 00.0000 0.0776 1 IGS
RYNG RYNG 2004 03 01 00:00:00.00 2678400.00 LEIAT504 00.0000 00.0000 00.0000 0.0760 1

```

ภาพที่ 3.14 ส่วนประกอบของข้อมูลเกี่ยวกับสถานีรังวัด

- ส่วนที่ 5 ตรวจสอบดาวเทียมที่มีปัญหาของแต่ละวันที่ทำการคำนวณว่า ในช่วงวันเวลาของข้อมูลที่จะคำนวณมีดาวเทียมดวงไหนที่มีปัญหาบ้าง ในช่วงเวลาดังกล่าว

1. เข้าไปใน http://tycho.usno.navy.mil/gps_datafiles.html แล้วเข้าไปใน Satellite Index เลือกรายที่ต้องการ
2. เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าดาวเทียมที่มีปัญหาในวันที่จะใช้คำนวณ ให้ทำการแก้ไข โดยเปิดไฟล์ delsats.inp แล้ว mark SVN number ของดาวเทียมที่มีปัญหาลงในไฟล์ delsats.inp ซึ่งอยู่ในไดเรกทอรี
.../punlop/PPP2004/control/

ขั้นตอนการประมวลผล

จะทำการคำนวณค่าพิกัด โดยใช้ script ที่ชื่อ point_start_new

1. ก่อนคำนวณ ทำการตรวจสอบว่ามีไฟล์ .chsrc กับ .netrc อยู่ในไดเรกทอรีของเราหรือยัง ถ้ายังไม่มีต้อง copy มาใส่ก่อน เพราะทั้ง 2 ไฟล์ เป็นตัวกำหนด environment ของโปรแกรม และ config ของโปรแกรมให้สอดคล้องกับที่เก็บข้อมูลของเรา เช่น

```
setenv STA_ID/goa/sta_info/sta_id.nl
setenv STA_POS/goa/sta_info/sta_pos.nl
setenv STA_SVEC/goa/sta_info/sta_svec.nl
setenv TMPDIR/home/punlop/scratch
```

2. เข้าไปในไดเรกทอรีที่จะทำการคำนวณ

```
>cd / punlop/PPP2004/control/
```

```
>ls (เมื่อ list ดูจะพบว่า script ที่ชื่อว่า point_start_new)
```

```
> ก่อนจะทำการคำนวณต้องเรียก script นี้มาตรวจแก้ก่อนโดยดูว่ามีการระบุไฟล์ที่จะคำนวณไว้แล้วหรือยังเนื่องจากไฟล์ที่จะคำนวณเราเก็บไว้ใน RINEX 2004
```

3. จะใส่เครื่องหมาย # หน้าบรรทัดที่ไม่ต้องการใช้ในการคำนวณดังในภาพตัวอย่างจะเป็นการสั่งในการทำ copy ข้อมูลของสถานี MATP ทั้งหมดในไดเรกทอรี RINEX2004 มาไว้ในไดเรกทอรีของโปรแกรมที่จะใช้ในการคำนวณ

4. ทำการคำนวณโดยพิมพ์

```
> point_start_new 299 2004 7 > & point_start_new.log&
```

5. โปรแกรมจะทำการคำนวณตามคำสั่ง (ในตัวอย่างคำสั่งจะเป็นการสั่งให้คำนวณ โดยเริ่มคำนวณตั้งแต่วันที่ 25-31 ตุลาคม ปี 2004 เป็นจำนวนวันที่ต้องการคำนวณทั้งหมด 7 วัน) โดยโปรแกรมจะเก็บผลการคำนวณค่าพิกัดทั้งหมดใน/ punlop/PPP2004/STA/

ไฟล์ผลลัพธ์ในขั้นตอนนี้จะเก็บเป็นชื่อ PP แล้วตามด้วยชื่อสถานีด้วยตัวอักษร 4 ตัว และชื่อวันที่คำนวณ เช่น PPBANH305.04C แสดงว่า ไฟล์นี้เป็นผลลัพธ์ในขั้นตอน PPP เป็นของสถานี BANH จ.ชุมพร คำนวณของข้อมูลวันที่ 305 (GPS DAY) ของปี ค.ศ. 2004 เป็นต้น โดยจะแสดงตัวอย่างผลลัพธ์ ดังภาพที่ 3.15

3 PARAMETERS ON 04OCT31.				
NO.	IGS	AXIS	POSITION	S.D.
1	BANH	STA X	-0.988985481173389E+06 +-	0.291506114499409E-02
2	BANH	STA Y	0.619131638412125E+07 +-	0.652253386516674E-02
3	BANH	STA Z	0.116658101565066E+07 +-	0.138925221774473E-02
2	1		-0.110882250712112E+00	
3	1		-0.248769611282808E-04	
3	2		0.577156643435166E+00	
BANH ANTENNA LC		1.4932	0.0004	0.0018 !up north east (m)
! Reference frame: free-network				

ภาพที่ 3.15 ไฟล์ผลลัพธ์ในขั้นตอนการประมวลผลแบบ PPP

■ ขั้นตอนที่ 2 การหาค่าพิกัดเฉลี่ยรายสัปดาห์

ขั้นตอนการหาค่าพิกัดเฉลี่ยรายสัปดาห์จะเริ่มด้วยขั้นตอนที่กำหนดไว้ในแต่ละวัน ในแต่ละขั้นตอนจะขจัดค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ออกไปให้มากที่สุดและต่อไปจะเป็นขั้นตอนการนำค่าพิกัดที่ได้มารวมเป็นค่าเฉลี่ยรายวัน(DAILY SOLUTION) โดยใช้คำสั่ง campaign_combine เช่น

