

การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นหลักฐานประเทศไทย

: WGS84 กับอินเดียน 1975



ร้อยโทศรายุทธ อยู่สำราญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

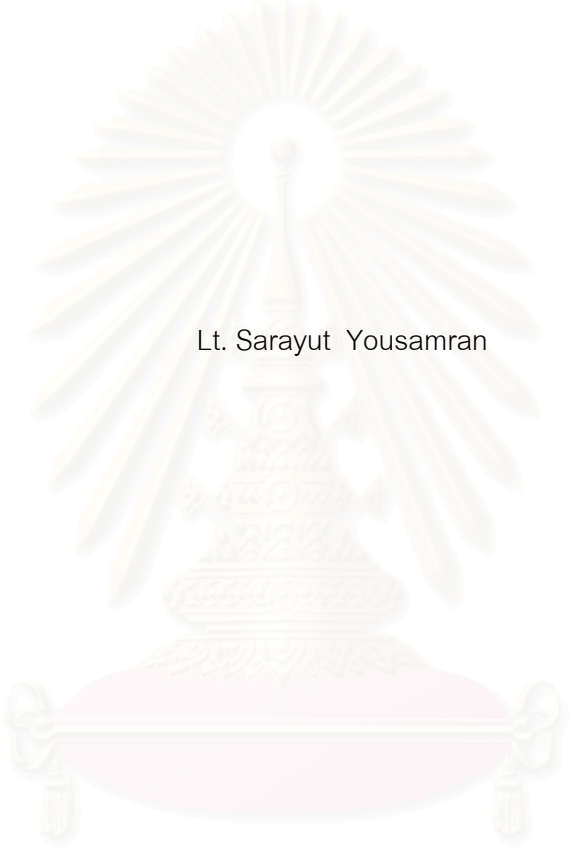
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0321-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARATIVE STUDY ON SUITABILITY OF DATUMS FOR THAILAND
: WGS84 VERSUS INDIAN 1975



Lt. Sarayut Yousamran

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0321-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นที่หลักฐานประเทศไทย

: WGS84 กับอินเดียน 1975

โดย

ร้อยโทศรายุทธ อยู่สำราญ

ภาควิชา

วิศวกรรมสำรวจ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิพงษ์ วิญญูประดิษฐ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

.....กรรมการ
(พันเอก กุชรงค์ วงษ์เกิด)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์)

ศรายุทธ อยู่สำราญ, ร.ท. : การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นหลักฐาน
ประเทศไทย : WGS84 กับอินเดีย 1975 (A Comparative Study on Suitability of
Datums for Thailand : WGS84 versus Indian 1975) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.ชูเกียรติ
วิเชียรเจริญ, 167 หน้า. ISBN 974-13-0321-1.

พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณงานทางด้านเยื่อเดติกของประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งการวางโครงข่ายเพื่อหาค่าพิกัดทางราบจะอาศัยวิธีงานข่ายสามเหลี่ยม ค่าพิกัดที่รังวัดมาได้จะถูกคำนวณลงบนรูปทรงรีเอเวอเรสต์ แต่เนื่องจากเทคโนโลยีทางการสำรวจมีความเจริญก้าวหน้าไปเป็นอย่างมาก การหาค่าพิกัดทางราบจึงเปลี่ยนมาใช้เทคนิคการสำรวจด้วยระบบดาวเทียม โดยเฉพาะระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System) เป็นวิธีสำรวจที่ได้รับความนิยมสูงอยู่ในขณะนี้ การสำรวจด้วยระบบดาวเทียมนอกจากจะให้ความสะดวกรวดเร็วและมีความถูกต้องสูงในการหาค่าพิกัดแล้ว ยังทำให้โครงข่ายมีความยืดหยุ่นกันดีขึ้นและทำให้ความถูกต้องของหมุดทั่วโครงข่ายมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์เดียวกันด้วย ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS จะอ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 (World Geodetic System 1984) และค่าพิกัดที่รังวัดมาได้จะถูกคำนวณลงบนรูปทรงรี WGS84 เช่นเดียวกัน เนื่องจากขนาด รูปร่างและทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดเปลี่ยนไปจึงทำให้ค่าพิกัดตำแหน่งที่ถูกคำนวณได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย

จากการศึกษาความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 กับพื้นเยื่อของประเทศไทยพบว่าพื้นหลักฐาน WGS84 มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นเยื่อของประเทศไทยมากกว่าพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ในการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงจะทำให้ระบบพิกัดของหมุดหลักฐานเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงค่าพิกัดระหว่างพื้นหลักฐานทั้งสองระบบ จากการวิจัยพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 สำหรับประเทศไทยคือค่าเลื่อน 3 ตัวแปร ได้แก่ ค่าเลื่อนทางแกน X (ΔX) 204.4 เมตร, ค่าเลื่อนทางแกน Y (ΔY) 837.7 เมตร และค่าเลื่อนทางแกน Z (ΔZ) 294.7 เมตร ผลจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพิกัดนี้มีผลให้ค่าพิกัดบนระนาบแผนที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย ค่าพิกัดที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นเกินเกณฑ์การแก้ไขความถูกต้องบนแผนที่ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้กรมแผนที่ทหารตัดสินใจที่จะผลิตแผนที่ชุดใหม่คือชุด L7018 ขึ้นใช้งานแทนแผนที่ชุดเก่าคือชุด L7017 และคาดว่าจะแล้วเสร็จต้นปี พ.ศ.2546 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานอ้างอิงการคำนวณงานทางด้านเยื่อเดติกของประเทศไทยในครั้งนี้จะส่งผลให้งานทางด้าน การสำรวจและการผลิตแผนที่ของประเทศไทยก้าวไปสู่ระดับสากลในอนาคต

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา.....2543.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4170538021 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD: SUITABILITY OF DATUMS / DATUM TRANSFORMATION / UTM GRID FOR THAILAND

SARAYUT YOUSAMRAN, LT. : A COMPARATIVE STUDY ON SUITABILITY OF DATUMS FOR THAILAND : WGS84 VERSUS INDIAN 1975. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHUGIAT WICHIENTHAROEN, Ph.D. 167 pp. ISBN 974-13-0321-1

Currently, the geodetic network for surveying and mapping of Thailand is based on Indian 1975 datum. The horizontal control network is computed from triangulation network. The reference coordinate system is computed on Everest spheroid and used as a local geodetic datum. Now the technology of surveying and mapping is developed very quickly. The coordinate system is determined by satellites, especially GPS satellites which give more accuracy and convenience in surveying than the triangulation. A coordinate system obtained from satellites is World Geodetic System 1984 or WGS84 datum. If a location of the center, orientation of axes and a shape of the ellipsoid are changed, the coordinate system will be changed too.

From the investigation on suitability to the geoid in Thailand, between WGS84 datum and Indian 1975 datum, it was found that WGS84 datum fitted to the geoid better than the Indian 1975 datum. The change of the geodetic datum changed the coordinate system. It was therefore necessary to determine parameters for datum transformation between two coordinate systems. The transformation between different terrestrial reference system was performed by three dimensional (3D) similarity transformation. The investigation in this thesis shows that only 3 translations were needed in the datum transformation for Thailand from Indian 1975 to WGS84 datum, they are $\Delta X = 204.4$ m. : $\Delta Y = 837.7$ m. : $\Delta Z = 294.7$ m. One important effect for the changed datum was that coordinates on the map would change too. In case of Thailand, the change on UTM grid was much more than that could be accepted. The Royal Thai Survey Department considered the matter and then decided to make the new UTM grid for the new map series called L7018. The new series was expected to complete in 2003. The change of the datum for Thailand was important because it would bring the surveying and mapping of Thailand to international standards.

Department Survey Engineering Student's signature _____

Field of study Survey Engineering Advisor's signature _____

Academic year 2543

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความปลอดภัยและความกรุณาของบุคคล
ต่างๆ หลายท่าน ดังต่อไปนี้

บุคคลแรกที่ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คือ พ.ท.เสมอ – นางรัตนา อยู่สำราญ ผู้เป็น
บิดาและมารดาของผู้วิจัย ซึ่งได้ให้กำลังใจและสนับสนุนในด้านการเงินกับผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จ
การศึกษา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน ที่ได้ให้การ
อบรมสั่งสอน แนะนำและให้ความรู้ในด้านวิชาการต่างๆ ในอันที่จะเป็นประโยชน์ต่อการรับราชการ
ของผู้วิจัยต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ อาจารย์ที่
ปรึกษา ผู้ซึ่งได้ทุ่มเททั้งกำลังกาย กำลังสติปัญญาในการให้คำปรึกษา และให้แนวคิดในการแก้ไข
ปัญหาต่างๆ ระหว่างทำการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณกองยี่ออเดซีและยี่ออพีสิกส์, กองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร
กองรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านเอกสารและข้อมูลต่างๆ
จึงทำให้การทำวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์

และขอกราบขอบพระคุณ พ.อ.ภูษงค์ วงษ์เกิด, พ.อ.พีระศักดิ์ อุ่นอก, พ.อ.หัสมี วงศ์อิศ
เรศ, พ.อ.กฤษณ์ บัณชิต, พ.ท.ยุทธศักดิ์ วาสนจิตต์, พ.ท.กนก วีรวงศ์, ร.อ.อนุเทพ ภาณุมาศ
ตระกุล, ร.อ.โชคชัย พัชณาโชคชัย ผู้เป็นกัลยาณมิตร และผู้ซึ่งมีส่วนร่วมอีกหลายท่านที่ได้กล่าว
นามไว้ ณ ที่นี้ ที่ช่วยให้ความรู้ ข้อคิดเห็นสติและกำลังใจด้วยดีตลอดมาจนทำให้วิทยานิพนธ์
ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบความดีของวิทยานิพนธ์ เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแต่บิดา มารดา และ
คณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง
ต่องานทางด้านยี่ออเดซีของประเทศไทยและผู้สนใจต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฑ
รายการสัญลักษณ์ประกอบ	ณ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์	2
1.4 สรุปรายงานการทำวิทยานิพนธ์	3
2 ทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	4
2.1 สันฐานของโลก	4
2.1.1 พื้นหลักฐานราชบุรี	8
2.1.2 พื้นหลักฐานอินเดียน 2459	9
2.1.3 พื้นหลักฐานอินเดียน 2497	10
2.1.4 พื้นหลักฐานเอเชียตอนใต้	11
2.1.5 พื้นหลักฐานอินเดียน 1975	12
2.1.6 พื้นหลักฐาน WGS84	14
2.2 ระบบอ้างอิงทางเยื่อเดซี	17
2.2.1 ระบบพิกัดฉากของโลก	17
2.2.2 ระบบพิกัดทางดาราศาสตร์	18
2.2.3 ระบบพิกัดทางเยื่อเดซี	19
2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางดาราศาสตร์และปริมาณทางเยื่อเดซี	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3 ทฤษฎีการแปลงพิกัดพื้นฐาน	22
2.4 ระบบพิกัดบนระนาบแผนที่	28
2.4.1 การฉายแผนที่และเส้นโครงแผนที่	28
2.4.2 มาตราส่วนหลักและสเกลแฟกเตอร์	28
2.4.3 ปัญหาพื้นฐานของการฉายแผนที่และการฉายแผนที่ที่ถูกต้อง	29
2.4.4 คุณสมบัติของเส้นโครงแผนที่	30
2.4.5 ชนิดของพื้นผิวการฉายแผนที่	30
2.4.6 การจัดตำแหน่งการฉายแผนที่	30
2.4.7 กริดยูทีเอ็ม	31
3 ความเหมาะสมของพิกัดพื้นฐานกับสภาพพื้นผิวของโลกของประเทศไทย	33
3.1 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับงานวิจัย	33
3.1.1 พิกัดพื้นฐานดาวเทียม GPS	33
3.1.2 พิกัดพื้นฐานประเทศไทย	43
3.1.3 ค่าพิกัดทางดาราศาสตร์	43
3.2 การคำนวณปรับแก้	44
3.2.1 การคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีลีสทิงค์แวร์	44
3.2.2 เกณฑ์การตรวจสอบทางสถิติของการคำนวณปรับแก้	46
3.3 การเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพิกัดพื้นฐาน WGS84 และ พิกัดพื้นฐานอินเดียน 1975 กับพื้นผิวของโลกของประเทศไทย	46
3.3.1 วิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งบนพิกัดพื้นฐานทั้งสอง	46
3.3.2 เปรียบเทียบความสูงต่างของพิกัดพื้นฐานทั้งสองกับพื้นผิวของโลกของ ประเทศไทย	47
3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพิกัดพื้นฐาน	56
3.4.1 ขั้นตอนและผลการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์	58
3.4.2 ความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัย.....	64
3.5 สรุปความเหมาะสมของพิกัดพื้นฐานกับสภาพพื้นผิวของโลกของประเทศไทย .	68

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลกระทบต่องานรังวัดและกิจการแผนที่เมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้ พื้นหลักฐาน WGS84 แทนพื้นหลักฐานอินเดียย 1975	72
4.1 ทั่วไป	72
4.2 ผลกระทบต่องานรังวัดชั้นสูง	73
4.2.1 โคจรข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่ง	73
4.2.2 โคจรข่ายหมุดหลักฐานทางราบ	73
4.2.3 โคจรข่ายการวัดแรงถ่วง	90
4.3 ผลกระทบต่อกิจการแผนที่	90
4.3.1 การแก้ไขแผนที่ชุดเดิม (L7017)	94
4.3.2 การผลิตแผนที่ชุดใหม่	96
4.4 ผลกระทบต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดและการผลิตแผนที่	100
4.5 สรุปผลกระทบต่องานรังวัดและกิจการแผนที่เมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้ พื้นหลักฐาน WGS84	103
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	105
5.1 ความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐาน อินเดียย 1975 กับพื้นผิวย่อยของประเทศไทย	105
5.2 การแปลงค่าพิกัดระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดียย 1975	106
5.3 ผลกระทบต่องานรังวัดอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนพื้นหลักฐานและ แนวทางแก้ไข	107
5.4 ผลกระทบต่องานผลิตแผนที่อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนพื้นหลักฐาน และแนวทางแก้ไข	107
5.5 ข้อเสนอแนะ	109
5.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	110
รายการอ้างอิง	112

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก	114
ภาคผนวก ก	115
ภาคผนวก ข	124
ภาคผนวก ค	165
ประวัติผู้เขียน	167



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

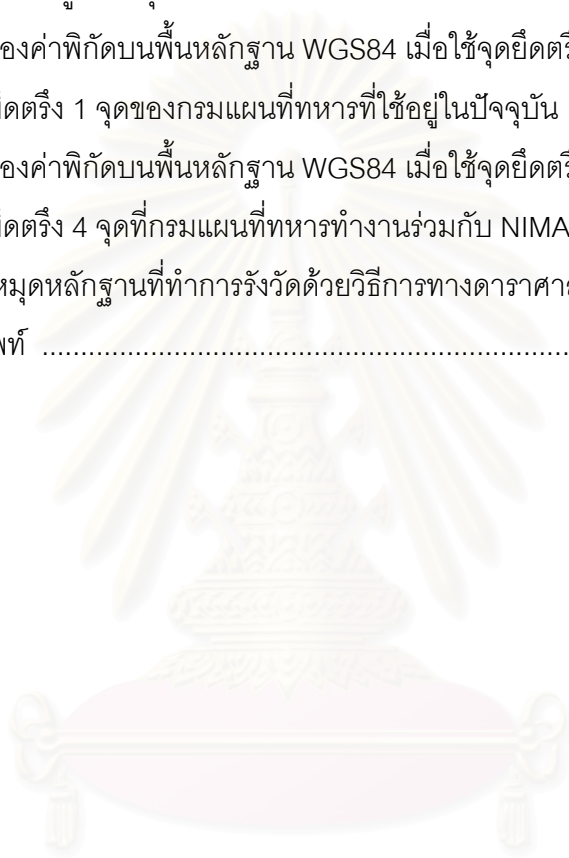
ตาราง		หน้า
2.1	แสดงค่าพิกัดหมุดหลักฐานซึ่งใช้เป็นค่าคงที่ในการปรับแก้ พ.ศ.2497	11
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดภูมิศาสตร์และระบบพิกัดฉาก	20
3.1	แสดงค่าพิกัดอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน ITRF 94 ณ เวลา 1996.3 จากโครงการ THAICA	36
3.2	แสดงค่าพิกัดหมุดหลักฐานจุดควบคุมโครงข่าย GPS จำนวน 18 หมุด หลังจากคำนวณปรับแก้แล้ว	39
3.3	วิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 โดยพิจารณาจากความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง	48
3.4	เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (θ) บนพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975	49
3.5	เปรียบเทียบความสูงต่างของพื้นหลักฐานกับพื้นผิวเอื่อยของประเทศไทยตามแนว Profile ที่ลองจิจูดต่างๆ	57
3.6	หมุดงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์	59
3.7	ค่าพารามิเตอร์จากการใช้จุดร่วม 21 หมุด	61
3.8	ค่าพารามิเตอร์จากการใช้จุดร่วม 19 หมุด	62
3.9	ค่าพารามิเตอร์จากการใช้จุดร่วม 18 หมุด	63
3.10	ค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวแปรที่ได้จากการวิจัย	64
3.11	ผลต่างของค่าพารามิเตอร์	65
3.12	แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ระหว่างค่าพิกัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย	65
3.13	แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ระหว่างค่าพิกัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์ที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่	66
3.14	แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ระหว่างค่าพิกัดซึ่งได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์ที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่แปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
3.15 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 เมื่อใช้จุดยึดตริงที่เขาสะแกกรังเพียงจุดเดียวและจุดยึดตริง 18 จุดที่ใช้ในการวิจัย	67
3.16 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 เมื่อใช้ยึดตริง 18 จุดที่ใช้ในการวิจัยและจุดยึดตริง 4 จุดที่กรมแผนที่ทหารทำงานร่วมกับ NIMA .	67
4.1 แสดงผลต่างของค่าพิกัดยึดอเดติกระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975	79
4.2 แสดงผลต่างของค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975	84
4.3 ระยะทางของตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปบนแผนที่มาตราส่วนต่างๆ	90
4.4 เปรียบเทียบค่าพิกัดบนระนาบแผนที่มาตราส่วนต่างๆ	96
ก.1 การวางโครงข่ายการรังวัด	116
ก.2 การปฏิบัติงานรังวัดดาวเทียมระบบ GPS	117
ก.3 การแบ่งชิ้นงานของผลการรังวัดโครงข่าย GPS แบบสัมพัทธ์	120
ข.1 หมุดระดับชั้นที่ 1 ที่ใช้ร่วมในการคำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA บนพื้นหลักฐาน WGS84	124
ข.2 แสดงผลต่างของค่าพิกัดบนแผนที่กริดยูทีเอ็มมาตราส่วน 1:50,000 ระหว่างค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 และค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยค่าพารามิเตอร์ของกองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร	125
ข.3 แสดงผลต่างของค่าพิกัดบนแผนที่กริดยูทีเอ็มมาตราส่วน 1:50,000 ระหว่างค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ที่ประกาศใช้อยู่ปัจจุบันและค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยค่าพารามิเตอร์จากการวิจัย	128
ข.4 ค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เมื่อใช้ค่าพิกัดที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่ในปัจจุบันเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย	131
ข.5 ค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เมื่อใช้ค่าพิกัดที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่ในปัจจุบันเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์ที่ประกาศใช้อยู่	134

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.6 ค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียปี 1975 เมื่อแปลงจากพารามิเตอร์ ที่ประกาศใช้อยู่ในปัจจุบันกับค่าพิกัดที่แปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย ...	137
ข.7 ผลต่างของค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 เมื่อใช้จุดยึดตติง 18 จุดจากการวิจัย และจุดยึดตติง 1 จุดของกรมแผนที่ทหารที่ใช้ในปัจจุบัน	140
ข.8 ผลต่างของค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 เมื่อใช้จุดยึดตติง 18 จุดจากการวิจัย และจุดยึดตติง 4 จุดที่กรมแผนที่ทหารทำงานร่วมกับ NIMA	151
ข.9 ค่าพิกัดหมุดหลักฐานที่ทำการรังวัดด้วยวิธีการทางดาราศาสตร์	162
ค.1 นิยามศัพท์	165



สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 พื้นผิวโลกและพื้นผิวอ้างอิง	5
2.2 สัณฐานของโลก ยีอออยและรูปวงรี	6
2.3 รูปทรงรีภูมิศาสตร์ รูปทรงรีภูมิภาค เปรียบเทียบกับยีอออย	7
2.4 การกำหนดค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84	15
2.5 ระบบพิกัดฉากของโลก	17
2.6 ระบบพิกัดทางดาราศาสตร์	18
2.7 ระบบพิกัดของรูปทรงรี	19
2.8 ความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งและความสูงแบบต่างๆ	21
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉาก 2 ระบบ เมื่อใช้แบบจำลอง Bursa-Wolf	23
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉาก 2 ระบบ เมื่อใช้แบบจำลอง Molodensky-Badekas	27
2.11 เส้นโครงแผนที่เมอร์เคเตอร์ขวาง	31
3.1 แสดงโครงข่าย GPS ของโครงการ THAICA 94 และ 96	34
3.2 แสดงโครงข่ายจุดควบคุม GPS จำนวน 18 สถานี	38
3.3 แสดงสถานีควบคุมโครงข่าย GPS จำนวน 18 สถานี	41
3.4 โครงข่าย GPS ที่จัดทำขึ้นโดยหน่วยงาน NIMA	42
3.5 แสดงสถานีดาราศาสตร์ที่มีการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ครอบอยู่	45
3.6 เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (θ) บนพื้นหลักฐาน WGS84	51
3.7 เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (θ) บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975	52
3.8 แสดงการวางตัวของพื้นหลักฐานทั้งสองกับพื้นผิวยีอออยของประเทศไทย	53
3.9 เส้นชั้นความสูงยีอออยของพื้นหลักฐาน WGS84	54
3.10 เส้นชั้นความสูงยีอออยของพื้นหลักฐานอินเดีย 1975	55
4.1 การทอนระยะด้วยเทปอินวาร์ลงบนพื้นผิวของรูปทรงรี	76
4.2 การทอนระยะด้วยเครื่องมือวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์บนพื้นผิวของรูปทรงรี	77
4.3 หลักการพื้นฐานของการหาตำแหน่งจากดาวเทียม	78
4.4 แสดงโซนของประเทศไทยบนพิกัดระนาบแผนที่กรีดยูทีเอ็ม	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.5 แสดงเวกเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดจากยูทีเอ็มในโซน 47 และโซน 48	87
4.6 แสดงความเปลี่ยนแปลงของค่าพิกัดทางราบของระบบพิกัด UTM	88
4.7 แสดงแผนที่ชุด L7017 ต่อกับ L7018	93
4.8 การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณขอบระวาง	93
4.9 แสดงภาพการเปลี่ยนค่าพิกัดบนระนาบแผนที่	95
4.10 แสดงดัชนีของแผนที่ชุด L7018	98



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์และความหมายประกอบ

รายการ	สัญลักษณ์	ความหมาย
Semi-major axis	a	ค่ากึ่งแกนยาว
Semi-minor	b	ค่ากึ่งแกนสั้น
Flattening	f	อัตราการยุบตัวที่ขั้ว
Inverse flattening	1/f	ส่วนกลับของอัตราการยุบตัวที่ขั้ว
First eccentricity	e	ความเยื้องศูนย์กลางที่หนึ่ง
Component of origin	ϕ_0	ละติจูดของศูนย์กำเนิด
	λ_0	ลองจิจูดของศูนย์กำเนิด
	α_0	มุมภาคทิศของศูนย์กำเนิด
	N_0	ความสูงย่อย ณ ศูนย์กำเนิด
	ξ_0	ความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งในแนวทิศเหนือ - ใต้ ณ จุดศูนย์กำเนิด
	η_0	ความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งในแนวตะวันออก - ตะวันตก ณ จุดศูนย์กำเนิด
Geodetic latitude	ϕ	ละติจูดย่อยเดดติก
Geodetic longitude	λ	ลองจิจูดย่อยเดดติก
Astronomical latitude	Φ	ละติจูดดาราศาสตร์
Astronomical longitude	Λ	ลองจิจูดดาราศาสตร์
Azimuth	α	อะซิมูทย่อยเดดติก
	A	อะซิมูทรูปตัดฉากของเส้นโค้งบนพื้นผิวรูปทรงรี
	A_c	ค่ามุมที่ทอนลงบนพื้นหลักฐานแล้ว
The deflection of the vertical	ξ	ความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งในแนวเหนือ - ใต้
	η	ความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งในแนวตะวันออก - ตะวันตก
Observation direction	D	ค่ารังวัดทิศทางบนภูมิประเทศ
Corrected azimuth	D_c	ค่ารังวัดทิศทางที่ทอนลงบนพื้นหลักฐาน
	δ_3	จำนวนแก้ไขเนื่องจากความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง

รายการสัญลักษณ์และความหมายประกอบ (ต่อ)

รายการ	สัญลักษณ์	ความหมาย
Arc-to-chord Correction	δ_1	จำนวนแก้ไขเพื่อทำรอยตัดนอร์มอลให้เป็นเส้นยี่ออดีติก
	δ_2	จำนวนแก้ไขเนื่องจากความสูงที่หยาบเล็ง
	δ_3	จำนวนแก้ไขเนื่องจากความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง
Distance	S	ระยะที่วัดด้วยเทปอินวาร์
Geodesic distance	S_0	ระยะที่ทอนลงบนรูปทรงรีอ้างอิง
Spatial distance	l	ระยะที่วัดด้วยเครื่องอิลเลคโทรนิคบนภูมิประเทศ
Chord distance	l_0	ระยะเป็นเส้นตรงระหว่างจุดสองจุดบนพื้นผิวรูปทรงรี
Radius	R	รัศมีปานกลางของรูปทรงรี
Northing, Easting	N, E	ค่าพิกัดกริดยูทีเอ็ม
Central scale factor	k_0	สเกลแฟกเตอร์ที่แนวเมริเดียนกลาง
Geoidal undulation	N	ความสูงยี่ออย
Orthometric height	H	ความสูงออร์โทเมตริกซึ่งวัดจากพื้นยี่ออยขึ้นมา
Ellipsoid height	h	ความสูงภูมิประเทศที่วัดจากพื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิง $h = N + H$
Translations	ΔX	ค่าเลื่อนทางแกน X
	ΔY	ค่าเลื่อนทางแกน Y
	ΔZ	ค่าเลื่อนทางแกน Z
Rotations	ϵ	ค่ามุมหมุนรอบแกน X
	ψ	ค่ามุมหมุนรอบแกน Y
	ω	ค่ามุมหมุนรอบแกน Z
Scale discrepancy	Δs	ค่าต่างมาตราส่วน
The geocentric rectangular coordinates	X, Y, Z	ระบบพิกัดฉาก 3 มิติ
Local coordinates	u, v, w	ระบบพิกัดท้องถิ่น

บทที่ 1

บทนำ

การรังวัดและจัดทำแผนที่ทุกโครงการที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีระบบอ้างอิง (Reference System) ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับประเทศนั้นๆ ให้มากที่สุดทั้งนี้เพราะปริมาณที่รังวัดมาได้อ้างอิงอยู่กับพื้นผิวของยี่ออย แต่ในเรื่องของการคำนวณนั้นพื้นผิวของยี่ออยมีความขรุขระไม่ราบเรียบ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวณ ดังนั้นในงานด้านการคำนวณของการรังวัดและจัดทำแผนที่จำเป็นต้องหารูปทรงทางเรขาคณิตที่รู้คุณสมบัติและง่ายต่องานด้านการคำนวณมาเป็นพื้นผิวอ้างอิง รูปทรงเรขาคณิตที่กล่าวถึงนั้นก็คือรูปทรงรี ทั้งนี้เพราะรูปทรงรีมีการยุบตัวที่ขั้วโลกและมีการปล่องที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรจึงทำให้รูปทรงรีมีความใกล้เคียงกับพื้นผิวยี่ออยของโลกมากที่สุด รูปทรงรีอ้างอิงที่ใช้แทนสัณฐานของโลกสำหรับการคำนวณงานรังวัดขั้นสูงนั้นมีมากมายทั้งนี้เพราะแต่ละประเทศมีความต้องการที่จะสร้างพื้นหลักฐานอ้างอิงในงานรังวัดขั้นสูง จากข้อมูลที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ขนาดและสัณฐานของรูปทรงรีที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมของพื้นผิวยี่ออยของประเทศหรือภูมิภาคนั้นๆ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันงานรังวัดและการจัดทำแผนที่ได้นำเอาเทคโนโลยีการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS เข้าร่วมในการหาค่าพิกัดของจุดต่างๆ บนพื้นผิวโลก ทั้งนี้เพราะการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS ให้ความสะดวกรวดเร็วและมีความถูกต้องสูงจึงเป็นที่นิยมของงานด้านการสำรวจในปัจจุบัน ค่าพิกัดที่ได้จากการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS นั้น จะอ้างอิงอยู่กับพื้นหลักฐานดาวเทียมที่ชื่อว่า พื้นหลักฐาน WGS84(World Geodetic System 1984) ซึ่งรูปทรงรีที่ใช้อ้างอิงในการคำนวณหาค่าพิกัดของพื้นหลักฐานนี้จะเป็นรูปทรงรีภูมิศาสตร์(Terrestrial Ellipsoid)จะแตกต่างกับรูปทรงรีที่ประเทศไทยใช้อ้างอิงในการคำนวณหาค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียเยน 1975 ในปัจจุบันซึ่งเป็นรูปทรงรีส่วนภูมิภาค(Best – Fitting Ellipsoid)

กรมแผนที่ทหารซึ่งเป็นหน่วยงานหลักด้านการผลิตแผนที่มูลฐานของประเทศ ได้รับอนุมัติโครงการจากรัฐบาลให้จัดทำแผนที่เชิงตัวเลข มาตรฐาน 1:50,000 ครอบคลุมทั่วประเทศ ภายใต้ชื่อ "โครงการเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตแผนที่เชิงเส้น เชิงรหัสหรือเชิงตัวเลข" ระยะเวลาดำเนินการ 5 ปี ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2541 ถึงปี 2545 โดยใช้พื้นหลักฐาน WGS84 เป็น

พื้นหลักฐานอ้างอิงทางราบซึ่งดำเนินงานร่วมกับหน่วยงานแผนที่สหรัฐอเมริกา (National Imagery and Mapping Agency : NIMA) การเปลี่ยนพื้นหลักฐานทางแผนที่ครั้งนี้ถือว่าการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงในงานด้านเยื่อเดซีของประเทศไทย ซึ่งจะได้ทำการศึกษา วิเคราะห์และเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นหลักฐานกับพื้นผิวเยื่อของประเทศไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์

- 1) เพื่อศึกษา วิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่างพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 และพื้นหลักฐาน WGS84 ว่าพื้นหลักฐานใดมีความเหมาะสมกับสภาพพื้นผิวเยื่อของประเทศไทยในการรังวัดและกิจการแผนที่มากกว่ากัน
- 2) เพื่อศึกษาความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการแปลงค่าพิกัดของประเทศไทยระหว่างพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 และพื้นหลักฐาน WGS84
- 3) เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการรังวัดและกิจการแผนที่ในงานด้านวิศวกรรมรวมถึงผลกระทบต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดและกิจการแผนที่ เมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 แทนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

1.3 ขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์

- 1) ศึกษาและรวบรวมประวัติของพื้นหลักฐานที่ประเทศไทยใช้อ้างอิงในการหาค่าพิกัดหมุดหลักฐานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน
- 2) วิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นหลักฐานทั้งสอง ได้แก่ พื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ว่าพื้นหลักฐานใดเหมาะสมกับพื้นผิวเยื่อของประเทศไทยมากกว่ากัน
- 3) คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพื้นหลักฐานระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

4) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวของยี่ออยและพื้นผิวของรูปทรงรี ความสัมพันธ์นี้ได้มาจากคุณสมบัติของสนามความถ่วงโลก ในปัจจุบันมีรูปจำลองสนามความถ่วงโลกซึ่งเกิดจากความร่วมมือขององค์การอวกาศของสหรัฐ (NASA) มหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอไฮโอ (Ohio State University) และหน่วยงานแผนที่สหรัฐ (NIMA) รูปจำลองนี้มีชื่อเรียกว่า EGM96(Earth Gravity Model 1996) และศึกษาซอฟต์แวร์ GPSurvey และ SKI ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการคำนวณปรับแก้และคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพื้นหลักฐาน ตามลำดับ

5) ศึกษาผลกระทบในด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับประเทศไทย เมื่อประเทศไทยเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นพื้นหลักฐาน WGS84 โดยมุ่งศึกษาในด้าน

5.1) ผลกระทบต่องานรังวัดหาค่าพิกัดทางราบและหาค่าพิกัดทางตั้ง, งานรังวัดควบคุมที่ใช้พื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิงเป็นพื้นหลักฐาน เช่น งานรังวัดควบคุมยอดตึกและงานรังวัดระบบพิกัดบนระนาบแผนที่

5.2) ผลกระทบต่องานแผนที่และการผลิตแผนที่ของประเทศไทยให้อยู่ในระบบพื้นหลักฐาน WGS84 เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดทางราบ

5.3) ผลกระทบต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดและกิจการแผนที่ในด้านการทำแผนที่เฉพาะด้านของหน่วยงาน เช่น กรมที่ดิน เป็นต้น

1.4 สรุปรายงานการทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 ความเหมาะสมของพื้นหลักฐานกับสภาพพื้นผิวยี่ออยของประเทศไทย

บทที่ 4 ผลกระทบต่อการรังวัดและกิจการแผนที่เมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 แทนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

งานทางด้านเยื่อเดซี¹ เป็นการหาขนาดของสัญญาณและสนามความถี่ของโลก วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เช่น ดาวเทียม รวมถึงการหาขนาดรูปทรงรีเฉื่อยของโลก จากปริมาณต่างๆที่วัดได้ทั้งบนผิวโลกและนอกผิวโลก ตลอดจนการนำปริมาณที่รังวัดมาได้ไปคำนวณซึ่งจะให้ผลลัพธ์จากการคำนวณในที่สุด

2.1 สัญญาณของโลก (The Earth's figure)

พื้นผิวที่แท้จริงของโลกมีลักษณะขรุขระ สูงๆ ต่ำๆ ไม่ราบเรียบและความลาดชันไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะแตกต่างกันไปตลอดทั่วทั้งผิวโลก ทั้งนี้เป็นเพราะในสภาวะแท้จริงของโลกมีความหนาแน่นของมวลสารไม่สม่ำเสมอ (ส่วนที่อยู่ใจกลางของโลกมีความหนาแน่นสูงสุด ส่วนที่อยู่ถัดออกมามีค่าลดลงตามลำดับจนถึงค่าต่ำสุดที่บริเวณผิวโลก) มวลสารของโลกมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจากปัจจัยต่างๆ เช่น แรงดึงดูดของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อส่วนต่างๆของโลกทำให้เกิดแรงน้ำขึ้นน้ำลงรวมทั้งทำให้โลกยืดหยุ่นได้ จึงทำให้สนามแรงดึงดูดของโลกเปลี่ยนแปลงไปด้วย สาเหตุอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแรงดึงดูดไปตามกาลเวลาอีก ได้แก่ การเคลื่อนย้ายของมวลสารในบรรยากาศ ไนมหาสมุทร ในส่วนที่เป็นเปลือกแข็งและส่วนที่อยู่ในใจกลางโลกด้วย ในงานทางด้านเยื่อเดซีจึงแบ่งสัญญาณของโลกออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) สัญญาณของโลกทางกายภาพ หมายถึง แนวเขตระหว่างผิวดินหรือผิวน้ำกับบรรยากาศรอบผิวโลก ค่าพิคัดตำแหน่งของหมุดหลักฐานจากการทำงานรังวัดชั้นสูงใช้แสดงสัญญาณส่วนที่เป็นพื้นดินได้อย่างหยาบๆ

2) สัญญาณของโลกทางคณิตศาสตร์ ได้จากการจินตนาการว่าพื้นผิวระดับของมหาสมุทรหรือพื้นผิวทะเลยื่นเข้าไปส่วนที่เป็นพื้นดินเป็นสารเนื้อเดียวกัน พื้นผิวระดับที่ครอบคลุม

¹ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, เยื่อเดซี (กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537), หน้า 1-2.

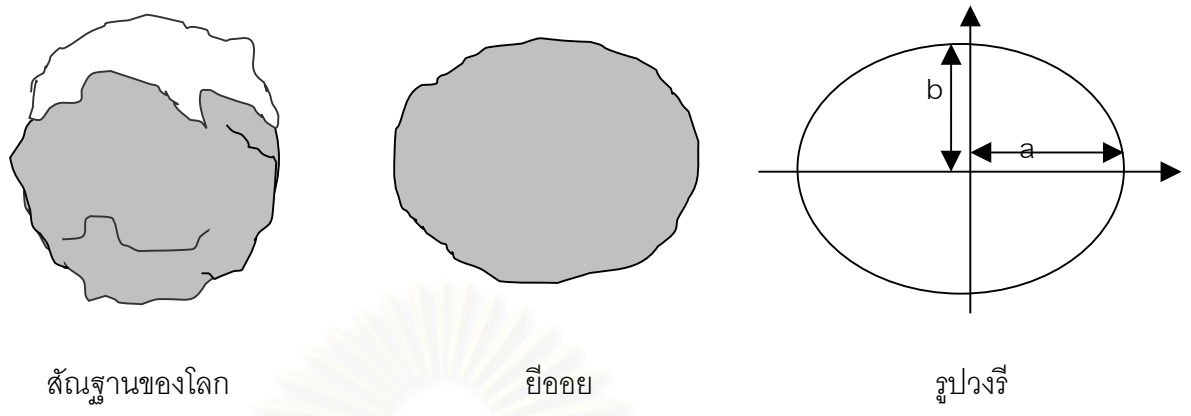
โลกทั้งหมดนี้มีชื่อเรียกว่า **ย็อยย**(Geoid) แต่เนื่องจากย็อยยมีรูปทรงที่บุบเบี้ยวไม่ราบเรียบ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นระบบอ้างอิงของการคำนวณในงานย็อยยเดซี และงานรังวัดชั้นสูง จึงจำเป็นต้องหารูปทรงเรขาคณิตที่เราารู้คุณสมบัติหรือคำนวณหาได้อย่างง่าย และรูปทรงเรขาคณิตนั้นก็คือ **รูปทรงรีอ้างอิง** (Reference Ellipsoid) ดังภาพที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวต่างๆ ในงานย็อยยเดซี



ภาพที่ 2.1 พื้นผิวโลกและพื้นผิวอ้างอิง

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า สัจฐานที่แท้จริงของโลก ย็อยยและรูปทรงรีต่างก็แสดงสัจฐานโลกในทัศนะที่ต่างกันดังนี้ คือ

- 1) สัจฐานทางกายภาพของโลก หรือลักษณะพื้นผิวของโลก (Terrestrial Surface) เป็นลักษณะที่แท้จริงที่ปรากฏบนผิวโลก ไม่เป็นรูปทรงทางเรขาคณิต มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่สม่ำเสมอ ตามภาพที่ 2.2
- 2) ย็อยย (Geoid) เป็นพื้นผิวที่เกิดจากจินตนาการว่าน้ำในมหาสมุทรได้ยื่นเข้าไปในส่วนที่เป็นพื้นผิวดิน และเชื่อมต่อกันทั่วทั้งโลก เป็นพื้นผิวที่มีศักยภาพความถ่วงเท่ากันทุกจุด ใช้เป็นสัจฐานอ้างอิงในงานดาราศาสตร์และงานระดับควบคุม ตามภาพที่ 2.2
- 3) รูปทรงรี (Ellipsoid) เป็นรูปทรงรีทางเรขาคณิตที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับพื้นผิวย็อยยของโลกมากที่สุดคือมีการยุบตัวที่บริเวณขั้วและป่องออกบริเวณแนวตรงกลาง รูปทรงรีนี้เกิดจากการเอารูปวงรีมาหมุนรอบกึ่งแกนสั้น (b) นั้นเอง ตามภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงสัณฐานของโลก ยี่ออยและรูปวงรี ตามลำดับ

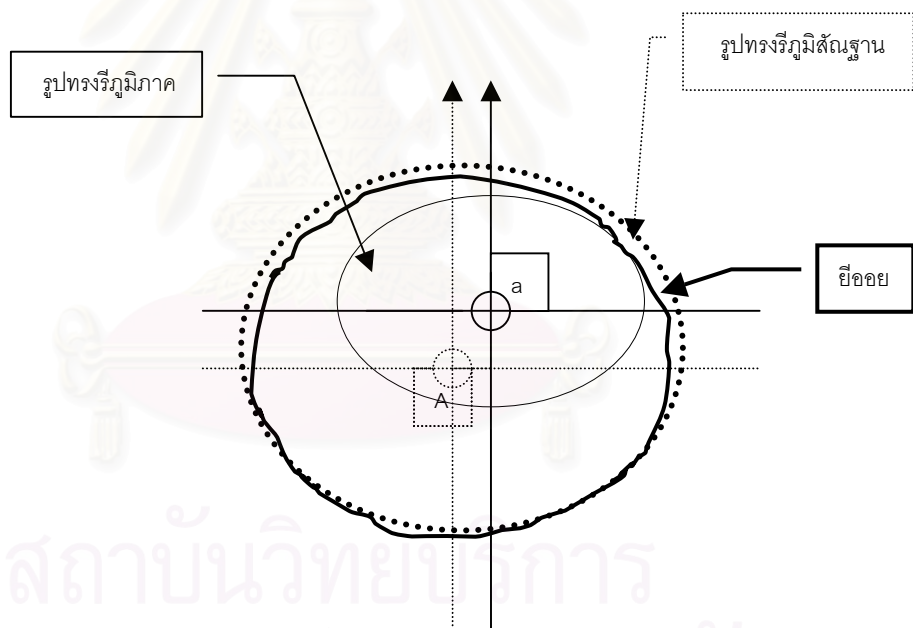
รูปทรงรีที่ใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวณงานด้านยี่ออยเดซีและเพื่อกำหนดปริมาณต่างๆ ในการรังวัดและการแผนที่นั้นสามารถจำแนกได้ 2 ชนิด² คือ

1) รูปทรงรีภูมิศาสตร์ (Terrestrial Ellipsoid) เป็นรูปทรงรีอ้างอิงสำหรับกิจการที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของจุดต่างๆ ทั่วโลก เช่น งานยี่ออยเดซีกายภาพ งานยี่ออยเดซีดาวเทียม เป็นต้น รูปทรงรีนี้มีศูนย์กลางกำเนิดอยู่ที่จุดใจกลางโลกมีแกนสมมาตรขนานกับแกนหมุนเฉลี่ยของโลก ถ้าพิจารณาอย่างกว้างๆ จะมีขนาดสัณฐานใกล้เคียงกับยี่ออย แต่ถ้าพิจารณาพื้นที่แคบๆ ส่วนใดส่วนหนึ่งของโลกความสมพงษ์ระหว่างรูปทรงรีภูมิศาสตร์อาจไม่ดีนัก ตัวอย่างรูปทรงรีภูมิศาสตร์ได้แก่ รูปทรงรี WGS84 เป็นต้น ตามภาพที่ 2.3

2) รูปทรงรีภูมิภาค (Best – Fitting Ellipsoid) เป็นพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงในกิจการที่มีอาณาเขตจำกัดภายในพื้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของโลก เช่น ภายในทวีปหรือภายในกลุ่มประเทศที่มีอาณาเขตติดต่อกัน รูปทรงรีนี้จะมีขนาดสมพงษ์กับบริเวณพื้นที่ที่ใช้งานเท่านั้นแต่จะไม่สมพงษ์กับพื้นที่อยู่นอกเขต ขนาดสัณฐานและตำแหน่งสัมพัทธ์กับรูปทรงรีนี้จะได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการรังวัดซึ่งกระทำภายในบริเวณที่เจาะจงใช้งาน เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ไม่มีการบังคับ

²อภิชาติ แสงรุ่งเรือง, การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 กับพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 (กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527) , หน้า 17.

ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของรูปทรงรีให้ทับกับจุดศูนย์กลางของโลกดังนั้นจุดทั้งสองจึงอยู่คนละตำแหน่ง (ตามภาพที่ 2.3) แกนสมมาตรของรูปทรงรีนี้จะถูกบังคับให้ขนานกับแกนหมุนของโลกโดยลาพลาซอะซิเมท รูปทรงรีในกิจการรังวัดและการแผนที่นั้นนอกจากจะมีขนาดและรูปร่างตายตัวแล้ว จะต้องถูกกำหนดตำแหน่งสัมพันธ์กับโลกอย่างแน่นอนด้วยจึงจะสมบูรณ์ใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิงได้ สิ่งื่อบอกขนาดและรูปร่างนั้นได้แก่ กึ่งแกนยาว (a) และการยุบตัวตามแนวซั้ว (f) ส่วนการกำหนดตำแหน่งสัมพันธ์กับโลกของรูปทรงรีภูมิภาค ซึ่งมีแกนสมมาตรขนาน (แต่ไม่ทับ) กับแกนหมุนเฉลี่ยของโลกจะมีจุดจุดหนึ่งกลางพื้นที่เป็นจุดยึดรูปทรงรีกับโลกเข้าด้วยกันจุดนี้เราเรียกว่า ศูนย์กำเนิด ที่จุดนี้จะมีการกำหนดค่าพิคัดย็อดเดติก(ϕ_0, λ_0) ค่าเบี่ยงเบนของแนวตั้ง(ξ_0, η_0) ค่าความสูงย็อดย(N_0) และการบังคับการหันเหของรูปทรงรีอาจกระทำได้โดยการกำหนดอะซิเมทย็อดเดติก (α_0) ของทิศทางจากศูนย์กำเนิดไปยังจุดใดจุดหนึ่ง หรือใช้การรังวัดลาพลาซอะซิเมทหลายๆ ตำแหน่งเพื่อบังคับทิศทางของรูปทรงรี



ภาพที่ 2.3 รูปทรงรีภูมิศาสตร์ รูปทรงรีภูมิภาค เปรียบเทียบกับย็อดย

ในการทำงานรังวัดขั้นสูง ค่าที่วัดมาได้จะเป็นปริมาณที่อ้างอิงกับพื้นผิวย็อดย ซึ่งต้องนำมาคำนวณปรับแก้โครงข่ายบนรูปทรงรีอ้างอิงของประเทศหรือภูมิภาคนั้นๆ ผลลัพธ์จากการปรับแก้ก็คือปริมาณที่อ้างอิงอยู่บนรูปทรงรี ดังนั้นงานทางด้านกรคำนวณจำเป็นจะต้องหารูปทรงรีที่มีขนาด รูปร่างและทิศทางกรวางตัวให้แนบสนิทกับพื้นผิวย็อดยของประเทศหรือภูมิภาคนั้นๆ ให้

มากที่สุด ซึ่งรูปร่างและทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีประกอบกันนี้เรียกว่า **พื้นหลักฐาน³** (Datum) ปัจจุบันพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงในโลกมีมากกว่า 50 ชนิด ทั้งนี้เพราะแต่ละประเทศมีความต้องการที่จะสร้างพื้นหลักฐานสำหรับอ้างอิงในงานรังวัดชั้นสูง จากข้อมูลที่ต่างกันจึงทำให้คำนวณได้พื้นหลักฐานที่ต่างกันออกไป

สำหรับพื้นหลักฐานของประเทศไทยเริ่มใช้เมื่อปี พ.ศ.2441 เมื่อกรมแผนที่ประเทศอินเดียได้กำหนดสถานีรังวัดที่เขากะเลี่ยนเปอร์ซึ่งอยู่ในประเทศอินเดียเป็นศูนย์กลางกำเนิดของพื้นหลักฐานอินเดียในการขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานไปทั่วประเทศด้วยวิธีการสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 พร้อมกับได้ขยายโครงข่ายสามเหลี่ยมเข้าไปในประเทศพม่าและโครงข่ายสามเหลี่ยมในประเทศพม่านี้ได้ขยายต่อเนื่องมาจนถึงชายแดนประเทศไทย กรมแผนที่ของไทยในขณะนั้นได้ทำการรังวัดงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 โยงยึดเข้ากับหมุดเหล่านั้นด้วย ต่อมาภายหลังองค์การแผนที่ กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา ได้ให้ความช่วยเหลือในการคำนวณปรับแก้ค่าโครงข่ายสามเหลี่ยมทั้งในส่วนของประเทศพม่าและประเทศไทยจึงเรียกผลลัพธ์จากการปรับแก้ในครั้งต่างๆ นั้นว่า “พื้นหลักฐานอินเดีย” (Indian Datum) สำหรับพื้นหลักฐานของประเทศไทยนั้นมีดังนี้

2.1.1 พื้นหลักฐานราชบุรี (Ratburi Datum)