```
> campaign_combine 299 2004 7 >& campaign_combine.log &
```

ผลลัพธ์จะเก็บไฟล์ในชื่อ PF305305.04C ดังภาพที่ 3.16

111 PARAMETERS ON 04OCT31.				
NO.	IGS	AXIS	POSITION	S.D.
1	ALGO	STA X	0.918129292090735E+06 +-	0.108040324116580E-02
2	ALGO	STA Y	-0.434607129653371E+07 +-	0.283961622589264E-02
3	ALGO	STA Z	0.456197785806475E+07 +-	0.270610624073451E-02
4	BAKO	STA X	-0.183696899525804E+07 +-	0.237168800856669E-02
5	BAKO	STA Y	0.606561713703948E+07 +-	0.505586861268350E-02
6	BAKO	STA Z	-0.716257801411131E+06 +-	0.105542265899431E-02

ภาพที่ 3.16 ไฟล์ผลลัพธ์ของการหาค่าพิกัดเฉลี่ยรายสัปดาห์

ส่วนค่า RMS จะแสดงในไฟล์ station.rms.wkxx เช่น station.rms.wk45 ดังตัวอย่าง

DAY	DOY	IGS	RMS (S.D.) (N)	RMS (S.D.) (E)	RMS (S.D.) (U)	
0001	310	BAKO	1.1 (0.798)	0.1 (1.446)	2.2 (3.737)	--
0001	311	BAKO	-0.0 (0.795)	2.2 (1.479)	-5.3 (3.694)	--
0001	312	BAKO	-1.3 (0.803)	0.3 (1.508)	2.6 (3.704)	--
0001	313	BAKO	-1.6 (0.794)	0.3 (1.518)	-2.8 (3.728)	--
0001	314	BAKO	-0.2 (0.788)	-0.6 (1.466)	-0.6 (3.707)	--
0001	315	BAKO	-0.5 (0.810)	2.5 (1.545)	3.7 (3.752)	--
0001	316	BAKO	2.7 (0.804)	-4.0 (1.547)	4.7 (3.784)	--
0001	317	BAKO	0.5 (0.824)	-0.2 (1.535)	0.2 (3.877)	--
0001	318	BAKO	0.3 (0.827)	0.6 (1.476)	-0.8 (3.909)	--
0001	319	BAKO	-0.2 (0.791)	-0.5 (1.416)	-2.7 (3.730)	--
0001	320	BAKO	-0.5 (0.805)	-1.1 (1.570)	-1.1 (3.816)	--

TOTAL RMS	BAKO		1.11	1.64	2.90	(11/11)
SCALE RMS	BAKO		2.93	2.25	1.64	(11/11)

ภาพที่ 3.17 ค่า RMS ของการหาค่าพิกัดเฉลี่ยรายสัปดาห์

■ ขั้นตอนที่ 3 การยึดตริงผลลัพธ์ค่าพิกัดเฉลี่ยของโครงข่ายเข้ากับกรอบ ITRF

ขั้นตอนการ MAPPING หรือการยึดตริงผลลัพธ์ค่าพิกัดเฉลี่ยของโครงข่ายเข้ากับกรอบ ITRF จะเป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบ PPP ของแต่ละสถานีในโครงข่าย ซึ่งยังไม่ได้ถูกยึดตริงเข้ากับระบบพิกัดใดๆ จะถูกนำมาแปลงค่าพิกัดเข้าสู่กรอบ ITRF ที่ต้องการ โดยเลือกสถานี IGS ที่มีความเสถียรเป็นจุดร่วมอย่างน้อย 3 จุด สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ ทั้ง 7 ตัว และนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไปใช้ในการแปลงค่าพิกัดของโครงข่ายทั้งหมดจากพื้นหลักฐานดาวเทียม เป็น ITRF2005 จะต้องมีไฟล์นำเข้า 2 ไฟล์ คือ

- โครงข่าย IGS ที่เลือกซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นค่าพิกัดแบบ PPP จำนวน 1 ไฟล์
- ไฟล์ค่าพิกัดของโครงข่ายประเทศไทย ค่าพิกัดแบบ PPP จำนวน 1 ไฟล์

ในการพิจารณาเลือกชุดสถานีใหม่ในการศึกษาต้องใช้การ MAPPING หลายครั้ง สิ่งสำคัญในการ MAPPING แต่ละครั้งจะต้องสร้างไฟล์ notused.txt (หมายถึง สถานีที่ไม่ใช้ในการประมวลผล จะระบุชื่อในไฟล์นี้) เพื่อจะเป็นการทำให้โปรแกรมทราบว่าจะต้องใช้สถานีใดในการ MAPPING แต่ละครั้งโดยไม่ต้องทำทุกขั้นตอนใหม่ตั้งแต่เริ่ม

การประมวลผล MAPPING ใช้คำสั่ง stacov_itrf05map ที่อยู่ใน script random_run.sh (เป็น script ที่ผู้วิจัยเขียนขึ้นมา) ผลลัพธ์ที่ได้จากการ MAPPING ประกอบด้วย ค่าพิกัดของสถานี IGS ที่เลือกและค่าพิกัดของโครงข่ายประเทศไทยที่อยู่ในกรอบอ้างอิง ITRF2005 ดังตัวอย่างไฟล์ชื่อ PFITRF04305.CMB ดังภาพที่ 3.18

180 PARAMETERS ON 04OCT28.						
NO.	IGS	AXIS	POSITION		S.D.	
1	ALGO	STA X	0.918129376973195E+06	+-	0.167717020811492E-02	
2	ALGO	STA Y	-0.434607127040707E+07	+-	0.430826938576254E-02	
3	ALGO	STA Z	0.456197785700652E+07	+-	0.412914020794641E-02	
4	ARAU	STA X	-0.113105201956470E+07	+-	0.357061033976510E-02	
5	ARAU	STA Y	0.623631170505285E+07	+-	0.118698201025756E-01	
6	ARAU	STA Z	0.711748150306512E+06	+-	0.274754593687922E-02	

ภาพที่ 3.18 ไฟล์ผลลัพธ์ที่ได้จากการ MAPPING

ค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพื้นหลักฐานทั้ง 3 ค่า (ประกอบด้วย ค่าเลื่อน 3 ค่า , ค่าการหมุน 3 ค่า และค่ามาตราส่วน 1 ค่า) จะถูกเก็บไว้ในไฟล์ ชื่อ XFILE แล้วตามด้วยวันที่ทำการ MAPPING ตัวอย่าง xfile312.08 แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3.19

CHI^2	=	0.5732E+01				
DOF	=	80				
CHI^2/DOF	=	0.07				
RX	=	-.3282E-07	+-	0.9219E-09	rad	
RY	=	-.6067E-07	+-	0.4571E-09	rad	
RZ	=	0.7387E-06	+-	0.4536E-09	rad	
TX	=	0.9253E-02	+-	0.3144E-02	m	
TY	=	0.2760E-02	+-	0.3356E-02	m	
TZ	=	0.2955E-02	+-	0.3440E-02	m	
S	=	-.7312E-09	+-	0.4502E-09	parts	
POSITION DIFFERENCES AND ERRORS IN MM.						
NAME	N	E	V	SN	SE	SV
ALGO	8.4	-3.2	9.5	*****	*****	*****
BAKO	-1.8	-1.0	-1.1	*****	*****	*****
COCO	-7.3	1.8	5.5	*****	*****	*****

ภาพที่ 3.19 ไฟล์แสดงชุดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงพื้นหลักฐานแต่ละชุดในแต่ละ COMBINATIONS

ค่า RMS ของการแปลงจะแสดงในไฟล์ mapping.rms.wk45 ซึ่งประกอบด้วย ค่า RMS ของแต่ละสถานี และค่า RMS ทั้งหมด (OVERALL RMS) แสดงดังภาพที่ 3.20

CODE	DOY	IGS	RMS (S.D.) (N)	RMS (S.D.) (E)	RMS (S.D.) (U)	+-
0060	302	YELL	1.4 (1.733)	3.2 (1.254)	2.9 (5.495)	+-
0061	302	KUNM	-2.0 (1.812)	0.5 (2.682)	3.2 (9.307)	+-
0100	302	NTUS	-2.2 (99.999)	-1.6 (99.999)	-6.0 (99.999)	-P-
0101	302	GUAM	-0.8 (1.189)	-1.3 (1.473)	-12.6 (6.114)	+-
0105	302	WUHN	-3.0 (1.292)	2.7 (1.814)	12.6 (5.695)	+-
0140	302	KERG	-3.2 (99.999)	-1.7 (99.999)	1.2 (99.999)	-P-

OVERALL RMS			2.3	2.2	8.4	(10)
0 out of 10 coordinate solutions (partially) downweighted:						
Limits: 500 500 500 mm						
Iteration started						
Iteration ended (1 It.)						

ภาพที่ 3.20 ไฟล์แสดงค่า RMS ของการแปลงค่าพิกัดเข้าสู่กรอบอ้างอิง ITRF2005

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาประกอบด้วย การศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดเข้าสู่กรอบอ้างอิง ITRF2005 และการศึกษาการกระจายตัวของ สถานี IGS ทั้งช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว (ปี 2004) และช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหว (ปี 2008)

4.1 การศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดเข้าสู่กรอบอ้างอิง ITRF2005

ประกอบด้วย ผลการศึกษาช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ คือ ปี 2004 และช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหว คือ ปี 2008 ดังจะแสดงผลตามลำดับดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว

ข้อมูลสถานีที่เลือกใช้หลังจากพิจารณาข้อมูลทางกายภาพของแต่ละสถานี (ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2) ได้แก่ เลือกใช้สถานีฐาน IGS ที่สร้างตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996, สถานี IGS อยู่ห่างจากจุดเกิดแผ่นดินไหว, เป็นสถานีที่ไม่มีการกระโดดของ Time series และเลือกสถานีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอากาศบ่อยครั้ง ทำให้เหลือจำนวนสถานี 29 สถานี จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการตัดสถานีที่ไม่ดีออก โดยจะนำสถานีที่ผ่านการคัดเลือกทางกายภาพมาทำการ MAPPING ทั้งหมด และดูค่า RMS ของแต่ละสถานี ว่ามีค่าเป็นอย่างไร โดยจะใช้เกณฑ์ $MEAN \pm 2SD$ (ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%) มาใช้ในการพิจารณาตัดสถานี IGS ที่ RMS เกินช่วงเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งหากค่าเกินเพียงแกนใดแกนหนึ่งใน 3 แกน ก็จะทำให้ทำการตัดสถานีนั้นออก เพราะถือว่าถ้าเลือกใช้สถานีดังกล่าว จะส่งผลทำให้ RMS ของชุดสถานีที่เลือกนั้นมี ค่า RMS ที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังตารางที่ 4.1 ค่าเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาค่า RMS ทางแกน N อยู่ในช่วง ± 4.4 mm, E อยู่ในช่วง $(-6.5 - 5.9)$ mm และทางแกนดิ่ง U อยู่ในช่วง $(-17.3 - 15.7)$ mm จะพบว่าสถานี IGS ที่มีค่าเกินเกณฑ์ทาง N คือ MAC1 (5.3 mm), สถานีที่มีค่าเกินเกณฑ์ทาง E คือ TSKB (-8.8 mm) และ IISC (6.3 mm) และสถานีที่มีค่าเกินเกณฑ์ทาง U คือ DARW (16.5mm) และ KOKB (-24.1 mm) ดังนั้นสามารถตัดสถานีที่ไม่ดีออกได้ 5 สถานี คงเหลือสถานีที่ใช้ในการ MAPPING จำนวน 24 สถานี

หลังจากนั้นทำการสุ่มเลือกชุดสถานี IGS ที่ใช้ในแต่ละ COMBINATION มาทำการ MAPPING โดยสุ่มชุดสถานี IGS ตั้งแต่ 4-24 สถานี โดยอาศัยหลักการเลือกกลุ่มตัวอย่างของ Yamane ซึ่งใช้กลุ่มตัวอย่าง อย่างน้อยประมาณ 400 กลุ่มตัวอย่าง แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 500 ชุดสถานี การเลือกกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวจะใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา

JAVAScript (รายละเอียด Script แสดงในภาคผนวก ง) เพื่อช่วยในการเลือกกลุ่มตัวอย่างของสถานี IGS ตามจำนวนที่ต้องการ

ตารางที่ 4.1 การคัดเลือกสถานีที่ไม่ดีออกโดยใช้เกณฑ์ $MEAN \pm 2SD$ ปี 2004

No.	Station	N (mm)	E (mm)	U (mm)
1	BAKO	1.6	-4.6	-3.5
2	KIT3	-1.4	4.2	4.0
3	TIDB	4.3	-0.5	9.6
4	TSKB	0.5	<u>-8.8</u>	-1.4
5	YAR1	-0.8	0.2	-9.0
6	COCO	-2.4	-2.2	4.4
7	DARW	0.9	4.9	<u>16.5</u>
8	KARR	1.6	-2.1	-13.2
9	ALGO	-0.4	0.8	4.4
10	FAIR	-1.2	-3.2	4.4
11	GOLD	2.1	-1.6	-0.6
12	KOKB	1.1	-3.4	<u>-24.1</u>
13	KOSG	-3.2	-1.5	-5.9
14	YELL	-0.1	3.6	3.5
15	KUNM	-0.5	1.5	4.5
16	SHAO	0.7	-1.1	-1.6
17	NTUS	-0.6	-1.2	-4.6
18	GUAM	-0.6	-0.6	-11.8
19	IISC	1.3	<u>6.3</u>	-9.7
20	LHAS	-4.4	2.5	6.4
21	WUHN	-1.9	3.7	13.8
22	PERT	-0.7	0.3	-4.0
23	ONSA	-3.6	-1.4	2.0
24	MAC1	<u>5.3</u>	1.6	-0.6
25	KERG	-0.4	-1.7	2.5
26	MAS1	-0.3	-2.2	0.6
27	VILL	-1.8	-1.8	0.1
28	MKEA	2.7	-0.8	-4.8
29	PIMO	2.8	-0.6	-5.2
	MEAN	0.02	-0.33	-0.80
	SD	2.21	3.10	8.24
	MEAN-2SD	-4.4	-6.5	-17.3
	MEAN+2SD	4.4	5.9	15.7

เมื่อได้กลุ่มตัวอย่างทุก COMBINATION แล้วจะนำกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวมาสร้างเป็นไฟล์ notused.txt ที่แสดงถึงสถานีที่ไม่ใช้ ซึ่งในโปรแกรม GIPSY จะนำไฟล์นี้ไปใช้ประมวลผลในขั้นตอน MAPPING เช่น กรณีเลือก 4 COMBINATION จากกลุ่ม IGS ทั้งหมด 24 สถานี ประกอบด้วยสถานี KARR-PERT-GUAM-PIMO มาสร้างไฟล์ notused.txt ดังนั้นไฟล์นี้จะไม่มีการใช้สถานีทั้งสี่ข้างต้นในไฟล์ notused

เมื่อได้ไฟล์ notused.txt แล้วจะนำไปใช้คำนวณในขบวนการ MAPPING จะได้ผลลัพธ์ดัง
แสดงในภาพที่ 4.1 ดังนี้

CODE	DOY	IGS	RMS (S.D.) (N)	RMS (S.D.) (E)	RMS (S.D.) (U)	
0001	302	BAKO	-0.7 (99.999)	-3.0 (99.999)	7.0 (99.999)	-P-
0002	302	KIT3	-8.6 (99.999)	10.6 (99.999)	19.9 (99.999)	-P-
0005	302	TIDB	4.1 (99.999)	2.8 (99.999)	13.1 (99.999)	-P-
0006	302	TSKB	-1.3 (99.999)	-13.8 (99.999)	10.2 (99.999)	-P-
0007	302	YAR1	-2.3 (99.999)	2.0 (99.999)	-2.0 (99.999)	-P-
0008	302	COCO	-4.5 (99.999)	-0.0 (99.999)	14.9 (99.999)	-P-
0009	302	DARW	0.0 (99.999)	6.3 (99.999)	24.0 (99.999)	-P-
0010	302	KARR	0.0 (1.284)	-0.3 (2.158)	-5.3 (6.082)	-+-
0051	302	ALGO	16.2 (99.999)	10.3 (99.999)	13.2 (99.999)	-P-
0052	302	FAIR	10.9 (99.999)	-10.4 (99.999)	15.0 (99.999)	-P-
0053	302	GOLD	18.6 (99.999)	1.3 (99.999)	5.4 (99.999)	-P-
0055	302	KOKB	11.4 (99.999)	-4.7 (99.999)	-19.0 (99.999)	-P-
0056	302	KOSG	-2.6 (99.999)	14.4 (99.999)	8.7 (99.999)	-P-
0060	302	YELL	16.3 (99.999)	3.5 (99.999)	13.6 (99.999)	-P-
0061	302	KUNM	-5.8 (99.999)	2.1 (99.999)	18.3 (99.999)	-P-
0098	302	SHAO	-3.6 (99.999)	-3.5 (99.999)	11.2 (99.999)	-P-
0100	302	NTUS	-3.5 (99.999)	0.5 (99.999)	7.0 (99.999)	-P-
0101	302	GUAM	-0.4 (1.189)	-2.4 (1.473)	-2.8 (6.114)	-+-
0102	302	IISC	-2.8 (99.999)	10.7 (99.999)	4.6 (99.999)	-P-
0103	302	LHAS	-10.7 (99.999)	4.6 (99.999)	21.2 (99.999)	-P-
0105	302	WUHN	-6.8 (99.999)	2.3 (99.999)	27.1 (99.999)	-P-
0134	302	PERT	-2.2 (1.379)	2.2 (2.049)	2.7 (5.822)	-+-
0136	302	ONSA	-5.2 (99.999)	13.9 (99.999)	16.9 (99.999)	-P-
0139	302	MAC1	4.0 (99.999)	6.0 (99.999)	0.8 (99.999)	-P-
0140	302	KERG	-0.2 (99.999)	-1.9 (99.999)	8.8 (99.999)	-P-
0141	302	MAS1	7.6 (99.999)	13.1 (99.999)	12.5 (99.999)	-P-
0306	302	VILL	2.4 (99.999)	14.1 (99.999)	13.7 (99.999)	-P-
0309	302	MKEA	13.6 (99.999)	-1.2 (99.999)	-0.3 (99.999)	-P-
0311	302	PIMO	-0.1 (1.585)	-1.2 (2.110)	6.2 (7.978)	-+-

OVERALL1 RMS			1.1	1.7	4.5	(4)

ภาพที่ 4.1 แสดงข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการ MAPPING

จากตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม GIPSY จะได้ค่า RMS ของแต่ละสถานีที่
เลือกใช้โดยมีเครื่องหมาย (-+-) กำกับอยู่ด้านท้ายของ ชื่อสถานีที่เลือก ในแต่ละ COMBINATION
ซึ่งจะมี COMBINATION ละ 500 ตัวอย่าง ดังแสดงตามตารางที่ 4.2 เป็นตัวอย่างค่า OVERALL
RMS ของ COMBINATION 6 ที่ผ่านการ MAPPING ซึ่งจะนำค่าที่ได้มาหาค่า MEAN, MAX และ

S.D. ของ RMS เพื่อเป็นตัวแทนของการ MAPPING ของ COMBINATION 6 โดยมีค่า MEAN RMS ทางแกน N, E และ U เท่ากับ 2.1, 1.8 และ 5.6 ตามลำดับ MAX RMS ทางแกน N, E และ U เท่ากับ 4.2, 3.8 และ 10.1 ตามลำดับ และมีค่า S.D. RMS ทางแกน N, E และ U เท่ากับ 0.7, 0.6 และ 1.7 ตามลำดับ โดยผลลัพธ์ของค่า MEAN RMS, MAX RMS และ S.D. RMS ของทุก COMBINATION ตั้งแต่ 4-24 COMBINATION แสดงดังตารางที่ 4.3

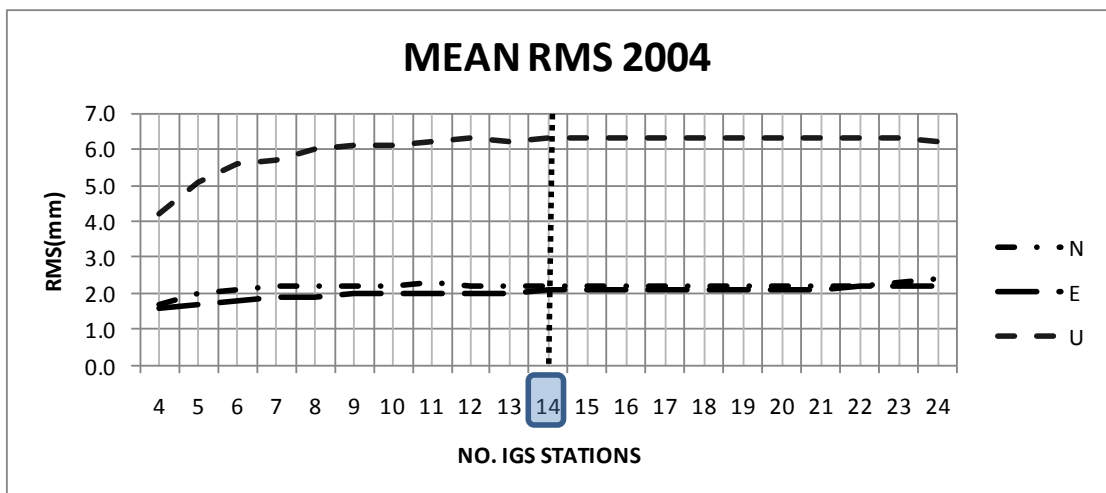
ตารางที่ 4.2 ค่าสถิติในการวิเคราะห์และประมวลผลด้วย GIPSY-OASIS II (กรณี 6 สถานีจำนวน 500 ชุดข้อมูล)

Statistics	N (mm)	E (mm)	U (mm)
MEAN	2.1	1.8	5.6
MAX	4.2	3.8	10.1
S.D.	0.7	0.6	1.7

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าทางสถิติ (MEAN, MAX และ S.D.) ของทุก COMBINATION ในปี 2004

No.	No.IGS Stations	MEAN RMS (mm)			MAX RMS (mm)			S.D. RMS (mm)		
		N	E	U	N	E	U	N	E	U
1	4	1.7	1.6	4.2	4.8	4.0	11.5	0.9	0.7	2.2
2	5	2.0	1.7	5.1	5.1	3.8	11.4	0.9	0.7	2.1
3	6	2.1	1.8	5.6	4.2	3.8	10.1	0.7	0.6	1.7
4	7	2.2	1.9	5.7	4.5	3.2	9.8	0.7	0.5	1.5
5	8	2.2	1.9	6.0	3.9	3.4	9.7	0.6	0.5	1.3
6	9	2.2	2.0	6.1	3.8	3.3	9.1	0.5	0.4	1.3
7	10	2.2	2.0	6.1	3.9	3.0	8.7	0.5	0.4	1.2
8	11	2.3	2.0	6.2	3.7	2.9	8.5	0.5	0.4	1.0
9	12	2.2	2.0	6.3	3.8	3.0	8.3	0.5	0.4	0.9
10	13	2.2	2.0	6.2	3.4	2.8	8.1	0.4	0.3	0.9
11	14	2.2	2.1	6.3	3.6	2.7	7.8	0.4	0.3	0.8
12	15	2.2	2.1	6.3	3.2	2.6	7.6	0.3	0.3	0.6
13	16	2.2	2.1	6.3	3.3	2.6	7.4	0.3	0.2	0.6
14	17	2.2	2.1	6.3	3.2	2.5	7.2	0.3	0.2	0.6
15	18	2.2	2.1	6.3	3.0	2.5	7.0	0.3	0.2	0.5
16	19	2.2	2.1	6.3	2.9	2.4	7.0	0.3	0.2	0.4
17	20	2.2	2.1	6.3	2.9	2.4	6.8	0.2	0.1	0.4
18	21	2.2	2.1	6.3	2.8	2.3	6.6	0.2	0.1	0.3
19	22	2.2	2.2	6.3	2.7	2.3	6.5	0.2	0.1	0.2
20	23	2.3	2.2	6.3	2.5	2.2	6.4	0.2	0.1	0.1
21	24	2.4	2.2	6.2	2.4	2.2	6.2	0.0	0.0	0.0

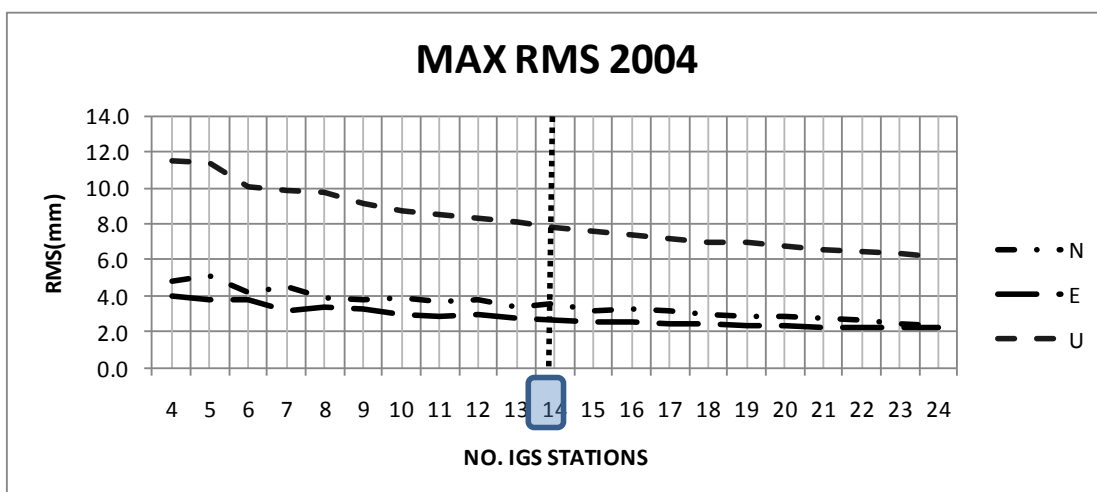
จากตาราง พบว่า การใช้จำนวนสถานี IGS ตั้งแต่ 4-24 สถานีมา MAPPING จะได้ค่า MEAN RMS ในแนวแกนทั้งสามจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ IGS 4-14 และหลังจากนั้นจะมีค่าคงที่เกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยค่าตามแนวแกน N อยู่ในช่วง 1.7-2.4 mm, แกน E 1.6-2.2 mm และแกน U 4.2-6.3 mm ค่า MAX RMS ในแนวแกน N ลดลงอยู่ในช่วง 5.1-2.4 mm, แกน E 4.0-2.2 mm และแกน U 11.5-6.2 mm ส่วนค่า S.D. RMS ในแนวแกน N ลดลงเช่นเดียวกันอยู่ในช่วง 0.9-0 mm, แกน E 0.7-0 mm และแกน U 2.2-0 mm สามารถแสดงผลเป็นกราฟเส้น โดยแยกกราฟออกเป็นสามกราฟ ดังภาพที่ 4.2 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MEAN RMS กับ จำนวนสถานี IGS และ ภาพที่ 4.3 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MAX RMS กับ จำนวนสถานี IGS และ ภาพที่ 4.4 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า S.D. RMS กับ จำนวนสถานี IGS ตามลำดับ โดยแกนตั้งเป็นค่าของ RMS มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร แกนนอนแสดงถึงจำนวนสถานีของ IGS ที่ใช้ในการ MAPPING และจะเส้นกราฟ 3 เส้นจะแสดงค่าต่างๆ ตามแกนทั้งสาม โดยกำหนดให้เส้นขีดสั้นแล้วตามด้วยจุด (.) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน N กับจำนวนสถานี IGS เส้นขีดยาวต่อเนื่อง (—) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน E กับจำนวนสถานี IGS และ เส้นขีดสั้นต่อเนื่อง (—) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน U กับจำนวนสถานี IGS ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MEAN RMS กับ จำนวนสถานี IGS

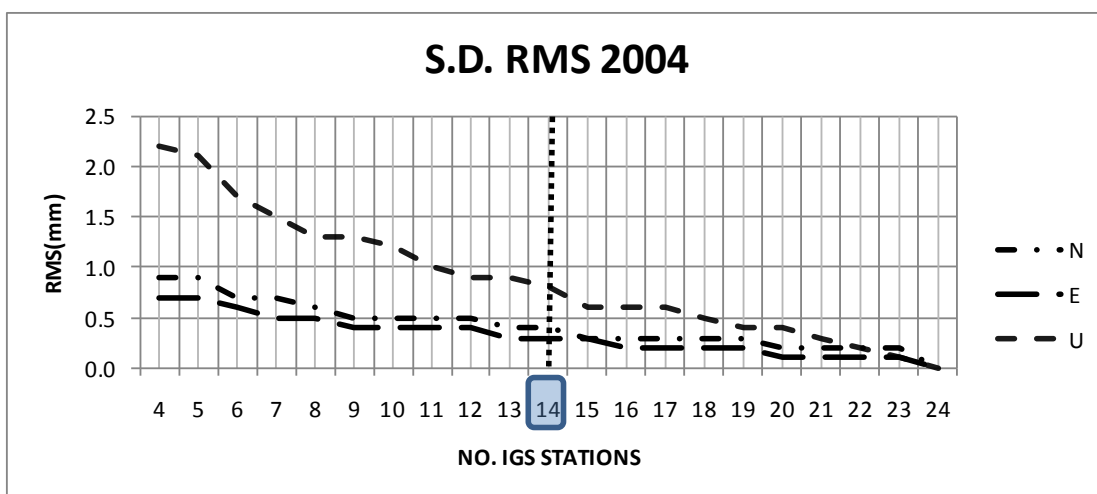
จากกราฟพบว่า เมื่อพิจารณาว่า MEAN RMS ของทั้ง 3 แกน ในช่วงตั้งแต่ COMBINATION 4-14 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกแกน ในช่วงแรก กราฟจะมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูง และตั้งแต่ COMBINATION 14-24 เส้นกราฟจะมีแนวโน้มคงที่เกือบเป็นเส้นตรง เพราะฉะนั้นถ้า

พิจารณาจากเส้นกราฟแล้ว ค่า MEAN RMS ที่เริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเส้นกราฟมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ทั้งสามแกนโดยเริ่มตั้งแต่ IGS 14 เป็นต้นไป และจากการพิจารณาค่า MEAN RMS เพียงอย่างเดียวจะเห็นว่าค่าต่างของ RMS ของ COMBINATION 14-24 ทาง N มีค่าต่างเพียง 0.2 mm ทาง E 0.1 mm และทาง U 0.1 mm ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดของปี ค.ศ. 2004 คือ ที่ 14 สถานี แต่ผู้วิจัยได้ใช้ค่าสถิติตัวอื่นมาพิจารณาร่วมด้วยคือ ค่า MAX RMS ดังแสดงในภาพที่ 4.3 และ S.D. RMS ดังแสดงในภาพที่ 4.4 จะพบว่าค่า MAX RMS และ S.D. RMS ยังมีแนวโน้มลดลงอีก ซึ่งนั่นหมายความว่า ณ ที่ IGS 14 ไปจนถึง IGS 24 ค่า RMS ยังมีแนวโน้มลดลงอีก ดังนั้นถ้าใช้จำนวนสถานี IGS ที่มากที่สุดจะมีผลทำให้ค่า MAX RMS และ ค่า S.D. RMS น้อยที่สุดด้วย แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเลือกจุดที่เหมาะสม ซึ่งสำหรับผู้วิจัยจะเลือกที่ 14 สถานีก็เป็นการเพียงพอแล้วเนื่องจากผลต่างของค่า MEAN RMS ที่ได้ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.3 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MAX RMS กับ จำนวนสถานี IGS

จากกราฟพบว่า เมื่อพิจารณาค่า MAX RMS ของทั้ง 3 แกน ในช่วงตั้งแต่ COMBINATION 4-24 จะมีแนวโน้มลดลงทุกแกน โดยในช่วงแรกตั้งแต่ COMBINATION 4-14 กราฟจะมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูง และตั้งแต่ COMBINATION 14-24 เส้นกราฟจะมีแนวโน้มลดลงค่อนข้างเป็นเส้นตรง และจะเห็นว่าค่าต่างของ RMS ของ COMBINATION 14-24 ทาง N มีค่าต่างเพียง 0.5 mm ทาง E 0.5 mm และทาง U 1.6 mm ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดของปี ค.ศ. 2004 คือ ที่ 14 สถานี ซึ่งจะเท่ากับจำนวนสถานีที่เหมาะสมเมื่อใช้ค่า MEAN RMS มาพิจารณา



ภาพที่ 4.4 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า S.D. RMS กับ จำนวนสถานี IGS

จากกราฟพบว่า เมื่อพิจารณาค่า S.D. RMS ของทั้ง 3 แกน ในช่วงตั้งแต่ COMBINATION 4-24 จะมีแนวโน้มลดลงทุกแกนเช่นเดียวกับแนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MAX RMS และ จำนวนสถานี IGS ดังกล่าวข้างต้น โดยในช่วงแรกตั้งแต่ COMBINATION 4-14 กราฟจะมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูง และตั้งแต่ COMBINATION 14-24 เส้นกราฟจะมีแนวโน้มลดลงค่อนข้างเป็นเส้นตรง และจะเห็นว่าค่าต่างของ RMS ของ COMBINATION 14-24 ทาง N มีค่าต่างเพียง 0.4 mm ทาง E 0.3 mm และทาง U 0.8 mm ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดของปี คศ. 2004 คือ ที่ 14 สถานี ซึ่งจะเท่ากับจำนวนสถานีที่เหมาะสมเมื่อใช้ค่า MEAN RMS และค่า MAX RMS มาพิจารณา