พื้นหลักฐานราชบุรีเป็นพื้นหลักฐานแรกที่ได้นำมาใช้ในการคำนวณหาค่าพิกัดตำแหน่งทางราบของหมุดหลักฐานทุกชนิดที่ได้ทำการรังวัดในประเทศไทย นับตั้งแต่กรมแผนที่อินเดียได้กำหนดจุดกำเนิดของรูปทรงรีเอเวอเรสต์ที่ภูเขากะเลี่ยนเปอร์และได้ทำการรังวัดโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ขยายออกไปทั้งภูมิภาคผ่านพม่าจนถึงเขตแดนไทยที่เขาหลวง จ.ราชบุรี และได้ปรับแก้แล้วเสร็จเมื่อ พ.ศ.2442 และต่อมาในปี พ.ศ.2450 กรมแผนที่ไทยในสมัยนั้นได้รังวัดโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 เชื่อมโยงหมุดหลักฐานที่เขาหลวง จ.ราชบุรี พร้อมกันนี้ได้มีการวัดระยะเส้นฐานที่ราชบุรีและการรังวัดอะซิมูทดาราศาสตร์ จากเขาแจ่มไปยังเขาภูเพื่อใช้สถานีเขาหลวงเป็นสถานีแรกออกงานเพื่อขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานไปทั่วประเทศ พร้อมกันนี้ได้มีการรังวัดโยงยึดกับโครงข่ายสามเหลี่ยมของประเทศเพื่อนบ้านข้างเคียงดังนี้

³ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, ยี่ออเดซี (กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537), หน้า 5-2

- พ.ศ. 2467 – 2468 : เชื่อมโยงกับโครงข่ายสามเหลี่ยมของประเทศกัมพูชาทางด้าน
ตะวันออก ที่จังหวัดสุรินทร์
- พ.ศ. 2472 – 2474 : เชื่อมโยงกับโครงข่ายสามเหลี่ยมประเทศพม่าทางด้านเหนือที่
จังหวัดเชียงราย และทางด้านตะวันตกที่จังหวัดชุมพร
- พ.ศ. 2487 : เชื่อมโยงกับโครงข่ายสามเหลี่ยมประเทศมาเลเซียทางด้านใต้
ที่จังหวัดสตูล

พื้นฐานราบบุรีมีข้อมูลเกี่ยวกับขนาด สันฐาน และตำแหน่งสัมพัทธ์ของยอดดังนี้

ศูนย์กำเนิดพื้นฐาน	: เขาหลวง (ราบบุรี)
ละติจูด	: $13^{\circ} 43' 30''.34$ เหนือ
ลองจิจูด	: $99^{\circ} 32' 22''.94$ ตะวันออก
อะซิมูทจากใต้ เขาแฉ่ม – เขาสูง	: $179^{\circ} 44' 34''.308$
ชื่อรูปทรงรี	: เอเวอเรสต์ 1830 ($a = 6377276.345$ m., $f = 1 / 300.8017$)

2.1.2 พื้นฐานอินเดีย 2459 (Indian 1916 Datum)

ในปี พ.ศ.2459 หน่วยบริการแผนที่กองทัพบก สหรัฐอเมริกา (US. Army Map Service) ได้มอบหมายให้หน่วยงาน US. Coast and Geodetic Survey ทำการคำนวณปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมในประเทศอินเดียและประเทศพม่าใหม่ โดยใช้ข้อมูลเดิมที่มีอยู่และข้อมูลใหม่จากการรังวัดดาราศาสตร์และเส้นฐานเพิ่มเติม โดยยังคงใช้สถานีเขากะเลี่ยนเปอร์เป็นศูนย์กำเนิดของพื้นฐาน ผลลัพธ์ของการคำนวณปรับแก้ครั้งนี้เรียกว่า “พื้นฐานอินเดีย 2459” (Indian 1916 Datum) ซึ่งส่งผลให้ค่าพิกัดที่เขาหลวงเปลี่ยนไปคือ

พิกัดเขาหลวง	ละติจูด	: $13^{\circ} 43' 28''.690$ เหนือ
	ลองจิจูด	: $99^{\circ} 32' 21''.520$ ตะวันออก

2.1.3 พื้นหลักฐานอินเดีย 2497 (Indian 1954 Datum)

ในปี พ.ศ.2495 รัฐบาลไทยกับรัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ทำสัญญาตกลงร่วมกันในโครงการทำแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 จากรูปถ่ายทางอากาศตามข้อเสนอให้ความช่วยเหลือของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาต่อรัฐบาลไทย ส่วนหนึ่งของโครงการนี้คือ การวางหมุดหลักฐานทางภาคพื้นดินให้เพียงพอต่อการทำแผนที่และเพื่อให้ค่าพิกัดทางราบในประเทศไทยมีความน่าเชื่อถือ โดยนับต่อเนื่องจากจุดกำเนิดที่เขากะเลี่ยนเปอร์ ประเทศอินเดีย หน่วยงานบริการแผนที่สหรัฐฯ จึงได้ดำเนินการคำนวณปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ในประเทศไทยใหม่ทั้งหมด โดยใช้หมุดหลักฐานสามเหลี่ยมบริเวณไทย-พม่า จำนวน 10 สถานี เป็นค่าคงที่ในการคำนวณปรับแก้และถือว่าสถานีเหล่านี้ไม่มีความคลาดเคลื่อน ซึ่งได้แก่สถานีที่แสดงในตารางที่ 2.1 การคำนวณปรับแก้ได้เสร็จสิ้นในปี พ.ศ.2497 เรียกผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับแก้ในครั้งนี้ว่า “พื้นหลักฐานอินเดีย 2497” (Indian 1954 Datum) ซึ่งพื้นหลักฐานนี้มีข้อมูลเกี่ยวกับ ขนาด ฐาน และตำแหน่งสัมพันธ์กับย็อยยั้งนี้

ศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐาน	: สถานีเขากะเลี่ยนเปอร์
ละติจูด (ϕ_0)	: $24^{\circ} 07' 11''.26$ เหนือ
ลองจิจูด (λ_0)	: $77^{\circ} 39' 11''.57$ ตะวันออก
อะซิมุทแรกออก (AZ_0)	: สถานีเขากะเลี่ยนเปอร์ – เขาสุรรัลทัต $190^{\circ} 27' 05''.10$ (จากใต้)
ชื่อรูปทรงรี	: เอเวอเรสต์ 1830 ($a = 6377276.345$ m., $f = 1 / 300.8017$)
ความสูงย็อยยั้งที่ศูนย์กำเนิด (N_0)	: 0.00 เมตร
มุมเบี่ยงเบนของแนวตั้งที่ศูนย์กำเนิด	: $\xi_0 = -0''.29$, $\eta_0 = +2''.89$

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพิกัดหมุดหลักฐานซึ่งใช้เป็นค่าคงที่ในการปรับแก้ พ.ศ.2497

(Geodetic Memorandum No. 1692)

ลำดับ	ชื่อสถานี	ละติจูด			ลองจิจูด			หมายเหตุ
		°	'	"	°	'	"	
1	ดอยปะกูดิน	20	20	37.079	99	00	25.939	จ.เชียงราย
2	ดอยท่อม	20	23	37.515	99	27	07.568	จ.เชียงราย
3	ดอยผ้าห่มปก	20	04	09.926	99	08	42.466	จ.เชียงราย
4	เข่า่างหิน	13	54	34.880	99	19	33.370	
5	เข่าปากอง	13	54	16.360	99	30	05.230	
6	เข่าหลวง	13	43	28.690	99	32	21.520	เขต จ.ราชบุรี
7	เข่าเขียว	13	43	25.650	99	42	47.040	
8	เข่างู	13	34	31.220	99	46	17.000	
9	เข่าขี้มยา	10	40	17.290	99	01	12.192	จ.ชุมพร
10	เข่านาตาเถร	10	23	59.738	98	58	13.890	จ.ชุมพร

2.1.4 พื้นหลักฐานเอเชียตอนใต้ (South Asia Datum)

ในการประชุมสามัญครั้งที่ 11 ของสมาคมย็ออเดซีระหว่างชาติ ณ เมืองโตรอนโต ประเทศแคนาดา ในปี พ.ศ.2500 ที่ประชุมได้ตั้งคณะกรรมการขึ้นคณะหนึ่งเพื่อดำเนินการปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมในภูมิภาคเอเชียตอนใต้ โดยมีความมุ่งหมายเพื่อให้ประเทศต่างๆ ในภูมิภาคนี้ซึ่งประกอบด้วย ปากีสถาน อินเดีย พม่า มาเลเซียและไทย มีค่าพิกัดของหมุดหลักฐานทางย็ออเดซีในระบบร่วมอันเดียวกันโดยให้ชื่อผลลัพธ์จากการปรับแก้ครั้งนี้ว่า "พื้นหลักฐานเอเชียตอนใต้" (South Asia Datum)

การปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมในภูมิภาคเอเชียตอนใต้นี้ได้ดำเนินการแล้วเสร็จในปี พ.ศ.2506 โดยหน่วยงานบริการแผนที่กองทัพสหรัฐอเมริกา ซึ่งนำเอาโครงข่ายสามเหลี่ยมของประเทศต่างๆ ในภูมิภาคส่วนนี้มาโยงยึดต่อเนื่องเข้าด้วยกัน เพื่อทำการปรับแก้พร้อมกันหมดในคราวเดียวกัน โดยเริ่มจากด้านตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศตุรกีผ่านประเทศอิหร่านมาเชื่อม

กับโครงข่ายสามเหลี่ยมของประเทศปากีสถาน อินเดีย พม่าและไทย ซึ่งต่อมาได้มีการขยายโครงข่ายของประเทศไทยเชื่อมโยงกับโครงข่ายสามเหลี่ยมของประเทศมาเลเซียในปี พ.ศ.2510 – 2511 ทั้งนี้เพื่อขยายพื้นที่หลักฐานเอเชียตอนใต้ให้ครอบคลุมถึงประเทศมาเลเซียด้วย

พื้นที่หลักฐานเอเชียตอนใต้ (South Asia Datum) มีข้อมูลเกี่ยวกับขนาด ฐานฐาน และตำแหน่งสัมพันธ์กับยี่ออยดังนี้

ศูนย์กำเนิดพื้นที่หลักฐาน	: Koh – I – Malik – Siah (ประเทศอิหร่าน)
ละติจูด	: $29^{\circ} 51' 31''.73$ เหนือ
ลองจิจูด	: $60^{\circ} 52' 24''.50$ ตะวันออก
ความสูงยี่ออยที่ศูนย์กำเนิด	: 22.0 เมตร
ชื่อรูปทรงรี	: พิชเชอร์ 1960 ($a = 6378155$ m., $f = 1 / 298.3$)

ทั้งๆ ที่พื้นที่หลักฐานเอเชียตอนใต้ได้ดำเนินการแล้วเสร็จมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2506 แล้วก็ตาม แต่ไม่ปรากฏว่ามีประเทศใดในภูมิภาคนี้นำเอาค่าพิกัดที่ได้ปรับแก้แล้วนี้มาใช้ในกิจการแผนที่ของแต่ละประเทศเลย

2.1.5 พื้นที่หลักฐานอินเดีย 1975 (Indian 1975 Datum)

ในปี พ.ศ.2518 องค์การแผนที่ กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา (Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center) ได้ทำการปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 โดยรวบรวมข้อมูลต่างๆ ในโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ทั้งของประเทศไทยและประเทศพม่ามาทำการปรับแก้พร้อมกันใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อต้องการค่าพิกัดของผลลัพธ์ที่ถูกต้องที่สุด โดยรวมเอาค่าที่ได้รังวัดเพิ่มเติมภายหลังจากการปรับแก้ปี พ.ศ.2497 เข้ารวมกับค่าที่มีอยู่เดิมด้วย ในการปรับแก้ครั้งนี้มีข้อมูลดังนี้

1) ข้อมูลการรังวัดพื้นดิน

โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ที่ได้รับการปรับแก้ครั้งนี้ ประกอบด้วยหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ทั้งหมดจำนวน 426 สถานี

2) ข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมโดยวิธีดอปเพลอร์⁴

ในระหว่างปี พ.ศ.2514–2516 ได้มีการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมโดยวิธีดอปเพลอร์ จำนวน 12 สถานี ในจำนวนสถานีดอปเพลอร์ 12 สถานีนี้ค่าพิกัดซึ่งคำนวณได้จากสถานีดอปเพลอร์มีเพียง 9 สถานีเท่านั้น ที่ทางองค์การแผนที่ กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา นำเข้ามาร่วมในการปรับแก้ในครั้งนี้ด้วย เพราะสถานีหมายเลข 10073 และสถานีหมายเลข 20014 มีค่าข้อมูลของวงโคจรของดาวเทียมที่รังวัดได้ไม่เพียงพอ ส่วนสถานีหมายเลข 10042 นั้นมีการรังวัดโยงยึดกับหมุดหลักฐานชั้นที่ 3 ซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในการปรับแก้ครั้งนี้ สถานีดอปเพลอร์ทั้ง 9 สถานี มีระยะห่างกันเฉลี่ยประมาณ 305 กิโลเมตร มีระยะห่างกันมากที่สุดประมาณ 1,290 กิโลเมตร ในการปรับแก้ครั้งนั้นนอกจากจะเลือกหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ที่เขาสะแกกรัง (หมุดสามเหลี่ยมหมายเลข 91) จ.อุทัยธานี ให้เป็นหมุดหลักฐานค่าพิกัดตายตัว ยังได้กำหนดให้เป็นจุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐานใหม่ที่มิลล์ผลัพธ์จากการปรับแก้ครั้งนี้อีกด้วย และเรียกชื่อพื้นหลักฐานใหม่นี้ว่า “พื้นหลักฐานอินเดียยน พ.ศ.2518” หรือ “พื้นหลักฐานอินเดียยน 1975” (Indian 1975 Datum)

พื้นหลักฐานอินเดียยน 1975 (Indian 1975 Datum) มีข้อมูลเกี่ยวกับขนาด สัณฐาน และตำแหน่งสัมพันธ์กับย็อยดังนี้

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

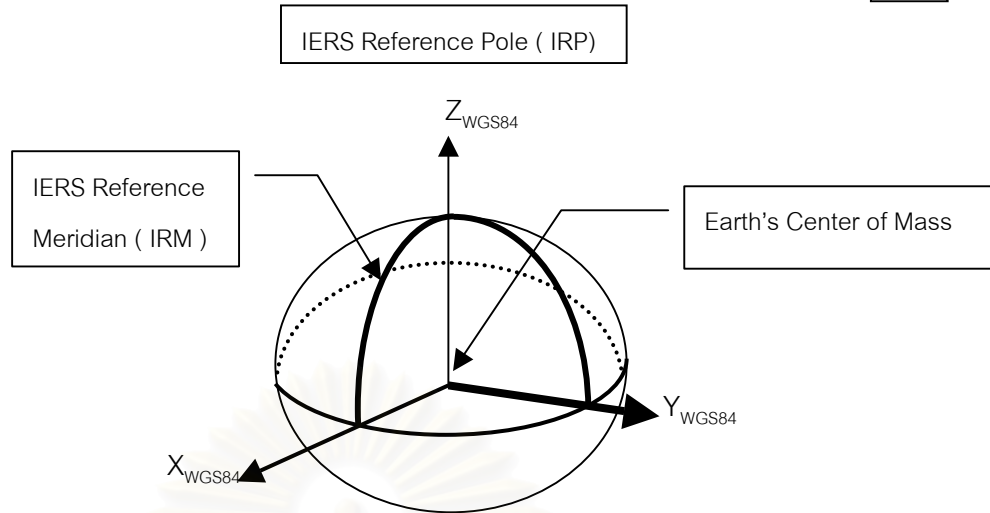
⁴อภิชาติ แสงรุ่งเรือง, การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐานอินเดียยน 2518 กับพื้นหลักฐานอินเดียยน 2497 (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527), หน้า 10-12.

2.1.6 พื้นหลักฐาน WGS84 (World Geodetic System 1984)

ปัจจุบันในงานทางด้านรังวัดและการสำรวจนิยมใช้เทคนิคการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS (Global Positioning System) อย่างแพร่หลายทั้งนี้เพราะให้ความสะดวก รวดเร็ว และค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดมีความถูกต้องสูง ตำแหน่งของดาวเทียม broadcast ephemeris จะถูกนำมาคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับ ค่าพิกัดที่ได้จากการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐานดาวเทียมที่ชื่อว่า พื้นหลักฐาน WGS84 ระบบพิกัดของพื้นหลักฐานนี้ถูกกำหนดด้วยระบบพิกัดที่อยู่บนพื้นผิวโลกมากกว่า 1,500 จุด ความถูกต้องของค่าพิกัดอยู่ในเกณฑ์ $\pm 1-2$ เมตร ในการคำนวณงานของพื้นหลักฐานจะอ้างอิงกับรูปทรงรี WGS84 ระบบพิกัดของพื้นหลักฐาน WGS84 จะเป็นไปตามคุณสมบัติสากลที่ IERS (The International Earth Rotation Service) กำหนดไว้ดังนี้

- 1) จุดศูนย์กลางกำเนิดของระบบพิกัดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารโลกซึ่งรวมถึงมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศด้วย (It is geocentric, the center of mass being defined for the whole Earth including oceans and atmosphere }
- 2) มาตรฐานคือระบบอ้างอิงท้องถิ่นซึ่งมีความหมายตามทฤษฎีสัมพัทธภาพความถ่วงของโลก (the scale is that of the local Earth frame, in the meaning of a relativistic theory of gravitation)
- 3) ทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีเป็นไปตามข้อกำหนดโดย BIH(Bureau International de l'Heure) ณ ช่วง เวลา 1984.0 (Its orientation was intially given by the BIH orientation of 1984.0)
- 4) การวางตัวของรูปทรงรีเมื่อกาลเวลาเปลี่ยนไปจะไม่มี ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก (Its time evolution in orientation will create no residual global rotation with regards to the crust)

ระบบพิกัดของพื้นหลักฐาน WGS84 เป็นระบบพิกัดฉากยึดติดโลก(Earth - fixed cartesian coordinate system : X, Y, Z) ศูนย์กำเนิดของระบบพิกัดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของโลก ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การกำหนดค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84

แกน Z ทับแกนหมุนเฉลี่ยของโลก ซึ่งก็คือทิศทางของ IRP(IERS Reference Pole ตามภาพที่ 2.4) และ ตรงกับทิศทางของ CTP (The BIH Conventional Terrestrial Pole) ณ ช่วงเวลา 1984.0

แกน X เกิดจากการตัดกันของระนาบเมริเดียนกรีนนิชเฉลี่ย XZ ซึ่งกำหนดโดย IRM (IERS Reference Meridian) กับระนาบศูนย์สูตรเฉลี่ย XY

แกน Y เป็นแกนที่ตั้งฉากกับแกน X และแกน Z ประกอบกันเป็นระบบมือขวา

พื้นหลักฐาน WGS84 เริ่มใช้เป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงสากลเมื่อปี ค.ศ.1987 โดยใช้ข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมในระบบทรานซิท (Transit) ของกองทัพเรือสหรัฐเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดพื้นหลักฐาน พื้นหลักฐาน WGS84 มีองค์ประกอบดังนี้

- รูปทรงรี : WGS84
- ขนาดของครึ่งแกนยาว(a) : 6,378,137.0 เมตร
- อัตราการยุบตัว(1 / f) : 298.257223563
- อัตราความเร็วเชิงมุม(ω) : $7292115.0 \times 10^{-11}$ radians / second
- ค่าสัมประสิทธิ์มวลสารของโลก : $(3986004.418 \pm 0.008) \times 10^8$ m³/s²
- [รวมชั้นบรรยากาศแอมสเฟียร์(GM)]

ปัจจุบันในการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS มีพื้นหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าพื้นหลักฐานพื้นหลักฐาน WGS84 มีความถูกต้องอยู่ในระดับเซนติเมตร ใช้ศึกษาในเรื่องการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก พื้นหลักฐานที่กล่าวถึงนี้คือ **พื้นหลักฐานอ้างอิงนานาชาติหรือพื้นหลักฐาน ITRF** (International Terrestrial Reference Frame) ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย IERS (International Earth Rotation Service) มีคุณสมบัติเหมือนกับพื้นหลักฐาน WGS84 ทุกประการตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ต่างกันที่เทคนิคของการสำรวจหาค่าพิกัดบนพื้นผิวโลก พื้นหลักฐาน ITRF จะใช้เทคนิคการรังวัดแบบ 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 พื้นหลักฐาน ITRF ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาดังนี้คือ ITRF88, 89, 90, 91, 92, 93, และ 94 ตามลำดับ

จากความน่าเชื่อถือของพื้นหลักฐาน ITRF หน่วยงาน NIMA (National Imagery and Mapping Agency) จึงได้ทำการปรับปรุงความถูกต้องของค่าพิกัดพื้นหลักฐาน WGS84 ให้ดีขึ้น โดยการคำนวณหาค่าพิกัดในส่วนของสถานีควบคุมดาวเทียม GPS ใหม่ ในวันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2537 ค่าพิกัดใหม่นี้อ้างอิงกับพื้นหลักฐาน ITRF91 ณ ช่วงเวลา 1994.0 (Swift, 1994 & Malys and Slater, 1994) ในการคำนวณครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูล precise ephemeris ของหน่วยงาน NIMA เข้าร่วมประมวลผลด้วย แล้วเสร็จในวันที่ 29 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2537 รู้จักกันในนาม WGS84 (G730) และในเดือนกันยายน พ.ศ. 2539 ได้ทำการคำนวณหาค่าพิกัดในส่วนของสถานีควบคุมดาวเทียม GPS ใหม่อีกครั้งหนึ่งและแล้วเสร็จในวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2540 รู้จักกันในนาม WGS84 (G873) [G730 และ G873 หมายถึงสัปดาห์ของระบบดาวเทียม GPS ที่ใช้ข้อมูล precise ephemeris เข้าร่วมในการประมวลผล] ดูรายละเอียดจาก Geocentric Datum of Australia technical Manual (The Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), <http://www.auslig.gov.au/index.htm>.)