จากผลข้างต้นผู้วิจัยได้ใช้ค่า MEAN RMS, MAX RMS, และ S.D. RMS มาพิจารณาหาจำนวน IGS ที่เหมาะสมของการแปลงค่าพิกัดประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิง ITRF2005 โดยค่าทางสถิติทั้งสามค่านั้นจะได้จำนวนสถานีที่เหมาะสมเท่ากันคือ ที่ 14 สถานี และหลังจากนั้น ผู้วิจัยได้นำค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทยทั้ง 6 หมู่ที่ได้หลังจากการแปลงในแต่ละ COMBINATION มาหาค่าสถิติของค่าพิกัดในแต่ละแกนใหม่ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) มาพิจารณา โดยจะมีรายละเอียดในการพิจารณาดังนี้

สำหรับจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดของ ประเทศไทยนั้นผู้วิจัยได้ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดของหมู่โครงข่ายอ้างอิงสำหรับประเทศไทย ทั้ง 6 หมู่ มาพิจารณา พบว่า สถานี BANH จ.ชุมพร มีค่า S.D. ของค่าพิกัดในแนวแกน N ลดลงอยู่ในช่วง 3.1-0 mm, แกน E 2.5-0 mm และแกน U 5.5-0 mm, สถานี CHON จ.ชลบุรี มีค่า S.D. ของค่าพิกัด

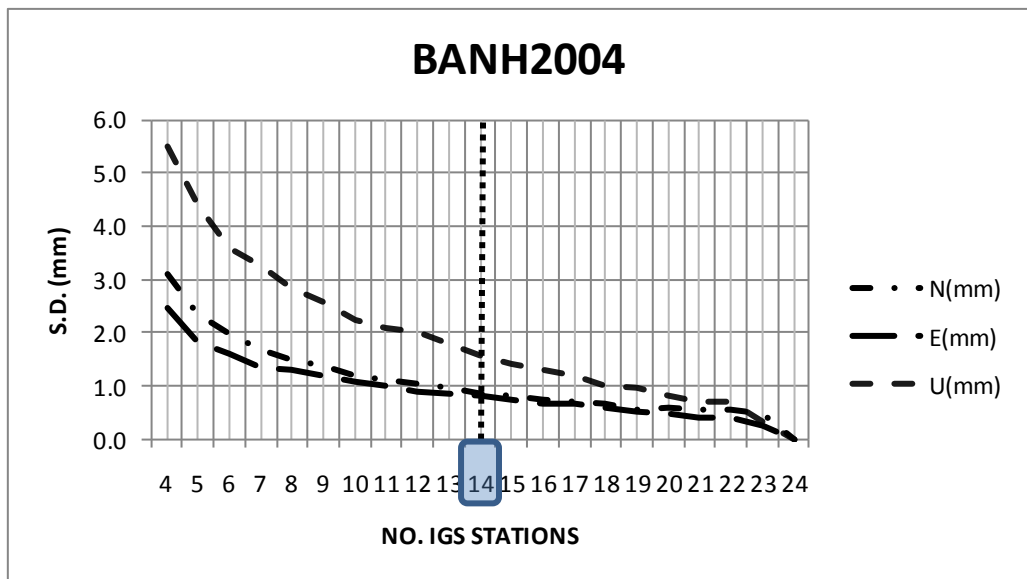
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดหมุดอ้างอิงอิฐHUK, SRIS และ UTHA ปี 2004

No.	No. IGS Stations	PHUK (mm)			SRIS (mm)			UTHA (mm)		
		N	E	U	N	E	U	N	E	U
1	4	3.0	2.5	5.6	3.0	2.3	5.4	3.2	2.5	5.5
2	5	2.3	1.8	4.5	2.4	1.7	4.3	2.5	1.8	4.4
3	6	1.9	1.6	3.6	2.0	1.5	3.6	2.1	1.6	3.6
4	7	1.7	1.4	3.2	1.7	1.3	3.2	1.7	1.4	3.2
5	8	1.5	1.3	2.9	1.5	1.3	2.9	1.6	1.3	2.8
6	9	1.3	1.2	2.6	1.4	1.1	2.5	1.4	1.2	2.5
7	10	1.1	1.1	2.3	1.2	1.0	2.2	1.2	1.1	2.2
8	11	1.1	1.0	2.1	1.2	0.9	2.1	1.2	1.0	2.1
9	12	1.0	0.9	2.0	1.1	0.9	2.0	1.1	0.9	2.0
10	13	1.0	0.9	1.8	1.0	0.8	1.8	1.0	0.8	1.7
11	14	0.8	0.8	1.6	0.9	0.8	1.6	0.9	0.8	1.5
12	15	0.8	0.7	1.4	0.8	0.7	1.4	0.9	0.7	1.4
13	16	0.7	0.7	1.3	0.8	0.7	1.3	0.8	0.7	1.2
14	17	0.7	0.6	1.1	0.7	0.7	1.2	0.7	0.6	1.1
15	18	0.6	0.5	1.0	0.7	0.6	1.0	0.7	0.6	0.9
16	19	0.6	0.5	1.0	0.6	0.6	0.9	0.6	0.6	0.9
17	20	0.6	0.4	0.8	0.6	0.5	0.8	0.6	0.5	0.8
18	21	0.5	0.4	0.7	0.6	0.5	0.7	0.5	0.5	0.7
19	22	0.5	0.4	0.7	0.6	0.5	0.7	0.5	0.5	0.7
20	23	0.4	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3
21	24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

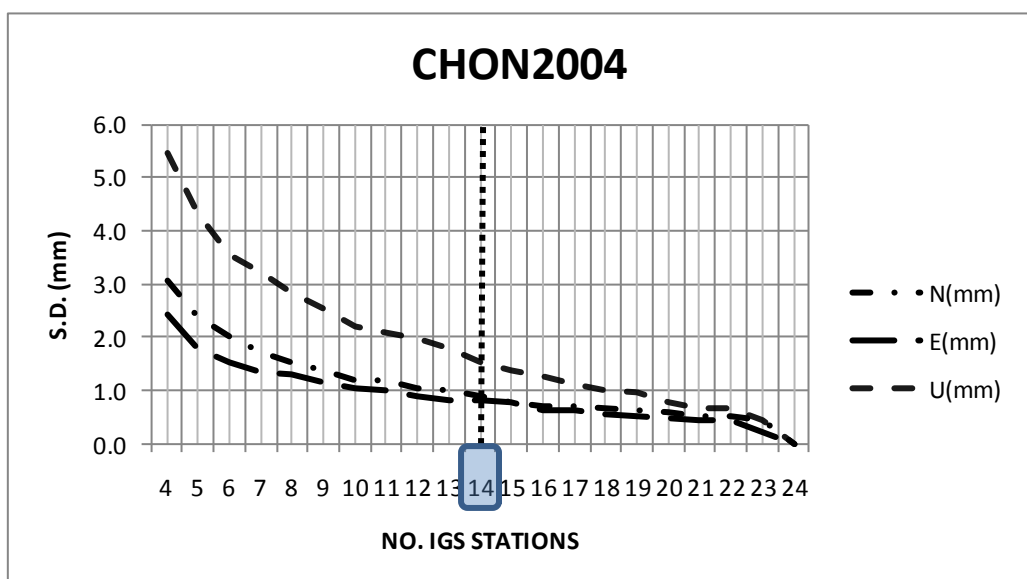
เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.4 และ 4.5 มาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS กับ S.D ของค่าพิกัดอ้างอิงทั้ง 6 หมุด โดยให้แกนนอนเป็นจำนวนสถานี IGS ที่ใช้ในการ MAPPING ตั้งแต่ 4 -24 สถานี และแกนตั้งเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดและเส้นกราฟที่แสดงจะประกอบด้วยเส้นขีดสั้นแล้วตามด้วยจุด (.) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน N กับจำนวนสถานี IGS เส้นขีดยาวต่อเนื่อง (—) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน E กับจำนวนสถานี IGS และเส้นขีดสั้นต่อเนื่อง (_) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน U กับจำนวนสถานี IGS ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.5-4.10

จากกราฟพบว่า แนวโน้มของเส้นกราฟที่แสดงค่า S.D. ทั้ง 3 แกน ในแนว N, E และ U ของค่าพิกัดหมุดอ้างอิงโครงข่ายประเทศไทยทั้ง 6 หมุด มีค่าลดลงตามจำนวน IGS ที่เพิ่มขึ้น และ

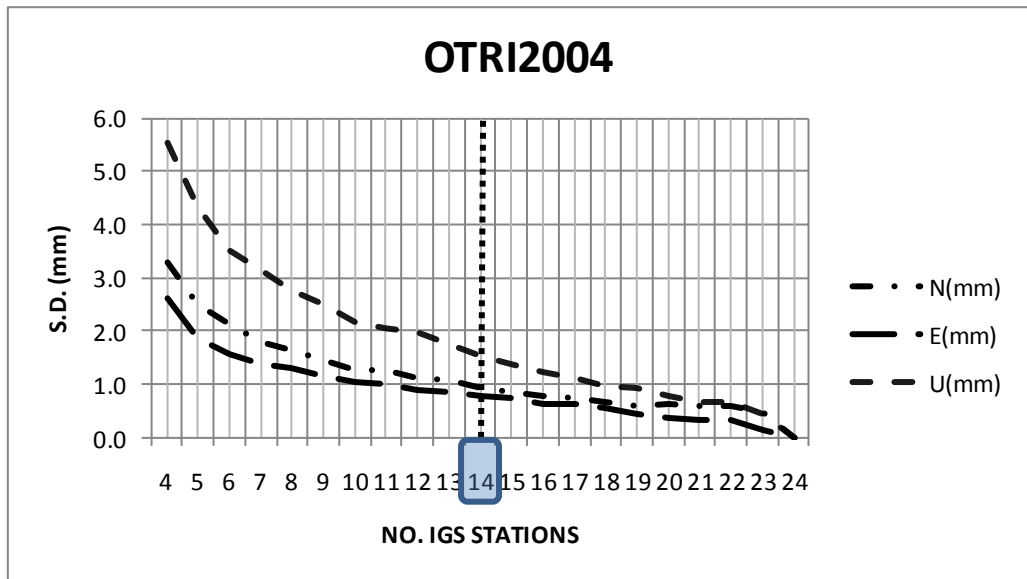
จะเห็นว่าลักษณะของเส้นกราฟ ในช่วงแรกตั้งแต่ COMBINATION 4-14 กราฟจะมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูง และตั้งแต่ COMBINATION 14-24 เส้นกราฟจะมีแนวโน้มลดลงค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งจะเห็นว่าค่าต่างของ S.D. ของ COMBINATION 14-24 ทางแกน N และ E มีค่าต่างเพียง 1 mm และแกน U เพียง 2 mm ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดของปี ค.ศ. 2004 คือ ที่ 14 สถานี



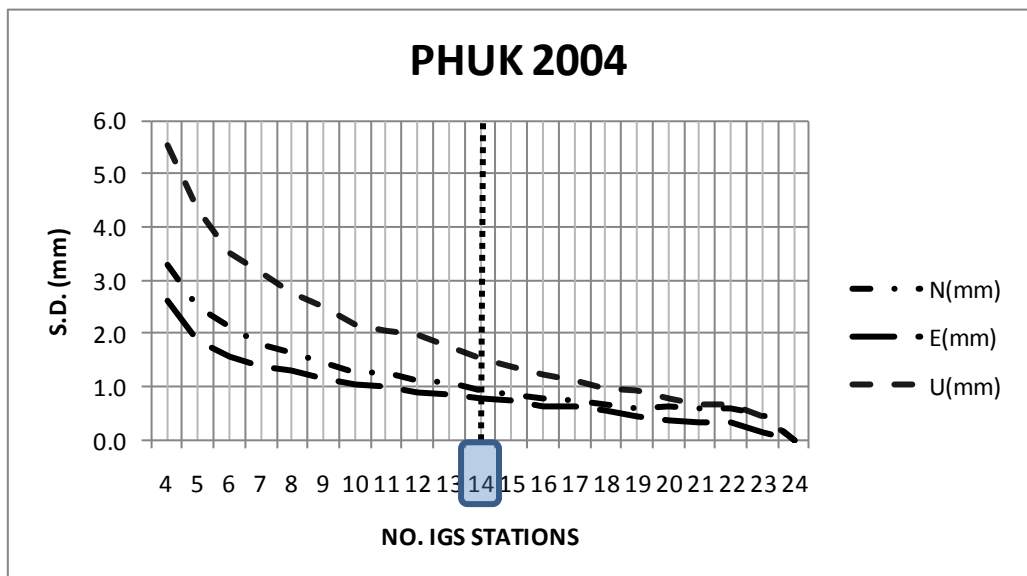
ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมด BANH ปี 2004



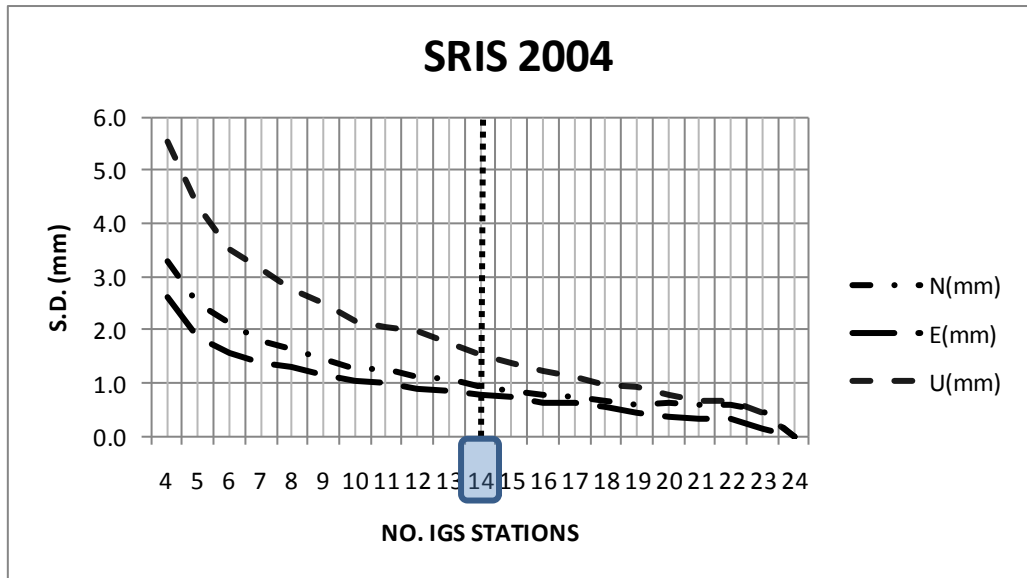
ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมด CHON ปี 2004



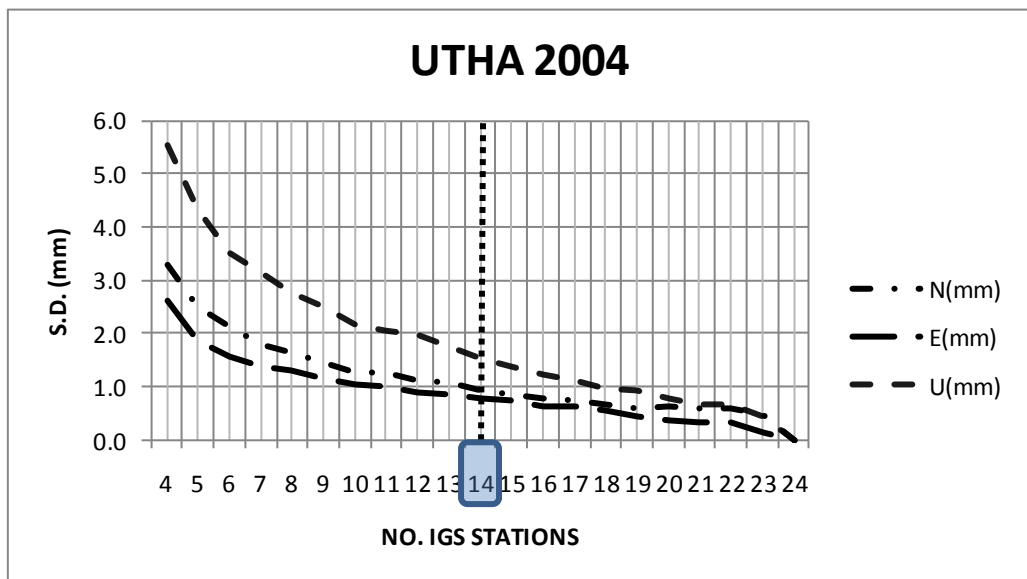
ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด OTRI ปี 2004



ภาพที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด PHUK ปี 2004



ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด SRIS ปี 2004



ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด UTHA ปี 2004

4.1.2 ผลการศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหว

ข้อมูลสถานีที่เลือกใช้ในปี ค.ศ.2008 จำนวน 32 สถานี จะใช้หลักการพิจารณาตัดสถานีที่ไม่ดีออกเช่นเดียวกับกับปี ค .ศ.2004 คือ ใช้เกณฑ์ $MEAN \pm 2SD$ ทำให้ได้ค่าเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาค่าทางแกน N, E และ U ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การคัดเลือกสถานีที่ไม่ดีออกโดยใช้เกณฑ์ $MEAN \pm 2SD$ ปี 2008

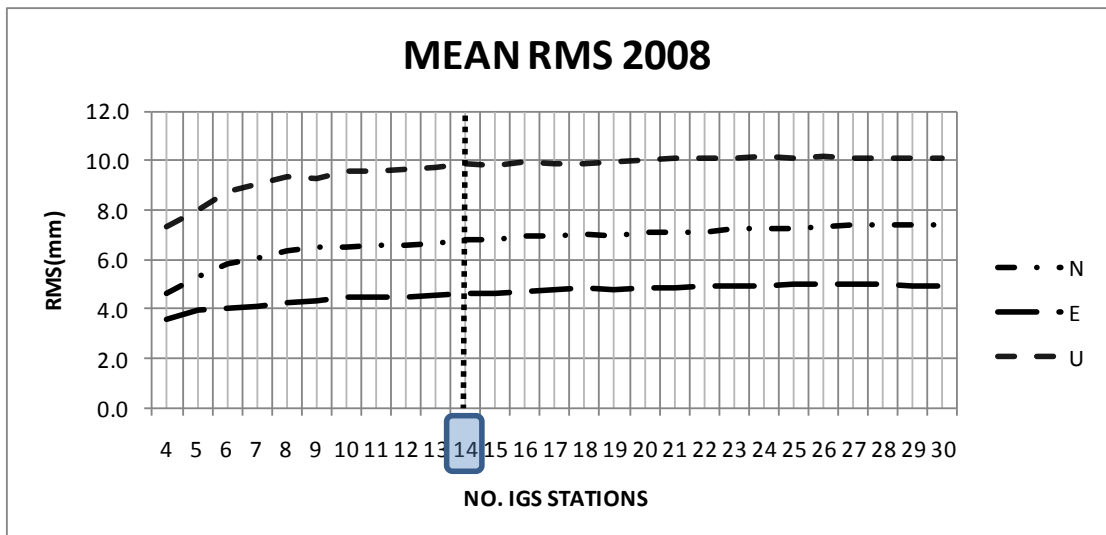
No.	IGS Station	N (mm)	E (mm)	U (mm)
1	BAKO	-7.9	-0.3	-13.1
2	KIT3	10.2	1.7	-1.6
3	TIDB	-4.4	-2.6	4.5
4	TSKB	5.0	16.8	17.2
5	YAR1	2.6	-0.4	-9.7
6	COCO	20	-2.1	8.5
7	DARW	10.3	2.2	7.7
8	KARR	5.9	2.4	-18.7
9	ALGO	-6.5	-0.3	7.8
10	FAIR	<u>50.4</u>	2.3	<u>-95.6</u>
11	KOKB	0.9	13.5	6.6
12	KOSG	-0.4	-5.7	-17.0
13	YELL	-8.5	1.6	10.8
14	KUNM	0.5	5.5	-25.8
15	SHAO	0.7	7.7	5.2
16	NTUS	<u>-35.1</u>	<u>-46.7</u>	-16.7
17	GUAM	11.0	6.6	10.8
18	IISC	6.4	6.5	-2.4
19	WUHN	0.5	11.7	16.4
20	PERT	-3.3	3.3	24.7
21	ONSA	2.3	-5.1	-1.0
22	MAC1	-17.8	-10.7	10.2
23	KERG	9.7	16.4	-10.6
24	MAS1	4.4	0.6	-2.5
25	VILL	0.8	-4.4	7.9
26	DGAR	8.1	5.0	1.3
27	MKEA	4.5	1.0	0.8
28	PIMO	14.2	2.9	9.9
29	ALIC	2.8	1.5	17.9
30	HYDE	-5.2	0.8	18.6
31	LHAZ	11.6	13.4	-7.1
32	TNML	9.4	4.9	-0.3
	MEAN	3.1	1.6	-1.2
	S.D.	13.1	10.7	20.7
	MEAN-2 S.D.	-23.1	-19.8	-42.6
	MEAN+2 S.D.	29.3	23.0	40.2

จากตารางข้างต้นจะพบว่า ค่าเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาค่าทางแกน N อยู่ในช่วง (-) 23.1-29.3 mm, E อยู่ในช่วง (-) 19.8-23.0 mm และทางแกนดิ่ง U อยู่ในช่วง (-) 42.6-40.2 mm จะพบว่าสถานี IGS ที่มีค่าเกินเกณฑ์ คือ FAIR (N = 50.4 mm, U = -95.6 mm) และ NTUS (N = -35.1 mm, E = -46.7 mm) ดังนั้นสามารถตัดสถานีที่ไม่ดีออกได้ 2 สถานี คงเหลือสถานีในการ MAPPING จำนวน 30 สถานี

ตารางที่ 4.7 ตารางผลลัพธ์ของค่าทางสถิติ (MEAN, MAX และ S.D.) ของทุก COMBINATION ในปี 2008

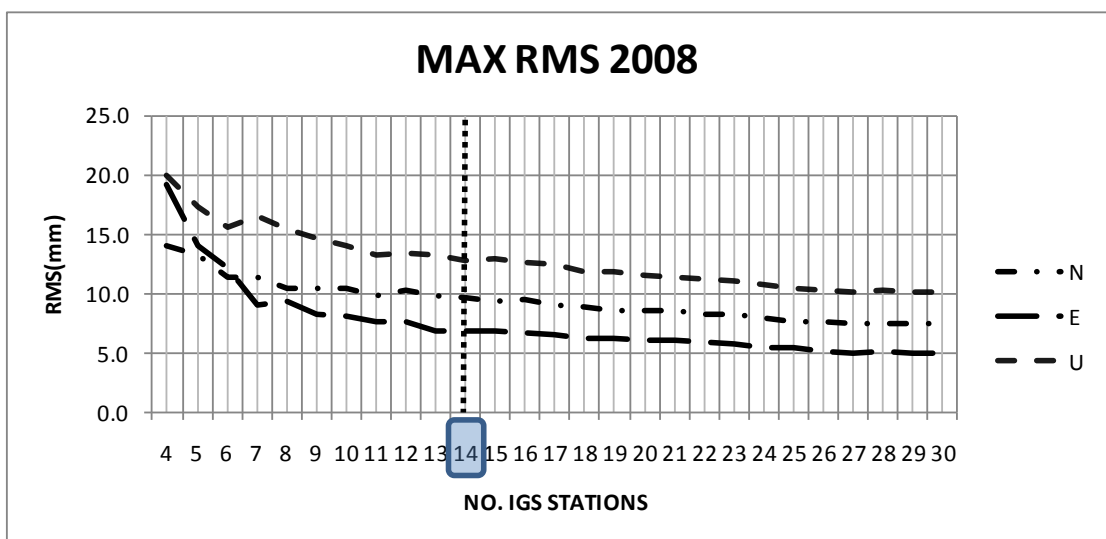
No.	No. IGS Stations	MEAN RMS (mm)			MAX RMS (mm)			S.D. RMS (mm)		
		N	E	U	N	E	U	N	E	U
1	4	4.6	3.6	7.3	14.1	19.2	20.0	2.5	2.2	3.5
2	5	5.3	3.9	8.0	13.3	14.0	17.3	2.3	1.8	3.0
3	6	5.9	4.0	8.7	11.4	12.1	15.6	2.0	1.6	2.6
4	7	6.0	4.1	9.1	11.3	9.0	16.5	1.8	1.4	2.5
5	8	6.3	4.2	9.3	10.4	9.4	15.5	1.7	1.3	2.2
6	9	6.5	4.4	9.3	10.5	8.3	14.6	1.6	1.2	1.9
7	10	6.5	4.5	9.6	10.4	8.1	14.1	1.5	1.2	1.8
8	11	6.6	4.5	9.6	9.8	7.7	13.2	1.3	1.1	1.6
9	12	6.6	4.5	9.7	10.3	7.7	13.4	1.3	1.0	1.6
10	13	6.7	4.5	9.7	9.8	6.9	13.3	1.2	0.9	1.5
11	14	6.8	4.6	9.9	9.6	6.8	12.8	1.2	0.9	1.4
12	15	6.8	4.7	9.8	9.3	6.9	12.9	1.1	0.8	1.2
13	16	7.0	4.7	10.0	9.5	6.7	12.6	0.9	0.8	1.2
14	17	7.0	4.8	9.8	9.0	6.5	12.4	0.9	0.7	1.0
15	18	7.0	4.9	9.9	8.8	6.3	11.9	0.9	0.7	1.0
16	19	7.0	4.8	10.0	8.6	6.2	11.9	0.8	0.6	0.9
17	20	7.1	4.8	10.0	8.6	6.0	11.6	0.7	0.6	0.8
18	21	7.1	4.9	10.1	8.5	6.0	11.3	0.7	0.5	0.7
19	22	7.1	4.9	10.1	8.2	5.9	11.2	0.6	0.5	0.6
20	23	7.2	5.0	10.1	8.2	5.7	11.0	0.5	0.4	0.6
21	24	7.3	5.0	10.2	8.0	5.5	10.7	0.4	0.3	0.5
22	25	7.2	5.0	10.1	7.7	5.4	10.5	0.3	0.3	0.4
23	26	7.3	5.0	10.1	7.6	5.2	10.3	0.2	0.2	0.3
24	27	7.4	5.0	10.1	7.4	5.0	10.1	0.2	0.2	0.3
25	28	7.4	5.0	10.1	7.4	5.2	10.3	0.2	0.2	0.2
26	29	7.4	4.9	10.1	7.4	5.0	10.2	0.1	0.1	0.1
27	30	7.4	4.9	10.1	7.4	4.9	10.1	0.0	0.0	0.0

จากตารางที่ 4.7 พบว่า การใช้จำนวนสถานี IGS ตั้งแต่ 4-30 สถานีมา MAPPING จะได้ค่า MEAN RMS ในแนวแกนทั้งสามจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ IGS 4-14 และหลังจากนั้นจะมีค่าคงที่เกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยค่าตามแนวแกน N อยู่ในช่วง 4.6-7.4 mm, แกน E 3.6-5.0 mm และแกน U 7.3-10.1 mm ค่า MAX RMS ในแนวแกน N ลดลงอยู่ในช่วง 14.1-7.4 mm, แกน E 19.2-4.9 mm และแกน U 20.0-10.1 mm ส่วนค่า S.D. RMS ในแนวแกน N ลดลงเช่นเดียวกันอยู่ในช่วง 2.5-0 mm, แกน E 2.2-0 mm และแกน U 3.5-0 mm สามารถแสดงผลเป็นกราฟเส้น โดยแยกกราฟออกเป็นสามกราฟ ดังภาพที่ 4.11 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MEAN RMS กับ จำนวนสถานี IGS และ ภาพที่ 4.12 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MAX RMS กับ จำนวนสถานี IGS และ ภาพที่ 4.13 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า S.D. RMS กับ จำนวนสถานี IGS ตามลำดับโดยแกนตั้งเป็นค่าของ RMS มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร แกนนอนแสดงถึงจำนวนสถานีของ IGS ที่ใช้ในการ MAPPING และจะมีเส้นกราฟ 3 เส้น แสดงค่าต่างๆ ตามแกนทั้งสาม ประกอบด้วย เส้นขีดสั้นแล้วตามด้วยจุด (.) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน N กับจำนวนสถานี IGS เส้นขีดยาวต่อเนื่อง (—) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน E กับจำนวนสถานี IGS และ เส้นขีดสั้นต่อเนื่อง (—) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน U กับจำนวนสถานี IGS ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MEAN RMS กับ จำนวนสถานี IGS

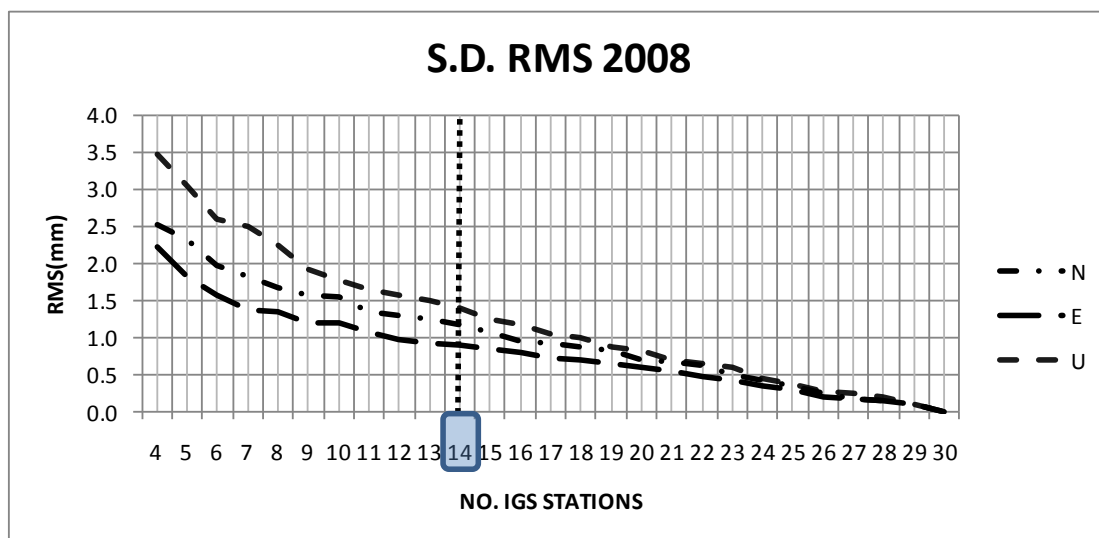
จากกราฟพบว่า เมื่อพิจารณาค่า MEAN RMS ของทั้ง 3 แกน ในช่วงตั้งแต่ COMBINATION 4-14 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกแกน ในช่วงแรก กราฟจะมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูง และตั้งแต่ COMBINATION 14-30 เส้นกราฟจะมีแนวโน้มคงที่เกือบเป็นเส้นตรง เพราะฉะนั้นถ้าพิจารณาจากเส้นกราฟแล้ว ค่า MEAN RMS ที่เริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเส้นกราฟมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ทั้งสามแกนโดยเริ่มตั้งแต่ IGS 14 เป็นต้นไป และจากการพิจารณาค่า MEAN RMS เพียงอย่างเดียวจะเห็นว่าค่าต่างของ RMS ของ COMBINATION 14-30 ทาง N มีค่าต่างเพียง 0.6 mm ทาง E 0.4 mm และทาง U 0.2 mm ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดของปี ค.ศ. 2008 คือ ที่ 14 สถานี แต่ผู้วิจัยได้ใช้ค่าสถิติตัวอื่นมาพิจารณาร่วมด้วยคือ ค่า MAX RMS ดังแสดงในภาพที่ 4.12 และ S.D. RMS ดังแสดงในภาพที่ 4.13 จะพบว่าค่า MAX RMS และ S.D. RMS ยังมีแนวโน้มลดลงอีก ซึ่งนั่นหมายความว่า ณ ที่ IGS 14 ไปจนถึง IGS 30 ค่า RMS ยังมีแนวโน้มลดลงอีก ดังนั้นถ้าใช้จำนวนสถานี IGS ที่มากที่สุดจะมีผลทำให้ค่า MAX RMS และ ค่า S.D. RMS น้อยที่สุดด้วย แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเลือกจุดที่เหมาะสม ซึ่งสำหรับผู้วิจัยจะเลือกที่ 14 สถานีก็เป็นการเพียงพอแล้วเนื่องจากผลต่างของค่า MEAN RMS ที่ได้ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.12 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MAX RMS กับ จำนวนสถานี IGS

จากกราฟพบว่า เมื่อพิจารณาค่า MAX RMS ของทั้ง 3 แกน ในช่วงตั้งแต่ COMBINATION 4-30 จะมีแนวโน้มลดลงทุกแกน โดยในช่วงแรกตั้งแต่ COMBINATION 4-14 กราฟจะมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูง และตั้งแต่ COMBINATION 14-30 เส้นกราฟจะมีแนวโน้มลดลงค่อนข้างเป็นเส้นตรง

และจะเห็นว่าค่าต่างของ RMS ของ COMBINATION 14-30 ทาง N มีค่าต่างเพียง 2.2 mm ทาง E 1.9 mm และทาง U 2.7 mm ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดของปี ค.ศ. 2008 คือ ที่ 14 สถานี ซึ่งจะเท่ากับจำนวนสถานีที่เหมาะสมเมื่อใช้ค่า MEAN RMS มาพิจารณา



ภาพที่ 4.13 แสดงเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า S.D. RMS กับ จำนวนสถานี IGS

จากกราฟพบว่า เมื่อพิจารณาค่า S.D. RMS ของทั้ง 3 แกน ในช่วงตั้งแต่ COMBINATION 4-30 จะมีแนวโน้มลดลงทุกแกนเช่นเดียวกับแนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า MAX RMS และ จำนวนสถานี IGS ดังกล่าวข้างต้น โดยในช่วงแรกตั้งแต่ COMBINATION 4-14 กราฟจะมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูง และตั้งแต่ COMBINATION 14-30 เส้นกราฟจะมีแนวโน้มลดลงค่อนข้างเป็นเส้นตรง และจะเห็นว่าค่าต่างของ RMS ของ COMBINATION 14-30 ทาง N มีค่าต่างเพียง 1.2 mm ทาง E 0.9 mm และทาง U 1.4 mm ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดของปี ค.ศ. 2008 คือ ที่ 14 สถานี ซึ่งจะเท่ากับจำนวนสถานีที่เหมาะสมเมื่อใช้ค่า MEAN RMS และค่า MAX RMS มาพิจารณา

จากผลข้างต้นผู้วิจัยได้ใช้ค่า MEAN RMS, MAX RMS, และ S.D. RMS มาพิจารณาหาจำนวน IGS ที่เหมาะสมของการแปลงค่าพิกัดประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิง ITRF2005 โดยค่าทางสถิติทั้งสามค่านั้นจะได้จำนวนสถานีที่เหมาะสมเท่ากันคือ ที่ 14 สถานี และต่อจากนี้ไปผู้วิจัยต้องการทราบว่าผลจากการแปลงค่าพิกัดจีพีเอสประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติปี ค.ศ. 2005 ด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II นั้นจะได้ผลเหมือนหรือแตกต่างกับการพิจารณาความสัมพันธ์

ระหว่างค่า RMS กับจำนวนสถานี IGS ที่กล่าวข้างต้นหรือไม่อย่างไร ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทยจำนวน 6 หมุดที่ได้หลังจากการแปลงในแต่ละ COMBINATION มาหาค่าสถิติของค่าพิกัดในแต่ละแกนใหม่ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) มาพิจารณาโดยจะมีรายละเอียดในการพิจารณาดังนี้

สำหรับจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดของประเทศไทย ของปี 2008 นั้นผู้วิจัยได้ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดของหมุดโครงข่าย อ้างอิงสำหรับประเทศไทยทั้ง 6 หมุด มาพิจารณา พบว่า สถานี BANH จ.ชุมพร มีค่า S.D. ของค่าพิกัดในแนวแกน N ลดลงอยู่ในช่วง 6.3-0 mm, แกน E 6.7-0 mm และแกน U 8.5-0 mm, สถานี CHON จ.ชลบุรี มีค่า S.D. ของค่าพิกัดในแนวแกน N ลดลงอยู่ในช่วง 6.3-0 mm, แกน E 6.7-0 mm และแกน U 8.4-0 mm, สถานี OTRI จ.ลำปาง มีค่า S.D. ของค่าพิกัดในแนวแกน N ลดลงอยู่ในช่วง 6.7-0 mm, แกน E 6.8-0 mm และแกน U 8.7-0 mm, สถานี PHUK จ.ภูเก็ต มีค่า S.D. ของค่าพิกัดในแนวแกน N ลดลงอยู่ในช่วง 6.2-0 mm, แกน E 6.8-0.1 mm และแกน U 8.6-0 mm, สถานี SRIS จ.ศรีสะเกษ มีค่า S.D. ของค่าพิกัดในแนวแกน N ลดลงอยู่ในช่วง 6.3-0 mm, แกน E 6.6-0.1 mm และแกน U 8.1-0.1 mm และ UTHA จ.อุทัยธานี มีค่า S.D. ของค่าพิกัดในแนวแกน N ลดลงอยู่ในช่วง 6.5-0 mm, แกน E 6.7-0 mm และแกน U 8.5-0.1 mm ดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

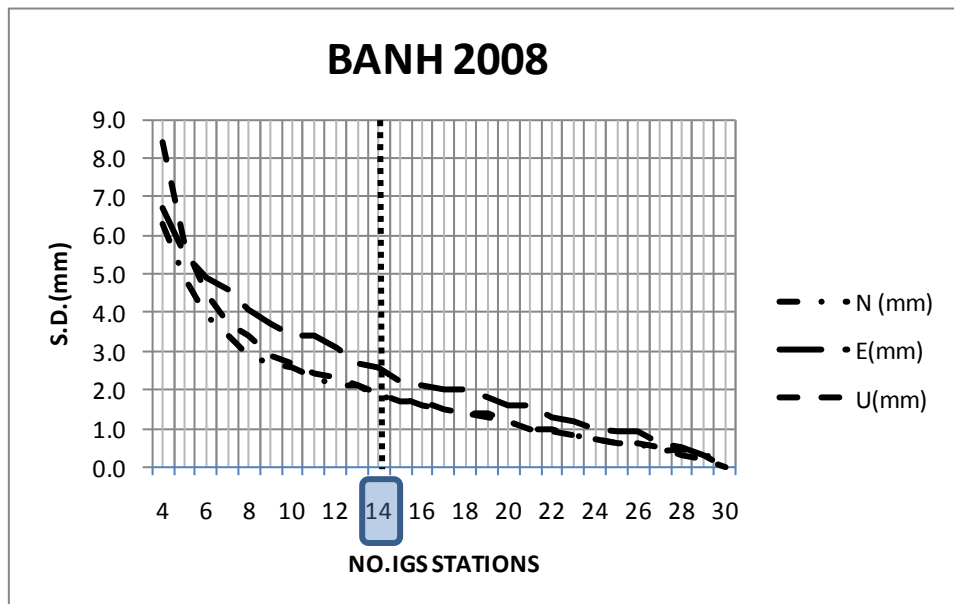
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดหมุดข้างอิฐ HUK, SRIS และ UTHA ปี 2008

No.	No. IGS Stations	PHUK (mm)			SRIS (mm)			UTHA (mm)		
		N	E	U	N	E	U	N	E	U
1	4.0	6.2	6.8	8.6	6.3	6.6	8.1	6.5	6.7	8.5
2	5.0	4.8	5.6	5.8	4.9	5.4	5.7	5.0	5.5	5.8
3	6.0	3.8	5.0	4.6	4.0	4.8	4.3	4.0	4.8	4.5
4	7.0	3.4	4.7	3.9	3.5	4.5	3.7	3.4	4.6	3.7
5	8.0	2.9	4.2	3.5	3.0	4.0	3.3	3.0	4.0	3.3
6	9.0	2.7	3.9	3.0	2.7	3.7	2.9	2.7	3.7	2.9
7	10.0	2.6	3.5	2.8	2.6	3.4	2.6	2.6	3.4	2.7
8	11.0	2.3	3.5	2.5	2.4	3.4	2.4	2.3	3.4	2.4
9	12.0	2.1	3.1	2.4	2.1	3.0	2.3	2.1	3.0	2.4
10	13.0	2.0	2.8	2.1	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.1
11	14.0	1.8	2.6	2.0	1.8	2.5	1.9	1.8	2.6	1.9
12	15.0	1.7	2.3	1.8	1.8	2.1	1.7	1.7	2.2	1.7
13	16.0	1.6	2.2	1.7	1.6	2.1	1.6	1.6	2.1	1.6
14	17.0	1.5	2.0	1.6	1.5	1.9	1.5	1.4	1.9	1.5
15	18.0	1.4	2.0	1.5	1.5	1.9	1.4	1.4	1.9	1.4
16	19.0	1.4	1.8	1.4	1.4	1.7	1.3	1.4	1.7	1.3
17	20.0	1.2	1.7	1.2	1.2	1.6	1.2	1.2	1.6	1.2
18	21.0	1.0	1.6	1.1	1.1	1.6	1.0	1.0	1.6	1.0
19	22.0	1.0	1.4	0.9	1.0	1.3	0.9	1.0	1.3	0.9
20	23.0	0.8	1.2	0.8	0.8	1.1	0.8	0.8	1.1	0.8
21	24.0	0.7	1.0	0.7	0.7	1.0	0.7	0.7	1.0	0.7
22	25.0	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8	0.6
23	26.0	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8	0.6
24	27.0	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
25	28.0	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3
26	29.0	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2
27	30.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1

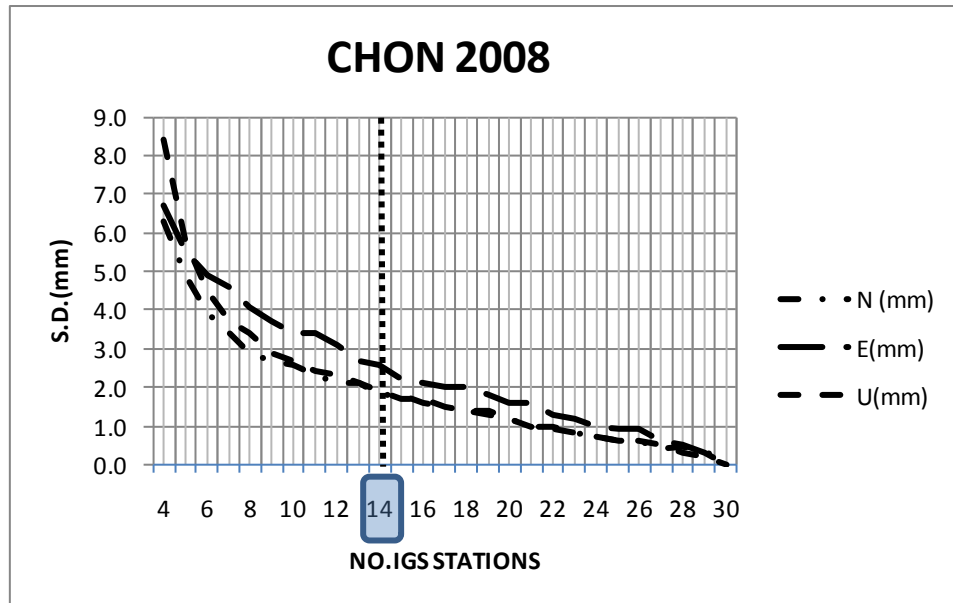
เมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.8 และ 4.9 มาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS กับ S.D ของค่าพิกัดข้างอิฐทั้ง 6 หมุด โดยให้แกนนอนเป็นจำนวนสถานี IGS ที่ใช้ในการ MAPPING ตั้งแต่ 4 -30 สถานี และแกนตั้งเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัด และเส้นกราฟที่แสดง ประกอบด้วยเส้นขีดสั้นแล้วตามด้วยจุด (.) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน N กับจำนวนสถานี IGS เส้นขีดยาวต่อเนื่อง (—) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

ค่า RMS ของแกน E กับจำนวนสถานี IGS และ เส้นขีดสั้นต่อเนื่อง (_ _) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS ของแกน U กับจำนวนสถานี IGS ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.14-4.19

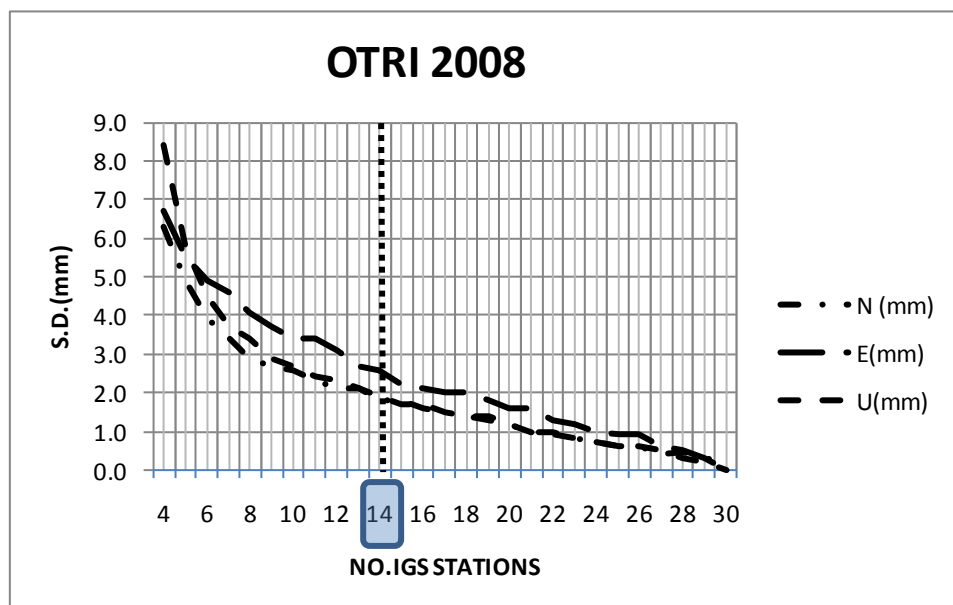
จากกราฟพบว่า แนวโน้มของเส้นกราฟที่แสดงค่า S.D. ทั้ง 3 แกน ในแนว N, E และ U ของค่าพิกัดหมุดอ้างอิงโครงข่ายประเทศไทยทั้ง 6 หมุด มีค่าลดลงตามจำนวน IGS ที่เพิ่มขึ้น และจะเห็นว่าลักษณะเส้นกราฟ ในช่วงแรกตั้งแต่ COMBINATION 4-14 กราฟจะมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูง และตั้งแต่ COMBINATION 14-30 เส้นกราฟจะมีแนวโน้มลดลงค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งจะเห็นว่าค่าต่างของ S.D. ของ COMBINATION 14-30 ทางแกน N มีค่าต่างเพียง 2 mm แกน E เพียง 3 mm และแกน U เพียง 2 mm ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดในปี ค.ศ. 2008 คือ ที่ 14 สถานี



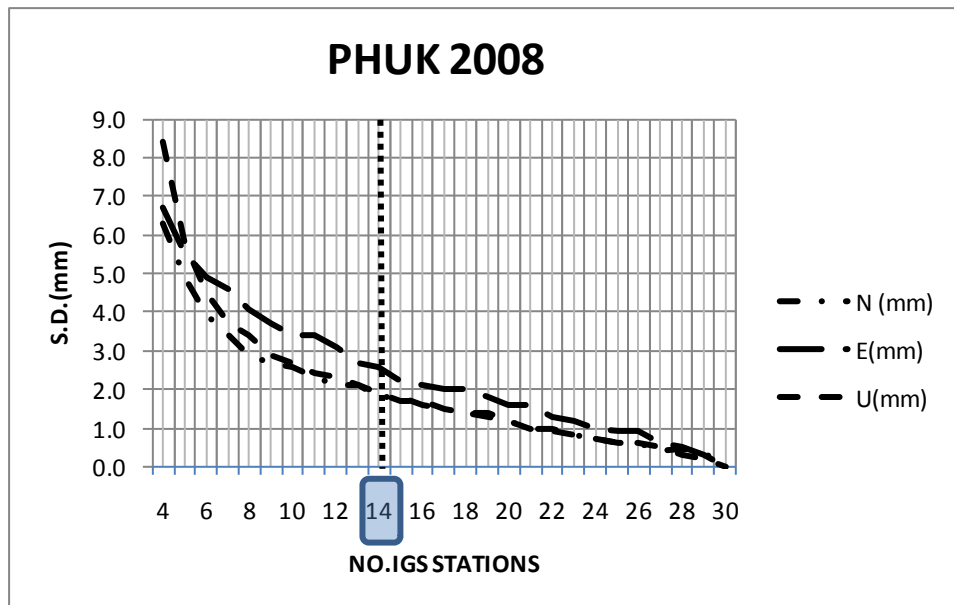
ภาพที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด BANH ปี 2008



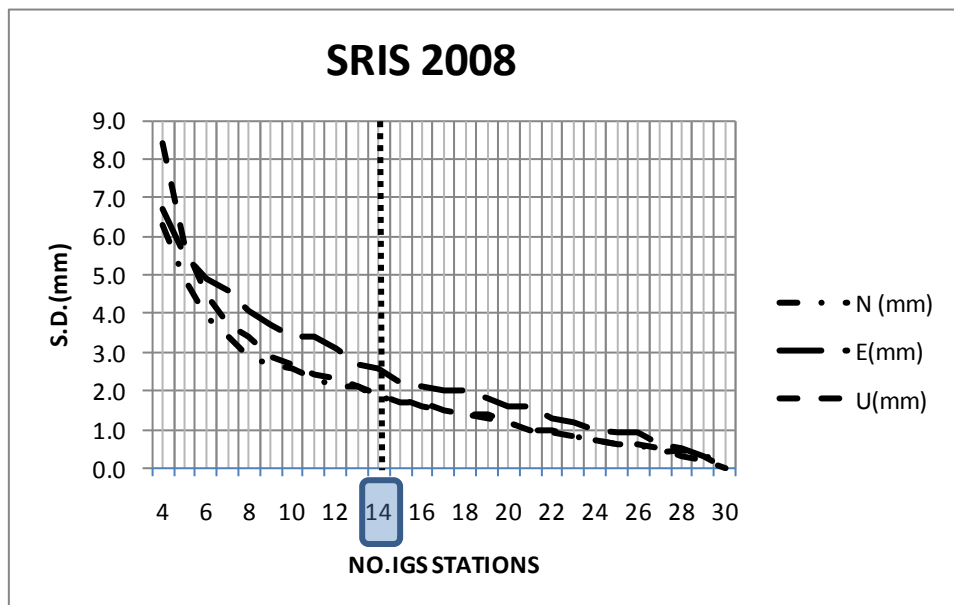
ภาพที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด CHON ปี 2008



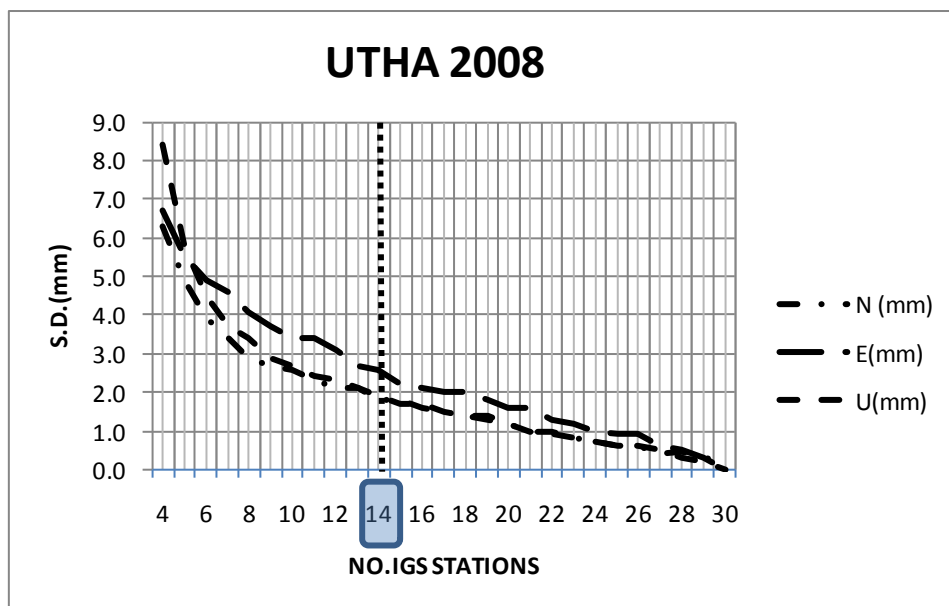
ภาพที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด OTRI ปี 2008



ภาพที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด PHUK ปี 2008



ภาพที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด SRIS ปี 2008



ภาพที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสถานี IGS และ S.D. ของค่าพิกัดหมุด UTHA ปี 2008