จากคุณสมบัติของพื้นหลัก WGS84 และพื้นหลักฐาน ITRF ที่เหมือนกัน ประกอบกับการปรับปรุงและพัฒนาความถูกต้องของพื้นหลักฐาน WGS84 มาตามลำดับ จึงทำให้ค่าพิกัดที่

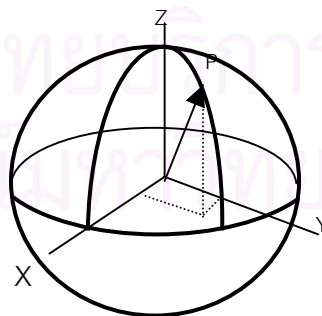
คำนวณได้จากพื้นฐานทั้งสองมีความแตกต่างกันในระดับเซนติเมตรเท่านั้นซึ่งไม่มีผลอะไรต่อการนำไปใช้งานทางด้านการสำรวจ

2.2 ระบบอ้างอิงทางยิปโซเดซี (Geodetic Reference System)

จากการสำรวจเมื่อนำปริมาณต่างๆ ที่รังวัดมาได้ไปคำนวณหาผลลัพธ์ต่างๆ นั้น จำเป็นจะต้องสร้างระบบอ้างอิงเพื่อบอกพิกัดตำแหน่งของปริมาณต่างๆ ที่รังวัดมาได้ แต่เนื่องจากปริมาณที่ได้จากการรังวัดอ้างอิงอยู่กับสนามความถ่วงของโลก ส่วนปริมาณที่ได้จากการคำนวณจะอ้างอิงอยู่กับพื้นผิวของรูปทรงรี จึงทำให้ค่าพิกัดที่ได้จากทั้งสองปริมาณมีความแตกต่างกันเล็กน้อยตามความเบี่ยงเบนของเส้นดึงบริเวณจุดที่ตั้งกล้อง ดังนั้นในการหาค่าพิกัดตำแหน่งจำเป็นจะต้องรู้ความสัมพันธ์ของยิปโซเดซีและรูปทรงรีอ้างอิงจึงจะทำให้ค่าพิกัดที่รังวัดและคำนวณได้มีความถูกต้องสูง ระบบอ้างอิงทางยิปโซเดซีมีอยู่หลายชนิด แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงระบบอ้างอิงที่จะเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้นี้

2.2.1 ระบบพิกัดฉากของโลก (Cartesian Coordinate System)

เป็นระบบพิกัดฉากสามมิติที่ใช้บอกตำแหน่งอ้างอิงในงานยิปโซเดซีพิภพหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก (Earth-fixed cartesian coordinate system; X, Y, Z) แกนพิกัดของระบบจะหมุนไปพร้อมๆ กับการหมุนของโลก ศูนย์กำเนิดของระบบจะอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารหรือจุดศูนย์กลางของโลก (Geocenter) ตามภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ระบบพิกัดฉากของโลก

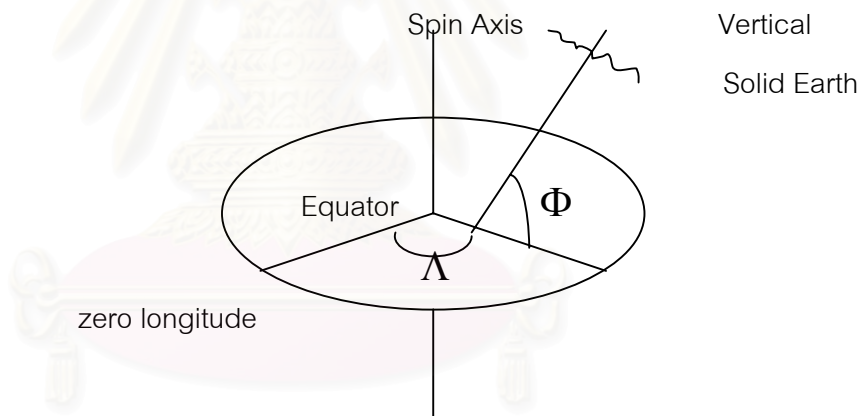
แกน Z คือ แกนที่ทับแกนหมุนเฉลี่ยของโลก

แกน X คือ แกนที่เกิดจากจุดตัดระหว่างระนาบศูนย์สูตร XY กับระนาบเมอริเดียนกรีนิช
เฉลี่ย XZ

แกน Y คือ แกนที่มีทิศทางตั้งฉากกับแกน X และ Z

2.2.2 ระบบพิกัดทางดาราศาสตร์ (Astronomical Coordinate System)

เป็นระบบพิกัดอ้างอิงตามธรรมชาติซึ่งอยู่ในอิทธิพลของสนามความโน้มถ่วงโลก บริเวณ ณ จุดตั้งกล้องสายดิ่งของจุดตั้งกล้องจะอ้างอิงกับพื้นผิวเอื้อย พารามิเตอร์ที่ใช้บอกค่าพิกัดของระบบนี้ได้แก่ ค่าละติจูดทางดาราศาสตร์ (Φ) และค่าลองจิจูดทางดาราศาสตร์ (Λ) ตามภาพที่ 2.6 ระบบพิกัดทางดาราศาสตร์นี้มีความสำคัญต่องานรังวัดชั้นสูงในสมัยก่อนเป็นอย่างมากทั้งนี้เพราะค่าพิกัดทางดาราศาสตร์ช่วยควบคุมทิศทางการวางตัวของโครงข่ายและคำนวณหาปริมาณต่างๆ ทางเยื่อเดซีซึ่งอ้างอิงบนพื้นผิวของรูปทรงรี ตัวอย่างเช่น งานข่ายสามเหลี่ยม



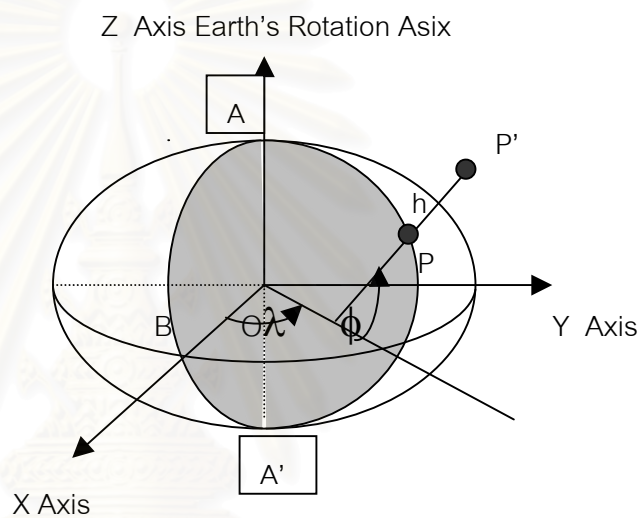
ภาพที่ 2.6 ระบบพิกัดทางดาราศาสตร์

1) ละติจูดดาราศาสตร์ (Astronomical Latitude) หมายถึง มุมระหว่างเวกเตอร์ของเส้นดิ่งบริเวณจุดตั้งกล้องกับระนาบศูนย์สูตร ที่เส้นศูนย์สูตรค่าละติจูดเป็น 0 องศา และเพิ่มขนาดเป็น 90 องศา ที่จุดขั้วเหนือและที่จุดขั้วใต้ ใช้สัญลักษณ์ Φ

2) ลองจิจูดดาราศาสตร์ (Astronomical Longitude) หมายถึง มุมระหว่างเส้นสัมผัสแนวเมอริเดียนท้องถิ่น (local meridian) กับแนวเมอริเดียนเริ่มที่กรีนิช ใช้สัญลักษณ์ Λ

2.2.3 ระบบพิกัดทางเยื้องเดซี (Geodetic Coordinates)

ระบบพิกัดทางเยื้องเดซี หมายถึง ระบบพิกัดที่ใช้ในงานรังวัดชั้นสูง ในการคำนวณเพื่อหาค่าระบบพิกัดนี้จะคำนวณหรืออ้างอิงอยู่กับรูปทรงรีทั้งนี้เพราะรูปทรงรีมีขนาดและรูปร่างที่ใกล้เคียงกับพื้นผิวเยื้องยของโลกมากที่สุดกล่าวคือรูปทรงรีมีการยุบตัวที่ขั้วและมีการปล้องที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร ระบบพิกัดทางเยื้องเดซีประกอบด้วย ค่าละติจูด (Latitude) ลองจิจูด (Longitude) และความสูง (Height) ตามภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ระบบพิกัดของรูปทรงรี (ϕ, λ, h)

กำหนดให้

- AOA' เป็นแกนหมุนของรูปทรงรี
- ABA' แทนระนาบเมริเดียนหลัก
- แกน OY ตั้งฉากกับแกน OX และ OZ เกิดเป็นระบบพิกัดมือขวา (Right handed coordinate system)
- PP' คือ ความสูง, h

- 1) ละติจูดทางเยื้องเดซี (Geodetic Latitude) คือ มุมระหว่างแนวตั้งรูปทรงรีกับระนาบศูนย์สูตร ใช้สัญลักษณ์ ϕ
- 2) ลองจิจูดทางเยื้องเดซี (Geodetic Longitude) คือ มุมระหว่างระนาบของเส้นเมริเดียนหลัก (ABA') กับระนาบเมริเดียนที่ผ่านจุดใด (ในที่นี้คือ AOA'P) ใช้สัญลักษณ์ λ

ระบบพิกัดทางยิปโซเดซีหรือระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (ϕ, λ, h) จะมีความสัมพันธ์กับระบบพิกัดฉาก (X, Y, Z) ตามสูตรในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดภูมิศาสตร์และระบบพิกัดฉาก

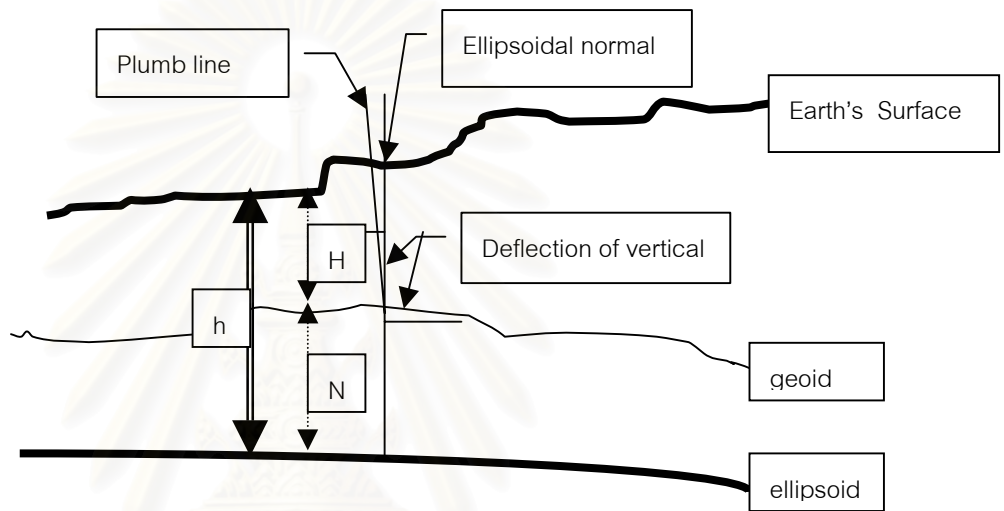
ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ \implies ระบบพิกัดฉาก	ระบบพิกัดฉาก \implies ระบบพิกัดภูมิศาสตร์
$X = (N + h) \cos(\phi) \cos(\lambda)$ $Y = (N + h) \cos(\phi) \sin(\lambda)$ $Z = \{(1 - e^2)N + h\} \sin(\phi)$	$\tan(\lambda) = Y / X$ $\tan(\phi) = (Z + e^2 N \sin \phi) / (X^2 + Y^2)^{1/2}$ $h = (X^2 + Y^2)^{1/2}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

2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางดาราศาสตร์และปริมาณทางยิปโซเดซี

ในอดีตการรังวัดชั้นสูงและการรังวัดทางดาราศาสตร์เป็นงานรังวัดภาคพื้นดินซึ่งใช้กล้องวัดมุม (Theodolite) เป็นเครื่องมือสำคัญของการทำงาน เวกเตอร์ของสายดิ่ง ณ บริเวณของจุดตั้งกล้องจะอ้างอิงกับสนามความถ่วงของโลกหรืออ้างอิงกับพื้นผิวยิปโซเดซี ปริมาณต่างๆ ที่รังวัดมาได้นี้ได้แก่ ค่าละติจูด (Φ) ลองจิจูด (Λ) อะซิมูท และระยะดิ่งบนหรือมุมสูง เราเรียกปริมาณเหล่านี้ว่า ปริมาณทางดาราศาสตร์ (Astronomical quantities)

สำหรับการคำนวณงานรังวัดชั้นสูง ปริมาณต่างๆ ที่คำนวณได้นั้นจะอ้างอิงกับพื้นผิวของรูปทรงรีแทนสัณฐานของโลก นั่นคือเวกเตอร์ของสายดิ่งบริเวณ ณ จุดตั้งกล้องจะตั้งฉากกับพื้นผิวของรูปทรงรี ปริมาณที่คำนวณได้คือ ละติจูด (ϕ) ลองจิจูด (λ) และความสูง (h) ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณงานรังวัดชั้นสูงนี้เรียกว่า ปริมาณทางยิปโซเดซี (Geodetic quantities)

จากการที่สายดิ่งบริเวณ ณ จุดตั้งกล้องของทั้งสองปริมาณอ้างอิงอยู่บนระนาบพื้นผิวกันตามภาพที่ 2.8 จึงทำให้ค่าพิกัดที่ได้จากการทำงานรังวัดโดยตรงและค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณงานรังวัดชั้นสูงจะมีค่าแตกต่างกัน ความแตกต่างของเส้นดิ่งนี้เราเรียกว่า **ค่าเบี่ยงเบนของสายดิ่ง (Deflection of vertical)** นอกจากนี้ความแตกต่างของค่าพิกัดยังมีสาเหตุมาจากการใช้ระบบพิกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ จุดขั้วโลกและแนวเมริเดียนกรีนนิชที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการคำนวณงานรังวัดชั้นสูงจึงจำเป็นต้องใช้ค่าตรวจแก้ (Correction) รวมกับค่าที่รังวัดได้ ความแตกต่างของค่าพิกัดเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.8 แสดงความเบี่ยงเบนของสายดิ่ง (Deflection of vertical) และความสูงแบบต่างๆ

$$\eta = (\Lambda - \lambda)\cos \phi$$

$$\xi = \Phi - \phi \dots\dots\dots(2.1)$$

และ

$$N = h - H$$

โดยที่	Φ, Λ	เป็นค่าละติจูดและลองจิจูดทางดาราศาสตร์
	ϕ, λ	เป็นค่าละติจูดและลองจิจูดทางยีออเดซี
	ξ, η	เป็นองค์ประกอบของค่าเบี่ยงเบนของสายดิ่งในแนวเมริเดียน (เหนือ - ใต้) และแนวสายดิ่ง (ตะวันออก - ตะวันตก) ตามลำดับ
	N	เรียกว่า ความสูงของยีอออย (Geoidal height หรือ Geoid Undulation) เป็นระยะห่างระหว่างพื้นผิวของรูปทรงรีกับพื้นผิวของยีอออย

H, h เป็นความสูงเหนือยอดหรือความสูงออร์โทเมตริก และความสูงเหนือรูปทรงรี (Ellipsoid height) ตามลำดับ

จากสมการที่ 2.1 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดระหว่างปริมาณทางดาราศาสตร์และปริมาณทางเยื่อเดซี นอกจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดแล้ว ยังมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางดาราศาสตร์และปริมาณทางเยื่อเดซีอีกหลายประการ⁵ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอะซิมูท ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตั้งบนและความสัมพันธ์ระหว่างทิศทาง ดังนั้นในการพิจารณาคคุณสมบัติของพื้นหลักฐานที่ดี มีความเหมาะสมกับประเทศหรือพื้นที่ที่นำไปใช้อ้างอิงหรือไม่จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) $\sum(\xi^2 + \eta^2) = \text{ค่าต่ำสุด (minimum)} \dots\dots\dots(2.2)$

2) $\sum(N^2) = \text{ค่าต่ำสุด (minimum)} \dots\dots\dots(2.3)$

2.3 ทฤษฎีการแปลงพื้นหลักฐาน (Datum Transformation)

ในการหาค่าพิกัดของจุดๆ หนึ่งบนพื้นหลักฐานที่ต่างกันย่อมจะให้ค่าพิกัดที่แตกต่างกันด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากขนาดและรูปร่างของทรงรีที่ต่างกัน ทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีไม่เหมือนกัน จุดศูนย์กลางของรูปทรงรีไม่ใช่จุดเดียวกัน หน่วยวัดระยะทางไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ฯลฯ ดังนั้นในการแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐานหนึ่งไปอีกพื้นหลักฐานหนึ่งจำเป็นต้องอาศัยค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพื้นหลักฐาน การหาความสัมพันธ์นี้ประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ 7 ตัว คือ

1) ค่าเลื่อนระหว่างจุดกำเนิดในทิศทางของแกนทั้งสองระบบ (แกน X, Y, Z และแกน u, v, w) ทั้งนี้เพราะจุดศูนย์กลางของรูปทรงรีไม่ได้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ใช้สัญลักษณ์ ΔX, ΔY และ ΔZ ตามลำดับ

2) ค่ามุมหมุนรอบแกน u, v และ w ซึ่งเป็นผลมาจากทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีไม่เหมือนกัน ใช้สัญลักษณ์ ε, ψ, และ ω ตามลำดับ

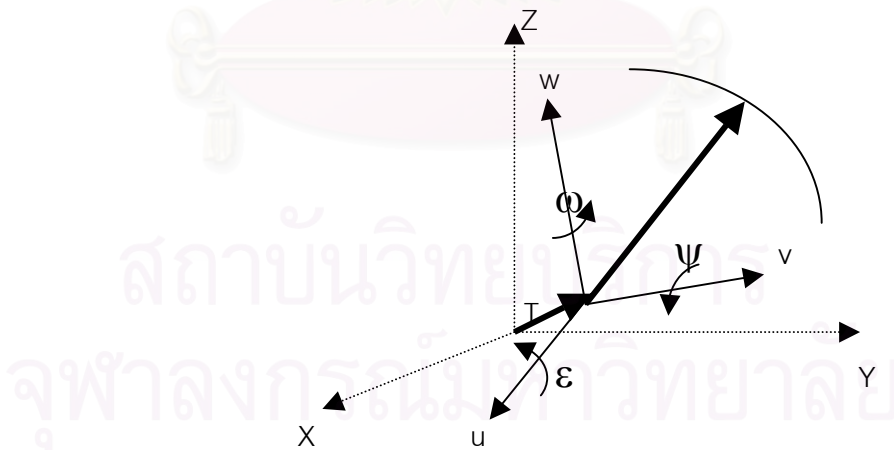
⁵ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, เยื่อเดซี (กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537), หน้า 6-7.

3) ค่าต่างมาตราส่วน เป็นผลมาจากหน่วยวัดระยะทางไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ใช้สัญลักษณ์ Δs

ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบพิกัดทั้งสองระบบ นิยมแปลงระบบพิกัดให้อยู่ในรูประบบพิกัดฉาก 3 มิติก่อน (X, Y, Z) จากนั้นจึงใช้เทคนิคการปรับแก้แบบลีสทส์แควร์เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ โดยหลักการแล้วจำเป็นจะต้องรู้ค่าพิกัดของระบบทั้งสองระบบหรือเรียกอีกอย่างว่า **จุดร่วม (Common Point)** อย่างน้อย 3 จุด เพื่อสร้างสมการในการหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 7 ตัวนี้ ในบางกรณีถ้าต้องการหาความสัมพันธ์ของระบบพิกัดที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็ก การหาความสัมพันธ์เพียงค่าเลื่อนทางแนวแกน X, Y และ Z ก็เป็นการเพียงพอ ทั้งนี้เพราะเมื่อค่าเลื่อนมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อมุมหมุนในการแปลงค่าพิกัดพื้นหลักโดยตรง สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ที่นิยมใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์มีอยู่ 2 แบบ⁶ คือ

- 1) แบบจำลองของ Bursa – Wolf
- 2) แบบจำลองของ Molodensky – Badekas

แบบที่ 1 แบบจำลองของ Bursa – Wolf



ภาพที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉาก 2 ระบบ เมื่อใช้แบบจำลอง Bursa - Wolf

⁶Leick, A., GPS Satellite Surveying, 2nd ed (New York : A Wiley-Interscience Publication, 1995), p.476.

จากภาพที่ 2.9 แสดงแบบจำลองของ Bursa – Wolf แบบจำลองนี้จะคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 7 ตัวที่จุดกำเนิดของระบบพิกัดทั้งสองระบบ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$T + (1+\Delta s)RU - X = 0 \dots\dots\dots(2.4)$$

- กำหนดให้
- X แทนค่าพิกัด X, Y, Z ของระบบพิกัดที่หนึ่ง
 - U แทนค่าพิกัด u, v, w ของระบบพิกัดที่สอง
 - T แทนค่าเลื่อนระหว่างจุดกำเนิดของทั้งสองระบบ ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)
 - Δs แทนค่าต่างมาตราส่วน
 - R แทนค่ามุมหมุนรอบแกนของ U(u, v, w) :

ดังนั้น $R = R_3(\omega)R_2(\psi)R_1(\epsilon) \dots\dots\dots(2.5)$

โดยที่

$$R_1(\epsilon) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\epsilon & \sin\epsilon \\ 0 & -\sin\epsilon & \cos\epsilon \end{bmatrix}$$

$$R_2(\psi) = \begin{bmatrix} \cos\psi & 0 & -\sin\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\psi & 0 & \cos\psi \end{bmatrix}$$

$$R_3(\omega) = \begin{bmatrix} \cos\omega & \sin\omega & 0 \\ -\sin\omega & \cos\omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

มุม (ϵ, ψ, ω) หมุนทวนเข็มนาฬิกาการรอบแกน u, v, w ตามลำดับ ในการแปลงค่าพิกัดพื้นหลักฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมหมุนของระบบพิกัดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จะได้ $\sin\theta = \theta$ และ $\cos\theta = 1$ ดังนั้นผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมหมุนคือ

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \omega & -\psi \\ -\psi & 1 & \epsilon \\ \psi & -\epsilon & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.6)$$

หรือ

$$R = I + Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega & -\psi \\ -\omega & 0 & \epsilon \\ \psi & -\epsilon & 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.7)$$

ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 7 ตัวของแบบจำลองนี้จะใช้เทคนิคการปรับแก้แบบ ลีสท์สแควร์เข้ามาช่วยโดยจัดให้อยู่ในรูปแบบ General model หรือ The mixed adjustment model เงื่อนไขหรือสมการที่สร้างขึ้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทั่วไปได้เป็น

$$F(La, Xa) = 0$$

หรือ

$$F(Lb+V, Xo+X) = 0 \dots\dots\dots(2.8)$$

กำหนดให้

- La ค่าพิกัดหลังจากการปรับแก้(ใน U และ X)
- Xa ค่าพารามิเตอร์หลังจากการปรับแก้
- Lb ค่าพิกัดที่กำหนดให้(ใน U และ X)
- Xo ค่าประมาณของพารามิเตอร์
- V ค่าเศษคงเหลือ (Residuals) หรือค่าตรวจแก้ (Corrections)

นำสมการที่ 2.7 ไปแทนในสมการที่ 2.4 และตัดเทอมที่ 2 ของค่ามุมหมุนและค่าต่าง มาตราส่วนออก สามารถเขียน Math Model ได้ดังนี้

$$T + U + \Delta sU + QU - X = 0 \dots\dots\dots(2.9)$$

จัดสมการ (2.9) ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$BV + AX + W = 0 \dots\dots\dots(2.10)$$

โดยที่

$$B = \left. \frac{\partial F}{\partial L} \right|_{Lb, X_0} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X} \right|_{Lb, X_0} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$W = F(Lb, X_0) \dots\dots\dots(2.13)$$

ตัวอย่าง ถ้า P เป็นจุดใด ๆ ที่ทราบค่าฟังก์ชันของระบบทั้งสองระบบ โดยให้ค่าประมาณของพารามิเตอร์ $X_0 = 0$

Math Model $T + U + \Delta sU + QU - X = 0$

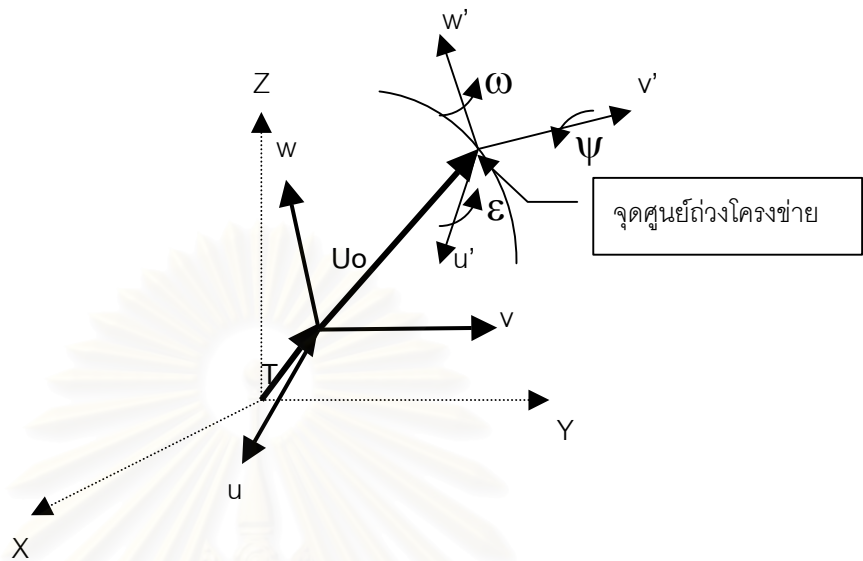
Linearized Form $BV + AX + W = 0$

หรือ

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \\ v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & u & v & -w & 0 \\ 0 & 1 & 0 & v & -u & 0 & w \\ 0 & 0 & 1 & w & 0 & u & -v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ \Delta s \\ \omega \\ \psi \\ \epsilon \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u - X \\ v - Y \\ w - Z \end{bmatrix} = 0$$



แบบที่ 2 แบบจำลองของ Molodensky – Badekas



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดจาก 2 ระบบ
เมื่อใช้แบบจำลอง Molodensky – Badekas

U_0 เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของจุดหมุน ในกรณีค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลื่อนและค่ามุมหมุนสูง นิยมใช้ Molodensky – Badekas Model ซึ่งจะให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลื่อนและค่ามุมหมุนต่ำ โดยค่ามุมหมุนตั้งแต่เดิมหมุนรอบจุดกำเนิดระบบพิกัด จะถูกย้ายมาอยู่ใกล้พื้นผิวโลกใกล้กับตำแหน่งของจุดรวม โดยปกติใช้ **จุดศูนย์กลาง (Centroid)** ของจุดรวมทั้งหมด ดังภาพที่ 2.10 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$T + U_0 + (1 + \Delta s)R(U - U_0) - X = 0 \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Math Model $T + U + \Delta s(U - U_0) + Q(U - U_0) - X = 0 \quad \dots\dots\dots (2.15)$

ตัวอย่าง ถ้า P เป็นจุดใดๆ ที่ทราบค่าพิกัดของระบบทั้งสองระบบ โดยค่าประมาณพารามิเตอร์

$$X_0 = 0$$

Math Model $T + U + \Delta s(U - U_0) + Q(U - U_0) - X = 0$

Linearized Form $BV + AX + W = 0$

หรือ

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \\ v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & u-u_0 & v-v_0 & -(w-w_0) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & v-v_0 & -(u-u_0) & 0 & w-w_0 \\ 0 & 0 & 1 & w-w_0 & 0 & u-u_0 & -(v-v_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ \Delta s \\ \omega \\ \psi \\ \epsilon \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u-X \\ v-Y \\ w-Z \end{bmatrix} = 0$$

2.4 ระบบพิกัดบนระนาบแผนที่ (Plane Coordinates)

แผนที่ คือ รูปจำลองที่แสดงสิ่งต่างๆ ที่อยู่บนพื้นผิวโลกทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น เป็นผลิตผลอย่างหนึ่งที่ได้จากการทำงานรังวัด โดยเหตุที่แผนที่เป็นแผ่นแบนเรียบแต่ลักษณะของโลกเป็นรูปทรงรี การทำให้พื้นผิวโค้งเป็นแผ่นแบนเรียบย่อมต้องยืดหรือขยายพื้นผิวบางส่วนออกและหดพื้นผิวบางส่วนลง การกระทำเช่นนี้อาจจะทำให้รูปร่างที่แท้จริงของสิ่งต่างๆ ที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวโลกผิดเพี้ยนไป (Distortion) ดังนั้นจึงมีกรรมวิธีในการจำลองพื้นผิวของรูปทรงรีลงบนแผนที่ที่มีระนาบแบนเรียบซึ่งเราเรียกว่า **การฉายแผนที่** (Map projection)

2.4.1 การฉายแผนที่และเส้นโครงแผนที่

การฉายแผนที่ คือ การถ่ายทอดเส้น และจุดต่างๆ จากพื้นผิวโค้งของทรงกลมหรือทรงรีไปบนพื้นผิวระนาบ หรือพื้นผิวอื่นที่คลี่เป็นระนาบได้ จากกระบวนการฉายแผนที่ผลที่ได้เรียกว่า **เส้นโครงแผนที่** เส้นโครงแผนที่เป็นภาพฉายของกลุ่มเส้นเมริเดียนและเส้นขนานบนแผ่นแบน กลุ่มเส้นเมริเดียนและเส้นขนานซึ่งประกอบกันเป็นเส้นโครงแผนที่จะช่วยให้อ่านค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของจุดต่างๆ บนแผนที่ได้คล้ายคลึงกับการอ่านตำแหน่งภูมิศาสตร์บนรูปโลก

2.4.2 มาตรฐานหลักและสเกลแฟกเตอร์

มาตรฐาน (Scale) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความยาวของสิ่งที่ปรากฏต่อความจริงของสิ่งนั้น มาตรฐานในความหมายของแผนที่คือ ความยาวของสิ่งที่ปรากฏบนแผนที่ ต่อความ

ยาวจริงของสิ่งนั้นบนผิวโลก หากพิจารณาเส้นโครงแผนที่ที่มีการยืดหดตัวจะพบว่าขนาดของความเพี้ยนมีความแปรเปลี่ยนแตกต่างกันไปทั่วขอบเขต ลักษณะเช่นนี้ทำให้เส้นโครงแผนที่แผ่นหนึ่งมีค่ามาตราส่วนได้มากมาย

มาตราส่วนที่เขียนเป็นตัวเลขกำกับไว้อยู่บนแผนที่ต่างๆ คือ **มาตราส่วนหลัก** (Nominal scale หรือ Principal scale) แต่มาตราส่วนหลักเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอที่จะบอกขนาดสัมพันธ์ที่ถูกต้องแน่นอนระหว่างความยาวของสิ่งที่อยู่บนแผนที่กับความยาวจริงของสิ่งนั้น ต้องมีมาตราส่วนอีกชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า **ตัวประกอบมาตราส่วน** หรือ **สเกลแฟกเตอร์** (Scale factor) ตัวประกอบมาตราส่วน ณ จุดหนึ่งบนแผนที่ คืออัตราส่วนระหว่างความยาวของเส้นสั้นๆ จากจุดดังกล่าว กับความยาวของเส้นเดียวกันบนพื้นผิวโลก ตัวประกอบ ณ จุดหนึ่งๆ บนแผนที่บางชนิดมีได้หลายค่า เพราะอัตราส่วนนั้นแปรเปลี่ยนตามทิศทางการหันเหของเส้นที่พิจารณา

2.4.3 ปัญหาพื้นฐานของการฉายแผนที่และการฉายแผนที่ที่ถูกต้อง⁷

ปัญหาพื้นฐานของการฉายแผนที่ คือ ปัญหาการถ่ายทอดรายละเอียดต่างๆ จากพื้นผิวโค้งไปยังพื้นผิวระนาบแบน เนื่องจากการฉายแผนที่เป็นกรรมวิธีที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวสองชนิดที่มีลักษณะแตกต่างกัน ความเพี้ยนในรายละเอียดของการฉายแผนที่ย่อมเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ความเพี้ยนมีหลายชนิดเช่น ความเพี้ยนเชิงมุม ความเพี้ยนเชิงเส้น ความเพี้ยนเชิงพื้นที่ ดังนั้นลักษณะการฉายแผนที่ที่ถูกต้องคือ

- 1) เส้นเมริเดียนเป็นแนวตรงมีระยะระหว่างเส้นเท่าๆ กันและเส้นเมริเดียนทุกเส้นลู่อเข้าไปพบกันที่จุดขั้วโลก
- 2) เส้นขนานละติจูดจะตัดกับเส้นเมริเดียนเป็นมุมฉากและระยะระหว่างเส้นขนานห่างเท่าๆ กัน
- 3) มาตราส่วนมีขนาดเท่ากันทั่วทั้งพื้นที่ของแผนที่

การสร้างแผนที่ไม่อาจจะรักษาคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ให้ครบถ้วนได้ทุกข้อ ผู้ผลิตแผนที่

⁷ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, “การสำรวจจริงวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS”, เอกสารประกอบการฝึกอบรม (8-12 พฤษภาคม 2538) : 2-7.

จึงจำเป็นจะต้องเลือกที่จะผลิตแผนที่ให้เหมาะสมกับงาน ประเทศหรือภูมิภาคของตน ตามคุณสมบัติของเส้นโครงแผนที่

2.4.4 คุณสมบัติของเส้นโครงแผนที่

คุณสมบัติของเส้นโครงแผนที่ในการรักษาคุณลักษณะเฉพาะ มี 3 ประการดังนี้

1) คุณสมบัติคงรูป (Conformality หรือ Orthomorphism)

คุณสมบัติคงรูป หมายถึง การที่เส้นโครงแผนที่สามารถแสดงรูปร่างของสิ่งต่างๆ ได้เหมือนลักษณะเดิมบนลูกโลก เส้นโครงแผนที่ที่มีคุณสมบัติคงรูปจะรักษารูปร่างของสิ่งต่างๆ บนแผนที่ แต่ไม่มีเงื่อนไขในการรักษาความกว้าง ความยาว หรือพื้นที่

2) คุณสมบัติคงพื้นที่ (Equivalency หรือ Equal-area)

คุณสมบัติคงพื้นที่ หมายถึง ความสามารถของแผนที่ในการแสดงขนาดของพื้นที่ส่วนต่างๆ ทั่วโลกได้อย่างถูกต้อง เท่าเนื้อที่จริงบนรูปโลก เช่นเมื่อแสดงพื้นที่ทั่วโลกบนแผนที่แผ่นเดียว ขนาดเนื้อที่ผิวโลกบนแผนที่จะเท่ากับเนื้อที่บนพื้นผิวของโลกที่ใช้ในการฉาย

3) คุณสมบัติคงระยะทาง (Equidistancy)

คุณสมบัติคงระยะหรือคงระยะทาง หมายถึง ความสามารถของแผนที่ในการแสดงระยะทางบนแผนที่ได้อย่างถูกต้องโดยเทียบกับระยะทางจริงตามแนวเส้นโค้งวงกลมใหญ่บนลูกโลก

2.4.5 ชนิดของพื้นผิวการฉายแผนที่

พื้นผิวสำหรับการฉายแผนที่เป็นพื้นผิวที่สามารถนำมาคลี่ให้กลายเป็นแผ่นแบนได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่มีการยืด หด ฉีก ขาดแต่อย่างใด มีอยู่ 3 ชนิด คือ ทรงกรวย ทรงกระบอก และแผ่นระนาบ

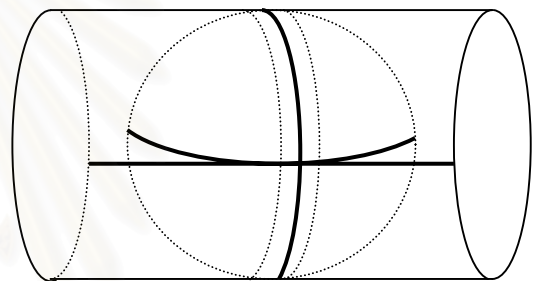
2.4.6 การจัดตำแหน่งการฉายแผนที่

การจัดตำแหน่งเพื่อการฉายแผนที่ที่แตกต่างกันได้ 3 ลักษณะ

- 1) ตำแหน่งปกติ (Normal position) แกนสมมาตรหมุนของพื้นผิวฉายแผนที่ วางทับกับแกนขั้วของโลก
- 2) ตำแหน่งขวาง (Transverse position) แกนสมมาตรหมุนของพื้นผิวฉายแผนที่ วางตั้งฉากกับแกนขั้วของโลกที่จุดศูนย์กลาง
- 3) ตำแหน่งเฉียง (Oblique position) แกนสมมาตรหมุนของพื้นผิวฉายแผนที่ ทำมุมเฉียงกับแกนขั้วของโลก

2.4.7 กริดยูทีเอ็ม (The Universal Transverse Mercator Grid, UTM)

กริดยูทีเอ็มเป็นระบบตารางพิกัดฉากบนเส้นโครงแผนที่เมอร์เคเตอร์ขวาง (Transverse Mercator) ตามภาพที่ 2.11 ซึ่งเป็นการฉายแผนที่แบบหนึ่งที่ใช้รูปทรงกระบอกวางในแนวขวางเป็นพื้นผิวรองรับการฉายเหมาะสมกับกิจการรังวัดและแผนที่ทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับสากลทั่วโลก (ยกเว้นที่ขั้วโลก) ระบบพิกัดกริดยูทีเอ็มจัดทำโดยกองทัพบกสหรัฐอเมริกาทั้งนี้เพื่อ



ภาพที่ 2.11 เส้นโครงแผนที่เมอร์เคเตอร์ขวาง

ให้เป็นระบบสากลสำหรับภารกิจการทางทหาร เนื่องจากระบบยูทีเอ็มเป็นระบบที่สะดวกและง่ายจึงเป็นที่นิยมของการใช้งานในกิจการแผนที่ภูมิประเทศและการรังวัดทั่วไปไม่จำกัดเฉพาะในวงการทหารเท่านั้น

ระบบกริดแผนที่ได้จากการฉายแผนที่แบบคงรูป ระบบนี้จะครอบคลุมพื้นที่โลกระหว่างละติจูด 80 องศาใต้ ขึ้นไปถึง 84 องศาเหนือ โดยแบ่งออกเป็น 60 แถบ (Zone) โดยจัดให้แนวเมริเดียนที่ค่าละติจูดสามารถหารได้ลงตัวด้วยเลข 6 เป็นแนวประชิดระหว่างแถบ แต่ละแถบพื้นที่ของระบบยูทีเอ็มมีเส้นเมริเดียนกลางเป็นของตัวเอง ความกว้างของแถบทางตะวันออก - ตะวันตกมีขนาด 6 องศาองจุด จากนั้นจึงทำการหมุนทรงกระบอกไป 6 องศา เพื่อสร้างแถบของแผนที่อันใหม่ แต่ละแถบมีหมายเลขกำกับ เริ่มจากแถบที่ 1 ที่อยู่ระหว่างแนวเมริเดียน 180 องศา กับแนวเมริเดียน 174 องศาตะวันตก มีแนวเมริเดียน 177 องศาตะวันตกเป็นแนวเมริเดียนกลาง แล้วเรียงทีละ 6 องศา มาทางตะวันออก จนถึงแถบที่ 60 ซึ่งอยู่ระหว่างแนวเมริเดียน 174 องศา และแนวเมริเดียน 180 องศาตะวันออก สำหรับประเทศไทยมีความกว้าง

ในแนวตะวันออกตะวันตกยาว 7.5 องศา จึงมีพื้นที่คาบเกี่ยวอยู่ในแถบที่ 47 และ 48 ซึ่งมีแนวเมริเดียนกลางอยู่ที่ 99 องศา และ 105 องศาตะวันออก โดยแนวเส้นขนานละติจูดช่วงละ 8 องศา ยกเว้นช่วง 72 ถึง 84 องศาเหนือใช้ช่วง 12 องศา พื้นที่ที่เหลือมยอยๆ ภายในแต่ละแถบนี้เรียกว่า **กริดโซน** (Grid zone)

ค่าพิกัดกริดยูทีเอ็มมีจุดกำเนิดอยู่ที่จุดตัดของแนวเมริเดียนกลางและเส้นศูนย์สูตร จุดกำเนิดนี้มีค่าพิกัดสมมุติเป็น (500,000 ม. E, 0 ม. N) สำหรับซีกโลกเหนือ และเป็น (500,000 ม. E, 10,000,000 ม. N) สำหรับซีกโลกใต้ การที่จุดกำเนิดมีค่าพิกัดสมมุติดังกล่าวจะทำให้ทุกๆ จุดบนแผนที่กริดยูทีเอ็มที่สร้างขึ้นมาไม่มีค่าเป็นลบ

โดยสรุป ระบบกริดยูทีเอ็มมีข้อกำหนดดังนี้⁸

1) ใช้ทรงรีอ้างอิง (Reference Ellipsoid) ที่เหมาะสมแทนพื้นพิภพ ปัจจุบันประเทศไทยใช้ทรงรีของเอเวอเรสต์

2) ให้นำหน่วยระยะทางเป็นเมตร

3) ใช้การฉายแผนที่เมอร์เคเตอร์ขวาง โดยมีประจบเป็นแบบตัดกัน

4) ในการประจบตัดกัน กำหนดให้สเกลแฟกเตอร์ที่แนวเมริเดียนกลางมีค่า 0.9996

5) ในแต่ละแถบใช้เมริเดียนกลางและแนวเส้นศูนย์สูตรเป็นแกนพิกัดฉาก จุดตัดระหว่างเส้นทั้งสองเรียกว่า **จุดกำเนิดจริง** ของระบบพิกัด ทิศทางที่ขนานกับแนวเมริเดียนกลางและชี้ไปทางเหนือเรียกว่า **ทิศเหนือกริด**

6) เพื่อให้ค่าพิกัดฉากในระบบดังกล่าวมีค่าเป็นบวกทุกๆ จุดภายในแถบ จึงกำหนดค่าพิกัดตะวันออกให้เส้นเมริเดียนกลางเป็น 500,000 เมตร และกำหนดพิกัดเหนือสำหรับเส้นศูนย์สูตรไว้เป็นสองกรณี สำหรับซีกโลกเหนือให้มีค่าเป็น 0 เมตร ซีกโลกใต้ให้มีค่าเป็น 10,000,000 เมตร ดังนั้นจุดกำเนิดของระบบพิกัดจึงมีค่าพิกัดยูทีเอ็มเป็น (500,000 ม. E ; 0 ม. N) สำหรับการใช้งานในซีกโลกเหนือ และ (500,000 ม. E ; 10,000,000 ม. N) สำหรับซีกโลกใต้และในอนาคตเมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้รูปทรงรี WGS84 อ้างอิงในงานสำรวจแล้วจะส่งผลกระทบต่องานรังวัดและกิจการแผนที่ของประเทศหรือไม่จะได้ทำการศึกษาต่อไป

⁸ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร, เส้นโครงแผนที่ (กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535), หน้า 135

บทที่ 3

ความเหมาะสมของพื้นที่หลักฐานกับสภาพพื้นผิวย่อยของประเทศไทย

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับงานวิจัย

3.1.1 พื้นหลักฐานดาวเทียม GPS

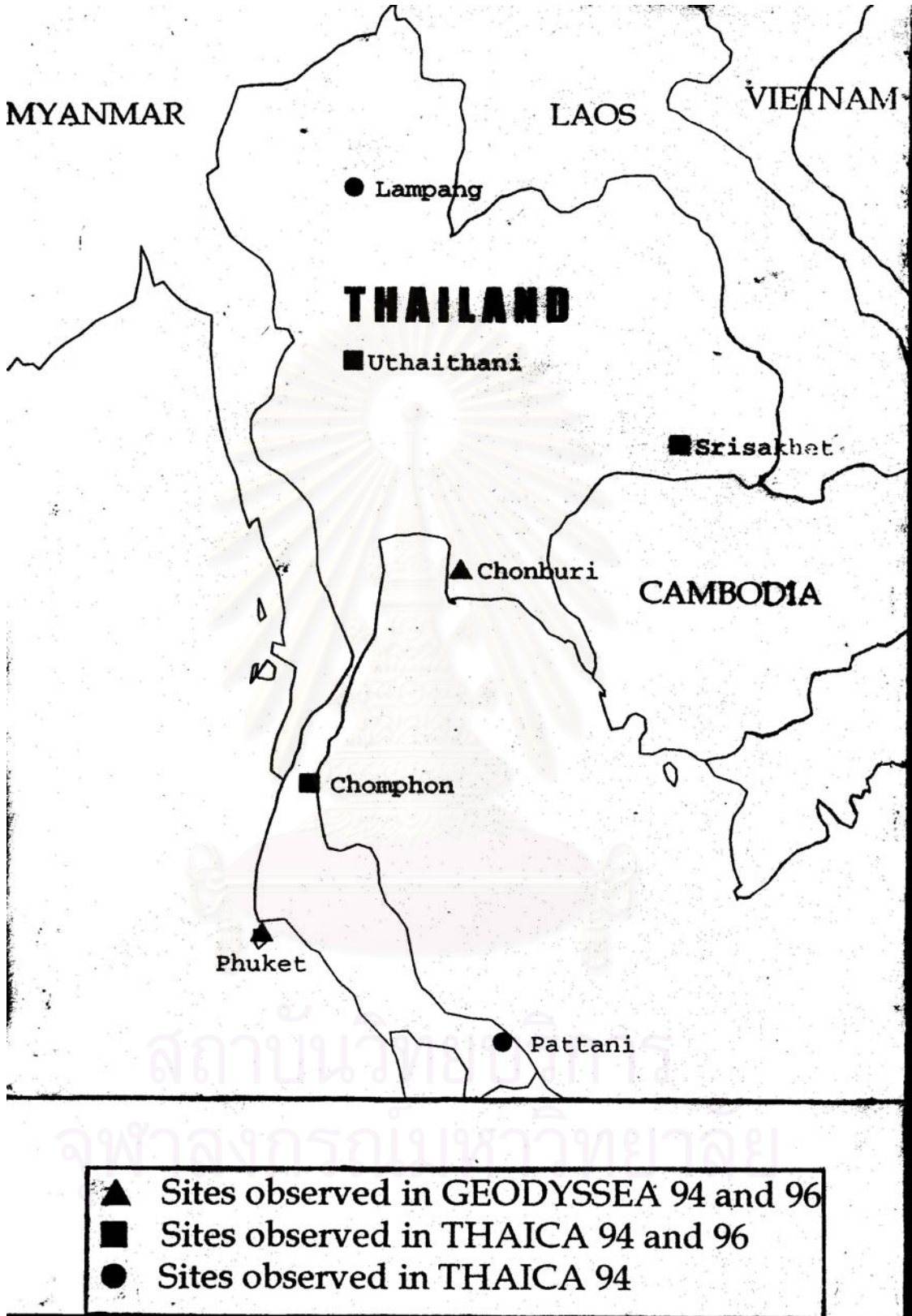
1) สถานียึดตริง (Fiducial Station)

สืบเนื่องมาจากโครงการ THAICA ซึ่งเป็นโครงการร่วมเพื่อหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ระหว่างกรมแผนที่ทหารกับโครงการศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกที่ชื่อว่าโครงการ GEODYNSEA (GEODYnamics of the South and South East Asia) จากสถาบันเยอเดซีประยุกต์ประเทศเยอรมัน(IFAG) โครงการ GPS ตามโครงการ THAICA ถูกกำหนดให้มีการร่วมวัด 2 ครั้งด้วยกัน โดยแยกใช้ชื่อว่าโครงการ “THAICA94” และโครงการ “THAICA96”¹ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.1

1.1) โครงการ THAICA94 ทำการร่วมวัดบนหมุดหลักฐานบนโครงข่าย GPS ของกรมแผนที่ทหารที่มีอยู่ จำนวน 5 หมุด คือที่ จ.อุทัยธานี, จ.ชุมพร, จ.ศรีสะเกษ, จ.ปัตตานี และ จ.ลำปาง พร้อมทั้งร่วมวัดของโครงการ GEODYNSEA ที่ จ.ชลบุรี และ จ.ภูเก็ต รวมทั้งหมด 7 สถานี โดยร่วมวัดแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน

1.2) โครงการ THAICA96 ทำการร่วมวัดบนหมุดหลักฐานโครงข่าย GPS ของกรมแผนที่ทหารที่มีอยู่ จำนวน 3 หมุด คือ จ.อุทัยธานี, จ.ชุมพร และ จ.ศรีสะเกษ พร้อมทั้งร่วมวัดของโครงการ GEODYNSEA ที่ จ.ชลบุรี และ จ.ภูเก็ต รวมทั้งหมด 5 สถานี โดยร่วมวัดแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน ทั้งนี้เพื่อยืนยันและตรวจสอบค่าพิกัดกับการร่วมวัดครั้งแรกรวมทั้งศึกษาถึงปริมาณและทิศทางการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในประเทศไทย

¹ชาคร บุญภักดีและคณะ, สรุปผลการปฏิบัติงานร่วมตามโครงการ THAICA. (ม.ป.ท., ม.ป.ป.).