จะเห็นว่า ผลการศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัด GPS ประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ ปี ค.ศ. 2005 โดยใช้โปรแกรม GIPSY ทั้งสองช่วงเวลานั้น ใช้จำนวน สถานีเท่ากันคือ จำนวน 14 สถานี โดยทั้งสองช่วงปีจะใช้ค่าทางสถิติของ RMS (ค่า MEAN, MAX และ S.D.) และ ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทย ทั้ง 6 หมุด มาใช้ในการวิเคราะห์หาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสม ซึ่งช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ ค่าทางสถิติที่นำมาใช้จะมีค่ามากกว่าค่าทางสถิติช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ประมาณสองเท่า อีกทั้งการวิเคราะห์แนวโน้มจากกราฟทั้งสองช่วงมีลักษณะไปในแนวทางเดียวกันคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MEAN ของ RMS ทั้งสองช่วงกับจำนวนสถานี IGS พบว่าค่า MEAN ของ RMS จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ COMBINATION ที่ 4 -14 และหลังจากนั้นก็คงที่ แต่เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MAX ของ RMS และ S.D. ของ RMS กับ จำนวนสถานี IGS พบว่าค่า MAX ของ RMS และ S.D. ของ RMS จะลดลงจนกระทั่งถึงจำนวนสถานีที่มากที่สุดซึ่งถ้าใช้จำนวนสถานีที่มากขึ้นก็จะได้ RMS ที่ดี ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ควร ใช้อย่างน้อยที่สุด คือ จำนวน 14 สถานี

เมื่อศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัด GPS ประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติปี ค.ศ. 2005 โดยใช้โปรแกรม GIPSY เรียบร้อยแล้วจะเข้าสู่หัวข้อศึกษาที่สองเรื่องการกระจายตัวของสถานี IGS จะมีผลต่อค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทยอย่างไรบ้าง ดังจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

4.2 การศึกษาการกระจายตัวที่เหมาะสมของสถานี IGS

4.2.1 ผลการศึกษาการกระจายตัวของสถานี IGS ที่เหมาะสมช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว

ในการพิจารณาจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 จะพิจารณาการกระจายตัวของ IGS ที่อยู่ในแต่ละ จตุภาค (Q) โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่อยู่ใน Q1, Q2, Q3 และ Q4 ตามลำดับ กรณีที่ 2 จะพิจารณาการกระจายตัวของ IGS ที่อยู่ในแต่ละ จตุภาค ซึ่งจะมี IGS ในแต่ละ Q กระจายอยู่เท่ากันทั้ง 4 จตุภาค โดยใช้ข้อมูลใน COMBINATION 4 และ COMBINATION 8 มาพิจารณาเปรียบเทียบ

จากจำนวนสถานี IGS ที่ผ่านการคัดเลือกทั้งหมด 24 สถานี เมื่อนำมาแบ่งเป็น 4 จตุภาค โดยให้ประเทศไทยเป็นจุดศูนย์กลาง จะได้จำนวนสถานีที่ตกอยู่ในแต่ละจตุภาค คือ Q1 มี 7 สถานี, Q2 มี 7 สถานี, Q3 มี 2 สถานีและ Q4 มี 8 สถานี โดยการสร้าง COMBINATION 4 สำหรับ IGS กระจุกตัวของ Q1 ที่มีอยู่จำนวน 7 สถานีทำการเลือกมา 4 สถานี จะได้ COMBINATION รวม 35 รูปแบบ Q2 มี 7 สถานีได้ 35 รูปแบบ Q4 มี 8 สถานีได้ 70 รูปแบบ ส่วน Q3 มีจำนวนสถานีเพียง 2 สถานี จึงไม่สามารถนำมาสร้าง COMBINATION 4 ได้ สำหรับ IGS กระจายตัวที่ทำการเลือก จตุภาค ละ 1 สถานี จะได้ COMBINATION รวมทั้งหมด 140 รูปแบบ ในส่วนของ COMBINATION 8 การพิจารณา IGS แบบกระจุกนั้น ถ้า Q ใดมีจำนวนสถานีในแต่ละจตุภาค น้อยกว่า 8 สถานี จะไม่นำมาเปรียบเทียบส่วนการกระจายของ COMBINATION 8 จะได้ 12,348 รูปแบบ ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของ IGS ในแต่ละกรณี ปี 2004

IGS กระจุก	จตุภาค	Q1	Q2	Q3	Q4	จำนวนรวม
(กระจายตัวไม่ดี)	จำนวนสถานี IGS	7	7	2	8	24
	จำนวน COMBINATION 4	35	35	0	70	140
	จำนวน COMBINATION 8	0	0	0	1	1
IGS กระจาย	จตุภาค	Q1	Q2	Q3	Q4	จำนวนรวม
(กระจายตัวดี)	จำนวนสถานี IGS	7	7	2	8	24
	จำนวน COMBINATION 4	7	7	2	8	784
	จำนวน COMBINATION 8	21	21	1	28	12,348

จากนั้นนำชุดข้อมูลเหล่านั้นเข้าสู่โปรแกรม GIPSY-OASIS II จะได้ค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทยทั้ง 6 มหุด และนำผลลัพธ์ค่าพิกัดที่ได้หลังจากการ MAPPING มาหาค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงทั้ง 6 มหุดแล้วนำไปแสดงเป็นกราฟแท่งโดยแบ่งเป็นค่า S.D. ที่ได้จากการเลือกสถานีที่มีการเกาะกลุ่มหรือกลุ่มที่มีการกระจายตัวของสถานี IGS ที่ไม่ดี (NOT WELL DISTRIBUTION) ซึ่งจะแสดงด้วยกราฟแท่งสีดำ และ กลุ่มที่มีการกระจายตัวของสถานี

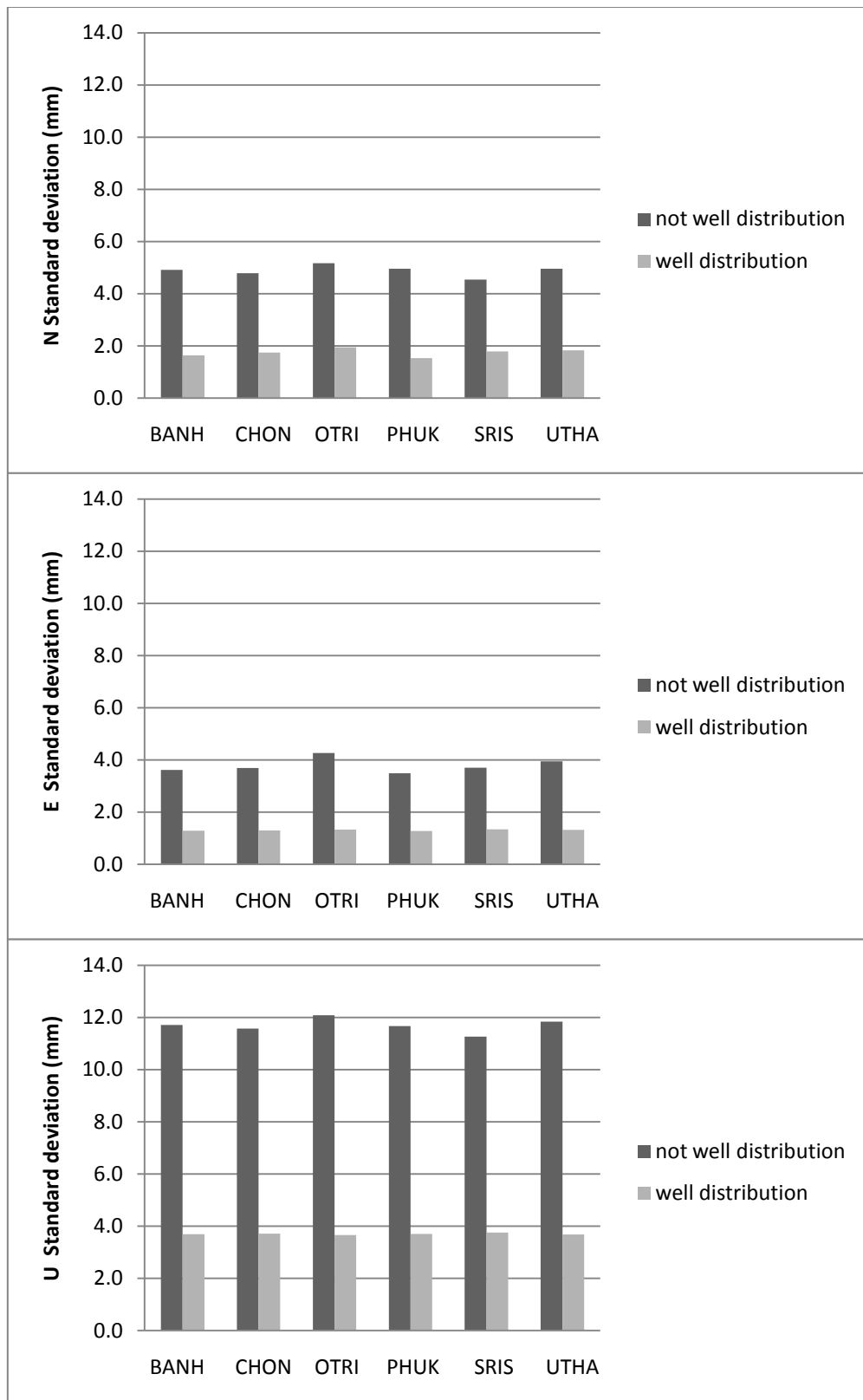
IGS ที่ดี (WELL DISTRIBUTION) จะแสดงด้วยกราฟแท่งสี่เท่า โดยจะแบ่งการเปรียบเทียบค่า พิกัดที่ได้ออกเป็น 4 กรณี คือ

- กรณีที่ 1 เปรียบเทียบค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 สถานี ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 4 สถานี ที่อยู่เป็นกระจุกและอยู่กระจาย
- กรณีที่ 2 เปรียบเทียบค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 สถานี ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 8 สถานี ที่อยู่เป็นกระจุกและอยู่กระจาย แต่เนื่องจากจำนวนกลุ่มตัวอย่างของการกระจุก 8 สถานี มีเพียงตัวอย่างเดียวจึง ไม่มีการเปรียบเทียบ
- กรณีที่ 3 เปรียบเทียบค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 สถานี ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจุก 4 สถานี และอยู่กระจุก 8 สถานี แต่เนื่องจากจำนวนกลุ่มตัวอย่างของการกระจุก 8 สถานี มีเพียงตัวอย่างเดียวจึง ไม่มีการเปรียบเทียบ
- กรณีที่ 4 เปรียบเทียบค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 สถานี ระหว่าง การใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี และอยู่กระจาย 8 สถานี

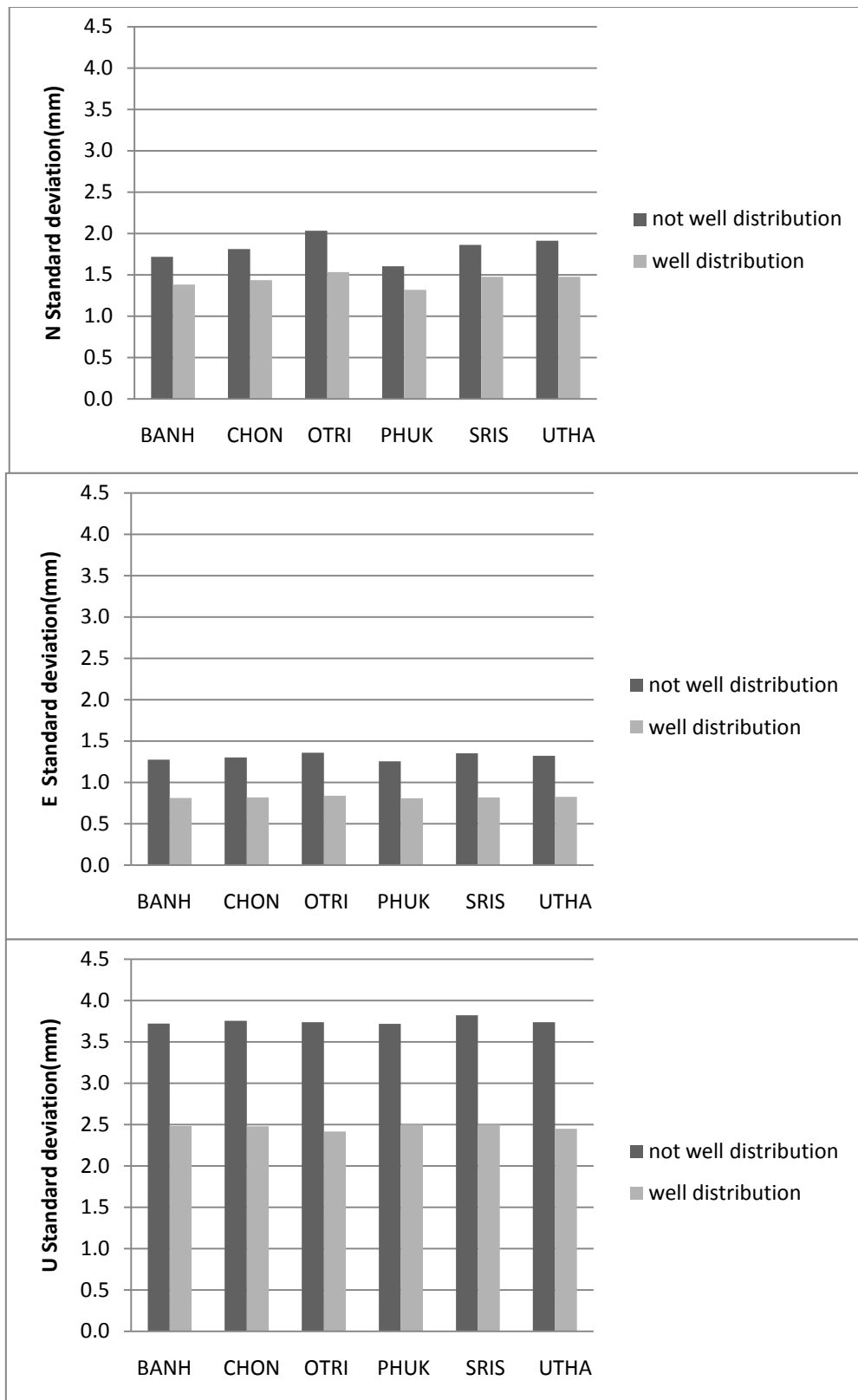
ผลการศึกษาพบว่า กรณีที่ 1 การใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 4 สถานี ที่อยู่เป็นกระจุก ได้ ค่าพิกัดโครงข่ายของประเทศไทยทั้ง 6 หมู่ ที่ผ่านการ MAPPING มีค่า S.D. ของแกน N อยู่ ในช่วง 4.5-5.2 mm, แกน E 3.5-4.3 mm และแกน U 11.3-12.1 mm ส่วนการใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 4 สถานี ที่อยู่เป็นกระจาย มีค่า S.D. ลดลงอย่างชัดเจนใน แกน N อยู่ในช่วง 1.5-1.9 mm, แกน E 1.3 mm และแกน U 3.7-3.8 mm ดังแสดงในภาพที่ 4.20

กรณีที่ 2 และ 3 ไม่มีการเปรียบเทียบเนื่องจากจำนวนตัวอย่างของกลุ่ม IGS ที่กระจุก 8 สถานีมีน้อยเกินไป

ผลการศึกษากรณีที่ 4 ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี และอยู่ กระจาย 8 สถานี พบว่า การใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี ได้ค่าพิกัดโครงข่ายของ ประเทศไทยทั้ง 6 หมู่ ที่ผ่านการ MAPPING มีค่า S.D. ของแกน N อยู่ในช่วง 1.5-1.9 mm, แกน E 1.3 mm และแกน U 3.7-3.8 mm ส่วนการใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 8 สถานี ที่อยู่เป็นกระจาย มีค่า S.D. ของแกน N ลดลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 1.4-1.6 mm, แกน E 0.8 mm และแกน U 2.4-2.5 mm ดัง แสดงในภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.20 ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 หมุด ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจุก 4 สถานี และอยู่กระจาย 4 สถานี ในแนวแกน N (บน), E (กลาง) และ U (ล่าง) ปี 2004



ภาพที่ 4.21 ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 จุด ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็น
กระจาย 4 สถานี และอยู่กระจาย 8 สถานี ในแนวแกน N (บน), E (กลาง) และ U (ล่าง) ปี 2004

4.2.2 ผลการศึกษาการกระจายตัวของสถานี IGS ที่เหมาะสมช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหว

จากจำนวนสถานี IGS ที่ผ่านการคัดเลือกทั้งหมด 30 สถานี เมื่อนำมาแบ่งเป็น 4 จตุภาค โดยให้ประเทศไทยเป็นจุดศูนย์กลาง จะได้จำนวนสถานีที่ตกอยู่ในแต่ละจตุภาค คือ Q1, Q2, Q3 และ Q4 จำนวน 8, 8, 4 และ 7 สถานี ตามลำดับ โดยการสร้าง COMBINATION สำหรับ IGS กระจุกตัวของ Q1 ที่มีอยู่ 8 สถานี ทำการเลือกมา 4 สถานี จะได้ COMBINATIONS รวม 70 รูปแบบ Q2 มี 8 สถานี ได้ 70 รูปแบบ Q3 มี 4 สถานี ได้ 1 รูปแบบ และ Q4 มี 10 สถานี ได้ 210 รูปแบบ สำหรับ IGS กระจายตัวที่ทำการเลือกจตุภาคละ 1 สถานี จะได้ COMBINATION รวมทั้งหมด 2,560 รูปแบบ

ในส่วนของ COMBINATION 8 การพิจารณา IGS แบบกระจุกของ Q1 ที่มีอยู่จำนวน 8 สถานี ทำการเลือกมา 8 สถานี ได้ 1 รูปแบบ Q2 มี 8 สถานี ได้ 1 รูปแบบ Q3 มีจำนวนน้อยกว่า 8 สถานี จึงไม่นำมาพิจารณา และ Q4 มี 10 สถานี ได้ 45 รูปแบบ สำหรับ IGS กระจายตัว จะทำการเลือกมาจตุภาคละ 2 สถานี จะได้ COMBINATIONS รวมทั้งหมด 211,680 รูปแบบ ดังตารางที่ 4.11

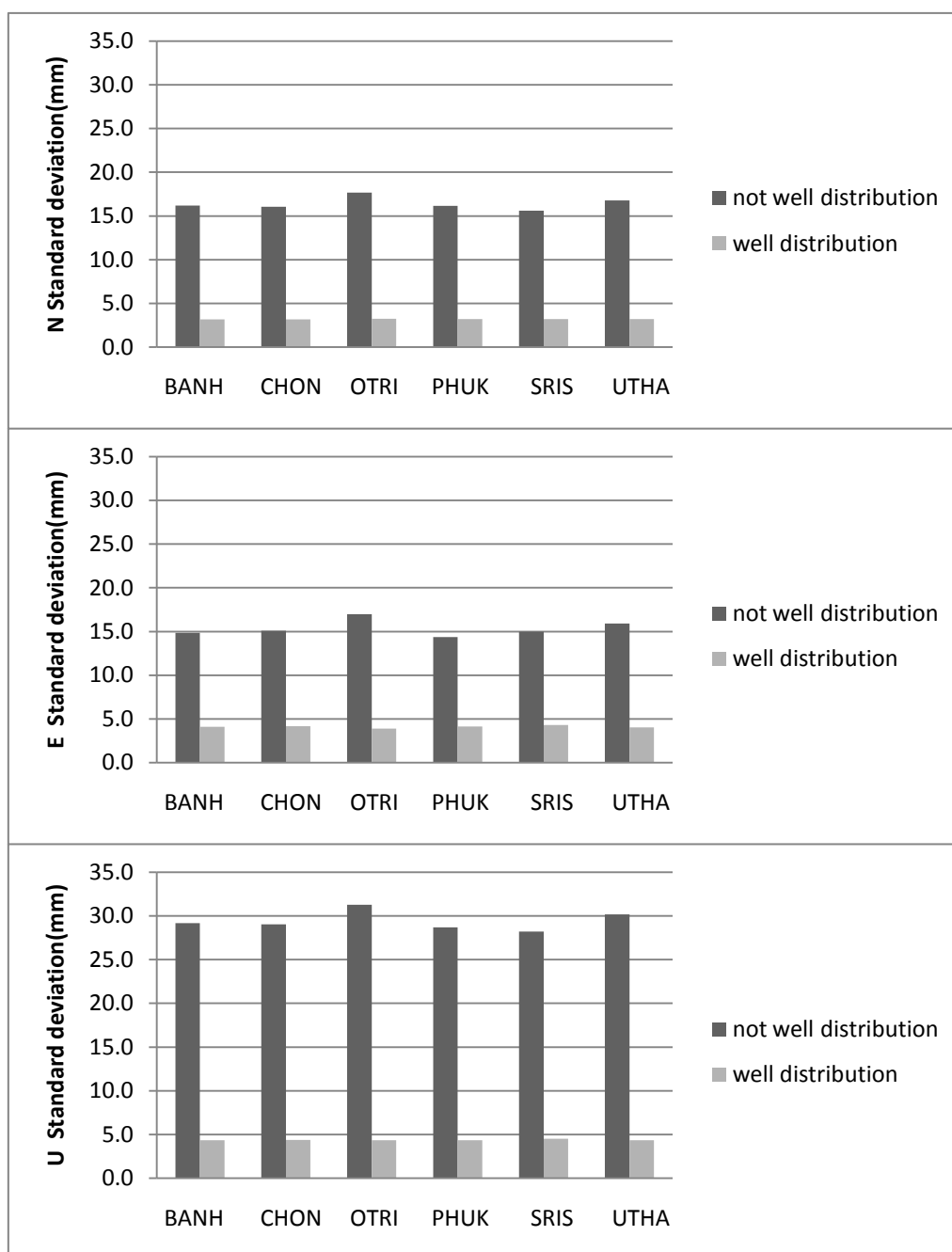
ตารางที่ 4.11 จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของ IGS ในแต่ละกรณี ปี 2008

IGS กระจุก	จตุภาค	Q1	Q2	Q3	Q4	จำนวนรวม
(กระจายตัวไม่ดี)	จำนวนสถานี IGS	8	8	4	10	30
	จำนวน COMBINATION 4	70	70	1	210	351
	จำนวน COMBINATION 8	1	1	0	45	47
IGS กระจาย	จตุภาค	Q1	Q2	Q3	Q4	จำนวนรวม
(กระจายตัวดี)	จำนวนสถานี IGS	8	8	4	10	30
	จำนวน COMBINATION 4	8	8	4	10	2,560
	จำนวน COMBINATION 8	28	28	6	45	211,680

จากนั้นนำชุดข้อมูลเหล่านั้นเข้าสู่โปรแกรม GIPSY-OASIS II จะได้ค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทยทั้ง 6 หมู่ โดยจะแบ่งการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้ออกเป็น 4 กรณี คือ

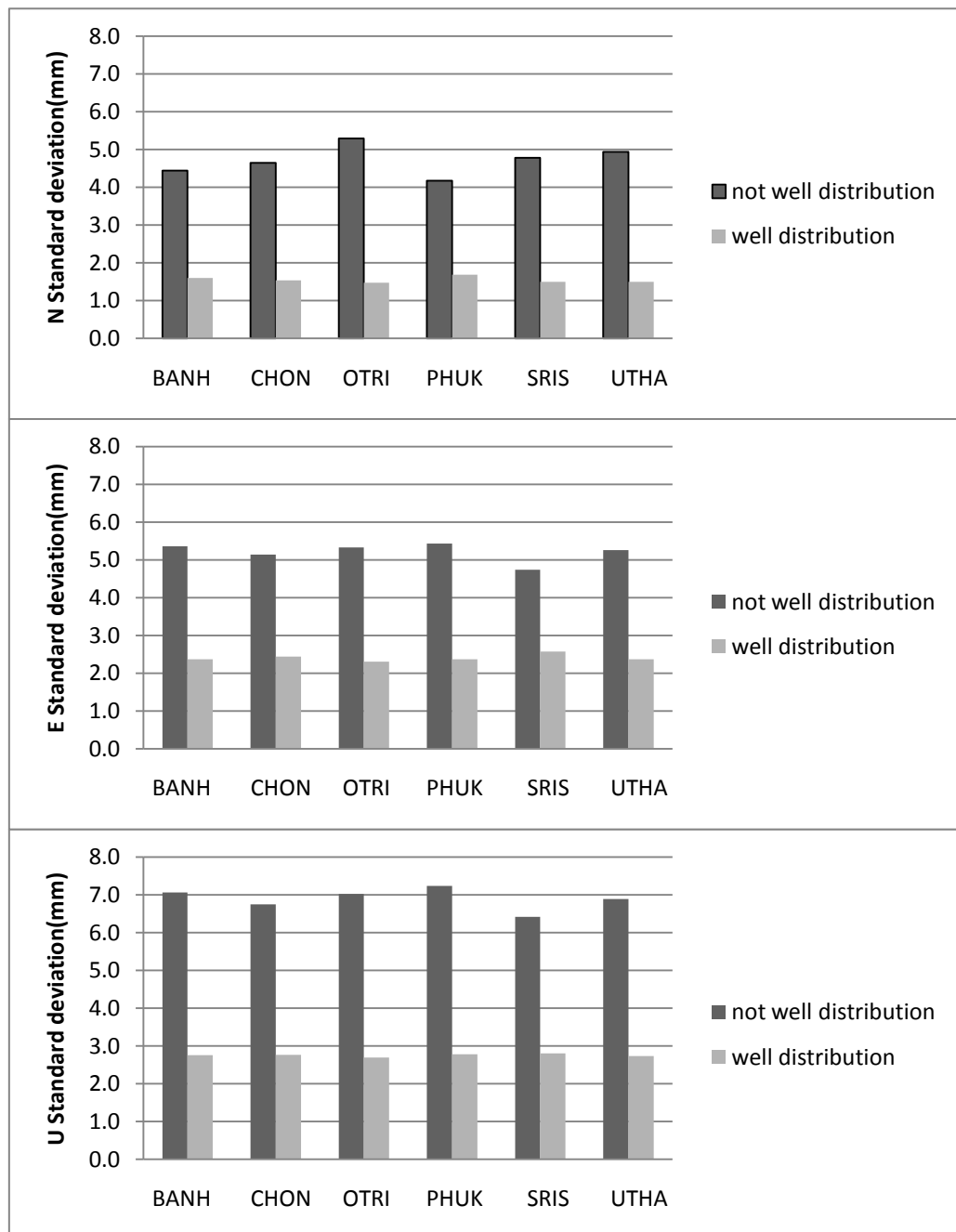
- กรณีที่ 1 เปรียบเทียบค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 สถานี ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 4 สถานี ที่อยู่เป็นกระจุกและอยู่กระจาย
- กรณีที่ 2 เปรียบเทียบค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 สถานี ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 8 สถานี ที่อยู่เป็นกระจุกและอยู่กระจาย
- กรณีที่ 3 เปรียบเทียบค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 สถานี ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจุก 4 สถานี และอยู่กระจุก 8 สถานี
- กรณีที่ 4 เปรียบเทียบค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทย 6 สถานี ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี และอยู่กระจาย 8 สถานี

ผลการศึกษพบว่า กรณีที่ 1 การใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 4 สถานี ที่อยู่เป็นกระจุก ได้ค่าพิสัยกระจายของประเทศไทยทั้ง 6 หมู่ ที่ผ่านการ MAPPING มีค่า S.D. ของแกน N อยู่ในช่วง 15.6-17.7 mm, แกน E 14.4-17.0 mm และแกน U 28.2-31.3 mm ส่วนการใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 4 สถานี ที่อยู่เป็นกระจาย มีค่า S.D. ลดลงอย่างชัดเจนในแกน N อยู่ในช่วง 3.2-3.3 mm, แกน E 3.9-4.3 mm และแกน U 4.3-4.5 mm ดังภาพที่ 4.22



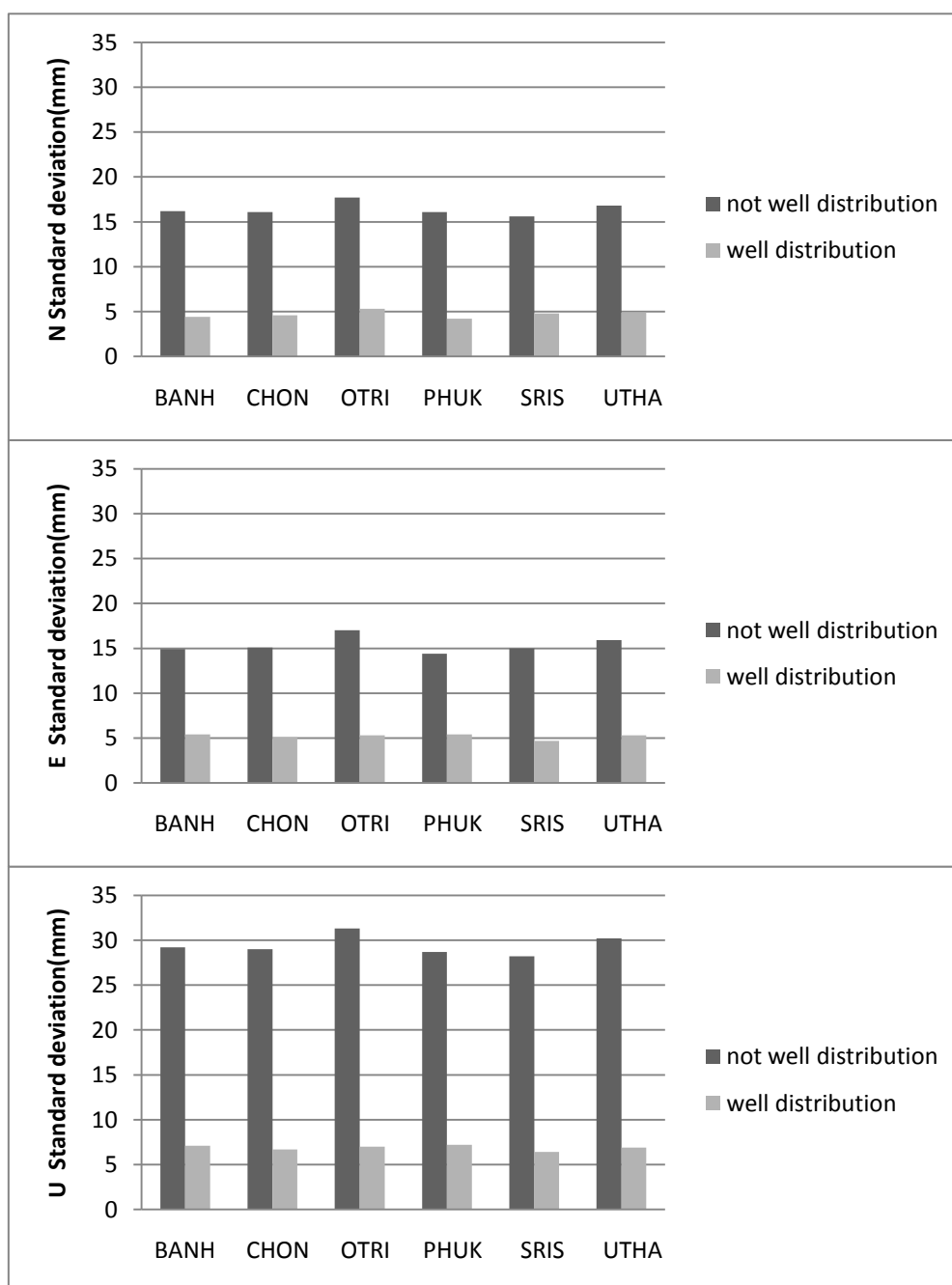
ภาพที่ 4.22 ค่า S.D. ของค่าพิสัยกระจายประเทศไทย 6 หมู่ ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี และอยู่กระจุก 4 สถานี ในแนวแกน N (บน), E (กลาง) และ U (ล่าง) ปี 2008

ผลการศึกษารณีที่ 2 ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS จำนวน 8 สถานี ที่อยู่เป็นกระจุกและอยู่กระจาย พบว่า การใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจุก 8 สถานี ได้ค่าพิสัยกระจายของประเทศไทยทั้งหมด ที่ผ่านการ MAPPING มีค่า S.D. ของแกน N อยู่ในช่วง 4.2-5.3 mm, แกน E 4.7-5.4 mm และแกน U 6.4-7.2 mm ส่วนการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจายจำนวน 8 สถานี มีค่า S.D. ของแกน N ลดลงอย่างชัดเจนอยู่ในช่วง 1.5-1.7 mm, แกน E 2.3-2.6 mm และแกน U 2.7-2.8 mm ดังภาพที่ 4.23



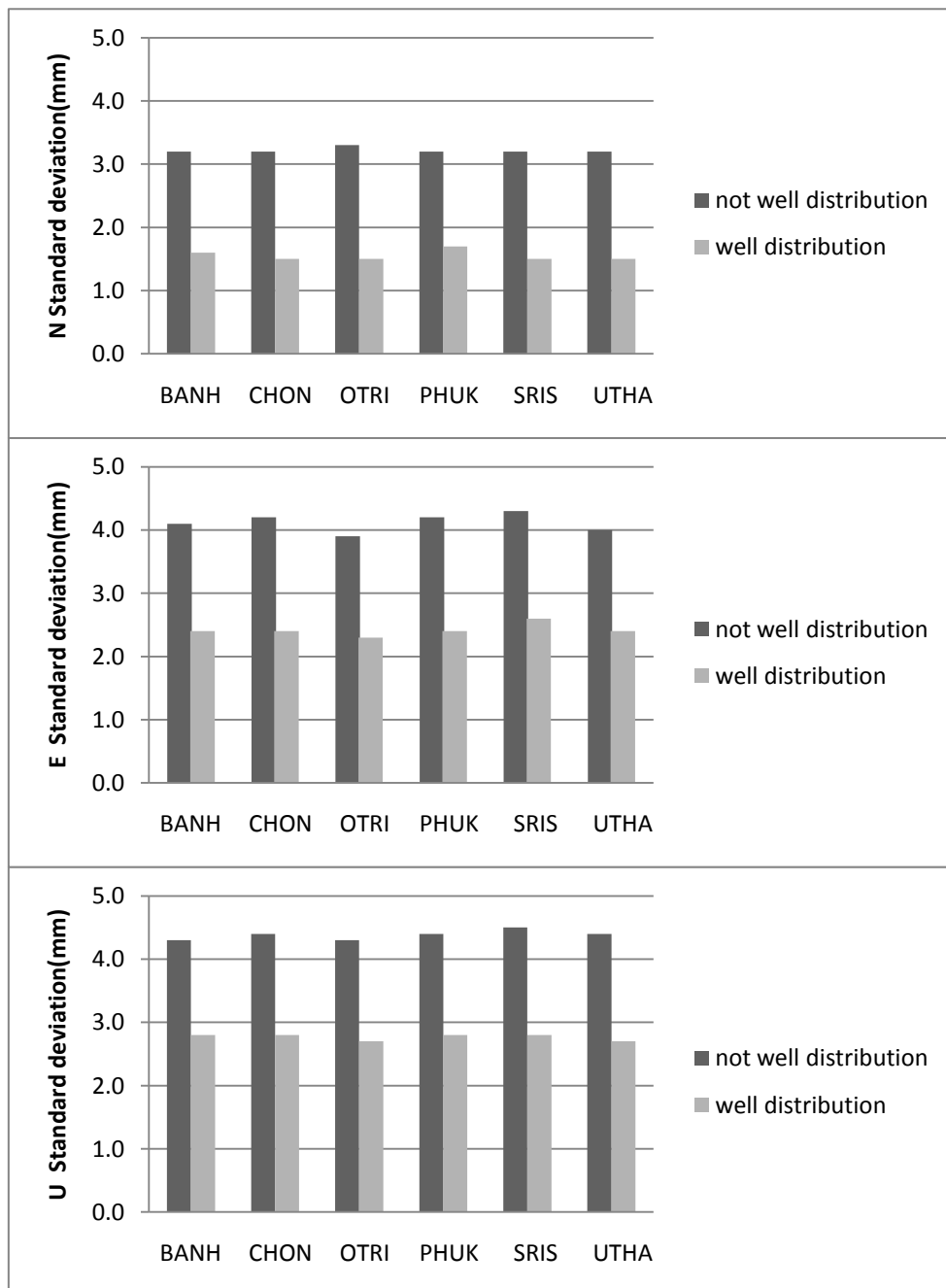
ภาพที่ 4.23 ค่า S.D. ของค่าพิสัยกระจายประเทศไทย 6 หมู่ ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 8 สถานี และอยู่กระจุก 8 สถานี ในแนวแกน N (บน), E (กลาง) และ U (ล่าง)

ผลการศึกษารณีที่ 3 ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจุก 4 สถานี และอยู่กระจุก 8 สถานี พบว่า การใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจุก 4 สถานี ได้ค่าพิสัยกระจายของประเทศไทยทั้ง 6 หมู่ของแกน N อยู่ในช่วง 15.6-17.7 mm, แกน E 14.9-17.0 mm และแกน U 28.2-31.3 mm ส่วนการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจุก จำนวน 8 สถานี มีค่า S.D. ของแกน N ลดลงอย่างชัดเจนอยู่ในช่วง 4.2-5.3 mm, แกน E 4.7-5.4 mm และแกน U 6.4-7.2 mm ดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 ค่า S.D. ของค่าพิสัยกระจายประเทศไทย 6 หมู่ ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจุก 4 สถานี และอยู่กระจุก 8 สถานี ในแนวแกน N (บน), E (กลาง) และ U (ล่าง) ปี 2008

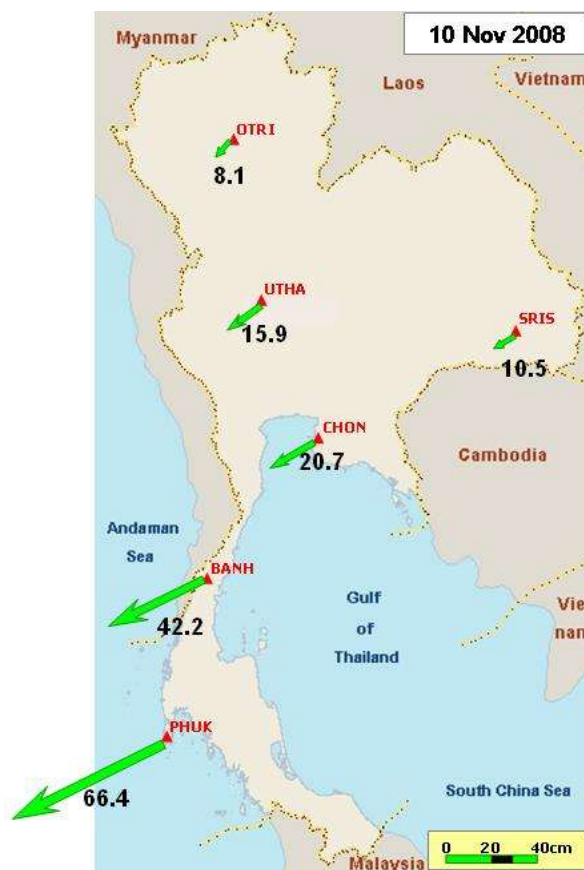
ผลการศึกษารณีที่ 4 การใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี และอยู่กระจาย 8 สถานี พบว่า การใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี ได้ค่าพิสัยโค้งข่ายของประเทศไทยทั้ง 6 หมุด ของแกน N อยู่ในช่วง 3.2-3.3 mm, แกน E 3.9-4.3 mm และแกน U 4.3-4.5 mm ส่วนการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นอยู่กระจาย 8 สถานี มีค่า S.D. ของแกน N ลดลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 1.5-1.7 mm, แกน E 2.3-2.6 mm และแกน U 2.7-2.8 mm ดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 ค่า S.D. ของค่าพิสัยโค้งข่ายประเทศไทย 6 หมุด ระหว่างการใช้กลุ่มสถานี IGS ที่อยู่เป็นกระจาย 4 สถานี และอยู่กระจาย 8 สถานี ในแนวแกน N (บน), E (กลาง) และ U (ล่าง) ปี 2008

จากผลข้างต้น เมื่อพิจารณา การกระจายของสถานี IGS โดยแบ่งเป็นการกระจุก และกระจายของสถานี IGS ที่แบ่งออกเป็น 4 จตุภาค จะพบว่า ค่าพิทักโครงข่ายประเทศไทยทั้ง 6 หมุด มีค่า S.D. น้อยกว่ากระจุกเสมอ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบการใช้จำนวนสถานี IGS ที่เพิ่มขึ้น จาก 4 เป็น 8 สถานีจะส่งผลให้ S.D. มีค่าลดลงด้วย ดังนั้น จำนวนสถานีที่เหมาะสม สำหรับการแปลงค่าพิทักจีพีเอสประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ ปี ค.ศ. 2005 ด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY จะต้องเลือกสถานี IGS ให้กระจายอยู่ทุก จตุภาค ซึ่งจะให้ค่า S.D. ของค่าพิทักหลังการแปลง ดีกว่าเลือกสถานี IGS ที่มีการกระจุกตัวอยู่ใน จตุภาค ไต จตุภาค หนึ่งเท่านั้น อย่างน้อย ควรจะมีการกระจายอยู่ใน 3 จตุภาค ขึ้นไป

จากผลการเลือกสถานี IGS ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ได้ทดลองเปรียบเทียบค่าพิทักที่ได้ระหว่าง 2 ช่วงปี คือ ประมาณ เดือน ตุลาคม 2004 จนถึง ประมาณ เดือน พฤศจิกายน 2008 พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ เฉลิมชนม์ และคณะ, 2551 โดยจะแสดงดังภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.26 แสดงค่าเคลื่อนตัวทางราบเนื่องด้วยผลผลกระทบจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ (สุมาตรา-อันดามัน) และ แผ่นดินไหว นีแอส โดยใช้จุดในโครงข่ายชั้นที่หนึ่ง เป็นจุดรังวัด ช่วงเดือน พฤศจิกายน 2008

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

จากการทำวิจัยในหัวข้อการหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดจีพีเอสประเทศไทย เข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติปี ค.ศ. 2005 ด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY สามารถสรุปงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 ผลที่ได้จากงานวิจัย

5.1.1 จากผลงานวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีทำให้ค่า RMS ในการ MAPPING สูงขึ้นเนื่องจากการเลือกสถานี IGS ที่ไม่ดี ดังนั้นจะต้องมี หลักการเลือกสถานี IGS ในเบื้องต้นก่อนจะนำสถานี IGS ดังกล่าว ไปใช้ในขั้นตอน MAPPING ต่อไป โดยมีหลักการพิจารณาดังต่อไปนี้ เลือกสถานีฐาน IGS ที่ตั้งอยู่บน BEDROCK และก่อตั้งเป็นเวลายาวนาน (CORE IGS) ตั้งแต่ ค.ศ.1996 เป็นต้นไป ตรวจสอบข้อมูล rinex file ของสถานี IGS ที่เลือกตามช่วงเวลาที่ต้องการ เพราะบางช่วงเวลาอาจจะไม่มีข้อมูลเลือกสถานี IGS ที่อยู่ห่างจากจุดเกิดแผ่นดินไหว เลือกสถานีที่ไม่มีการกระโดดของ Time series และ เลือกสถานีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเสาอากาศบ่อยครั้ง เมื่อได้สถานี IGS แล้วหลังจากนั้นก็จะเข้าสู่ขั้นตอน MAPPING ซึ่งผู้วิจัยจะใช้เกณฑ์ในการตัดสถานี IGS ที่ไม่ดีออกอีก โดยใช้เกณฑ์ $MEAN \pm 2 S.D.$ คือ ผลรวมของค่าเฉลี่ยข้อมูลกับสองเท่าของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ถ้าสถานี IGS ใดมีค่า RMS เกินแม้แต่แกนเดียว (N, E และ U) ก็สามารตัดสถานี IGS นั้นออกได้

5.1.2 ผลการศึกษาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัด GPS ประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ ปี ค.ศ. 2005 โดยใช้โปรแกรม GIPSY ทั้งสองช่วงเวลานั้น ใช้จำนวนสถานีเท่ากันคือ จำนวน 14 สถานี โดยทั้งสองช่วงปีจะใช้ค่าทางสถิติของ RMS (ค่า MEAN, MAX และ S.D.) และ ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงประเทศไทย ทั้ง 6 หมุด มาใช้ในการวิเคราะห์หาจำนวนสถานี IGS ที่เหมาะสม ซึ่งช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ ค่าทางสถิติที่นำมาใช้จะมีค่ามากกว่าค่าทาง สถิติช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ประมาณสองเท่า อีกทั้งการวิเคราะห์แนวโน้มจากกราฟทั้งสองช่วงมีลักษณะไปในแนวทางเดียวกันคือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MEAN ของ RMS ทั้งสองช่วงกับจำนวนสถานี IGS พบว่าค่า MEAN ของ RMS จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ COMBINATION ที่ 4 -14 และหลังจากนั้นก็คงที่ แต่เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า MAX ของ RMS และ S.D. ของ RMS กับ จำนวนสถานี IGS พบว่าค่า MAX ของ RMS และ S.D. ของ RMS จะลดลงจนกระทั่งถึงจำนวนสถานีที่มากที่สุดซึ่งถ้า

ใช้จำนวนสถานีที่มากขึ้นก็ได้ RMS ที่ดี ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ควรใช้อย่างน้อยที่สุด คือ จำนวน 14 สถานี

5.1.3 ผลการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวของสถานี IGS การกระจายของสถานี IGS ทั้งสองช่วงเวลา โดยแต่ละช่วง จะแบ่งเป็นกลุ่มการกระจุกและกลุ่มกระจายของสถานี IGS ซึ่งจะใช้ COMBINATION ที่ 4 และ COMBINATION ที่ 8 เป็นกลุ่มศึกษา โดยแบ่งออกเป็น 4 จตุภาค และให้ประเทศไทยอยู่ตรงกลาง หลังจากนั้นจัดกลุ่มตาม จตุภาค ที่จะศึกษาแล้วนำกลุ่มที่ การศึกษาการกระจายตัวที่ได้ไป MAPPING ด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II และจะนำผลลัพธ์ที่เป็นค่าพิกัดของหมุดโครงข่ายอ้างอิงทั้ง 6 หมุด มาหาค่า S.D. จะพบว่า ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทยทั้ง 6 หมุดที่เป็นกลุ่มของการกระจายจะมีค่า S.D. ของการกระจายจะน้อยกว่ากลุ่มของการกระจุกเสมอ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบการใช้จำนวนสถานี IGS ที่เพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 8 สถานีจะส่งผลให้ S.D. มีค่าลดลงด้วย ดังนั้นจำนวนสถานีที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดจีพีเอสประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ ปี ค.ศ. 2005 ด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY จะต้องเลือก สถานี IGS ให้กระจายอยู่ทุก จตุภาค เพื่อให้ค่า S.D. ของค่าพิกัดจะได้มีค่าน้อยลงซึ่งดีกว่ากลุ่ม สถานี IGS ที่มีการกระจุกตัวอยู่ใน จตุภาค ไต จตุภาค หนึ่งเท่านั้น จากงานวิจัยนี้อย่างน้อย ควรจะมีการกระจายอยู่ใน 3 จตุภาค ขึ้นไป

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ซอฟต์แวร์ GIPSY-OASIS II จะประกอบด้วยโปรแกรมย่อยหลายโปรแกรม และลำดับขั้นตอนในการประมวลผลมีหลายขั้นตอน ถ้าขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งไม่สมบูรณ์ จะทำให้โปรแกรมไม่ประมวลผล หรือ ผลลัพธ์ที่ได้คลาดเคลื่อน ควรสังเกต และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ ตลอดเวลา

5.2.2 เมื่อมีปัญหาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม GIPSY-OASIS II สามารถสอบถามเจ้าของ SCRIPT ได้ แต่บางครั้งก็เป็นปัญหาที่ตัว SERVER เอง

5.2.3 ทุกครั้งหลังจากประมวลผล โปรแกรม GIPSY-OASIS II ควรกำจัด FILE ที่ไม่ได้ใช้ เนื่องจากการประมวลผลในบางครั้งต้องใช้เวลาเป็นอาทิตย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประมวลผล เพื่อทำวิจัยจะต้องประมวลผล บางครั้งอาจจะเป็นเดือนๆ ถ้าไม่มีการลบ FILE ที่ไม่ใช่ออกไปจะทำให้เครื่องดับและต้องเสียเวลาในการประมวลผลใหม่

5.3 ข้อเสนอแนะและสิ่งที่ควรจะศึกษาต่อไปในอนาคต