ภาพที่ 3.1 แสดงโครงข่าย GPS ของโครงการ THAICA 94 และ 96

พื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงในโครงการ GEODYSSSEA และ โครงการ THAICA 94/96 คือ พื้นหลักฐาน ITRF (International Terrestrial Reference Frame) ซึ่งถูกกำหนดให้มีจุดศูนย์กลางของพื้นหลักฐานอยู่ที่ จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก โดยมีหน่วยงาน IERS (International Earth Rotation Service) เป็นหน่วยงานที่ดำเนินงาน ค่าพิคัดต่างๆ จุดของโครงการ THAICA นี้สามารถนำมาใช้เป็นจุดยึดตริง (Fiducial station) ให้กับโครงข่ายหมุดหลักฐานแห่งชาติของกรมแผนที่ทหารได้ เพื่อพัฒนาโครงข่ายให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งแต่เดิมมีความน่าเชื่อถืออยู่ในย่าน 1-2 เมตรนั้น ให้มีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์เดียวกับโครงการ GEODYSSSEA คืออยู่ในย่าน 1-2 เซนติเมตร ค่าพิคัดทั้ง 7 สถานีของโครงการ THAICA หาได้จากการประมวลผลร่วมของข้อมูลการรังวัดโครงการ THAICA 94 และ THAICA 96 เข้าด้วยกันโดยกำหนดให้ค่าพิคัดอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน ITRF94 ณ เวลา 1996.3 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เพื่อพัฒนาโครงข่ายจุดยึดตริงให้ครอบคลุมทั่วทั้งประเทศไทย กรมแผนที่ทหารจึงได้ทำการรังวัดเส้นฐานระยะไกล (200-300 กม.) ด้วยดาวเทียมระบบ GPS เพื่อทำการขยายจุดยึดตริงหรือสถานีควบคุมค่าพิคัดที่มีอยู่เดิม 7 สถานี ให้เป็นโครงข่ายจุดยึดตริง 18 สถานี ตามภาพที่ 3.2 เพื่อใช้เป็นจุดควบคุมค่าพิคัดในการประมวลผลและการปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานแห่งชาติหลักและรองของกรมแผนที่ทหารต่อไป

ในการรังวัดเพื่อขยายจุดยึดตริงทั้ง 18 สถานี ได้ทำการรังวัดแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ข้อมูลที่ได้ในแต่ละหมุดถูกนำมาทำการประมวลผล โดยใช้โปรแกรม WAVE ของ Trimble Navigation และใช้ข้อมูล Precise Ephemeris ของหน่วยงาน NIMA เข้าร่วมในการประมวลผลด้วย ในการประมวลผลเส้นฐานได้เลือกแบบของการประมวลผลเส้นฐานเป็นแบบ Independent Vector และกำหนดให้ผลลัพธ์ของการประมวลผลเส้นฐานเป็นแบบ Float Solution ได้เส้นฐานจำนวนทั้งสิ้น 48 เส้นฐาน จากนั้นนำเส้นฐานมาประกอบกันเป็นโครงข่ายและทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบ (Loop Closure) ภายในวงรอบของหมุดหลักฐานทั้ง 18 หมุด ผลจากการตรวจสอบพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบเป็นไปตามเกณฑ์อ้างอิงการคำนวณงาน GPS ของ FGCC Class AA ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ก

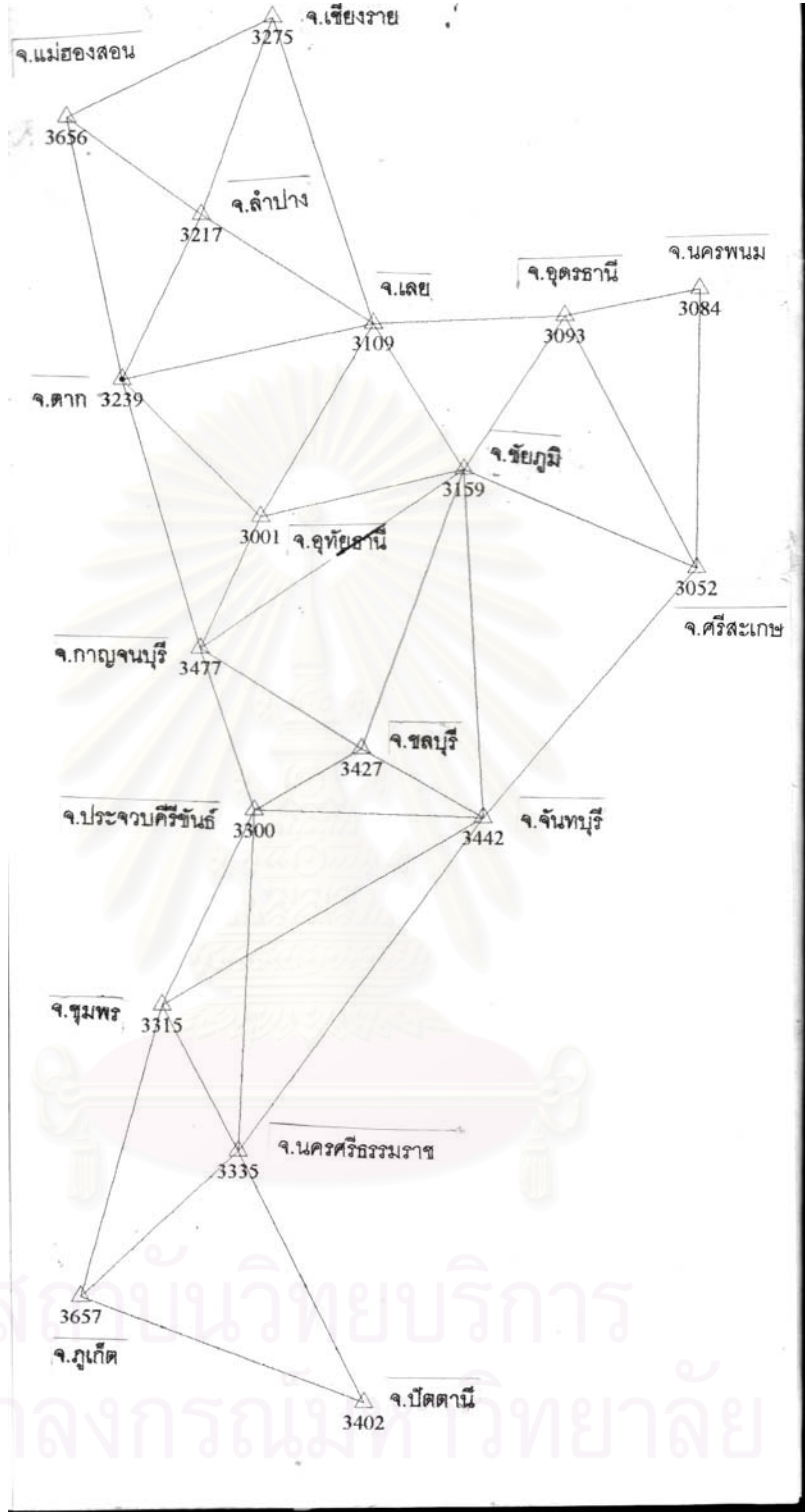
นำเส้นฐานที่ผ่านการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบมาทำการปรับแก้โครงข่ายแบบลีสทิงสแควร์ โดยใช้ค่าพิคัดบนพื้นหลักฐาน ITRF จำนวน 6 สถานี จากโครงการ THAICA

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพิกัดอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน ITRF94 ณ เวลา 1996.3 จาก
โครงการ THAICA

Station Name	Parameter	Value	RMS(M)
1.CHON Chonburi	X(m)	-1190208.2152	0.0001
	Y(m)	6097682.8576	0.0004
	Z(m)	1438406.3970	0.0001
	LATITUDE	13 07 13.910077	0.0001
	LONGITUDE	101 02 40.954576	0.0001
	HEIGHT(m)	51.5186	0.0004
2.PHUK Phuket	X(m)	-912741.8183	0.0001
	Y(m)	6253870.4608	0.0004
	Z(m)	855385.4573	0.0001
	LATITUDE	07 45 32.648241	0.0001
	LONGITUDE	98 18 12.943076	0.0001
	HEIGHT(m)	-1.7841	0.0004
3.UTHA Uthaitani	X(m)	-1069534.8664	0.0002
	Y(m)	6057468.9526	0.0006
	Z(m)	1681108.0725	0.0002
	LATITUDE	15 23 01.539621	0.0001
	LONGITUDE	100 00 47.542029	0.0001
	HEIGHT(m)	107.7135	0.0006
4.BANH Chomphon	X(m)	-988985.3334	0.0001
	Y(m)	6191316.4288	0.0006
	Z(m)	1166581.0473	0.0002
	LATITUDE	10 36 34.344628	0.0001
	LONGITUDE	99 04 32.199318	0.0001
	HEIGHT(m)	-4.4900	0.0006

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Station Name	Parameter	Value	RMS(M)
5.SRIS Srisakhet	X(m)	-1534864.9157	0.0002
	Y(m)	5971007.2256	0.0007
	Z(m)	1629560.2026	0.0002
	LATITUDE	14 54 04.065394	0.0001
	LONGITUDE	104 24 57.384931	0.0002
	HEIGHT(m)	115.1309	0.0007
6.OTRI Lampang	X(m)	-986191.5912	0.0003
	Y(m)	5975733.4871	0.0009
	Z(m)	1993726.0329	0.0002
	LATITUDE	18 20 07.228869	0.0002
	LONGITUDE	99 22 16.357763	0.0003
	HEIGHT(m)	240.2357	0.0009
7.PATT Pattani (ถูกทำลาย)	X(m)	-1234807.6901	0.0004
	Y(m)	6210814.5208	0.0011
	Z(m)	760024.2427	0.0002
	LATITUDE	06 53 22.917584	0.0001
	LONGITUDE	101 14 40.827555	0.0004
	HEIGHT(m)	-10.5602	0.0011



ภาพที่ 3.2 แสดงโครงข่ายจุดควบคุม GPS จำนวน 18 สถานี

(แต่เดิมมี 7 สถานี แต่ปัจจุบันสถานีที่ จ.ปัตตานี ได้ถูกทำลายไปแล้ว) เป็นจุดยึดตริงในการคำนวณปรับแก้ครั้งนี้ ค่าพิกัดของจุดยึดตริงทั้ง 18 สถานี มีค่าตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพิกัดหมุดหลักฐานจุดควบคุมโครงข่าย GPS จำนวน 18 หมุด หลังจากคำนวณปรับแก้แล้ว

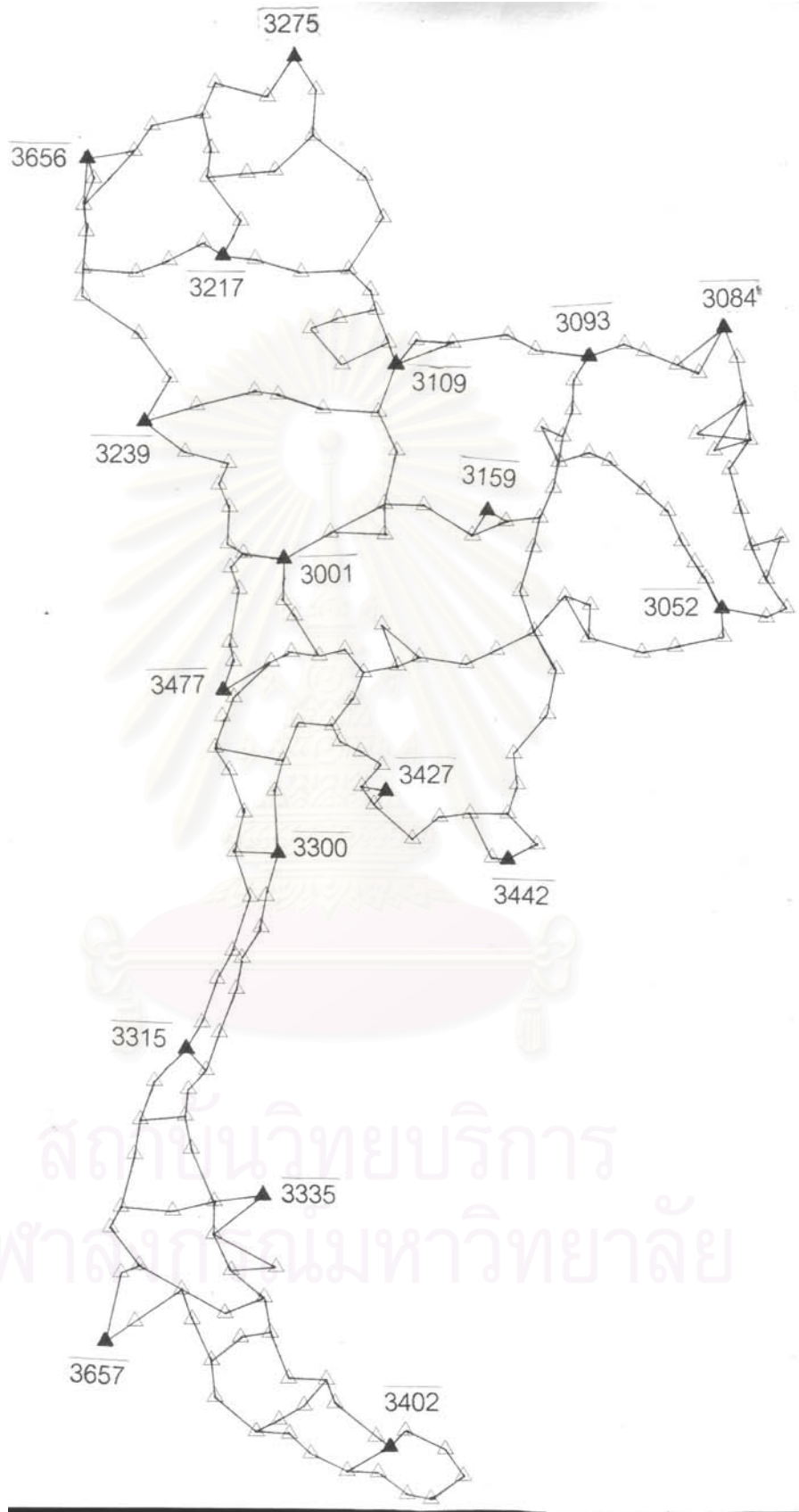
ลำดับ	หมายเลขหมุด	ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84						ความสูงเหนือรูปทรงรี(ม.)
		ละติจูด			ลองจิจูด			
		o	'	“	o	'	“	
1	3001	15	23	01.539621	100	00	47.542029	107.7135
2	3052	14	54	04.065394	104	24	57.384931	115.1309
3	3084	17	37	56.595816	104	28	56.305926	120.6161
4	3093	17	21	31.562217	103	06	17.708556	140.2708
5	3109	17	16	48.107918	101	08	43.771057	321.6320
6	3159	15	51	12.940615	102	04	01.544596	158.7409
7	3217	18	20	07.228869	99	22	16.357763	240.2357
8	3239	16	43	16.550097	98	35	16.547818	177.0461
9	3275	20	16	28.849895	100	05	10.890153	332.0503
10	3300	12	30	59.350088	99	58	30.867035	-27.3760
11	3315	10	36	34.344628	99	04	32.199318	-4.4900
12	3335	09	11	08.127946	99	50	37.346644	-19.3383
13	3402	06	43	57.190667	101	05	48.392790	39.8501
14	3427	13	07	13.910077	101	02	40.954576	51.5186
15	3442	12	27	24.793519	102	15	38.661340	-17.4577
16	3477	14	06	05.581397	99	25	03.991015	4.6800
17	3656	19	17	18.031636	97	57	51.095612	195.7223
18	3657	07	45	32.648241	98	18	12.943076	-1.7841

จากการขยายจุดยึดตริงทั้ง 18 สถานี มีบางสถานีที่ไม่ได้อยู่บนโครงข่ายหลัก (Primary Network ซึ่งจะขอกกล่าวต่อไป) ได้แก่ สถานี 3159(จ.ชัยภูมิ), 3335(จ.นครศรีธรรมราช), 3427(จ.ชลบุรี), 3442(จ.จันทบุรี), 3477(จ.กาญจนบุรี), 3656(จ.แม่ฮ่องสอน), 3657(จ.ภูเก็ต) จึงได้เชื่อมโยงสถานีต่างๆ เหล่านี้เข้ากับโครงข่ายหลัก โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการรังวัด (RAWDATA) ของสถานีดังกล่าวมาทำการประมวลผลใหม่โดยใช้ข้อมูลการปรับแก้ดาวเทียมอย่างละเอียด (Precise Ephemeris) เข้าร่วมในการประมวลผล จึงทำให้ได้จุดยึดตริงครบทั้ง 18 สถานี อยู่บนโครงข่ายหลัก ตามภาพที่ 3.3

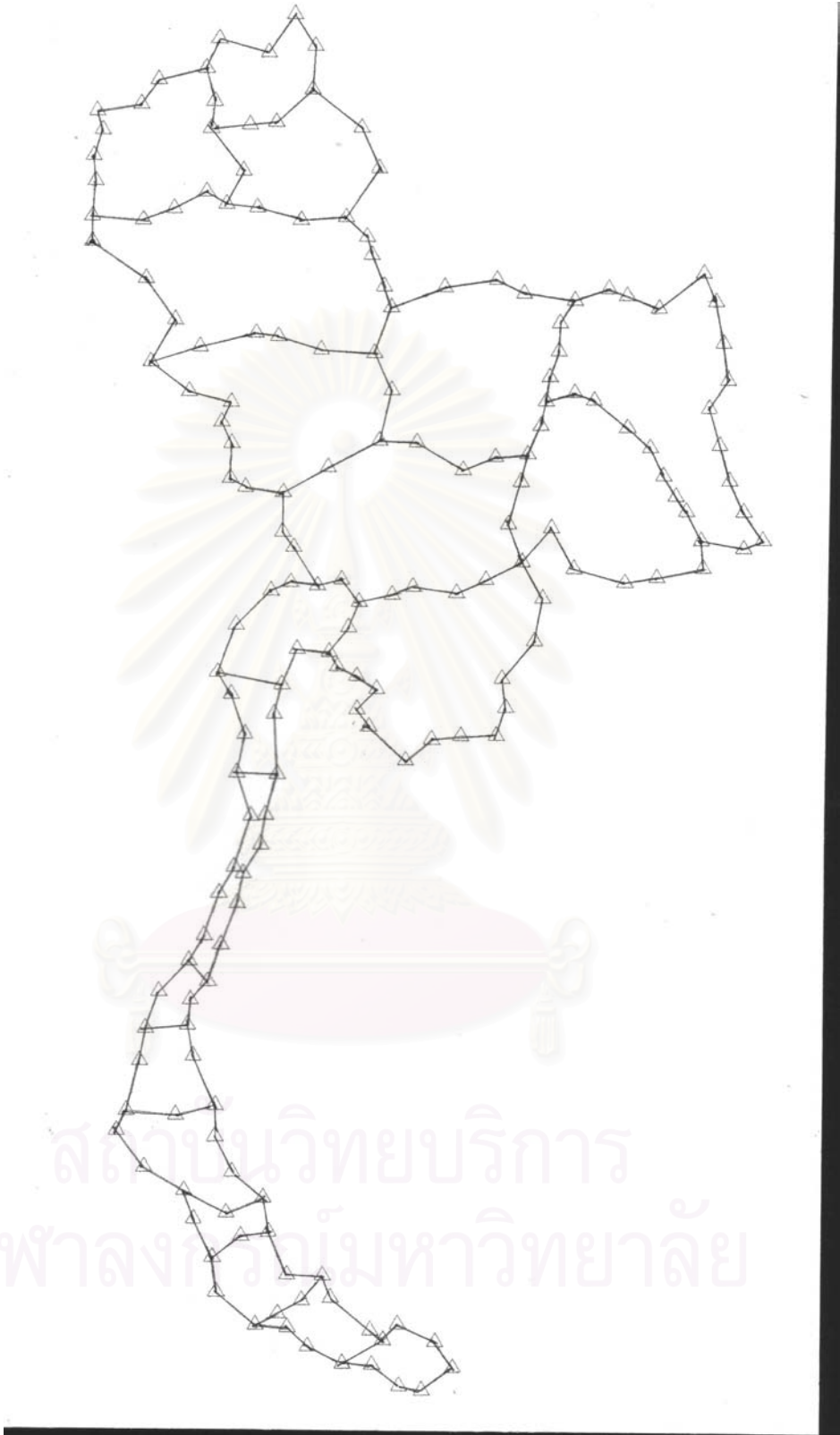
2) โครงข่ายหลัก (Primary Network)

ประเทศไทยโดยกรมแผนที่ทหารเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่หลักในการดำเนินงานเกี่ยวกับการผลิตแผนที่และสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานแห่งชาติ แต่เดิมในการสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานแห่งชาติจะใช้วิธีการรังวัดทางภาคพื้นดินซึ่งได้แก่ งานสามเหลี่ยมและงานวงรอบ แต่ในปี พ.ศ.2534 เป็นต้นมา กรมแผนที่ทหารได้นำเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS เข้ามาใช้ในการหาค่าพิกัดทางราบและสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานแห่งชาติ จนถึง พ.ศ.2537 สามารถสร้างหมุดหลักฐานแห่งชาติโดยการใช้เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS จำนวนทั้งสิ้น 461 หมุด

ต่อมาในปี พ.ศ.2539 กรมแผนที่ทหารได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานแผนที่สหรัฐอเมริกา (NIMA :National Imagery Mapping Agency) ในการหาค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 โดยการคัดเลือกหมุดดาวเทียม จำนวน 176 หมุด และได้คัดเลือกเส้นฐานจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS มาประกอบกันเป็น**โครงข่ายหลัก** (Primary Network) โดยให้ชื่อโครงข่ายนี้ว่า **โครงข่าย NIMA** ตามภาพที่ 3.4 จากรูปจะเห็นได้ว่าโครงข่ายหลักมีลักษณะเป็นวงรอบ 20 วงต่อเนื่องกัน ระยะห่างแต่ละหมุดประมาณ 20-40 กม. เส้นฐานแต่ละเส้นที่ยึดแต่ละสถานีถูกประมวลผลโดยใช้โปรแกรม WAVE ของ Trimble Navigation และใช้ข้อมูลการปรับแก้ดาวเทียมอย่างละเอียด (Precise Ephemeris) ของหน่วยงาน NIMA เข้าร่วมในการประมวลผลด้วย จากการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบ (Loop Closure) ในแต่ละวงรอบด้วย Trimble Loop Closures ผลปรากฏว่าความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบของวงรอบมีค่าไม่เกิน $1 / 4,000,000$ (0.25 ppm) แต่มีอยู่ 4 วงที่เกิน 0.25 ppm. คือมีค่า 0.2956, 0.2697, 0.2646 และ 0.2551 ppm. ตามลำดับ



ภาพที่ 3.3 แสดงสถานีควบคุมโครงข่าย GPS ทั้ง 18 จุด



ภาพที่ 3.4 โครงข่าย GPS ซึ่งจัดทำขึ้นโดยหน่วยงาน NIMA

3.1.2 พื้นหลักฐานประเทศไทย

ในปัจจุบันประเทศไทยใช้พื้นหลักฐานทางแผนที่ที่ชื่อว่า พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 หรือ พื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ.2518 ซึ่งเป็นพื้นหลักฐานที่เกิดจากการนำโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ของประเทศไทยและประเทศพม่ามาทำการคำนวณปรับแก้พร้อมกันใหม่อีกครั้งหนึ่งแล้วเสร็จในปี พ.ศ.2518 จึงได้ชื่อว่าพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 โดยได้รับความร่วมมือจากองค์การแผนที่ กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา (Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center) ในการปรับแก้ครั้งนี้ได้นำค่าพิคัดที่ได้จากการสำรวจด้วยดาวเทียมดอปเปลอร์ซึ่งมีความถูกต้องสูง จำนวน 9 สถานี เข้าร่วมในการคำนวณปรับแก้ด้วย ทำให้ค่าพิคัดที่ได้บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 นี้มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้นและยังมีความสัมพันธ์กับพื้นหลักฐานดาวเทียมอีกด้วย

3.1.3 ค่าพิคัดทางดาราศาสตร์

ในการศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐานกับพื้นผิวย่อยของประเทศไทย จำเป็นจะต้องใช้ค่าพิคัดทางดาราศาสตร์เป็นตัวกลางในการเปรียบเทียบ ทั้งนี้เพราะปริมาณที่ได้จากการรังวัดทางดาราศาสตร์และปริมาณที่ได้จากการคำนวณจะอ้างอิงอยู่บนระนาบพื้นผิวกัน กล่าวคือ ปริมาณที่ได้จากการรังวัดทางดาราศาสตร์อ้างอิงอยู่บนพื้นผิวย่อย ส่วนปริมาณที่ได้จากการคำนวณอ้างอิงอยู่บนพื้นผิวของรูปทรงรี

ในอดีตการหาค่าพิคัดทางภาคพื้นดินจะอาศัยงานสามเหลี่ยมและงานวงรอบเป็นหลัก ทิศทางการวางตัวของโครงข่ายสามเหลี่ยมบนรูปทรงรีจะถูกควบคุมหรือถูกตรวจสอบโดยการรังวัดทางดาราศาสตร์ โดยเลือกมุมหลักฐานที่เหมาะสมแล้วทำการรังวัดเพื่อหาค่าลองจิจูดและอะซิมูทไปมุมหลักฐานข้างเคียง มุมที่มีการรังวัดทางดาราศาสตร์แบบนี้มีชื่อเฉพาะว่า **สถานีลาปลาซ²** (Laplace Station) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันกรมแผนที่ทหารได้ทำการรังวัดสถานีทางดาราศาสตร์รวมทั้งสิ้น 61 สถานี (เท่าที่รวบรวมข้อมูลได้) โดยกระจายครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ของประเทศไทย แต่มีเพียง 18 สถานีเท่านั้นที่มีการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ครอบคลุมบนสถานีที่มีการรังวัดทางดาราศาสตร์ซึ่งกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย และมีบางมุมที่ไม่

²ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, ยี่ออเดซี (กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537), หน้า 6-2.