5.3.1 เมื่อเปรียบเทียบ RMS และ ค่าพิกัดโครงข่ายของประเทศไทยทั้ง 6 หมู่ด ช่วงปี 2004 และ 2008 มีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ยิ่งถ้าใช้กลุ่มสถานี IGS ที่มากขึ้นจะทำให้ได้ค่า RMS. น้อยลงและ ค่า S.D. ของค่าพิกัดก็ลดลงตามไปด้วย แต่ ค่า RMS. และ ค่า S.D. ของค่าพิกัดปี 2004 จะน้อยกว่า ค่า RMS. และ ค่า S.D. ของค่าพิกัดปี 2008 อาจจะเป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น กรอบอ้างอิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้ ITRF2005 เพื่อใช้กับข้อมูลปี 2004 ซึ่งต่างกับกรอบอ้างอิง ITRF2005 เพียง 1 ปี ความเร็วที่ใช้ในการทำนายการเคลื่อนตัวของนิยาม ITRF2005 จะใช้ข้อมูลของ ปี 2004 ในการทำนายจึงอาจทำให้ค่า RMS ในการ MAPPING ที่ได้มีค่า RMS. และ ค่า S.D. ของค่าพิกัด น้อย ในขณะที่เดียวกันเราใช้ข้อมูลปี 2008 อ้างอิงกับ กรอบอ้างอิง ITRF2005 ซึ่งต่างกัน ถึง 3 ปี อีกทั้งในช่วงปลายปี 2006 ก็เกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ก็อาจเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่า RMS ในการ MAPPING ในปี 2008 มีค่า RMS. และ ค่า S.D. ของค่าพิกัดที่มากกว่า ซึ่งสมมุติฐานดังกล่าวนี้จะต้องศึกษากันต่อไป

5.3.2 การพิจารณาการกระจายของสถานี IGS ที่ผู้วิจัยศึกษาโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน ตาม จตุภาค โดยใช้ประเทศไทยเป็นจุดศูนย์กลาง และแบ่งกลุ่ม IGS ออกเป็น 2 กลุ่ม และใช้ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายทั้ง 6 หมู่ด มาเปรียบเทียบกัน พบว่า ค่า S.D. ของค่าพิกัดโครงข่ายอ้างอิงสำหรับประเทศไทย ที่ได้จากการเลือกกลุ่มสถานี IGS ที่มีการกระจายตัวของสถานี IGS ที่อยู่ในทุก จตุภาค พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่า S.D. ของการกระจายจุดมีค่ามากกว่า ค่า S.D. ของการกระจาย ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทั้ง ข้อมูลปี 2004 และ 2008 และผู้วิจัยได้ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของระยะของ กลุ่มสถานี IGS จะมีผลกับค่า RMS ในการ MAPPING หรือไม่ โดยใช้ประเทศไทยเป็นจุดศูนย์กลางแล้วลองเลือกกลุ่มที่อยู่ใกล้และอยู่ไกล จากการศึกษพบว่า RMS ของกลุ่มสถานีที่อยู่ใกล้ประเทศไทยมีค่า RMS มากกว่ากลุ่มสถานี IGS ที่อยู่ไกล และในการศึกษานี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นในโอกาสต่อไปถ้าผู้ที่สนใจศึกษาว่า ระยะทางเท่าใดที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดจีพีเอสประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติ ปี ค.ศ. 2005 โดยใช้โปรแกรม GIPSY-OASIS II ก็จะทำให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์มากขึ้น

5.3.3 ในอนาคตถ้ามีการเปลี่ยนกรอบอ้างอิงนานาชาติใหม่ผู้วิจัย จะใช้แนวทางการเลือกสถานีที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้เป็น ต้นแบบ และสร้างเป็น ตารางการเลือกสถานี IGS ที่เหมาะสม กับประเทศไทย ใน รูปแบบต่างๆ เช่น ข้อมูลการรังวัดจีพีเอส ปี 2010 เข้าสู่กรอบอ้างอิง ITRF 2008 จะต้องใช้สถานี IGS สถานีไหนบ้าง เป็นต้น เพื่อให้ง่ายสำหรับผู้นำไปใช้

5.3.4 สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวิธีคำนวณที่ไม่ซับซ้อน จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้อาจมีไม่สมบูรณ์ที่สุด โดยเฉพาะการใช้วิธีทดสอบทางสถิติ ของค่า $\Delta V^T PV$ ซึ่งด้วยข้อจำกัดของเวลา ผู้วิจัยจึงไม่ได้ทดสอบค่าทางสถิติ อย่างเต็มรูปแบบ

5.3.5 การตัดสถานีที่ไม่ดีออกสำหรับงานวิจัยนี้ ไม่ได้ใช้ ค่าน้ำหนักของ RMS. ของผลลัพธ์ของการแปลงสถานี IGS แต่ละชุด ถ้ามีการนำค่าน้ำหนักมาพิจารณาตัดสถานี IGS ก็จะทำให้มั่นใจมากขึ้นว่าสถานีที่ตัดนั้นเป็นสถานีที่มีผลกระทบจากแผ่นดินไหวจริงๆ

5.3.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม GIPSY OASIS II ยังไม่มีการเปรียบเทียบกับโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ชนิดอื่น หรือ โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณที่ซับซ้อน อย่างเช่น โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ COLUMBUS(Bestfit.com) อาจจะสะดวกกว่า กรณีชุดของสถานี IGS ที่เลือกแต่ละ COMBINATIONS มีจำนวนมาก

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2552. เอกสารคำสอนงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. 2537. ยี่ออเดซี. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- ไพศาล สันติธรรมนนท์. 2553. การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetry). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬา,
- มารยาท โยทองยศ และปราณี สวัสดิ์สรรพ์ 2551. การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์บริการวิชาการ สถาบันส่งเสริมการวิจัยและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
- สมชาย เกียงไกรวศิน . 2552. คู่มือการประมวลผล PPP ด้วยโปรแกรม GIPSY-OASIS II. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สวัสดิ์ชัย เกียงไกรเพชร. 2531. เส้นโครงแผนที่. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์. 2551. เอกสารคำสอนวิชา Numerical Analysis in Geomatics. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล. 2545. รายงานการปรับแก้โครงข่าย GPS. กรุงเทพมหานคร: กองยี่ออเดซีและยี่ออพิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร .
- เอกภพ ภาณุมาศตระกูล เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. 2552. ผลกระทบจากการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ต่อการปรับแก้โครงข่ายในประเทศไทย. ในการประชุมวิชาการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติประจำปี 2552. หน้า 16 – 18 ธันวาคม 2552 ณ อิมแพ็ค คอนเวนชันเซ็นเตอร์ เมืองทองธานี จังหวัดนนทบุรี.

ภาษาอังกฤษ

- Brunner, F.K. and Welsch, W.M. 1993. Effect of the troposphere on GPS Measurements. GPS World, 4(1): 42-51.
- Cochran, W.G. 1977. Sampling Techniques. 3rd edition. New York: John Wiley,
- Dana, P. Peter Dana's web site. [Online]. 2005. Available from: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datum/datum.html> [Jan 10th, 2005]

- Friedrich Robert Helmert (1843-1917), a German geodesist, believed that a secular drift of the pole could be caused by postglacial rebound (Helmert, 1884, Vol. II, p. 446).
- Gregorius, T. 1996. GIPSY-OASIS II (How it works). University of Newcastle: Department of Geomatics.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J. 1997. Global Positioning System: Theory and Practice. 4th edition. Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag.
- Hooijberg, M. 1997. Practical Geodesy: Using Computers. Springer Verlag: Berlin Heidelberg,
- John, A. 2011. Dutton e-Education Institute. [Online]. Available from: <https://www.e-education.psu.edu/lidar/book/export/html/1405> [2012, January 8]
- JPL. 2012. Jet Propulsion Laboratory: JPL's Precise Orbit and Clock Estimates for GPS Constellation in GIPSY Format. [Online]. Available from: <https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov/index.php?page=data> [2012, March 14]
- Klobuchar, J.A. 1987. Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. AES-23(3): 325-331.
- Kowoma. 2005. The GPS System: Sources of Errors in GPS. [Online]. Available from: <http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm> [2005, January 10]
- Krejcie, R. V., Morgan, D. W. 1970. Determining Sample Size for Research Activities. Educational and Psychological Measurement, 30: 607-610.
- Lin, L.S. 1997. Real-Time Estimation of Ionospheric Delay Using GPS Measurements. Ph.D. Thesis. School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Misra, P.N. and Abbot, R.I. 1994. SGS85-WGS84 transformation. Manuscripta Geodaetica. 19: 300-308.
- National Imagery Mapping Agency (NIMA). 1997. Department of defense world geodetic system 1984, Its definition and relationships with local geodetic system. USA.
- OSO, 2012. Onsala Space Observatory: Free Ocean Tide Loading Provider. [Online]. Available from: <http://froste.oso.chalmers.se/loading/> [2012, January 8]

- Rizos, C. 1997. Principles and Practice of GPS Surveying. Monograph 17, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, Australia.
- Rossbach, U., Habrich, H. and Zarraoa, N. 1996. Transformation Parameters Between, PZ-90 and WGS-84. Proceedings of ION GPS-96. Kansas City, September 17-20, 279-285.
- Satirapod C. and Chalermwattanachai P. 2005. Impact of Different Tropospheric Models on GPS Baseline Accuracy: Case study in Thailand, Journal of Global Positioning Systems. 4(1-2): 36-40.
- Satirapod C., Chen H.Y. and Prakhammintara P. 2008. First experiences of automated processing of Thai permanent GPS observations for ground deformation monitoring and earthquake studies. International Journal of Geoinformatics. 4(4): 33-38.
- Satirapod C., Simons W., Promthong C. 2008. Monitoring Deformation of Thai Geodetic Network Due to the 2004 Sumatra-Andaman and 2005 Nias Earthquakes by GPS. Journal of Surveying Engineering (ASCE).134(3): 83-88.
- Satirapod C., Simons W., Prakhammintara P.V and Trisirisatayawong I. 2009. Updating thai reference frame to ITRF2005 using gps: diversion between ITRF2000 and 2005 in southeast asia. Proceedings of the 7th FIG regional conference, Hanoi, Vietnam, October 19–22,.
- Seeber, G. 1993. Satellite Geodesy: Foundations, Methods & Applications. Walter de Gruyter: Berlin,
- SOPAC. 2012. Scripps orbit and permanent array center. [Online]. Available from: <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbDataBySite.cgi> [2012, January 8]
- Spilker, Jr., J.J. 1996. Tropospheric effects on GPS. In: Parkinson, B.W. et al. (eds.). Global Positioning System: Theory and Applications. Progress in Astronautics & Aeronautics. 163: 517-546.
- Torge, W. 1991. Geodesy. 2nd edition. Walter de Gruyter: Berlin,
- USGS. 2012. United States Geological Survey's. [Online]. Available from: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/> [2012, January 8]

USNO. 2012. United States Naval Observatory: GPS Timing Data & Information.

[Online]. Available from: http://tycho.usno.navy.mil/gps_datafiles.html [2012, January 8]

Yamane, T. 1973. Statistics, an Introductory Analysis. 3rd edition. New York: Harper and Row,

Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.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): doi:

10.1029/96JB03860. issn: 0148-0227.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สถานภาพโครงข่ายยี่ห้อเดซีของประเทศไทยก่อนและหลังเหตุการณ์พิบัติ

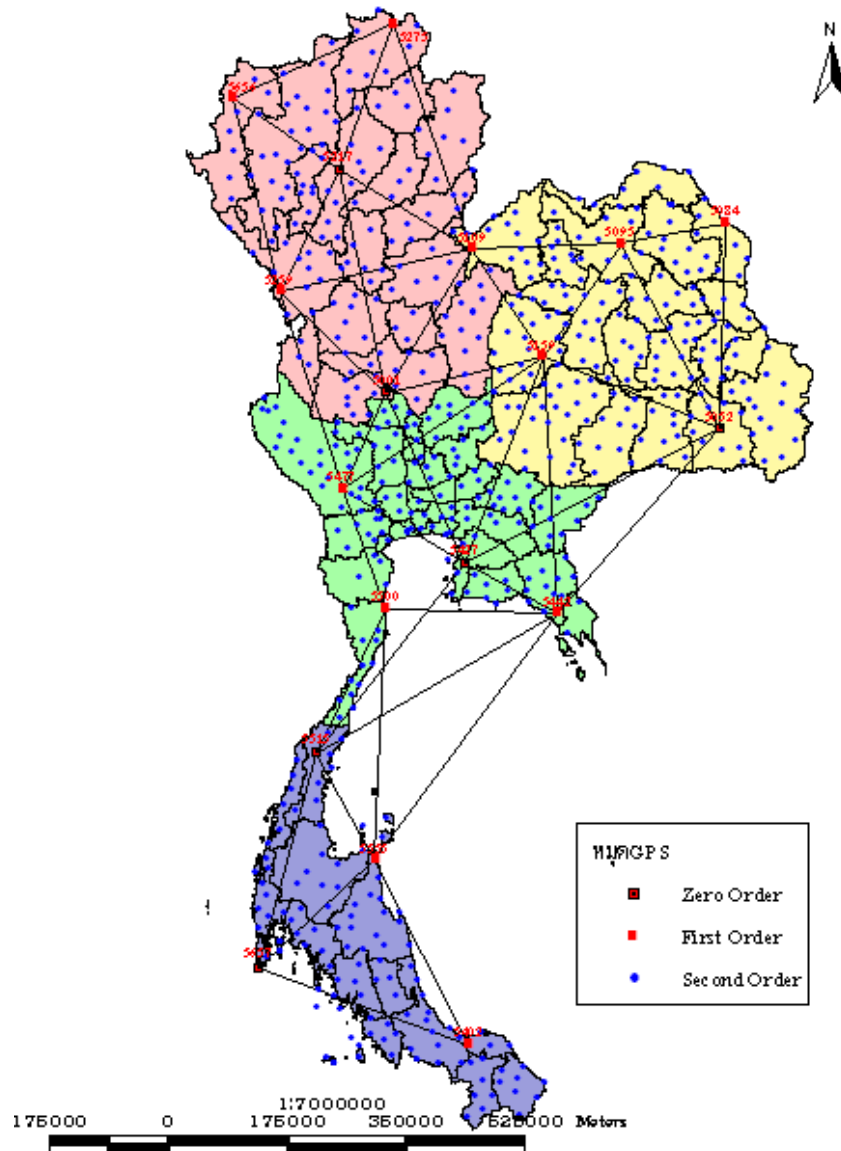
โครงข่ายทางยี่ห้อเดซีของประเทศไทย ดำเนินการโดยกรมแผนที่ทหาร โดยเทคนิคการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 1991 แบ่งชั้นงานของโครงข่าย เป็น 3 ชั้นงาน ตามวิธีการรังวัดและความละเอียดถูกต้องของโครงข่าย (เอกภพ ภาณุมาศตระกูล , 2552) ดังภาพ

โครงข่ายอ้างอิง (Reference Network) เป็นโครงข่ายที่มีความถูกต้องสูงใช้ในการตรวจสอบและติดตามการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก จากโครงการ THAICA และ GEODYSSSEA มีจำนวน 7 สถานี มีค่าความถูกต้องในระดับ มิลลิเมตร บนพื้นหลักฐาน ITRF 1994 ณ ระยะเวลา เดือน เมษายน 1996 (epoch 1996.4)

โครงข่ายชั้นที่ 1 (Primary Network) รังวัดขยายจากโครงข่ายอ้างอิง มีจำนวน 11 สถานี รวมกับโครงข่ายอ้างอิงอีก 7 สถานี รวมเป็น 18 สถานี ครอบคลุมทั่วประเทศไทย เพื่อใช้เป็นหมุดควบคุม ขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานทั่วประเทศ มีความละเอียดถูกต้องในชั้นงาน A ตามมาตรฐานของ Federal Geodetic Control Committee (FGCC)

โครงข่ายชั้นที่ 2 (Secondary Network) รังวัดขยายจากโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายหลัก มีจำนวนหมุดหลักฐานกว่า 700 หมุดทั่วประเทศไทย มีความละเอียดถูกต้องในชั้นงาน B ตามมาตรฐาน FGCC

ภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ เมื่อปี 2004 กรมแผนที่ทหารจัดชุดสำรวจติดตามการเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่อง ผลกระทบจากเหตุการณ์ทำให้โครงข่ายเกิดการบิดเบี้ยวและจะยังคงมีผลกระทบต่อไปอีกหลายปีเนื่องจากการเคลื่อนตัวหลังจากการเกิดแผ่นดินไหว (Satirapod, Simons and Promthong, 2008) และเพื่อคงความถูกต้องและง่ายต่อการบำรุงรักษา ในห้วงที่ผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกยังคงมีอยู่ จึงทำการลดจำนวนหมุดหลักฐานในโครงข่ายลง จากจำนวนประมาณ 700 หมุด เหลือเพียง 95 หมุด ทำการรังวัดโครงข่ายอ้างอิงโครงข่ายชั้นที่ 1 และโครงข่ายชั้นที่ 2 ขึ้นใหม่ ในปี 2005 – 2007 อ้างอิงบนกรอบพิกัดอ้างอิง ITRF 2000 ระยะเวลา 2005.7 โดยรายละเอียดของแต่ละโครงข่ายมีดังนี้



ภาพโครงข่ายทางยี่ห้อเดซีของประเทศไทยก่อนการเกิดแผ่นดินไหว

(เอกภพ ภาณูมาตราศตวรรษ, 2552)

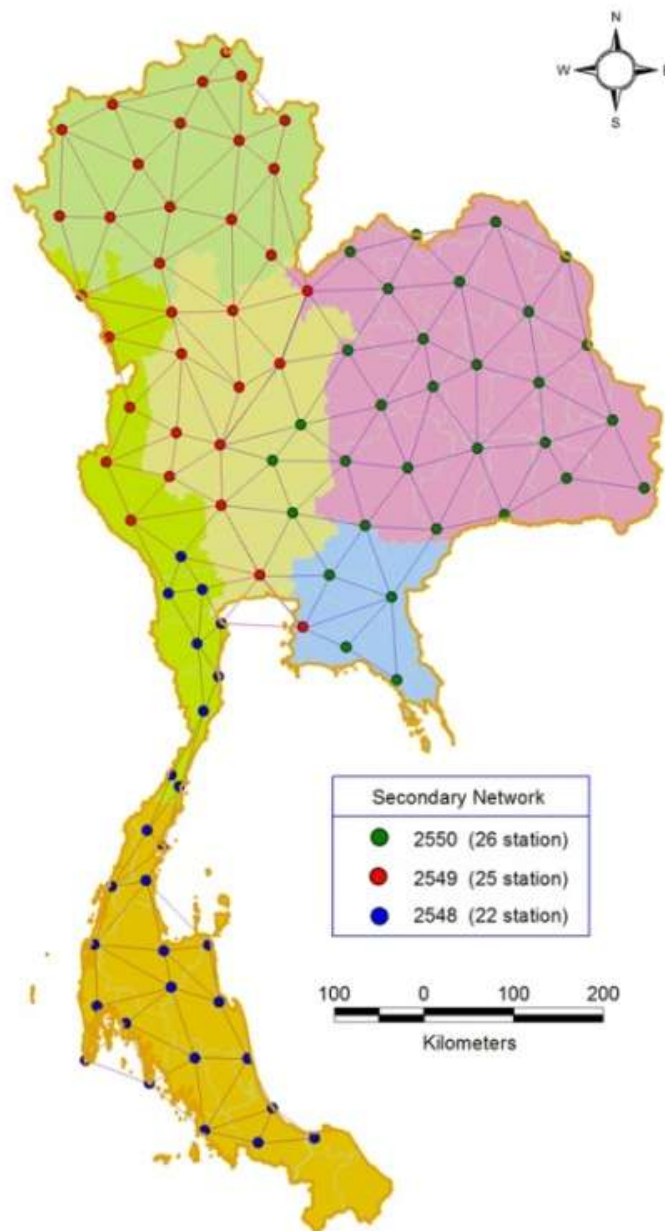
โครงข่ายอ้างอิง (Reference Network) ใช้ข้อมูลการรังวัด 7 วัน ประมวลผลด้วยโปรแกรม GIPSY OASIS II มีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ 3-5 มิลลิเมตร มีจำนวน 8 สถานี

โครงข่ายชั้นที่ 1 (Primary Network) ใช้ข้อมูลการรังวัด 24 ชั่วโมง ประมวลผลด้วยชุดโปรแกรม Trimble Geomatic Office (TGO) Version 1.6 โดยใช้ค่าวงโคจรของดาวเทียมที่มีความละเอียดสูง ผลลัพธ์ได้ความละเอียดถูกต้องของหมุดในโครงข่าย อยู่ในเกณฑ์ 1.5 – 2.5 ซม. มีจำนวนหมุดรวมโครงข่ายอ้างอิง จำนวน 19 สถานี

โครงข่ายชั้นที่ 2 (Secondary Network) ใช้ข้อมูลการรังวัด 4 ชั่วโมง ประมวลผลด้วย ชุดโปรแกรม Trimble Geomatic Office (TGO) Version 1.6 โดยใช้ค่าวงโคจรของดาวเทียมที่มีความละเอียดสูง ผลลัพธ์ได้ความละเอียดถูกต้องของหมุดในโครงข่าย อยู่ในเกณฑ์ 3 -5 ซม. มีจำนวนหมุดรวมโครงข่ายอ้างอิง และโครงข่ายชั้นที่ 1 จำนวนทั้งสิ้น 94 สถานี



ภาพโครงข่ายอ้างอิงและโครงข่ายชั้นที่ 1 หลังการเกิดแผ่นดินไหว (เอกภพ ภาณุมาศตระกูล, 2552)



ภาพโครงข่ายชั้นที่ 2 หลังการเกิดแผ่นดินไหว (เอกภพ ภาณุมาศตระกูล, 2552)

ภาคผนวก ข

รายละเอียดที่ตั้งของสถานีโครงข่าย IGS ในกรอบ ITRF2005 จำนวน 132 สถานี

No.	Code	Pt	Domes	T	Station Description	Longitude	Latitude	Height
1	ALGO	A	40104M002	P	ALGONQUIN PARK, CANADA	281 55 43.0	45 57 20.8	200.9
2	ALIC	A	50137M001	P	ALICE SPRINGS, AUSTRAL	133 53 7.8	-23 40 12.4	603.3
3	ALRT	A	40162M001	P	ALERT (ELLESMERE ISLAN	297 39 34.3	82 29 39.4	78.1
4	AMC2	A	40472S004	P	COLORADO SPRINGS, USA	255 28 31.4	38 48 11.2	1911.4
5	ARTU	A	12362M001	P	ARTI, RUSSIAN FEDERATI	58 33 37.6	56 25 47.3	247.6
6	ASC1	A	30602M001	P	ASCENSION ISLAND, ASCE	345 35 16.5	-7 57 4.3	105.1
7	ASPA	A	50503S006	P	PAGO PAGO, USA	189 16 39.2	-14 19 33.9	53.7
8	BAHR	A	24901M002	P	BAHR 49010M002	50 36 29.3	26 12 32.9	-17.1
9	BILI	A	12363M001	P	BILIBINO, RUSSIAN FEDE	166 26 16.6	68 4 34.0	456.1
10	BJFS	A	21601M001	P	FANGSHAN, CHINA	115 53 32.9	39 36 30.9	87.4
11	BOR1	A	12205M002	P	BOROWIEC NEAR KORNIK &	17 4 24.4	52 16 37.0	124.4
12	BRAZ	A	41606M001	P	BRAZ 41606M001	312 7 19.6	-15 56 50.9	1106
13	BRUS	A	13101M004	P	BRUSSELS, BELGIUM	4 21 33.1	50 47 52.1	149.7
14	CAGL	A	12725M003	P	CAGLIARI, ITALY	8 58 21.9	39 8 9.2	238.4
15	CAS1	A	66011M001	P	CASEY, ANTARTICA	110 31 10.9	-66 17 0.0	22.5
16	CEDU	A	50138M001	P	CEDU 50138M001	133 48 35.3	-31 52 0.0	144.8
17	CHAT	A	50207M001	P	WAITANGI, NEW ZEALAND	183 26 2.9	-43 57 20.8	58
18	CHPI	A	41609M003	P	CACHOEIRA PAULISTA, BR	315 0 53.4	-22 41 13.7	617.4
19	CHUR	A	40128M002	P	CHURCHILL, CANADA	265 54 40.5	58 45 32.6	-19.4
20	COCO	A	50127M001	P	COCOS (KEELING) ISLAND	96 50 2.2	-12 11 18.0	-35.3
21	CONZ	A	41719M002	P	CONCEPCION, CHILE	286 58 28.2	-36 50 37.5	180.7
22	CORD	A	41511M001	P	CORDOBA, ARGENTINA	295 31 47.8	-31 31 42.3	746.8
23	CRO1	A	43201M001	P	CHRISTIANSTED, USA I	295 24 56.4	17 45 24.8	-31.9
24	DAEJ	A	23902M002	P	TAEJON, KOREA	127 22 28.1	36 23 57.9	116.8
25	DARW	A	50134M001	P	DARWIN, AUSTRALIA	131 7 57.8	-12 50 37.3	125.1
26	DAV1	A	66010M001	P	DAVIS, ANTARCTICA	77 58 21.4	-68 34 38.3	44.4
27	DGAR	A	30802M001	P	DIEGO GARCIA ISLAND, U	72 22 12.8	-7 16 10.8	-64.9
28	DRAO	A	40105M002	P	PENTICTON, CANADA	240 22 30.0	49 19 21.4	541.9
29	DUBO	A	40137M001	P	LAC DU BONNET, CANADA	264 8 1.7	50 15 31.7	245.3
30	FLIN	A	40135M001	P	CFS FLIN FLON, CANADA	258 1 19.0	54 43 32.1	311.5
31	GLPS	A	42005M002	P	PUERTO AYORA, ECUADOR	269 41 46.7	0 44 34.7	1.8
32	GLSV	A	12356M001	P	KIEV, UKRAINE	30 29 48.2	50 21 51.0	226.3
33	GODE	A	40451M123	P	GREENBELT, USA	283 10 23.4	39 1 18.2	14.5
34	GOLD	A	40405S031	P	GOLDSTONE, USA	243 6 38.7	35 25 30.5	986.7
35	GRAS	A	10002M006	P	CAUSSOLS, FRANCE	6 55 14.0	43 45 17.0	1319.3
36	GUAM	A	50501M002	P	DEDEDO, GUAM	144 52 6.1	13 35 21.5	201.9
37	GUAO	A	21612M003	P	URUMQI, CHINA	87 10 38.2	43 28 15.9	2028.7
38	HARB	A	30302M009	P	PRETORIA, SOUTH AFRICA	27 42 26.0	-25 53 13.0	1558.1
39	HLFX	A	40120M001	P	HALIFAX, CANADA	296 23 19.3	44 41 0.7	3.1
40	HNLC	A	49970S001	P	HONOLULU, USA	202 8 7.6	21 18 11.8	22
41	HOB2	A	50116M004	P	HOBART, AUSTRALIA	147 26 19.4	-42 48 16.9	41.1
42	HOFN	A	10204M002	P	HOFN 10204M002	344 48 7.4	64 16 2.2	82.6
43	HOLM	A	40148M001	P	HOLMAN (VICTORIA ISLAN	242 14 19.5	70 44 10.6	0.4
44	HRAO	A	30302M004	P	KRUGERSDORP, SOUTH AFR	27 41 13.1	-25 53 24.3	1414.2
45	HYDE	A	22307M001	P	HYDERABAD (LOCATED IN	78 33 3.1	17 25 2.1	441.7
46	IISC	B	22306M002	P	BANGALORE, INDIA	77 34 13.3	13 01 16.1	843.7
47	IRKT	A	12313M001	P	IRKUTSK, RUSSIA	104 18 58.4	52 13 8.4	502.3
48	ISPA	A	41703M007	P	EASTER ISLAND, CHILE	250 39 20.1	-27 7 29.9	112.5
49	JAB1	A	50136M001	P	JAB1 50136M001	132 53 38.0	-12 39 31.8	82.1
50	JOZE	A	12204M001	P	JOZEFOSLAW NEAR WARSAW	21 1 53.5	52 5 50.1	141.4
51	KARR	A	50139M001	P	KARRATHA, AUSTRALIA	117 5 49.8	-20 58 53.1	109.2
52	KELY	B	43005M002	P	KANGERLUSSUAQ, GREENLA	309 3 18.5	66 59 14.7	229.8

No.	Code	Pt	Domes	T	Station Description	Longitude	Latitude	Height
53	KERG	A	91201M002	P	PORT AUX FRANCAIS, KER	70 15 19.8	-49 21 5.2	73
54	KIT3	A	12334M001	P	KITAB, UZBEKISTAN	66 53 7.5	39 8 5.1	622.5
55	KOKB	A	40424M004	P	KOKEE PARK, WAIMEA,, U	200 20 6.2	22 7 34.5	1167.4
56	KUNM	A	21609M001	P	KUNMING, CHINA	102 47 49.8	25 1 46.3	1986.2
57	LAE1	A	51002M001	P	LAE, PAPUA NEW GUINEA	146 59 35.4	-6 40 25.3	140.3
58	LHAZ	A	21613M002	P	LHASA, CHINA	91 6 14.4	29 39 26.3	3624.6
59	LPGS	A	41510M001	P	LA PLATA, ARGENTINA	302 4 3.7	-34 54 24.2	29.9
60	MAC1	A	50135M001	P	MACQUARIE ISLAND, SUB-	158 56 8.9	-54 29 58.3	-6.8
61	MADR	A	13407S012	P	ROBLEDO, SPAIN	355 45 1.2	40 25 44.9	829.4
62	MALI	A	33201M001	P	MALINDI, KENYA	40 11 39.8	-2 59 45.2	-23.3
63	MANA	A	41201S001	P	MANAGUA, NICARAGUA	273 45 3.6	12 8 56.1	71
64	MAS1	A	31303M002	P	MASPALOMAS, SPAIN	344 22 0.2	27 45 49.4	197.2
65	MATE	A	12734M008	P	MATERA, ITALY	16 42 16.0	40 38 56.8	535.6
66	MAW1	A	66004M001	P	MAWSON, ANTARCTICA	62 52 14.5	-67 36 17.1	59.1
67	MBAR	A	33901M001	P	MBARARA, UGANDA	30 44 16.3	0 36 5.2	1337.5
68	MCM4	A	66001M003	P	ROSS ISLAND, ANTARCTIC	166 40 9.5	-77 50 18.0	98
69	MDO1	A	40442M012	P	FORT DAVIS, USA	255 59 6.0	30 40 49.8	2004.5
70	MDVJ	A	12309M005	P	MENDELEEV, RUSSIA	37 12 52.2	56 1 17.3	257.1
71	METS	A	10503S011	P	KIRKKONUMMI (40 KM WES	24 23 43.1	60 13 2.8	94.6
72	MKEA	A	40477M001	P	MAUNA KEA, USA	204 32 37.1	19 48 4.8	3754.7
73	NICO	A	14302M001	P	NICOSIA, CYPRUS	33 23 47.2	35 8 27.5	190
74	NKLG	A	32809M002	P	LIBREVILLE, GABON	9 40 19.6	0 21 14.0	31.5
75	NLIB	A	40465M001	P	NORTH LIBERTY, USA	268 25 30.3	41 46 17.7	207
76	NOT1	A	12717M004	P	NOTO, ITALY	14 59 23.2	36 52 33.0	126.3
77	NOUM	A	92701M003	P	NOUMEA, FRANCE	166 24 36.7	-22 16 11.4	83.1
78	NOVJ	A	12367M001	P	NOVOSIBIRSK, RUSSIA	82 54 32.8	55 1 47.7	125.9
79	NRC1	A	40114M001	P	OTTAWA, CANADA	284 22 34.2	45 27 14.9	82.5
80	NRIL	A	12364M001	P	NORILSK, RUSSIAN FEDER	88 21 35.2	69 21 42.6	47.9
81	NYA1	A	10317M003	P	NY-ALESUND, NORWAY	11 51 55.1	78 55 46.3	84.2
82	NYAL	A	10317M001	P	NY-ALESUND, NORWAY	11 51 54.3	78 55 46.5	78.5
83	OH12	A	66008M005	P	O'HIGGINS, ANTARCTIC P	302 5 55.1	-63 19 15.8	32.4
84	OH13	A	66008M006	P	O'HIGGINS, ANTARCTIC P	302 5 55.0	-63 19 15.9	32.6
85	ONSA	A	10402M004	P	ONSA, SWEDEN	11 55 31.8	57 23 43.0	45.6
86	PDEL	A	31906M004	P	PONTA DELGADA, PORTUGA	334 20 14.0	37 44 51.8	110.6
87	PERT	A	50133M001	P	PERTH, AUSTRALIA	115 53 6.8	-31 48 7.0	12.7
88	PETP	A	12355M002	P	PETROPAVLOVSK-KAMCHATK	158 36 25.4	53 4 0.2	210.3
89	PIE1	A	40456M001	P	PIE TOWN, USA	251 52 51.8	34 18 5.4	2347.7
90	PIMO	A	22003M001	P	QUEZON CITY, PHILLIPIN	121 4 39.8	14 38 8.5	95.5
91	POL2	A	12348M001	P	BISHKEK, KYRGHYZSTAN	74 41 39.3	42 40 47.1	1714.2
92	POLV	A	12336M001	P	POLTAVA, UKRAINE	34 32 34.5	49 36 9.4	178.4
93	POTS	A	14106M003	P	POTSDAM, GERMANY	13 3 57.9	52 22 45.4	144.4
94	QAQ1	A	43007M001	P	QAQORTOQ / JULIANEHAAB	313 57 8.0	60 42 54.9	110.4
95	QUIN	A	40433M004	P	QUINCY, USA	239 3 20.0	39 58 28.3	1105.8
96	RABT	A	35001M002	P	RABAT, MOROCCO	353 8 44.5	33 59 53.1	90.1
97	RAMO	A	20703S001	P	MITZPE RAMON, ISRAEL	34 45 47.2	30 35 51.3	886.8
98	REUN	A	97401M003	P	LE TAMPON, FRANCE	55 34 18.1	-21 12 29.6	1558.4
99	REYK	A	10202M001	P	REYKJAVIK, ICELAND	338 2 40.2	64 8 19.6	93
100	RIOG	A	41507M004	P	RIO GRANDE, ARGENTINA	292 14 55.9	-53 47 7.7	32
101	SANT	A	41705M003	P	SANTIAGO, CHILE	289 19 53.2	-33 9 1.0	723
102	SCH2	A	40133M002	P	SCHEFFERVILLE, CANADA	293 10 2.5	54 49 55.5	498.2
103	SCUB	A	40701M001	P	SANTIAGO DE CUBA, CUBA	284 14 15.6	20 0 43.4	20.9
104	SEY1	A	39801M001	P	LA MISERE, SEYCHELLES	55 28 45.8	-4 40 25.3	537.2
105	SFER	A	13402M004	P	SAN FERNANDO (CADIZ)	353 47 39.6	36 27 51.6	84.2
106	STJO	A	40101M001	P	ST. JOHN'S, CANADA	307 19 20.1	47 35 42.8	152.8
107	SUTH	A	30314M002	P	SUTHERLAND, SOUTH AFRI	20 48 37.6	-32 22 48.7	1799.8

No.	Code	Pt	Domes	T	Station Description	Longitude	Latitude	Height
108	SYOG	A	66006S002	P	EAST ONGLE ISLAND, ANT	39 35 1.4	-69 0 25.0	50
109	THTI	A	92201M009	P	PAPEETE, TAHITI, FRENC	210 23 36.7	-17 34 37.4	98
110	THU3	A	43001M002	P	THULE AIRBASE, GREENLA	291 10 29.8	76 32 13.3	36.1
111	TIDB	A	50103M108	P	TIDBINBILLA, AUSTRALIA	148 58 47.9	-35 23 57.1	665.4
112	TIXI	A	12360M001	P	TIXI, RUSSIAN FEDERATI	128 51 59.1	71 38 4.1	47.1
113	TOW2	A	50140M001	P	CAPE FERGUSON, AUSTRAL	147 3 20.4	-19 16 9.4	88.1
114	TRAB	A	20808M001	P	TRABZON, TURKEY	39 46 32.0	40 59 40.9	99.3
115	TRO1	A	10302M006	P	TROMSOE, NORWAY	18 56 22.7	69 39 45.7	138.1
116	TROM	A	10302M003	P	TROMSOE, NORWAY	18 56 17.9	69 39 45.8	132.5
117	TSKB	A	21730S005	P	TSUKUBA, JAPAN	140 5 14.9	36 6 20.4	67.3
118	ULAB	A	24201M001	P	ULAANBATAAR, MONGOLIA	107 3 8.3	47 51 54.2	1575.5
119	UNSA	A	41514M001	P	SALTA, ARGENTINA	294 35 32.4	-24 43 38.8	1257.8
120	USNO	A	40451S003	P	WASHINGTON, USA	282 56 1.5	38 55 8.2	48.9
121	VESL	A	66009M001	P	SANAE IV, ANTARCTICA	357 9 29.5	-71 40 25.6	862.4
122	VILL	A	13406M001	P	VILLAFRANCA, SPAIN	356 2 52.8	40 26 36.9	647.4
123	WES2	A	40440S020	P	WESTFORD, USA	288 30 24.0	42 36 48.0	85
124	WHIT	A	40136M001	P	WHITEHORSE, CANADA	224 46 40.3	60 45 1.8	1427.4
125	WILL	A	40134M001	P	WILLIAMS LAKE, CANADA	237 49 55.8	52 14 12.7	1095.7
126	WSRT	A	13506M005	P	WESTERBORK, NETHERLAND	6 36 16.2	52 54 52.5	82.3
127	WTZR	A	14201M010	P	KOETZTING, GERMANY	12 52 44.0	49 8 39.1	666
128	WUHN	A	21602M001	P	WUHN 21602M001	114 21 26.1	30 31 53.9	25.8
129	YAR1	A	50107M004	P	MINGENEW, AUSTRALIA	115 20 49.1	-29 2 47.6	241.3
130	YELL	A	40127M003	P	YELLOWKNIFE, CANADA	245 31 9.4	62 28 51.2	180.9
131	YSSK	A	12329M003	P	YUZHNO-SAKHALINSK, RUS	142 43 0.1	47 1 47.0	91.3
132	ZIMM	A	14001M004	P	ZIMMERWALD, SWITZERLAN	7 27 54.9	46 52 37.5	956.3

ภาคผนวก ค

รายละเอียดที่ตั้งของสถานีโครงข่ายอ้างอิงของประเทศไทยทั้ง 6 หมุด

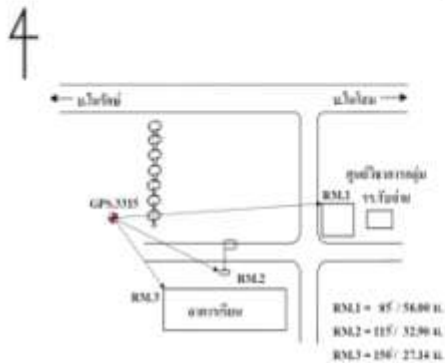
1. หมุด BANH จ. ชุมพร



แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ

หมายเลขหมุด GPS 3315	สถานที่ตั้ง โรงเรือนบ้านหินแก้ว	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น AA
ชื่อหมุด BANHINKAE0	อ.ท่าชนะ จ. ชุมพร	แบบของหมุดหลักฐาน แบบ ก
โครงการ ชื่อแผนที่และชื่อพิกัด ปี 2550	กองสนาม กองสำรวจวางหมุดหลักฐานเพื่อดาวเทียม GPS	
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84		
ลองจิจูด(Longitude): $99^{\circ} 04' 32.20189$ E.	ละติจูด(Latitude): $10^{\circ} 36' 34.53856$ N.	ความสูงเหนือทรวงี(h): -4.490 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 508270.788 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 1172807.474 ม.	Zone 47P
การแปลงค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน : WGS84 เป็น Indian1975		
$(X, Y, Z)_{\text{Indian1975}} = (X, Y, Z)_{\text{WGS84}} + (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$		
$\Delta X = 204.4798$ เมตร ; $\Delta Y = 837.8940$ เมตร ; $\Delta Z = 294.7765$ เมตร		
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน Indian1975		
ลองจิจูด(Longitude): $99^{\circ} 04' 43.194128$ E.	ละติจูด(Latitude): $10^{\circ} 36' 27.514991$ N.	ความสูงเหนือทรวงี(h): 14.1385 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 508603.6687 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 1172505.3540 ม.	Zone 47P
ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง(H): 23.70260 ม.	ความสูงเอียงยัด(N=h-H):	ม.
งานระดับชั้นที่ 1	แผนที่ชุด L.7018	หมายเลขระวาง 4830-III

แผนภาพหมุดหลักฐาน



ทางไปหมุด:

เดินทางจาก อ.ท่าชนะ ไป จ.ชุมพร ตาม ทล. 4 ถึง กม.491+300(ด้านซ้ายมือเป็น ร้านอาหาร กุณสร้อย) ให้ถลันรถ (u-turn) แล้วเลี้ยวขวาเข้า ทนง รพช. ไประยะทาง 3.9 กม. พบทางแยกให้ เลี้ยวขวาไประยะทาง 50 ม. พบทางแยก ให้ เลี้ยวซ้ายไประยะทาง 2.3 กม.

จะพบ รร.บ้านหินแก้ว หมุดหมายเลข GPS.3315 หอดฝั่งไร่ซึ่งสนามฟุตบอล

แผนภาพนี้ไม่ควรถูกถามหา



ลักษณะหมุด: หมุดหัวทองเหลืองของกรมแผนที่ทหาร หมุดอยู่สูงจากพื้นดิน 20 ซม.

หมายเหตุ:

สำรวจโดย _____
(_____)

ผู้ตรวจสอบโดย _____
(_____)

จัดทำโดย กองมือแผนที่และชื่อพิกัด กรมแผนที่ทหาร

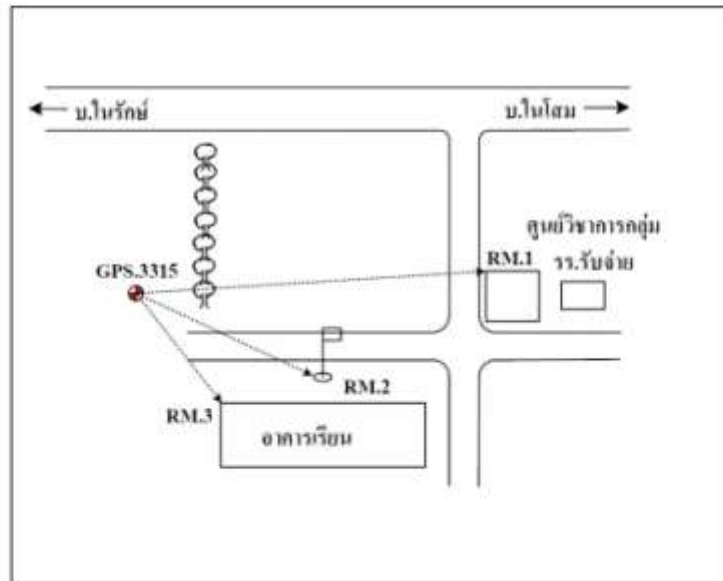
โทร. 0 2222 3045 E-mail: geodesytsd@yahoo.com

แผนภาพหมุดหลักฐาน

โรงเรียนบ้านหินแก้ว อ.ท่ามะพร้าว จ.สุบพ



NOT TO SCALE



RM.1 = 85° / 58.00 ม.

RM.2 = 115° / 32.90 ม.

RM.3 = 150° / 27.14 ม.

ภาพหัวหมุดหลักฐาน





ทิศเหนือ



ทิศใต้

หมุดหลักฐาน GPS หมายเลข 3315



ทิศตะวันออกเฉียง



ทิศตะวันตก



ภาพแสดงหมุดหลักฐาน

หมุดหลักฐาน GPS หมายเลข 3315

ชื่อหมุดหลักฐาน BANHINKAEO

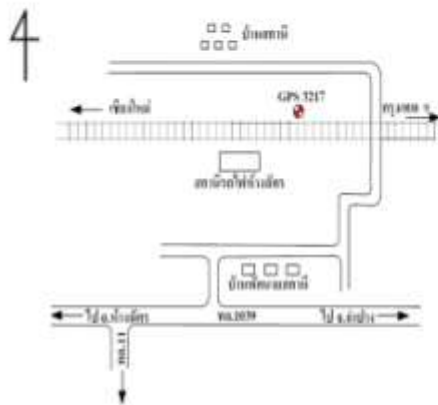
2. หมุด OTRI จ.ลำปาง



แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ

หมายเลขหมุด GPS 3217	สถานที่ตั้ง บ้านสถานี ต.ห้างฉัตร	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น AA
ชื่อหมุด OTR1147	อ.ห้างฉัตร จ. ลำปาง	หมุดของหมุดหลักฐาน หมุดสามเหลี่ยม
โครงการ ชื่อแผนที่และชื่อพิกัด ปี 2550	กองสนาม กองสำรวจวางหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS	
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84		
ลองจิจูด(Longitude): $99^{\circ} 22' 16.56697$ E.	ละติจูด(Latitude): $18^{\circ} 20' 07.22532$ N.	ความสูงเหนือทรวงี(h): 240.193 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 539222.859 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 2027326.913 ม.	Zone 47Q
การแปลงค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน : WGS84 เป็น Indian1975 $(X, Y, Z)_{Indian1975} = (X, Y, Z)_{WGS84} - (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$		
$\Delta X = 204.4798$ เมตร ; $\Delta Y = 837.8940$ เมตร ; $\Delta Z = 294.7765$ เมตร		
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน Indian1975		
ลองจิจูด(Longitude): $99^{\circ} 22' 27.885857$ E.	ละติจูด(Latitude): $18^{\circ} 20' 02.682285$ N.	ความสูงเหนือทรวงี(h): 236.8628 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 539555.7842 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 2027024.0417 ม.	Zone 47Q
ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง(H): 278.0257 ม.	ความสูงอียิปต์(N=h-H):	ม.
งานระดับชั้นที่ 1	แผนที่ชุด L.7018	หมายเลขวาง 4845-1

แผนภาพหมุดหลักฐาน



ทางไปหมุด:
 เดินทางจาก อ.ลำปาง ไป อ.ลำพูน ตามทล. หมายเลข 11 ถึง กม.12+700 เลี้ยวขวาไปตามถนนระยะทาง 1 กม. ถึง อ.ห้างฉัตรพบสามแยกสี่เหลี่ยมตาม ทล.1039ระหว่าง กม. 1-2 จะพบทางเข้าสถานีรถไฟห้างฉัตรทางซ้ายมือเข้าไปจะพบสามแยกให้เลี้ยวขวาพบสามแยกสี่เหลี่ยมซ้าย ตามถนน จะพบหมุดหมายเลข GPS.3217 อยู่ทางซ้ายมือข้างทางรถไฟ

แผนภาพนี้ไม่ตรงตามขนาดจริง

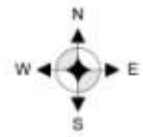


ลักษณะหมุด: หมุดหัวทอมเหล็กของกรมแผนที่ทหาร (เดิมเป็นสถานีรังวัดลาดชันฐานละวันออกหรือ ลาด)
หมายเหตุ:

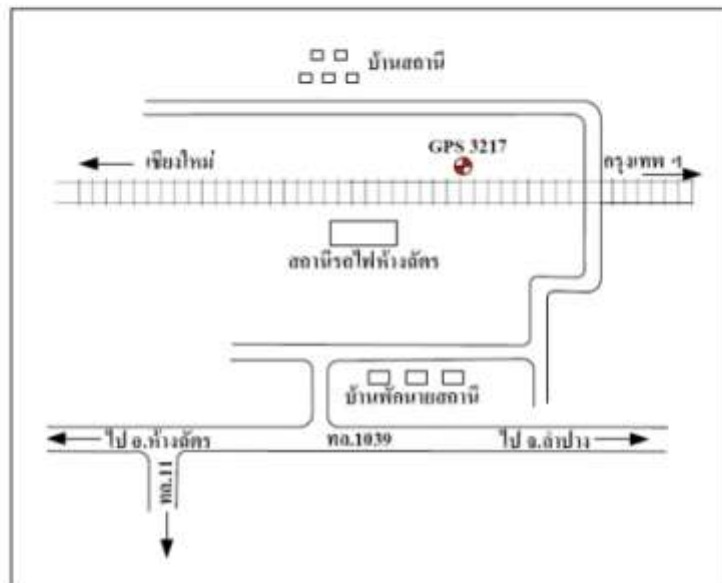
สำรวจโดย _____
 (_____)
 _____ / _____ / _____

ผู้ตรวจสอบโดย _____
 (_____)
 _____ / _____ / _____

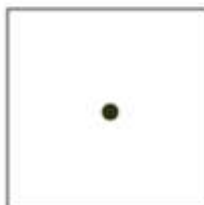
แผนภาพหมุดหลักฐาน
บ้านสถานี ต.ห้วยฉัตร อ.ห้วยฉัตร จ.ลำปาง



NOT TO SCALE



ภาพหัวหมุดหลักฐาน





ทิศเหนือ



ทิศใต้

หมุดหลักฐาน GPS หมายเลข 3217



ทิศตะวันออก



ทิศตะวันตก



ภาพแสดงหมุดหลักฐาน
หมุดหลักฐาน GPS หมายเลข 3217
ชื่อหมุดหลักฐาน OTRI147

3. หมุด PHUK จ.ภูเก็ต



แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ

หมายเลขหมุด GPS 3657 ชื่อหมุด 3657	สถานที่ตั้ง ป่าดงแหลมพรหมเทพ ต.ราไวย์ อ.เมือง จ. ภูเก็ต	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น AA แบบของหมุดหลักฐาน แบบ ก
โครงการ อีโคโนเตคส์และอีโคโนฟิสิกส์ ปี 2548		กองสนาม กองสำรวจวางหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84		
ลองจิจูด(Longitude): 98° 18' 12.94083 E. ค่าตะวันออก(Easting): 423210.483 ม.	ละติจูด(Latitude): 07° 45' 32.64102 N. ค่าเหนือ(Northing): 857725.490 ม.	ความสูงเหนือทรวงรี(h): -1.788 ม. Zone 47N
การแปลงค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน : WGS84 เป็น Indian1975 $(X, Y, Z)_{\text{Indian1975}} = (X, Y, Z)_{\text{WGS84}} - (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ $\Delta X = 204.4798$ เมตร ; $\Delta Y = 837.8940$ เมตร ; $\Delta Z = 294.7765$ เมตร		
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน Indian1975		
ลองจิจูด(Longitude): 98° 18' 23.494860 E. ค่าตะวันออก(Easting): 423543.7381 ม.	ละติจูด(Latitude): 07° 45' 25.051600 N. ค่าเหนือ(Northing): 857424.5272 ม.	ความสูงเหนือทรวงรี(h): 23.4850 ม. Zone 47N
ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง(H): จากระดับชั้นที่	ม. ความสูงยอดดิ่ง(N=h-H): แกนที่จุด L7018	ม. ความถ่วงพิภพ: หมายเลขขาระวาง 4624-1

แผนภาพหมุดหลักฐาน



ทางไปหมุด:

ใช้ ทล.หมายเลข 402 ต.เมือง จ.ภูเก็ต ไป
แหลมพรหมเทพ ประมาณ 27 กม.จะมีทางขึ้น
เนินไปลานจอดรถ จะพบประกาศการกวดขัน
กิมกชองกรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ จากนั้นเดิน
ลงเขาไปตามทางคนเดินสู่ป่าดงแหลมประมาณ
800 ม. ห่างจากหมุดนี้ 3.47 ม. ที่ Az.325

จะพบหมุดกรมเจ้าท่า

แผนภาพไม้ทรงกลมมาตรฐาน



ลักษณะหมุด: หมุดหลักฐานโครงการ GEODYSEA เสมอพื้นดิน

หมายเหตุ:

สำรวจโดย _____
(_____)
_____ / _____ / _____

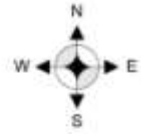
ผู้ตรวจสอบโดย _____
(_____)
_____ / _____ / _____

จัดทำโดย กองอำนวยการและข้อมูลทางสถิติ กรมแผนที่ทหาร

โทร. 0 2222 3045 E-mail: geodesytsd@yahoo.com

แผนภาพหมุดหลักฐาน

ปลายแหลมพรหมเทพ ต.ราไวย์ อ.เมือง จ.ภูเก็ต



NOT TO SCALE



ภาพหัวหมุดหลักฐาน





ทิศเหนือ



ทิศใต้



ทิศตะวันออก



ทิศตะวันตก



ภาพแสดงหมุดหลักฐาน
หมุดหลักฐาน GPS หมายเลข 3657
ชื่อหมุดหลักฐาน PHUKET

4. หมุด SRIS จ.ศรีสะเกษ



แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ

หมายเลขหมุด GPS 3052	สถานที่ตั้ง 55 บ้านกระแซง	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น A
ชื่อหมุด OBMP1374	อ. พยุห์ จ. ศรีสะเกษ	แบบของหมุดหลักฐาน แบบ ก
โครงการ อีโอดีเอ็มและซีเอสทีลิกส์ ปี 2550		
ของสนาม กองสำรวจวางหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS		
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84		
ลองจิจูด(Longitude): 104° 24' 57.39404 E.	ละติจูด(Latitude): 14° 54' 04.66082 N.	ความสูงเหนือทรวงรี(h): 115.126 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 437179.778 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 1647472.698 ม.	Zone 48P
การแปลงค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน : WGS84 เป็น Indian1975		
$(X, Y, Z)_{\text{Indian1975}} = (X, Y, Z)_{\text{WGS84}} - (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$		
$\Delta X = 204.4798$ เมตร ; $\Delta Y = 837.8940$ เมตร ; $\Delta Z = 294.7765$ เมตร		
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน Indian1975		
ลองจิจูด(Longitude): 104° 25' 11.000665 E.	ละติจูด(Latitude): 14° 53' 58.192969 N.	ความสูงเหนือทรวงรี(h): 152.8542 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 437594.3893 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 1647159.6956 ม.	Zone 48P
ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง(H): 136.62652 ม.	ความสูงมีอคยต์(N=h-H): -22.996 ม.	ความถ่วงพิภพ:
วงระดับชั้นที่ 3	เขนที่จุด L7018	หมายเลขขระวา 5838-1

แผนภาพหมุดหลักฐาน



ทางไปหมุด:

เดินทางจาก จ.ศรีสะเกษ ไป อ.รัตนวาปี คมน. ทล. 221 ค่านี่แยกซึ่งทางขวามือไป อ.โพธิ์โพธิ์ ตรงไป ระยะทาง 2 กม. จะพบ 55 บ้านกระแซง ทางด้านซ้ายมือ หมุดหมายเลข GPS.3052 อยู่ ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของเสาธงชาติ

แผนภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน



ลักษณะหมุด: หมุดหัวทอกลมหรือของกรมแผนที่ทหาร หล่อฝังไว้เสมอกับพื้นดิน

หมายเลข: ค่า g = 978310.572

สำรวจโดย _____
(_____)

ผู้ตรวจสอบโดย _____
(_____)

จัดทำโดย กองอีโอดีเอ็มและซีเอสทีลิกส์ กรมแผนที่ทหาร

โทร. 0 2222 3045 E-mail: geodesytsd@yahoo.com



ตึกพระนอน

หมุดหลักฐาน GPS หมายเลข 3052



ตึกใต้



ทิศพระรัตนตรัย



ทิศพระรัตนตรัย



ภาพแสดงหมุดหลักฐาน

หมุดหลักฐาน GPS หมายเลข 3052

ชื่อหมุดหลักฐาน OBMP1374

5. หมุด UTHA จ.อุทัยธานี



แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ

หมายเลขหมุด GPS 3001	สถานที่ตั้ง เขาสะแกกรัง	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น A
ชื่อหมุด OTRI91	อ.เมือง จ.อุทัยธานี	แบบของหมุดหลักฐาน หมุดสามเหลี่ยม
โครงการ อีโอดีเอ็มและซีเอสทีสิกส์ ปี 2550	กองสนม กองสำรวจวางหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS	
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84		
ลองจิจูด(Longitude): 100° 00' 47.54966 E.	ละติจูด(Latitude): 15° 23' 1.554930 N.	ความสูงเหนือทวารวรี(h): 107.671 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 608735.656 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 1701027.309 ม.	Zone 47P
การแปลงค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน : WGS84 เป็น Indian1975 $(X, Y, Z)_{\text{Indian1975}} = (X, Y, Z)_{\text{WGS84}} - (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$		
$\Delta X = 204.4798$ เมตร; $\Delta Y = 837.8940$ เมตร; $\Delta Z = 294.7765$ เมตร		
ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน Indian1975		
ลองจิจูด(Longitude): 100° 00' 59.188793 E.	ละติจูด(Latitude): 15° 22' 56.052903 N.	ความสูงเหนือทวารวรี(h): 115.9598 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 609068.5133 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 1700724.3319 ม.	Zone 47P
ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง(H): 141.13900 ม.	ความสูงซีออดีเอ็ม(N=h-H): -34.280 ม.	ความถ่วงพิภพ:
วงระดับชั้นที่ 3	แผนที่ชุด L7018	หมายเลขขั้ววง 5039-IV

แผนภาพหมุดหลักฐาน

4



ทางไปหมุด:

เดินทางจาก อ.อุทัยธานี ไป สนง.กฬ.อุทัยธานี
 ตามทางไปวัดสังกัสรัตนคีรี เมื่อถึงสถานจอดรถ
 พบทางขึ้นเขา ทางด้านทิศเหนือตรงข้ามกับ
 วัดสังกัสรัตนคีรี เดินเท้าไปตามทางคนเดิน
 ระยะทาง 300 ม. จะพบหมุดหมายเลข
 GPS.3001 ท่อฝังไว้บนหินเขา

แผนภาพนี้ไม่คงความมาตราส่วน



ลักษณะหมุด: เป็นหมุดสามเหลี่ยม(หมุดเบี)

หมายเหตุ: ทำการโยนค่าระดับจากหมุดวรอบ 83 ได้ค่า dH = -120.026 ม.

สำรวจโดย _____
 (_____)

ผู้ตรวจสอบโดย _____
 (_____)

แผนภาพหมุดหลักฐาน

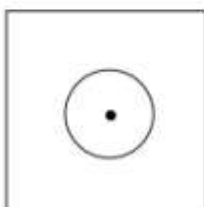
เขาสะแกกรัง อ.เมือง จ.อุทัยธานี



NOT TO SCALE



ภาพหัวหมุดหลักฐาน





ทิศหน้า



ทิศหลัง

หมุดหลักฐาน GPS หมายเลข 3001



ทิศ: ริมถนน



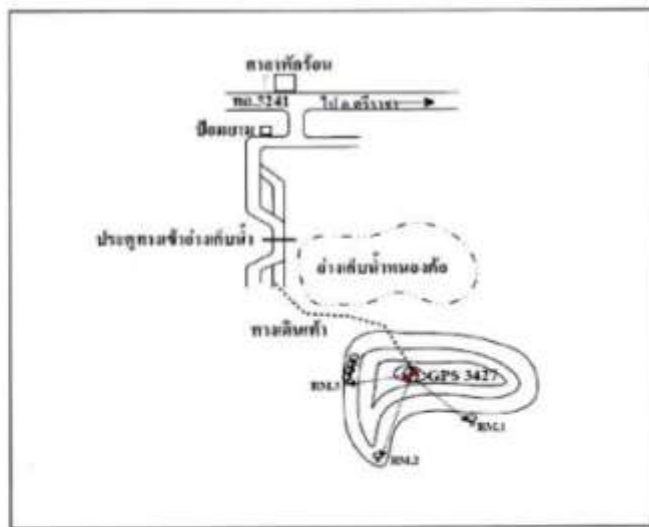
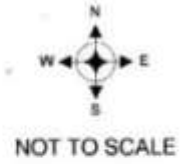
ทิศ: ริมตลิ่ง



ภาพแสดงหมุดหลักฐาน
หมุดหลักฐาน GPS หมายเลข 3001
ชื่อหมุดหลักฐาน OTRI91

แผนภาพมุมหลักฐาน

สำนักงานชลประทานบ้านหนองค้อ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี



RM.1 = 125' / 13.70 ม.
 RM.2 = 190' / 21.00 ม.
 RM.3 = 145' / 15.90 ม.

ภาพถ่ายมุมหลักฐาน



ภาคผนวก ง

รายละเอียด Script ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัย

1 index.html

เป็น Script สำหรับการสุ่มชื่อสถานี IGS ในแต่ละรูปแบบที่ศึกษา เช่น ทำการสุ่มรายชื่อกลุ่มสถานี IGS สำหรับศึกษาของ COMBINATION 4 จากทั้งหมด 30 สถานี จำนวน 500 กลุ่มตัวอย่าง เป็นต้น ซึ่งสร้างด้วยภาษาJAVA และแสดงผลบนหน้าจอHTML สร้างโดย พ.ต. สรวิต สุภเวทย์

รายละเอียดไฟล์ Script index.html