ได้ตั้งอยู่บนโครงข่าย NIMA เพื่อที่จะใช้หอดูดาวดาราศาสตร์มาเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นหลักฐานกับพื้นผิวย่อยของประเทศไทยจึงได้ทำการเชื่อมโยงสถานีดาราศาสตร์ที่ไม่ได้ตั้งอยู่บนโครงข่าย NIMA ให้มีความสัมพันธ์กับโครงข่าย NIMA สถานีดังกล่าวได้แก่ สถานี 3027, 3041, 3065, 3075, 3077, 3083, 3106, 3121, 3139, 3206 และ 3345 ดังนั้นการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 กับพื้นผิวย่อยของประเทศไทยจะกระทำได้ ณ สถานีดังกล่าวทั้ง 18 สถานีนี้ ตามภาพที่ 3.5

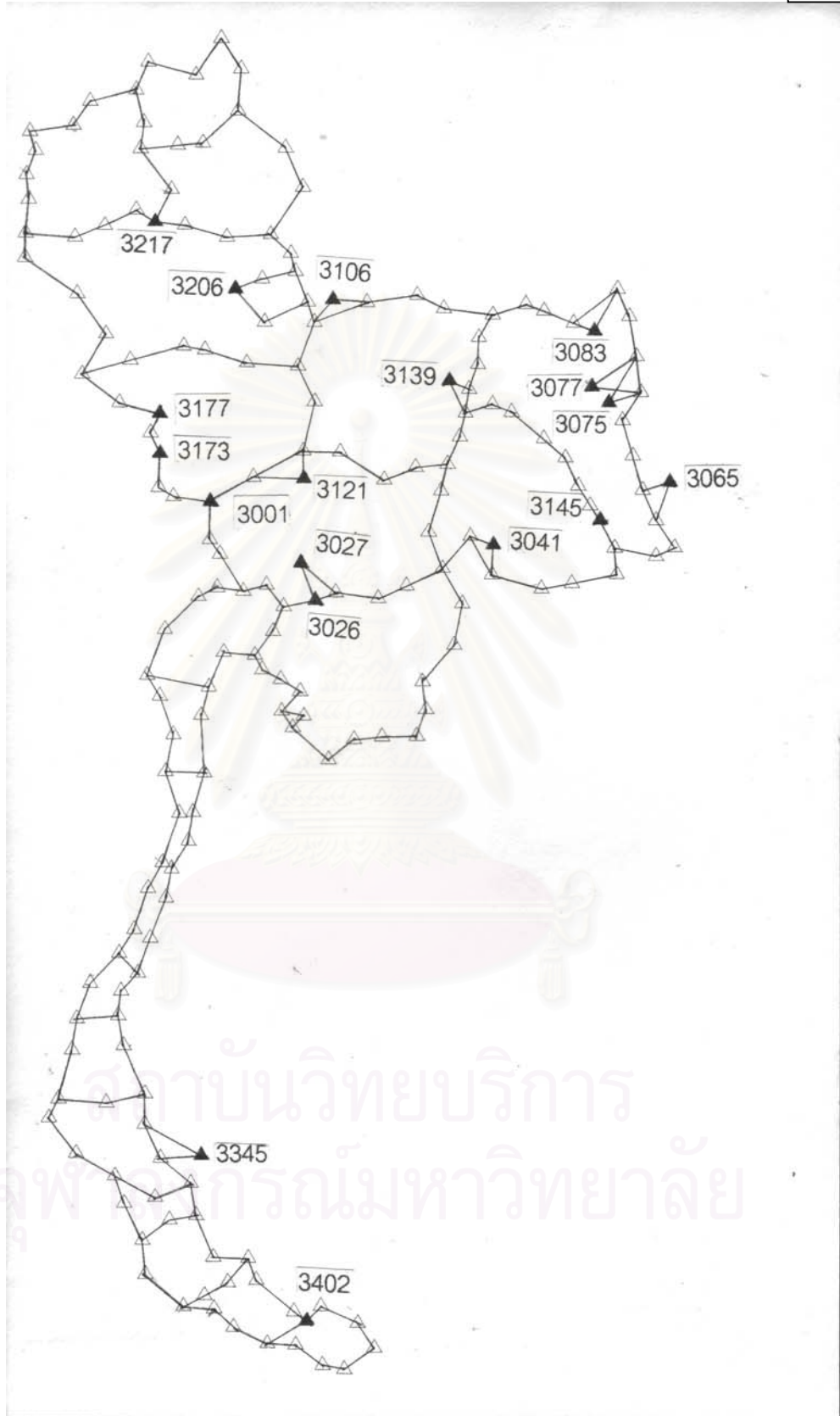
3.2 การคำนวณปรับแก้

ในการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS เพื่อหาค่าพิกัดทางราบ เมื่อเราต้องการทราบค่าพิกัดของจุดใดๆ บนพื้นผิวโลกก็จะต้องนำเครื่องรับสัญญาณ GPS คือ Receiver ไปตั้งรับสัญญาณ ณ ที่แห่งนั้น แล้วนำข้อมูล (Rawdata) ที่ได้จากการรับสัญญาณไปประมวลผล (Process) และคำนวณปรับแก้ (Adjustment) ต่อไป สำหรับการวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Wave และ Trimnet ของ Trimble Navigation ซึ่งเป็นโปรแกรมส่วนหนึ่งในซอฟต์แวร์ GPSurvey สำหรับประมวลผลและคำนวณปรับแก้ ตามลำดับ สำหรับหลักเกณฑ์ในการคำนวณปรับแก้จะได้กล่าวต่อไป

3.2.1 การคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีลีสท์แควร์

หลังจากที่ได้ทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบ (Loop Closure) ของโครงข่าย NIMA ทั้ง 20 วงและได้เชื่อมโยงสถานีที่มีการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ให้เข้ากับโครงข่ายของ NIMA ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงได้นำข้อมูลเส้นฐานทั้งหมดมาทำการปรับแก้ด้วยวิธีลีสท์แควร์ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลในส่วนต่างๆ ดังนี้

- 1) ข้อมูลเส้นฐานของโครงข่าย NIMA และเส้นฐานของสถานีดาราศาสตร์และจุดยึดตริงที่ถูกเชื่อมโยงให้เข้ากับโครงข่ายของ NIMA
- 2) สถานีจุดยึดตริง จำนวน 18 สถานี ที่ได้จากการขยายจุดควบคุม



ภาพที่ 3.5 แสดงที่ตั้งสถานีดาราศาสตร์ที่มีการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ครอบอยู่

ก่อนที่จะทำการคำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA โดยใช้จุดยึดตรึงทั้ง 18 สถานีเป็นจุดควบคุมนั้น ได้คำนวณปรับแก้ โดยใช้เงื่อนไข **Minimally constrained**³ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า **free adjustment** ก่อน กล่าวคือ คำนวณปรับแก้โดยไม่ต้องกำหนดจุดยึดตรึงใดๆลงบนโครงข่าย หรืออาจจะกำหนดจุดยึดตรึงเพียงจุดเดียวเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นของการสำรวจด้วยดาวเทียม GPS และค่าทางสถิติของการปรับแก้โครงข่าย

3.2.2 เกณฑ์การตรวจสอบทางสถิติของการคำนวณปรับแก้ ยึดถือเกณฑ์ดังนี้⁴

1) รูป Error Ellipses กำหนดให้ความคลาดเคลื่อนของรูปทรงรีแสดงในทางแกน X และแกน Y ที่ 95% (เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานวงรีแสดงพื้นที่ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนแบบ 2 มิติ) โดยให้ค่า Bivariate Sigma Scalar เท่ากับ 2.45 และให้ Univariate Sigma Scalar เท่ากับ 1.96

2) ค่า Tau ของสมการค่าสังเกต (ประกอบด้วย สมการอะซิมูท, สมการระยะและสมการความสูง) ใดๆ มีค่าเกินเกณฑ์ 1.00 จะต้องทำการตัดค่าสังเกตนั้นออกจากการปรับแก้

3) ค่า Reference Factor ของแต่ละเส้นฐานจะต้องมีค่าใกล้เคียง 1 และค่า Chi-Square Test กำหนดที่ 95 %

3.3 การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 กับพื้นผิวของประเทศไทย

3.3.1 วิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งบนพื้นหลักฐานทั้งสอง

จากการคำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA ด้วยวิธีลีสท์แควร์โดยการใช้จุดยึดตรึงทั้ง 18 สถานีตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ได้ค่าพิกัดอ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 จากนั้นได้นำค่าพิกัดที่คำนวณได้นี้มาทำการเปรียบเทียบกับสถานีที่มีการรังวัดทางดาราศาสตร์ในขณะเดียวกัน ได้นำค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 มาเปรียบเทียบกับสถานีที่มีการรังวัดทางดาราศาสตร์

³ Trimble Navigation, Gpsurvey Software 2.0 Training Manual (September 1995) : p. 29-5.

⁴ ibid., p. 29-7, 8, 11, 13.

เช่นเดียวกันโดยพิจารณาจากความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งของพื้นหลักฐานทั้งสอง สำหรับพื้นหลักฐานที่ดีจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขคือ

$$\Sigma (\xi^2 + \eta^2) = \text{ค่าต่ำสุด (minimum)}$$

จากการเปรียบเทียบความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งบนพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เป็นไปตามตารางที่ 3.3 ผลปรากฏว่า

$$\begin{aligned} \Sigma (\xi^2 + \eta^2) \text{ บนพื้นหลักฐาน WGS84} &= 1,226.416 \text{ ฟิลิปดา}^2 \\ \Sigma (\xi^2 + \eta^2) \text{ บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975} &= 7,926.192 \text{ ฟิลิปดา}^2 \end{aligned}$$

นอกจากนี้ยังได้คำนวณหาเวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง จากสูตร⁵

$$\theta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$$

ได้ผลตามตารางที่ 3.4 และภาพที่ 3.6 และ 3.7 แสดงเวกเตอร์มุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งบนพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ความเบี่ยงเบนเส้นดิ่งของพื้นหลักฐานทั้งสองจะได้ว่า $\Sigma(\xi^2 + \eta^2)$ บนพื้นหลักฐาน WGS84 มีค่าต่ำกว่า $\Sigma(\xi^2 + \eta^2)$ บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

3.3.2 เปรียบเทียบความสูงต่างของพื้นหลักฐานทั้งสองกับพื้นผิวฮอยของประเทศไทย

หลังจากที่ได้ทำการคำนวณปรับแก้โครงข่ายของ NIMA แล้ว ได้นำค่าพิกัดที่ได้จากการปรับแก้นี้มาคำนวณหาค่าความสูงของพื้นผิวฮอยในประเทศไทย (ค่า N หรือ Geoid Undulation) โดยคำนวณได้จากแบบจำลองของสนามความถ่วงโลกที่ชื่อว่า EGM96 (Earth Gravity Model

⁵ Heiskanen, W. and H. Moritz, Physical Geodesy, W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1967 : 187.

ตารางที่ 3.3 วิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 โดยพิจารณาจากความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (ξ, η)

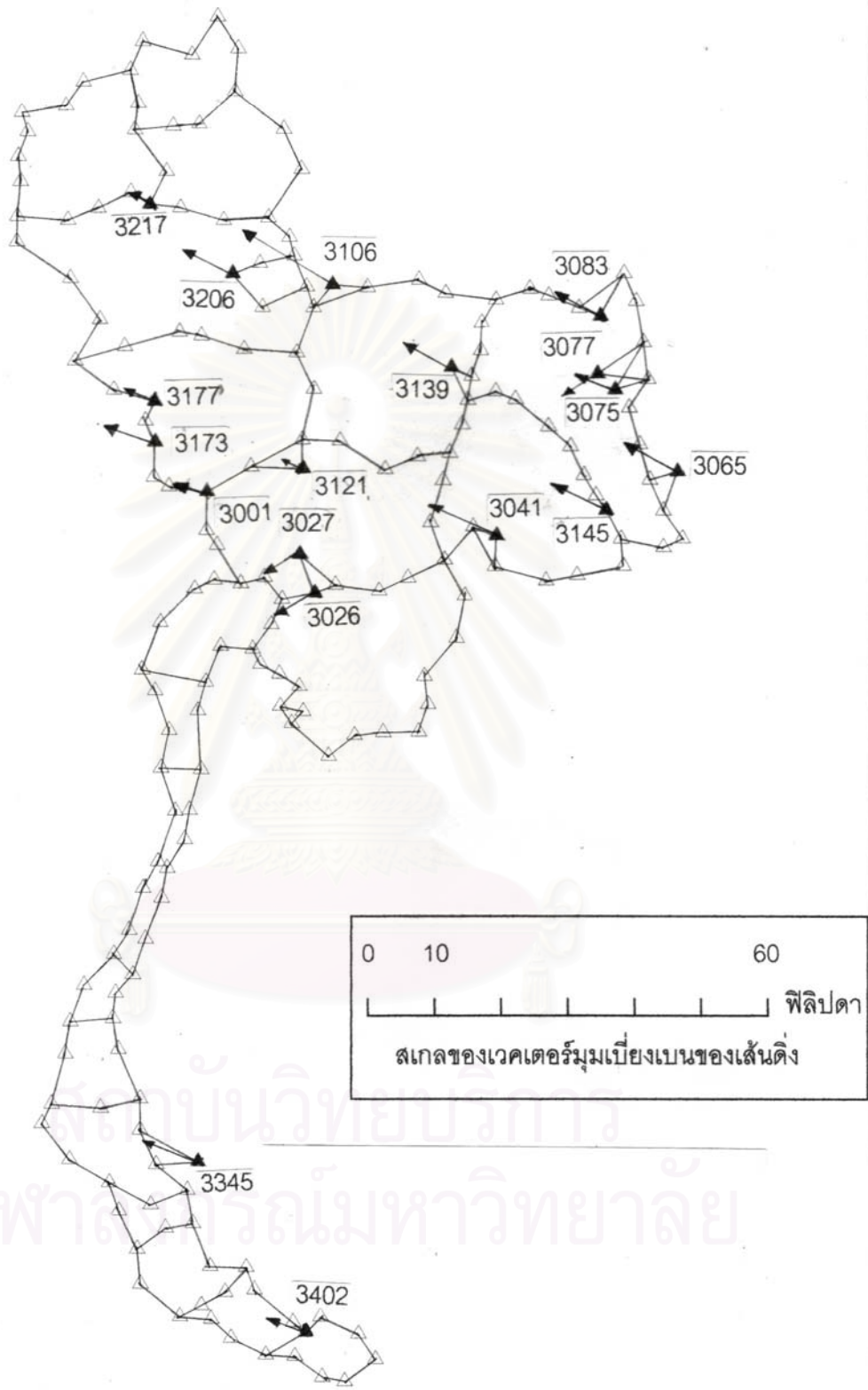
หมายเลข หมุด	ชื่อหมุด หลักฐาน	ค่าพิกัดทางดาราศาสตร์		ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84		ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975		ค่าเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งใน แนวเหนือ-ใต้และแนวตะวันออก-ตะวันตก															
		ละติจูด(Φ)		ลองจิจูด(Λ)		ละติจูด(ϕ)		ลองจิจูด(λ)		ξ	η	ξ	η										
		°	'	''	°	'	''	°	'	''	WGS84	WGS84	1975	1975									
3001	OTRI91	15	23	03.03300	100	00	42.34400	15	23	01.539621	100	00	47.542029	15	22	56.04870	100	00	59.19060	1.49	-5.20	6.98	-16.85
3026	OTRI103	14	20	34.67600	101	09	46.86200	14	20	35.374071	101	09	56.268514	14	20	29.53571	101	10	08.39398	-0.70	-9.41	5.14	-21.53
3027	OTRI100	14	44	29.39400	101	00	18.70600	14	44	31.103471	101	00	24.261208	14	44	25.38122	101	00	36.33740	-1.71	-5.56	4.01	-17.63
3041	OTRI126	14	56	14.145534	103	05	48.71631	14	56	03.234437	103	05	53.423719	14	55	57.43200	103	06	06.39907	10.91	-4.71	16.71	--17.68
3065	OTRI193	15	35	55.16400	105	01	14.58800	15	35	52.208779	105	01	23.251796	15	35	46.49809	105	01	37.13046	2.96	-8.66	8.67	-22.54
3075	OTRI203	16	26	04.39205	104	22	02.30865	16	26	01.896342	104	22	07.496962	16	25	56.47138	104	22	21.16538	2.50	-5.19	7.92	-18.86
3077	OTRI206	16	35	51.387011	104	10	56.015115	16	35	51.407541	104	11	04.370161	16	35	46.04658	104	11	17.97874	-0.02	-8.36	5.34	-21.96
3083	OTRI209	17	11	36.54220	104	13	14.42110	17	11	30.643846	104	13	19.287572	17	11	25.44791	104	13	32.93203	5.90	-4.87	11.09	-18.51
3106	OTRI229	17	31	07.96300	101	20	40.51392	17	30	52.251196	101	20	42.138961	17	30	47.34550	101	20	54.52930	15.71	-1.63	20.62	-14.02
3121	OTRI97	15	37	27.71270	101	01	59.04480	15	37	26.943935	101	02	00.459419	15	37	21.46090	101	02	12.61045	0.77	-1.41	6.25	-13.57
3139	OTRI220	16	40	04.17340	102	37	25.02150	16	40	00.360678	102	37	31.602134	16	39	55.11736	102	37	44.51613	3.81	-6.58	9.06	-19.49
3145	OTRI279	15	11	54.66500	104	15	36.99000	15	11	48.918639	104	15	43.962428	15	11	43.13047	104	15	57.49645	5.75	-6.97	11.53	-20.51
3173	OTRI84	15	53	10.246464	99	27	21.315924	15	53	09.258055	99	27	29.121070	15	53	03.94638	99	27	40.55109	0.99	-7.81	6.30	-19.24
3177	OTRI134	16	18	40.350795	99	26	51.885600	16	18	40.348442	99	26	56.667148	16	18	35.18085	99	27	08.10911	0.00	-4.78	5.17	-16.22
3206	OTRI234	17	37	40.535000	100	16	04.724000	17	37	38.152146	100	16	12.518125	17	37	33.34031	100	16	24.39671	2.38	-7.79	7.19	-19.67
3217	OTRI147	18	20	08.822600	99	22	14.110000	18	20	07.228869	99	22	16.357763	18	20	02.68039	99	22	27.88404	1.59	-2.25	6.14	-13.77
3345	OTRI61	08	28	47.635000	99	58	06.693210	08	28	43.347263	99	58	14.056146	08	28	35.94423	99	58	25.38011	4.29	-7.36	11.69	-18.69
3402	OTRI187	06	44	02.124300	101	05	42.012000	06	43	57.190667	101	05	48.392790	06	43	49.26538	101	06	00.15927	4.93	-6.38	12.86	-18.15
									$\Sigma(\xi^2 + \eta^2)$		1226.416		7926.192										

ตารางที่ 3.4 เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (θ) บนพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดียน 1975

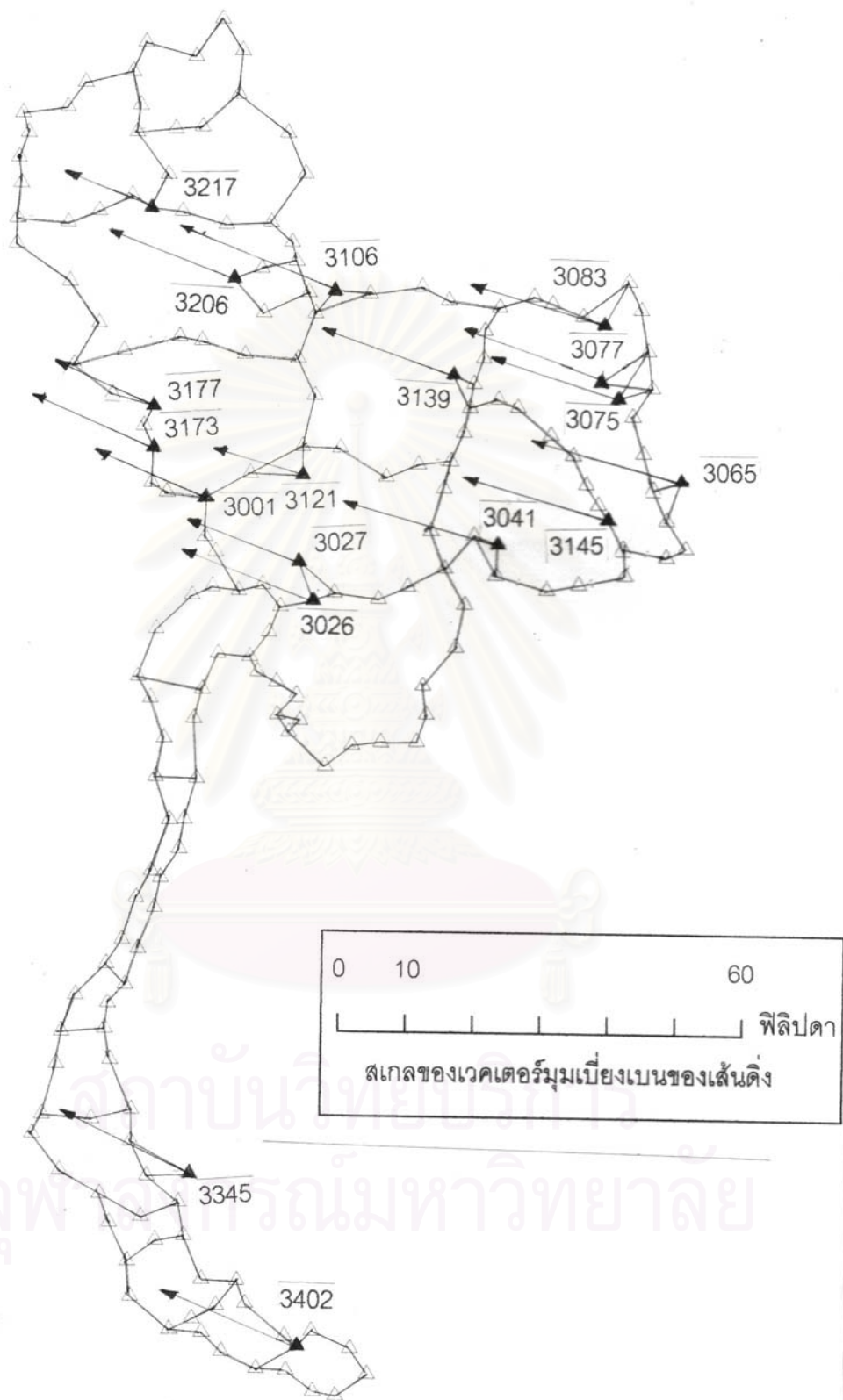
หมายเลข หมุด	ชื่อหมุด หลักฐาน	ค่าเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งใน แนวเหนือ-ใต้และแนวตะวันออก-ตะวันตก				เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (θ) บนพื้นหลักฐาน	
		ξ WGS84 "	η WGS84 "	ξ 1975 "	η 1975 "	$\theta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ WGS84 ฟิลิปดา	$\theta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ อินเดียน 1975 ฟิลิปดา
3001	OTRI91	1.49	-5.20	6.98	-16.85	5.410	18.239
3026	OTRI103	-0.70	-9.41	5.14	-21.53	9.436	22.135
3027	OTRI100	-1.71	-5.56	4.01	-17.63	5.817	18.080
3041	OTRI126	10.91	-4.71	16.71	-17.68	11.883	24.327
3065	OTRI193	2.96	-8.66	8.67	-22.54	9.152	24.150
3075	OTRI203	2.50	-5.19	7.92	-18.86	5.761	20.455
3077	OTRI206	-0.02	-8.36	5.34	-21.96	8.360	22.600
3083	OTRI209	5.90	-4.87	11.09	-18.51	7.650	21.578
3106	OTRI229	15.71	-1.63	20.62	-14.02	15.794	24.935
3121	OTRI97	0.77	-1.41	6.25	-13.57	1.607	14.940
3139	OTRI220	3.81	-6.58	9.06	-19.49	7.603	21.493
3145	OTRI279	5.75	-6.97	11.53	-20.51	9.036	23.529
3173	OTRI84	0.99	-7.81	6.30	-19.24	7.872	20.245

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

หมายเลข หมุด	ชื่อหมุด หลักฐาน	ค่าเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งใน แนวเหนือ-ใต้และแนวตะวันออก-ตะวันตก				เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (θ) บนพื้นหลักฐาน	
		ξ WGS84 "	η WGS84 "	ξ 1975 "	η 1975 "	$\theta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ WGS84 ฟิลิปดา	$\theta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ อินเดียน 1975 ฟิลิปดา
3177	OTRI134	0.00	-4.78	5.17	-16.22	4.780	17.024
3206	OTRI234	2.38	-7.79	7.19	-19.67	8.145	20.943
3217	OTRI147	1.59	-2.25	6.14	-13.77	2.755	15.077
3345	OTRI61	4.29	-7.36	11.69	-18.69	8.519	22.045
3402	OTRI187	4.93	-6.38	12.86	-18.15	8.063	22.244



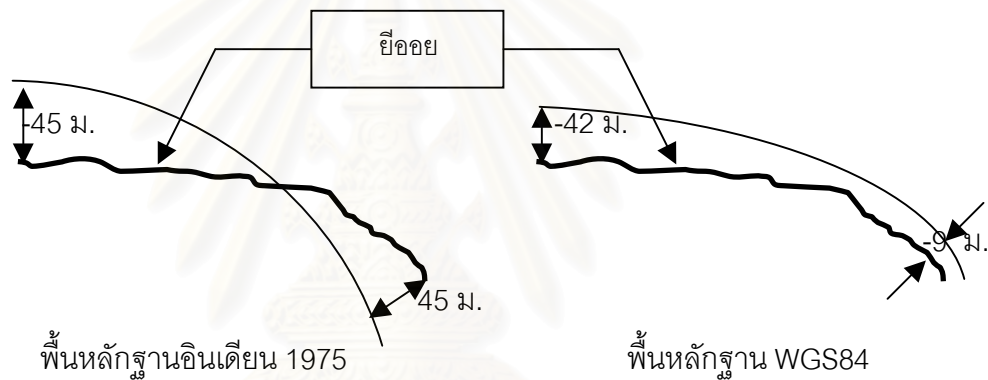
ภาพที่ 3.6 เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (θ) บนพื้นหลักฐาน WGS84