```
<html>
<head>
<script type="text/javascript">
var num_station = 33;
var random_number = 4;
var stations = [
    "TIDB"
    ,"SHAO"
    ,"IISC"
    ,"ALGO"
    ,"DARW"
    ,"YAR1"
    ,"KOKB"
    ,"KIT3"
    ,"MKEA"
    ,"YELL"
    ,"ONSA"
    ,"DGAR"
    ,"LHAZ"
    ,"MAS1"
    ,"VILL"
    ,"ALIC"
    ,"TNML"
    ,"GUAM"
    ,"PIMO"
    ,"KOSG"
    ,"HYDE"
    ,"TSKB"
    ,"MAC1"
    ,"WUHN"
    ,"BAKO"
    ,"KARR"
    ,"PERT"
    ,"KERG"
    ,"COCO"
    ,"KUNM"
    ,"GOLD"
    ,"FAIR"
    ,"NTUS"
    //,"LHAS"
    //,"XIAN"
    //,"KWJ1"
];
function valueIn( ar , val ){
    for(var i=0;i<ar.length;i++){
        if( ar[i] == val ){
```

```

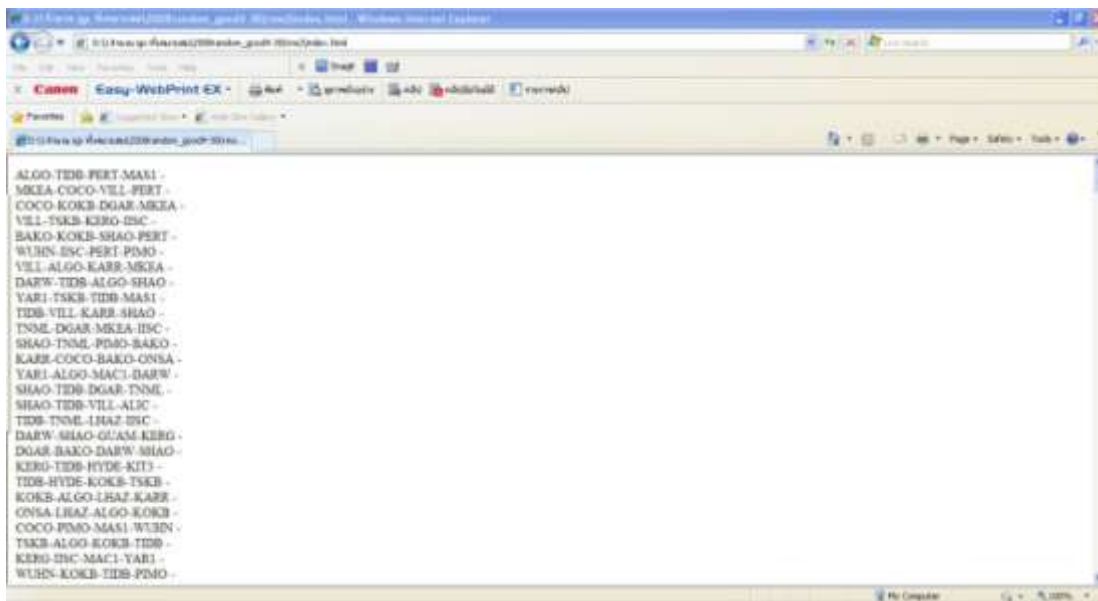
        return true;
    }
}
return false;
}
function getRandomNumber(){
    var num = ""+ Math.random();
    var number = parseInt( num.substring( num.length-2 , num.length ) );
    if( number <= num_station ){
        // do nothing !!!
    }else{
        number = number % num_station;
    }
    if( number > 0 ) number = number - 1;
    return number;
}
window.onload = function(){
    var str = "";
    var html = "";
    for(var i=1;i<=500;i++){
        var str = "";
        var remain = [];
        for(var j=1;j<=random_number;j++){

            var number = getRandomNumber();
            while( valueIn( remain , number )== true ){
                number = getRandomNumber();
            }
            if( str.length>0 ) str += "-";

            str += stations[ number ];
            remain.push( number );
        }
        html += str + "-<br/>";
    }
    document.write( html );
}
</script>
</head>
<body>
</body>
</html>

```

แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ script



```

ALGO-TIDB-FERT-MASI -
MKEA-COCO-VILL-FERT -
COCO-KOKB-DGAR-MKEA -
VILL-TSKB-KERG-ISC -
BAKO-KOKB-SHAO-FERT -
WUHN-ISC-FERT-PMO -
VILL-ALGO-KARR-MKEA -
DARW-TIDB-ALGO-SHAO -
YARI-TSKB-TIDB-MASI -
TIDB-VILL-KARR-SHAO -
TNML-DGAR-MKEA-ISC -
SHAO-TNML-PMO-BAKO -
KARR-COCO-BAKO-ONSA -
YARI-ALGO-MACI-DARW -
SHAO-TIDB-DGAR-TNML -
SHAO-TIDB-VILL-ALGO -
TIDB-TNML-LHAZ-ISC -
DARW-SHAO-GUAM-KERG -
DGAR-BAKO-DARW-SHAO -
KERG-TIDB-HYDE-KITJ -
TIDB-HYDE-KOKB-TSKB -
KOKB-ALGO-LHAZ-KARR -
ONSA-LHAZ-ALGO-KOKB -
COCO-PMO-MASI-WUHN -
TSKB-ALGO-KOKB-TIDB -
KERG-ISC-MACI-YARI -
WUHN-KOKB-TIDB-PMO -

```

2 random_run.sh

เป็น Script ที่สร้างขึ้นเพื่อรวบรวมผลลัพธ์ของ ค่า overall rms ที่ได้ใน ไฟล์ mapping.rms.wk44 และ mapping.rms.wk45 โดยนำ script stacov_itrmap เข้ามาร่วมด้วยซึ่งเป็น script ที่สร้างโดย พ.ต.สรวิศ สุภาเวทย์

รายละเอียดไฟล์ Script random_run.sh

```

#!/bin/bash

# @require full_station.txt which contains all stations
full_station=full_station.txt

echo "Specify the excepted-stations file?"
read except_stations
echo "Specify the output file-name?"
read output_solution

rm -rf $output_solution 2> /dev/null
#
# each line from random file is excuted
#
for line in `cat $except_stations`
do
  rm -rf .excepted.tmp 2> /dev/null
  rm -rf .full_station.tmp 2> /dev/null
  rm -rf .notused.tmp 2> /dev/null
  rm -rf ../itrf2005/notused >& /dev/null
  rm -rf .output.tmp

  # read full 33 stations to temp file
  # (full_station.tmp)

```

```

cat full_station.txt > .full_station.tmp

# each line which contains the excepted stations name is
# re-arranged into one-line per station
echo $line | tr '-' '\n' > .excepted.tmp

for exp_station in `cat .excepted.tmp`
do
    # writing station name to notused file
    # if the name is not the excepted-station

    sed 's/"$exp_station"/' .full_station.tmp > .notused.tmp
    cat .notused.tmp > .full_station.tmp
done

# Now the .notused.tmp is ready for calculation in GIPSY
cp -f .full_station.tmp ../itrf2005/notused
cp -f done/PF314314.CMB .
rm -f mapping.* >& /dev/null

stacov_itrf05map 2008 500 500 500 nc >& stacov_itrf05map.log

grep "OVERALL1 RMS" done/mapping.rms.wk45 >> $output_solution
sed 's/OVERALL1 RMS/"$line"/' $output_solution > .output.tmp
cat .output.tmp > $output_solution

done
echo "finish"

```

แสดงผลที่ได้จากการใช้ script random_run.sh

1	KARR-KERN-TIDE-MTSS-	2.3	1.0	6.2	4)
2	ALGO-TIDE-GOAR-KARR-	3.8	1.4	3.4	4)
3	KERN-KITZ-ALGO-SOAR-	1.5	1.0	2.3	4)
4	KARR-KERN-WOMI-YELL-	1.0	1.2	6.3	4)
5	TIDE-KARR-GOLD-KOBI-	0.7	1.8	6.2	4)
6	VILL-THAO-LEMA-TIDE-	1.0	1.1	7.7	4)
7	KARR-ORSA-FERT-WOBI-	4.0	1.6	0.0	4)
8	TARI-KERR-ALGO-ORBI-	1.0	1.9	2.9	4)
9	COCO-FERR-FAIR-FERR-	7.0	1.4	4.5	4)
10	ALGO-GOAR-KITZ-FERR-	3.7	2.2	3.2	4)
11	KERN-COCO-TIDE-KARR-	1.1	1.0	0.5	4)
12	WARR-ORSA-WOMI-KOBI-	3.5	2.9	6.2	4)
13	SOAR-GOAR-YELL-MTSS-	0.8	2.0	2.0	4)
14	FERT-TIDE-KERR-KARR-	2.9	1.4	3.1	4)
15	ALGO-MTSS-FAIR-KARR-	1.2	1.8	3.3	4)
16	KERR-KERR-KARR-MTSS-	0.9	1.1	2.7	4)
17	ORSA-FERR-KARR-KITZ-	2.9	2.9	5.1	4)
18	FERT-COCO-KARR-MTSS-	0.0	2.2	2.2	4)
19	TIDE-TARI-KARR-GOLD-	1.8	1.2	6.2	4)
20	MTSS-FERT-KITZ-KARR-	0.8	0.0	4.1	4)
21	COCO-GOLD-MTSS-YELL-	1.0	1.2	3.7	4)
22	YELL-GOAR-GOLD-MTSS-	0.9	1.0	3.1	4)
23	SOAR-FAIR-MTSS-WOBI-	1.7	2.0	6.5	4)
24	FERR-FERT-MTSS-KARR-	0.9	1.0	0.5	4)
25	KOBI-TIDE-FAIR-GOAR-	2.4	0.8	6.1	4)
26	TARI-KARR-KERR-WOBI-	0.8	2.4	2.8	4)
27	KARR-KITZ-MTSS-COCO-	1.3	1.5	4.8	4)
28	YELL-TARI-KARR-WOBI-	2.0	1.5	6.0	4)
29	KERR-WOMI-GOLD-KOBI-	2.4	1.8	3.8	4)
30	COCO-KARR-MTSS-YELL-	1.2	1.5	6.4	4)
31	VILL-TIDE-KOBI-WOBI-	2.1	0.6	4.4	4)
32	ORSA-ALGO-TIDE-WOBI-	1.0	0.9	6.1	4)
33	TIDE-ORSA-FERR-COCO-	1.0	1.2	2.0	4)
34	KARR-TIDE-KERR-MTSS-	1.5	1.2	4.4	4)

3 mean_pos.sh

เป็น Script ที่สร้างขึ้นเพื่อรวบรวมผลลัพธ์ที่ได้ของค่าพิกัดโครงข่ายประเทศไทยจำนวน 6 หมุด ในไฟล์ PFITRF04305.CMB และ PFITRF08312.CMB โดยจะนำ script stacov_itrfmap เข้ามาประมวลผล โดยผลลัพธ์จาก script จากผลลัพธ์ที่ได้จาก script จะนำค่าพิกัดที่ได้มาจัดเรียงใหม่ตามหมุดโครงข่ายที่ศึกษา เพราะพิกัดที่ได้จากการ MAPPING ใน GIPSY จะได้ค่าพิกัดที่อยู่ในระบบคาร์ทีเซียน (X, Y, Z) ซึ่งผู้วิจัยต้องการค่าพิกัดที่อยู่ในระบบพิกัดกริด (UTM) ดังนั้นจะต้องมีการจัดรูปแบบผลลัพธ์ค่าพิกัดเป็นแบบคาร์ทีเซียน (X, Y, Z) ที่ได้นี้ใหม่ เพื่อให้สามารถนำไปแปลงค่าพิกัดโดยใช้ โปรแกรม xyz2neu.exe ที่สร้างโดย ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และ พัฒนาโดย อาจารย์สมชาย เกரியงไกรวศิน โดยผลลัพธ์จาก script mean_pos.sh จะแบ่งออกเป็น 3 ไฟล์ชื่อ pos_x, pos_y และ pos_z หลังจากนั้นจะใช้ โปรแกรม EXCELL จัดรูปแบบเพื่อเตรียมสำหรับการประมวลผลด้วยโปรแกรมการแปลงค่าพิกัด xyz2neu.exe

รายละเอียดไฟล์ script mean_pos.sh

```
#!/bin/bash

full_station=full_station.txt
echo "Specify min max combination?"
read mm_combination

echo "start calculation"

rm -rf pos_x 2> /dev/null
rm -rf pos_y 2> /dev/null
rm -rf pos_z 2> /dev/null

for line in `cat $mm_combination`
do
  rm -rf .excepted.tmp 2> /dev/null
  rm -rf .full_station.tmp 2> /dev/null
  rm -rf .notused.tmp 2> /dev/null
  rm -rf ./itrf2005/notused >& /dev/null
  rm -rf .output.tmp 2> /dev/null

  cat full_station_36.txt > .full_station.tmp

  echo $line | tr '-' '\n' > .excepted.tmp

  for exp_station in `cat .excepted.tmp`
  do
    sed 's/'$exp_station'/' .full_station.tmp > .notused.tmp
    cat .notused.tmp > .full_station.tmp
  done

  cp -f .full_station.tmp ./itrf2005/notused
  cp -f done/PF314314.CMB .
```

```

#rm -f mapping.* >& /dev/null
#rm -rf done/PFITRF08312.CMB >& /dev/null

stacov_itrf05map 2008 500 500 500 nc >& stacov_itrf05map.log

echo '      ' >> pos_x
echo $line >> pos_x
echo '      ' >> pos_y
echo $line >> pos_y
echo '      ' >> pos_z
echo $line >> pos_z

cat done/PFITRF08312.CMB | egrep "PHUK STA X|CHON STA X|SRIS STA X|UTHA STA X|BANH STA X|OTRI STA
X" >> pos_x
cat done/PFITRF08312.CMB | egrep "PHUK STA Y|CHON STA Y|SRIS STA Y|UTHA STA Y|BANH STA Y|OTRI STA
Y" >> pos_y
cat done/PFITRF08312.CMB | egrep "PHUK STA Z|CHON STA Z|SRIS STA Z|UTHA STA Z|BANH STA Z|OTRI STA
Z" >> pos_z

echo $line

done

rm -rf mean_all_pos_x >& /dev/null
rm -rf mean_all_pos_y >& /dev/null
rm -rf mean_all_pos_z >& /dev/null

cat pos_x | egrep "PHUK" | awk '{dn=dn+$5}END{print "PHUK X",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_x
cat pos_x | egrep "CHON" | awk '{dn=dn+$5}END{print "CHON X",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_x
cat pos_x | egrep "SRIS" | awk '{dn=dn+$5}END{print "SRIS X",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_x
cat pos_x | egrep "UTHA" | awk '{dn=dn+$5}END{print "UTHA X",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_x
cat pos_x | egrep "BANH" | awk '{dn=dn+$5}END{print "BANH X",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_x
cat pos_x | egrep "OTRI" | awk '{dn=dn+$5}END{print "OTRI X",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_x

cat pos_y | egrep "PHUK" | awk '{dn=dn+$5}END{print "PHUK Y",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_y
cat pos_y | egrep "CHON" | awk '{dn=dn+$5}END{print "CHON Y",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_y
cat pos_y | egrep "SRIS" | awk '{dn=dn+$5}END{print "SRIS Y",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_y
cat pos_y | egrep "UTHA" | awk '{dn=dn+$5}END{print "UTHA Y",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_y
cat pos_y | egrep "BANH" | awk '{dn=dn+$5}END{print "BANH Y",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_y
cat pos_y | egrep "OTRI" | awk '{dn=dn+$5}END{print "OTRI Y",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_y

cat pos_z | egrep "PHUK" | awk '{dn=dn+$5}END{print "PHUK Z",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_z
cat pos_z | egrep "CHON" | awk '{dn=dn+$5}END{print "CHON Z",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_z
cat pos_z | egrep "SRIS" | awk '{dn=dn+$5}END{print "SRIS Z",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_z
cat pos_z | egrep "UTHA" | awk '{dn=dn+$5}END{print "UTHA Z",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_z
cat pos_z | egrep "BANH" | awk '{dn=dn+$5}END{print "BANH Z",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_z
cat pos_z | egrep "OTRI" | awk '{dn=dn+$5}END{print "OTRI Z",dn/NR*10}' >> mean_all_pos_z

echo "finish"

```

แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ mean_pos.sh ดังนี้

```

D:\kypd\share\kypd\2004-24404\pos_x / Notepad
KAPP-KMMN-TTIO-UTRS-
7 BAKE STA X -0.50095512401204E+00 + 0.2480398600242052E-02
10 CROK STA X -0.119020046400051E+07 + 0.1699990002022035E-02
67 UTRJ STA X -0.888181881894189E+08 + 0.236698737822348E-02
73 PHKE STA X -0.8127421021717353E+06 + 0.160237549020016E-02
85 SDCS STA X -0.153486519146353E+07 + 0.248054251736233E-02
89 UTRK STA X -0.106982114682708E+07 + 0.183322233343489E-02

ALGO-TTIO-GUAR-KARR-
7 BAKE STA X -0.800980512797491E+08 + 0.2480398600242052E-02
10 CROK STA X -0.11902004640412E+07 + 0.1699990002022035E-02
67 UTRJ STA X -0.8881818547051778E+06 + 0.236698737822348E-02
73 PHKE STA X -0.8127421022371599E+06 + 0.160237549020016E-02
85 SDCS STA X -0.153486818946772E+07 + 0.248046251736233E-02
89 UTRK STA X -0.106951812647415E+07 + 0.183322233343489E-02

KWBH-KITJ-ALGO-SHAC-
7 BAKE STA X -0.8009805039879268E+06 + 0.2480398600242052E-02
10 CROK STA X -0.1190200464031366E+07 + 0.1699990002022035E-02
67 UTRJ STA X -0.88818188189322E+08 + 0.236698737822348E-02
73 PHKE STA X -0.8127421028470322E+08 + 0.160237549020016E-02
85 SDCS STA X -0.1534865190347670E+07 + 0.248054251736233E-02
89 UTRK STA X -0.106982113795097E+07 + 0.183322233343489E-02

BAKO-KMMN-KTTH-TELS-
7 BAKE STA X -0.50095502600200E+06 + 0.2480398600242052E-02
10 CROK STA X -0.119020046254212E+07 + 0.1699990002022035E-02
67 UTRJ STA X -0.888181880048218E+08 + 0.236698737822348E-02
73 PHKE STA X -0.812742105021501E+06 + 0.160237549020016E-02
85 SDCS STA X -0.153486519602054E+07 + 0.248054251736233E-02
89 UTRK STA X -0.106982114682708E+07 + 0.183322233343489E-02

File: pos_x.txt Size: 14300 Bytes Date: 14/01/08 10:00:00 AM
  
```

ภาพแสดงค่าพิกัดระบบคาร์ทีเซียนทางแกน X

```

D:\kypd\share\kypd\2004-24404\pos_y / Notepad
KAPP-KMMN-TTIO-UTRS-
8 BAKE STA Y 0.619231856718465E+07 + 0.796422635507116E-02
11 CROK STA Y 0.609768201609205E+07 + 0.568027865245717E-02
68 UTRJ STA Y 0.88787344240480E+07 + 0.42482980088888E-02
74 PHKE STA Y 0.625387044230521E+07 + 0.534405800796025E-02
86 SDCS STA Y 0.597100714134277E+07 + 0.540029696181932E-02
89 UTRK STA Y 0.605746088042588E+07 + 0.331088156824893E-02

ALGO-TTIO-GUAR-KARR-
8 BAKE STA Y 0.619231826109157E+07 + 0.796422635507116E-02
11 CROK STA Y 0.609768081240390E+07 + 0.568027865245717E-02
68 UTRJ STA Y 0.887873440991668E+07 + 0.42482980088888E-02
74 PHKE STA Y 0.625387043552711E+07 + 0.534405800796025E-02
86 SDCS STA Y 0.5971007118647802E+07 + 0.540029696181932E-02
89 UTRK STA Y 0.605746089409380E+07 + 0.331088156824893E-02

KWBH-KITJ-ALGO-SHAC-
8 BAKE STA Y 0.619231838735270E+07 + 0.796422635507116E-02
11 CROK STA Y 0.609768200878190E+07 + 0.568027865245717E-02
68 UTRJ STA Y 0.88787343988118E+07 + 0.42482980088888E-02
74 PHKE STA Y 0.625387043189016E+07 + 0.534405800796025E-02
86 SDCS STA Y 0.597100713590528E+07 + 0.540029696181932E-02
89 UTRK STA Y 0.605746088011125E+07 + 0.331088156824893E-02

BAKO-KMMN-KTTH-TELS-
8 BAKE STA Y 0.619231855054352E+07 + 0.796422635507116E-02
11 CROK STA Y 0.60976820020404E+07 + 0.568027865245717E-02
68 UTRJ STA Y 0.88787343988118E+07 + 0.42482980088888E-02
74 PHKE STA Y 0.625387042453696E+07 + 0.534405800796025E-02
86 SDCS STA Y 0.597100712993154E+07 + 0.540029696181932E-02
89 UTRK STA Y 0.605746088779470E+07 + 0.331088156824893E-02

File: pos_y.txt Size: 14300 Bytes Date: 14/01/08 10:00:00 AM
  
```

ภาพแสดงค่าพิกัดระบบคาร์ทีเซียนทางแกน Y

System	Series	Name	Value	Unit
KAFF	D	D BANK STA I	0.11545009947515E+07	0.180534920025468E-02
		12 CDN STA I	0.143940631043100E+07	0.177340044003995E-02
		60 OTN STA I	0.189372394174448E+07	0.240091200143773E-02
		96 PHE STA I	0.85530542302307E+06	0.134699050143654E-02
	12	12 CDN STA I	0.143940631043100E+07	0.177340044003995E-02
		60 OTN STA I	0.189372394174448E+07	0.240091200143773E-02
		96 PHE STA I	0.85530542302307E+06	0.134699050143654E-02
		UTM STA I	0.140295011446110E+07	0.217641027402144E-02
	60	60 OTN STA I	0.189372394174448E+07	0.240091200143773E-02
		96 PHE STA I	0.85530542302307E+06	0.134699050143654E-02
		UTM STA I	0.140295011446110E+07	0.217641027402144E-02
		UTM STA I	0.140295011446110E+07	0.217641027402144E-02
ALGO	D	D BANK STA I	0.115450099775885E+07	0.180534920025468E-02
		12 CDN STA I	0.143940631043104E+07	0.177340044003995E-02
		60 OTN STA I	0.18937239400561E+07	0.140041200143773E-02
		96 PHE STA I	0.85530542302307E+06	0.134699050143654E-02
	12	12 CDN STA I	0.143940631043104E+07	0.177340044003995E-02
		60 OTN STA I	0.18937239400561E+07	0.140041200143773E-02
		96 PHE STA I	0.85530542302307E+06	0.134699050143654E-02
		UTM STA I	0.140295011446110E+07	0.217641027402144E-02
	60	60 OTN STA I	0.18937239400561E+07	0.140041200143773E-02
		96 PHE STA I	0.85530542302307E+06	0.134699050143654E-02
		UTM STA I	0.140295011446110E+07	0.217641027402144E-02
		UTM STA I	0.140295011446110E+07	0.217641027402144E-02
BAKO	D	D BANK STA I	0.115450099401505E+07	0.180534920025468E-02
		12 CDN STA I	0.143940631154160E+07	0.177340044003995E-02
		60 OTN STA I	0.189372394104818E+07	0.240091200143773E-02
		96 PHE STA I	0.855305424423440E+06	0.134699050143654E-02
	12	12 CDN STA I	0.143940631154160E+07	0.177340044003995E-02
		60 OTN STA I	0.189372394104818E+07	0.240091200143773E-02
		96 PHE STA I	0.855305424423440E+06	0.134699050143654E-02
		UTM STA I	0.140295011000527E+07	0.217641027402144E-02
	60	60 OTN STA I	0.189372394104818E+07	0.240091200143773E-02
		96 PHE STA I	0.855305424423440E+06	0.134699050143654E-02
		UTM STA I	0.140295011000527E+07	0.217641027402144E-02
		UTM STA I	0.140295011000527E+07	0.217641027402144E-02

ภาพแสดงค่าพิกัดระบบคาร์ทีเซียนทางแกน Z

ภาคผนวก จ

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างว่าควรมีขนาดเท่าใดนั้น ผู้วิจัยควรคำนึงถึงสิ่งต่างๆ หลายอย่างมาประกอบกัน (มารยาท โยทองยศ และปราณี สวัสดิ์สรรพ, 2551) ดังนี้

1) ค่าใช้จ่าย เวลาแรงงานและเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างนั้น ว่ามีพอที่จะทำได้หรือไม่ และคุ้มค่าใช้จ่ายใด

2) ขนาดของประชากร ถ้าประชากรมีขนาดใหญ่ มีความจำเป็นต้องเลือกกลุ่มตัวอย่าง ถ้าประชากรมีขนาดเล็ก และสามารถที่จะศึกษาได้ควรจะศึกษาจากประชากรทั้งหมด

3) ความเหมือนกัน ถ้าประชากรมีความเหมือนกันมากความแตกต่างของสมาชิกมีน้อย นั่นคือ ความแปรปรวนในกลุ่มตัวอย่างมีน้อยก็ใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กได้ แต่ถ้าประชากรมีลักษณะไม่เหมือนกัน ความแตกต่างของสมาชิกมีมาก ความแปรปรวนในกลุ่มมีมากจำเป็นต้องใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ เพื่อให้ครอบคลุมคุณลักษณะต่างๆ ของประชากร

4) ความแม่นยำชัดเจน ถ้าต้องการความแม่นยำชัดเจนในเรื่องที่จะศึกษาค้นคว้าต้องใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ คือ ยิ่งขนาดของกลุ่มตัวอย่างใหญ่มากเท่าใด ผลการศึกษายิ่งมีความแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น

5) ความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้จากการสุ่มตัวอย่าง โดยทั่วไปแล้ว มักจะยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ 1% หรือ 5% (สัดส่วน 0.01 หรือ 0.05) และยิ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญของเรื่องที่ ต้องการศึกษาด้วย ถ้าปัญหามีความสำคัญมาก ก็ควรให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เช่น 1% แต่ถ้ามีความสำคัญน้อยก็อาจยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้บ้าง เช่น 5% เป็นต้น

6) ความเชื่อมั่น ผู้วิจัยต้องกำหนดความเชื่อมั่นว่ากลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมานั้นมีโอกาสได้ค่าอ้างอิงไม่แตกต่างจากค่าที่แท้จริงของประชากรประมาณเท่าไร เช่น ถ้ากำหนดระดับเชื่อมั่น 95% หมายถึง ค่าอ้างอิงมีโอกาสถูกต้อง 95% มีโอกาสผิดพลาดจากค่าที่แท้จริง 5% นั่นคือค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง 95 กลุ่มจาก 100 กลุ่มที่สุ่มมาจากประชากรเดียวกันจะไม่แตกต่างจากค่าที่แท้จริงของประชากร ซึ่งระดับความเชื่อมั่นอาจจะเพิ่มขึ้นเป็น 99% หรือลดลงเหลือ 90%

วิธีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง

วิธีการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีด้วยกันหลากหลายวิธี ในที่นี้จะเสนอการกำหนดขนาดของ กลุ่มตัวอย่างจากการกำหนดเกณฑ์ การใช้สูตรคำนวณและการใช้ตารางสำเร็จรูป ซึ่งแต่ละวิธีสามารถอธิบายได้ต่อไป

1. การกำหนดเกณฑ์

ในกรณีนี้ผู้วิจัยต้องทราบจำนวนประชากรที่แน่นอนก่อนแล้ว ใช้เกณฑ์โดยกำหนดเป็นร้อยละของประชากรในการพิจารณาดังนี้

ถ้าขนาดประชากรเป็นหลักร้อย ควรใช้กลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 25%

ถ้าขนาดประชากรเป็นหลักพัน ควรใช้กลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 10%

ถ้าขนาดประชากรเป็นหลักหมื่น ควรใช้กลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 5%

ถ้าขนาดประชากรเป็นหลักแสน ควรใช้กลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 1%

2. การใช้ตารางสำเร็จรูป

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยตารางสำเร็จรูป มีอยู่หลายประเภท ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้วิจัย ตารางสำเร็จรูปที่นิยมใช้กันในงานวิจัยเชิงสำรวจ ได้แก่ ตารางสำเร็จรูปของทาโร ยามาเน่ และตารางสำเร็จรูปของเครจซี่และเมอร์แกน เป็นต้น

- ตารางสำเร็จรูปของทาโร ยามาเน่

ตารางสำเร็จรูปของ ทาโร ยามาเน่ (Yamane, 1973) เป็นตารางที่ใช้หาขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อประมาณค่าสัดส่วนของประชากร โดยคาดว่าสัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากรเท่ากับ 0.5 และระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 1 วิธีการอ่านตารางผู้วิจัยจะต้องทราบขนาดของประชากร และกำหนดระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เช่น ต้องการหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากประชากรที่มีขนาดเท่ากับ 2,000 คน ความคลาดเคลื่อนที่ผู้วิจัยยอมรับได้เท่ากับ 5% ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการจะเท่ากับ 333 คน เป็นต้น

ตารางที่ 1 ขนาดของกลุ่มตัวอย่างของทาโร ยามาเน่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และความคลาดเคลื่อนต่างๆ (Yamane, 1973)

ขนาดประชากร	ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ระดับความคลาดเคลื่อน (e)					
	± 1%	± 2%	± 3%	± 4%	± 5%	± 10%
500	*	*	*	*	222	83
1,000	*	*	*	385	286	91
1,500	*	*	638	441	316	94
2,000	*	*	714	476	333	95
2,500	*	1,250	769	500	345	96
3,000	*	1,364	811	517	353	97
3,500	*	1,458	843	530	359	97
4,000	*	1,538	870	541	364	98
4,500	*	1,607	891	549	367	98
5,000	*	1,667	909	556	370	98
6,000	*	1,765	938	566	375	98
7,000	*	1,842	959	574	378	99
8,000	*	1,905	976	580	381	99
9,000	*	1,957	989	584	383	99
10,000	5,000	2,000	1,000	588	385	99
15,000	6,000	2,143	1,034	600	390	99
20,000	6,667	2,222	1,053	606	392	100
25,000	7,143	2,273	1,064	610	394	100
50,000	8,333	2,381	1,087	617	397	100
100,000	9,091	2,439	1,099	621	398	100
∞	10,000	2,500	1,111	625	400	100

* หมายถึง ขนาดตัวอย่างไม่เหมาะสมที่จะประมาณให้เป็นการกระจายแบบปกติ จึงไม่สามารถใช้สูตรคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้

- ตารางสำเร็จรูปของเครจซี่และมอร์แกน

สำหรับตารางของเครจซี่และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) ตารางนี้ใช้ในการประมาณค่าสัดส่วนของประชากรเช่นเดียวกัน และกำหนดให้สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร เท่ากับ 0.5 ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 5% และระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างกับประชากรที่มีขนาดเล็กได้ตั้งแต่ 10 ขึ้นไป ดังตาราง

ที่ 2 วิธีการอ่านตารางผู้วิจัยต้องทราบขนาดของประชากร เช่น ถ้าประชากรมีขนาดเท่ากับ 2,000 คน ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการจะเท่ากับ 322 คน เป็นต้น

ตารางที่ 2 ขนาดของกลุ่มตัวอย่างของเครซีและมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970)

ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง	ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง	ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง	ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง	ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง
10	10	100	80	280	162	800	260	2,800	338
15	14	110	86	290	165	850	265	3,000	341
20	19	120	92	300	169	900	269	3,500	346
25	24	130	97	320	175	950	274	4,000	351
30	28	140	103	340	181	1,000	278	4,500	354
35	32	150	108	360	186	1,100	285	5,000	357
40	36	160	113	380	191	1,200	291	6,000	361
45	40	170	118	400	196	1,300	297	7,000	364
50	44	180	123	420	201	1,400	302	8,000	367
55	48	190	127	440	205	1,500	306	9,000	368
60	52	200	132	460	210	1,600	310	10,000	370
65	56	210	136	480	214	1,700	313	15,000	375
70	59	220	140	500	217	1,800	317	20,000	377
75	63	230	144	550	226	1,900	320	30,000	379
80	66	240	148	600	234	2,000	322	40,000	380
85	70	250	152	650	242	2,200	327	50,000	381
90	73	260	155	700	248	2,400	331	75,000	382
95	76	270	159	750	254	2,600	335	100,000	384

3. การใช้สูตรคำนวณ

แม้การใช้ตารางกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างจะง่ายและสะดวกกับผู้วิจัย แต่บางครั้งผู้วิจัยอาจจำเป็นต้องคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ขนาดประชากรหรือระดับความเชื่อมั่นอื่นๆที่แตกต่างออกไปจากตาราง ผู้วิจัยจำเป็นต้องการการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากสูตรคำนวณ ซึ่งสูตรคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีหลากหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นสูตรของทาโร ยามาเน่ (Yamane, 1973) และสูตรของเครซีและมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) ทั้งสองสูตรนี้จำเป็นต้องทราบขนาดของประชากร แต่ถ้าไม่ทราบขนาดของประชากรก็อาจใช้สูตรของคอคแรน (Cochran, 1977) รายละเอียดมีดังนี้

3.1 กรณีทราบขนาดของประชากร

3.1.1 สูตรของ ทาโร ยามาเน่ (Yamane, 1973)

$$n = \frac{N}{1+Ne^2}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

N = ขนาดของประชากร

e = ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

วิธีการคำนวณสูตรนี้ผู้วิจัยต้องทราบขนาดของประชากรที่ต้องการศึกษา (N) และกำหนดระดับความคลาดเคลื่อนที่ของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ (e) เช่น ถ้าประชากรที่ใช้ในการวิจัยมีจำนวน 2,000 หน่วย ยอมรับให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากตัวอย่างได้ 5% ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการเท่ากับ

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

$$n = \frac{2,000}{1 + 2,000(0.05)^2}$$

$$n = 333.3 \approx 333 \text{ หน่วย}$$

3.1.2 สูตรของเครซีและมอร์แกน

สูตรของเครซีและมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) มีดังนี้

$$n = \frac{x^2 Np(1-p)}{e^2(N-1) + x^2 p(1-p)}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

x^2 = ค่าไคสแควร์ที่ df เท่ากับ 1 และระดับความเชื่อมั่น 95% ($x^2=3.841$)

p = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด $p = 0.5$)

วิธีการคำนวณผู้วิจัยต้องทราบขนาดประชากรและสัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร และกำหนดระดับความคลาดเคลื่อนและระดับความเชื่อมั่นด้วย เช่น ถ้าประชากรที่ใช้

ในการวิจัยมีจำนวน 2,000 หน่วย ยอมรับให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างได้ 5% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และสัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากรเท่ากับ 0.5 ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการเท่ากับ

$$n = \frac{x^2 N p(1-p)}{e^2(N-1) + x^2 p(1-p)}$$

$$n = \frac{3.841 \times 2,000 \times 0.5 \times 0.5}{((0.05)^2 \times (2,000 - 1)) + (3.841 \times 0.5 \times 0.5)}$$

$$n = 322.3532 \approx 322 \text{ หน่วย}$$

3.1.3 สูตรอื่นๆ

1) เมื่อต้องการประมาณสัดส่วนของประชากร การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างจะใช้สูตร

$$n = \frac{p(1-p)}{\frac{e^2}{z^2} + \frac{p(1-p)}{N}}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

Z = ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่นหรือระดับนัยสำคัญ

- ถ้าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่า $Z = 1.96$

- ถ้าระดับความเชื่อมั่น 99% หรือระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่า $Z = 2.58$

p = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด $p = 0.5$)

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น ถ้าประชากรที่ใช้ในการวิจัยมีจำนวน 2,000 หน่วย ยอมรับให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากตัวอย่างได้ 5% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และสัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากรเท่ากับ 0.5 ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการเท่ากับ

$$n = \frac{p(1-p)}{\frac{e^2}{z^2} + \frac{p(1-p)}{N}}$$

$$n = \frac{0.5(1 - 0.5)}{\frac{0.05^2}{1.96^2} + \frac{0.5(1 - 0.5)}{2,000}}$$

$$n = 322.2603 \approx 322 \text{ หน่วย}$$

2) เมื่อต้องการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างจะใช้สูตร

$$n = \frac{NZ^2\sigma^2}{(N - 1)e^2 + Z\sigma^2}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

N = ขนาดของประชากร

σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

(กรณีไม่ทราบค่า σ สามารถ กำหนดค่า e เป็นเปอร์เซ็นต์ของ σ เช่น 8% ของ σ ($e = 0.08\sigma$) หรือ 10% ของ σ ($e = 0.10\sigma$))

Z = ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่นหรือระดับนัยสำคัญ

- ถ้าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่า $Z = 1.96$

- ถ้าระดับความเชื่อมั่น 99% หรือระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่า $Z = 2.58$

ตัวอย่างคำนวณ เช่น ขนาดประชากร 400 หน่วย ต้องการศึกษาคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เกิดขึ้นได้ ± 5 คะแนน จากงานวิจัยที่ผ่านมา ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 คะแนน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 15 คะแนน ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการจะเท่ากับ

$$n = \frac{400 \times 1.96^2 \times 15^2}{(400 - 1) \times 5^2 + 1.96 \times 15^2}$$

$$n = 33.19355 \approx 33 \text{ หน่วย}$$

3.2 ไม่ทราบขนาดของประชากร

3.2.1 สูตรของคอคแรน ใช้ในกรณีที่ ไม่ทราบขนาดของประชากรที่แน่นอน แต่ทราบว่า มีจำนวนมากและต้องการประมาณค่าสัดส่วนของประชากร (Cochran, 1977) มี 2 กรณีคือ กรณีทราบค่าสัดส่วนของประชากร ใช้สูตร

$$n = \frac{p(1-p)Z^2}{e^2}$$

และกรณีไม่ทราบค่าสัดส่วนของประชากรหรือ $p = 0.5$ ใช้สูตร

$$n = \frac{Z^2}{4e^2}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

p = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

Z = ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่นหรือระดับนัยสำคัญ

- ถ้าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่า $Z = 1.96$

- ถ้าระดับความเชื่อมั่น 99% หรือระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่า $Z = 2.58$

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ 5% และ สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร เท่ากับ 0.5 ขนาดของประชากรที่ต้องการเท่ากับ

$$n = \frac{Z^2}{4e^2}$$

$$n = \frac{(1.96)^2}{4(0.05)^2}$$

$$n = 384.16 \approx 384 \text{ หน่วย}$$

3.2.2 สูตรของคอคแรน

สูตรนี้ใช้กรณีที่ ไม่ทราบขนาดของประชากรที่แน่นอน และต้องการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร มีดังนี้

$$n = \frac{\sigma^2 Z^2}{e^2}$$

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

e = ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับให้เกิดขึ้นได้

(กรณีไม่ทราบ ค่า σ สามารถกำหนดค่า e เป็นเปอร์เซ็นต์ของ σ

เช่น 8% ของ σ ($e = 0.08\sigma$) หรือ 10% ของ σ ($e = 0.10\sigma$))

Z = ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่นหรือระดับนัยสำคัญ

- ถ้าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่า $Z = 1.96$

- ถ้าระดับความเชื่อมั่น 99% หรือระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่า $Z = 2.58$

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น ต้องการศึกษาคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เกิดขึ้นได้ ± 5 คะแนน จากงานวิจัยที่ผ่านมาค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 คะแนน และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 15 คะแนน ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ จะเท่ากับ

$$n = \frac{\sigma^2 Z^2}{e^2}$$

$$n = \frac{15^2 \times 1.96^2}{5^2}$$

$$n = 34.5744 \approx 35 \text{ หน่วย}$$

ขนาดของกลุ่มตัวอย่างเป็นสิ่งสำคัญของการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยจะต้องได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่มีความเหมาะสม เป็นตัวแทนที่ดีของประชากรให้มากที่สุด ขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีวิธีการหาได้ทั้งการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ร้อยละของประชากร การใช้ตารางสำเร็จรูป และการใช้สูตรในการคำนวณ ผู้วิจัยจะเลือกใช้วิธีการใดขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้วิจัย และความเหมาะสมของงานวิจัยแต่ละเรื่อง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นาวาโท พัลลภ พยัคเลิศ
 วันเดือนปีเกิด: 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2515
 คุณวุฒิทางการศึกษา:
 พ.ศ. 2539 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ โรงเรียนนายเรือ
 พ.ศ. 2555 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชา
 วิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ: บทความตีพิมพ์

พัลลภ พยัคเลิศ และเฉลิมชนม์ สถิระพจน์ 2555. การหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแปลงค่าพิกัดจีพีเอสประเทศไทยเข้าสู่กรอบอ้างอิงนานาชาติปี ค.ศ. 2005 ด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7. โรงแรม เซ็นทารา แกรนด์แอนคอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดอุดรธานี 9-11 พฤษภาคม 2555