ภาพที่ 3.7 เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (θ) บนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975

1996) ซึ่งให้ไว้ในรูปแบบของสัมประสิทธิ์ฮาร์โมนิกทรงกลมถึงดีกรี 360 แบบจำลองนี้เกิดจากความร่วมมือขององค์การอวกาศสหรัฐฯ (NASA) มหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอไฮโอ (Ohio State University) และหน่วยงานแผนที่สหรัฐฯ (NIMA) แบบจำลองนี้มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์ ± 0.5 เมตร ดู Lemoine และคณะ (1996)

จากผลการคำนวณปรากฏว่า ความสูงยี่ออยของประเทศไทยโดยรวมบนพื้นหลักฐาน WGS84 อยู่ระหว่าง -42 ถึง -9 เมตร ในขณะที่ความสูงยี่ออยของประเทศไทยบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 อยู่ระหว่าง -45 ถึง 45 เมตร⁶ ลักษณะของพื้นหลักฐานทั้งสองกับพื้นผิวยี่ออยของประเทศไทยมีลักษณะดังภาพที่ 3.8 และเส้นชั้นความสูงยี่ออยของพื้นหลักฐานทั้งสองแสดงไว้ในภาพที่ 3.9 และ 3.10

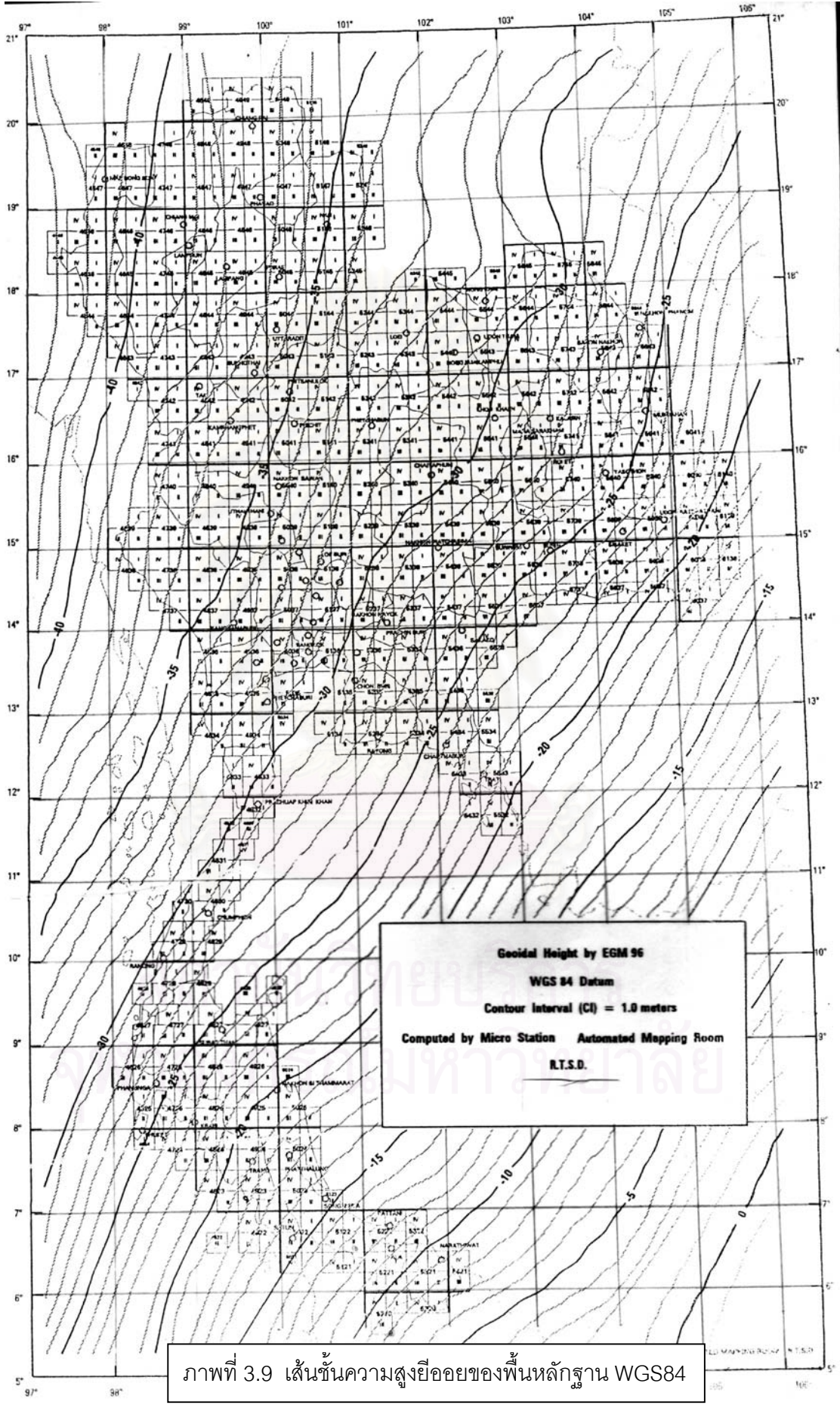


ภาพที่ 3.8 แสดงการวางตัวของพื้นหลักฐานทั้งสองกับพื้นผิวยี่ออยของประเทศไทย

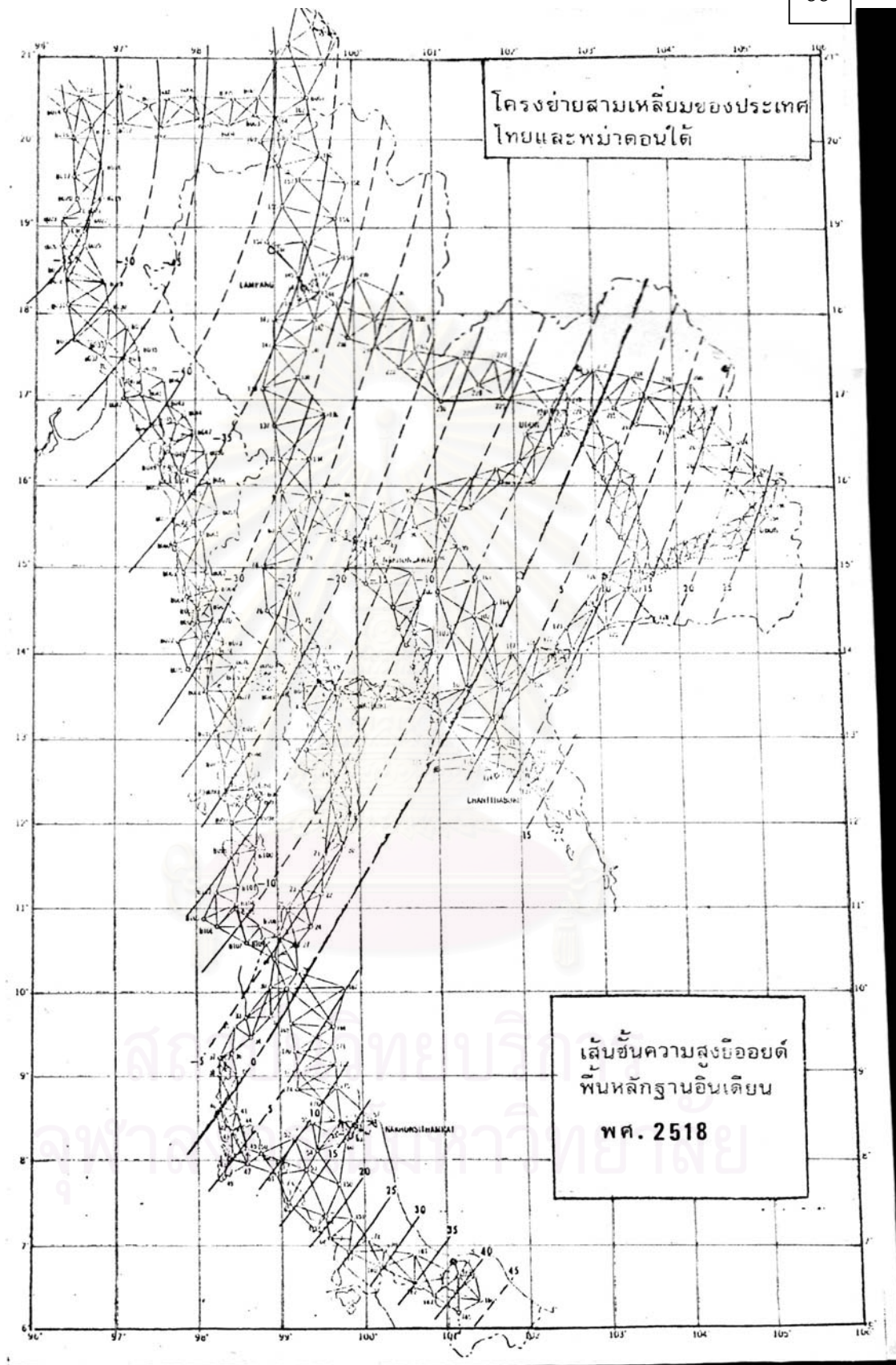
เพื่อเปรียบเทียบความสูงต่างของพื้นหลักฐานทั้งสองกับพื้นผิวยี่ออยของประเทศไทย ซึ่งพื้นหลักฐานที่ดีจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขคือ

$$\sum(N^2) = \text{ค่าต่ำสุด (minimum)}$$

⁶อภิชาติ แสงรุ่งเรือง, การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 กับพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 (กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527), หน้า 23.



ภาพที่ 3.9 เส้นชั้นความสูงย่อยของพื้นหลักฐาน WGS84



ภาพที่ 3.10 เส้นชั้นความสูงย่อยของพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

ดังนั้นในการวิจัยจึงได้ศึกษาความสูงที่ย่อยตามแนว Profile ที่ลองจิจูด 99, 100 และ 101 องศา บนพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 จากภาพที่ 3.9 และ 3.10 ผลปรากฏว่า $\sum(N^2)$ ตามแนว Profile ที่ลองจิจูดต่างๆ ดังกล่าวเป็นไปในลักษณะเดียวกันคือ $\sum(N^2)$ บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 มีค่าต่ำกว่า $\sum(N^2)$ บนพื้นหลักฐาน WGS84 ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ตามทฤษฎีการกำหนดจุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐานจะกำหนดให้ ξ_0 , η_0 และ N_0 มีค่าเป็นศูนย์ แต่สำหรับการคำนวณปรับแก้งานโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 เมื่อปี พ.ศ.2518 ได้กำหนดให้หมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 เขาสะแกกรังเป็นจุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐานโดยมีค่า ξ_0 และ η_0 เป็นศูนย์ แต่ค่า N_0 มีค่าเท่ากับ -20.46 เมตรและใช้เป็นค่าพิกิตตายตัวในการคำนวณปรับแก้ค่าความสูงย่อยของพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ของประเทศไทยซึ่งอาจจะทำให้เกิดความไม่น่าเชื่อถือของค่าความสูงย่อยที่คำนวณได้

3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพื้นหลักฐาน

จากโครงข่าย NIMA ซึ่งประกอบด้วยหมุดดาวเทียม 176 สถานี ได้ทำการโยงยึดสถานีดาราศาสตร์และสถานีที่ขยายจุดควบคุม รวมเป็นหมุดดาวเทียมที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ทั้งสิ้น 204 สถานี ในโครงข่ายนี้ประกอบไปด้วยหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 (OTRI) 22 หมุด หมุดวงรอบชั้นที่ 1 (OTRV) 7 หมุด และหมุดระดับชั้นที่ 1 (OBMP) 16 หมุด การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพื้นหลักฐานจำเป็นจะต้องรู้ค่าพิกิตทั้งทางราบและทางตั้งของพื้นหลักฐานทั้งสองระบบ ดังนั้นจึงเลือกหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 และหมุดวงรอบชั้นที่ 1 ทั้ง 29 หมุดนี้ เป็นจุดร่วม (Common Point) ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ สำหรับค่าพิกิต 3 มิติของพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 และพื้นหลักฐาน WGS84 หาได้ดังนี้

1) ค่าพิกิตบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

- 1.1) ค่าพิกิตทางราบได้จากค่าพิกิตที่กรมแผนที่ทหารประกาศใช้อยู่ในปัจจุบัน
- 1.2) ค่าพิกิตทางตั้งได้จากการคำนวณหาค่าความสูงเหนือรูปทรงรีเอเวอเรสต์บนหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 และหมุดวงรอบชั้นที่ 1 ทั้ง 29 หมุด ดังนี้
 - 1.2.1) คำนวณหาค่าความสูงย่อย (N) บนหมุดระดับชั้นที่ 1 ทั้ง 16 หมุดที่อยู่บนโครงข่าย NIMA ด้วย EGM96 และนำค่า N ที่คำนวณได้ไปรวมกับความสูงเหนือระดับทะเล

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบความสูงต่างของพื้นหลักฐานกับพื้นผิวที่ย่อยของประเทศไทย ตามแนว Profile ที่ลองจิจูดต่างๆ

ละติจูด (องศา)	ลองจิจูดที่ 99 องศา		ลองจิจูดที่ 100 องศา		ลองจิจูดที่ 101 องศา		N^2 ณ ลองจิจูด 99 องศา		N^2 ณ ลองจิจูด 100 องศา		N^2 ณ ลองจิจูด 101 องศา	
	N บน WGS84(ม.)	N บน Indian 1975(ม.)	N บน WGS84(ม.)	N บน Indian 1975(ม.)	N บน WGS84(ม.)	N บน Indian 1975(ม.)	WGS84	Indian 1975	WGS84	Indian 1975	WGS84	Indian 1975
21	-39.10	-40.00	-37.30	-34.00	-35.50	-27.00	1528.81	1600.00	1391.29	1156.00	1260.25	729.00
20	-39.20	-40.00	-37.20	-33.00	-35.10	-26.00	1536.64	1600.00	1383.84	1089.00	1232.01	676.00
19	-39.30	-38.50	-37.10	-31.00	-34.60	-23.00	1544.49	1482.25	1376.41	961.00	1197.16	529.00
18	-39.00	-36.00	-37.00	-28.50	-34.00	-22.00	1521.00	1296.00	1369.00	812.25	1156.00	484.00
17	-38.00	-33.50	-36.00	-25.00	-33.00	-18.00	1444.00	1122.25	1296.00	625.00	1089.00	324.00
16	-36.50	-30.50	-35.00	-22.50	-32.00	-14.00	1332.25	930.25	1225.00	506.25	1024.00	196.00
15	-35.90	-27.00	-34.00	-19.00	-31.00	-10.00	1288.81	729.00	1156.00	361.00	961.00	100.00
14	-35.00	-24.00	-32.90	-14.50	-30.10	-6.00	1225.00	576.00	1082.41	210.25	906.01	36.00
13	-33.50	-18.00	-31.00	-10.00	-28.80	-1.00	1122.25	324.00	961.00	100.00	829.44	1.00
12	-32.00	-13.00	-29.10	-4.50	-26.80	5.00	1024.00	169.00	846.81	20.25	718.24	25.00
11	-30.10	-7.50	-27.10	2.00	-25.00	10.00	906.01	56.25	734.41	4.00	625.00	100.00
10	-27.90	-2.00	-25.00	7.00	-22.10	15.00	778.41	4.00	625.00	49.00	488.41	225.00
9	-25.00	4.00	-21.60	12.50	-19.10	20.00	625.00	16.00	466.56	156.25	364.81	400.00
8	-22.70	10.00	-19.00	19.00	-16.30	28.00	515.29	100.00	361.00	361.00	265.69	784.00
7	-20.90	17.50	-16.30	26.00	-13.50	35.00	436.81	306.25	265.69	676.00	182.25	1225.00
6	-18.50	24.50	-14.50	35.00	-10.90	42.00	342.25	600.25	210.25	1225.00	118.81	1764.00
					ค่าสูงสุด		1544.49	1600.00	1391.29	1225.00	1260.25	1764.00
					ค่าต่ำสุด		342.25	4.00	210.25	4.00	118.81	1.00
					ค่าเฉลี่ย		1073.19	681.97	921.92	519.52	776.13	474.88
					พิสัย		1202.24	1596.00	1181.04	1221.00	1141.44	1763.00
					ผลรวมความสูงย่อย (N^2)		17171.02	10911.50	14750.67	8312.25	12418.08	7598.00

ปานกลาง (H) ที่มุมระดับชั้นที่ 1 ทั้ง 16 มุม ซึ่งจะทำให้ได้ความสูงเหนือรูปทรงรี WGS84 หรือ h

1.2.2) ทำการคำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA ใหม่อีกครั้งหนึ่งโดยกำหนดให้จุดยึดตริงค่าพิกัดทางราบคือจุดยึดตริงทั้ง 18 มุมที่ใช้ในการปรับแก้ครั้งแรก สำหรับจุดยึดตริงค่าพิกัดทางดิ่ง(h) ได้จากข้อ 1.2.1)

หลังจากการคำนวณปรับแก้ในข้อ 1.2.1) และ 1.2.2) จะถือได้ว่าความสูงของมุมทุกมุมในโครงข่าย NIMA ได้ถูกปรับให้สอดคล้องกับระดับทะเลปานกลางที่เป็นมาตรฐานของประเทศไทยแล้ว จากการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่าค่าพิกัดมุมสามเหลี่ยมและมุมวงรอบทั้ง 29 มุม มีมุมสามเหลี่ยมและมุมวงรอบจำนวน 2 มุม ที่ไม่พบค่าพิกัดในเอกสารอ้างอิงของพื้นฐานอินเดีย 1975 ได้แก่ มุม OTRI358 และ OTRV405 นอกจากนี้ยังตรวจพบอีกว่ามีมุมวงรอบจำนวน 6 มุม ที่มีค่าพิกัดบนพื้นฐานทั้งสองต่างกันมากในระดับองศา ได้แก่ มุม 3185(OTRV70), 3226(OTRV15), 3228(OTRV33), 3239(OTRV57), 3271(OTRV256), และ 3272(OTRV291) ดังนั้นในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์จึงได้ตัดมุมสามเหลี่ยมและมุมวงรอบทั้ง 8 มุมนี้ทิ้ง คงเหลือมุมที่นำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์เป็นมุมสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 จำนวน 21 มุม

1.2.3) แปลงค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณปรับแก้ในข้อ 1.2.2) เป็นค่าพิกัดที่อ้างอิงบนพื้นฐานอินเดีย 1975 ด้วยค่าพารามิเตอร์ที่กรมแผนที่ทหารประกาศใช้อยู่ในปัจจุบัน ($\Delta X = 206$ ม., $\Delta Y = 837$ ม., $\Delta Z = 295$ ม.) จากการแปลงค่าพิกัดด้วยพารามิเตอร์นี้ จะทำให้ได้ความสูงเหนือรูปทรงรีเอเวอเรสต์ของพื้นฐานอินเดีย 1975 ซึ่งจะนำมาใช้เป็นค่าพิกัดทางดิ่งร่วมกับค่าพิกัดทางราบในข้อ 1.1) เพื่อเป็นจุดร่วมในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่อไป

2) ค่าพิกัดบนพื้นฐาน WGS84

ค่าพิกัดทางราบและค่าพิกัดทางดิ่งของมุมสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ทั้ง 21 มุมซึ่งอ้างอิงอยู่บนพื้นฐาน WGS84 เป็นผลมาจากการคำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA โดยการใช้จุดยึดตริง 18 จุดของระบบพิกัด ITRF ในตารางที่ 3.2

3.4.1 ขั้นตอนและผลการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะได้ค่าพิกัด 3 มิติของมุมสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ซึ่งอ้างอิงบนพื้นฐานอินเดีย 1975 และพื้นฐาน WGS84 ทั้ง 21 มุม ตามตารางที่ 3.6 และนำมุม

ตารางที่ 3.6 หมุดงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์

ลำดับ	หมายเลขหมุด	ชื่อหมุด	ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84			ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975		
			ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงเหนือรูปทรงรี (h)	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงเหนือรูปทรงรี (h)
			o ' "	o ' "		o ' "	o ' "	
1	3001	OTRI91	15 23 01.53962	100 00 47.54203	107.713	15 22 56.04870	100 00 59.19060	115.938
2	3026	OTRI103	14 20 35.37407	101 09 56.26851	709.265	14 20 29.53571	101 10 08.39398	727.774
3	3027	OTRI100	14 44 31.10347	101 00 24.26121	408.807	14 44 25.38122	101 00 36.33740	425.081
4	3041	OTRI126	14 56 03.23444	103 05 53.42372	260.164	14 55 57.43200	103 06 06.39907	288.884
5	3065	OTRI193	15 35 52.20878	105 01 23.25180	117.666	15 35 46.49809	105 01 37.13046	157.475
6	3075	OTRI203	16 26 01.89634	104 22 07.49696	445.149	16 25 56.47138	104 22 21.16538	478.152
7	3077	OTRI206	16 35 51.40754	104 11 04.37016	567.493	16 35 46.04658	104 11 17.97874	598.742
8	3083	OTRI 209	17 11 30.64384	104 13 19.28757	132.451	17 11 25.44791	104 13 32.93203	162.411
9	3106	OTRI229	17 30 52.25119	101 20 42.13896	1352.158	17 30 47.34550	101 20 54.52930	1362.677
10	3121	OTRI97	15 37 26.943752	101 02 00.45942	409.357	15 37 21.46090	101 02 12.61045	423.178
11	3139	OTRI220	16 40 00.36068	102 37 31.60213	535.746	16 39 55.11736	102 37 44.51613	556.268
12	3140	OTRI216	16 50 14.38002	102 56 06.66023	428.078	16 50 09.15364	102 56 19.72322	450.271
13	3145	OTRI279	15 11 48.91864	104 15 43.96243	111.063	15 11 43.13047	104 15 57.49645	146.652
14	3173	OTRI84	15 53 09.25805	99 27 29.12107	501.755	15 53 03.94638	99 27 40.55109	505.246
15	3177	OTRI134	16 18 40.34844	99 26 56.66715	122.834	16 18 35.18085	99 27 08.10911	125.040
16	3206	OTRI234	17 37 38.15215	100 16 12.51812	338.754	17 37 33.34031	100 16 24.39671	342.448
17	3217	OTRI147	18 20 07.22887	99 22 16.35776	240.236	18 20 02.68039	99 22 27.88404	236.766

ลำดับ	หมายเลข หมุด	ชื่อหมุด	ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84			ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975		
			ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงเหนือ รูปทรงรี (h)	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงเหนือ รูปทรงรี (h)
			o ' "	o ' "		o ' "	o ' "	
18	3308	OTRI22	11 11 42.00219	99 34 08.62190	200.733	11 11 35.31083	99 34 19.84257	220.156
19	3345	OTRI 61	08 28 43.34726	99 58 14.05615	-17.451	8 28 35.94423	99 58 25.38011	14.763
20	3380	OTRI67	07 13 04.91020	99 22 53.51685	299.577	07 12 57.21763	99 23 04.52331	333.446
21	3402	OTRI187	06 43 57.19067	101 05 48.39279	39.850	06 43 49.26538	101 06 00.15927	87.198

สามเหลี่ยมนี้มาเป็นจุดร่วมในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ SKI ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของ Bursa-Wolf และ Molodensky-Badekas การคำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์จะใช้เทคนิคการปรับแก้แบบลีสทิงสแควร์ซึ่งมีรูปแบบตามที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.3 โดยมีขั้นตอนและผลการคำนวณดังนี้

3.4.1.1 การคำนวณครั้งที่ 1 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์โดยใช้จุดร่วมจำนวน 21 หมุด ผลปรากฏว่าพบเศษคงเหลือ (residual) ที่จุดร่วมในระดับเมตรตามแนวแกน X, Y และ Z จำนวน 2 หมุด ได้แก่ 3308 (0.397, 0.084, -1.067 เมตร) และ 3380 (0.451, -0.294, 1.013 เมตร) ผลลัพธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ปรากฏตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าพารามิเตอร์จากการใช้จุดร่วม 21 หมุด

ค่าพารามิเตอร์	แบบจำลอง Bursa - Wolf	แบบจำลอง Molodensky-Badekas
ΔX (m.)	-208.1 \pm 3.207	-204.3 \pm 0.098
ΔY (m.)	-831.3 \pm 1.559	-837.7 \pm 0.098
ΔZ (m.)	-296.4 \pm 1.800	-294.6 \pm 0.098
ϵ (arc sec.)	-0.125082 \pm 0.057	-0.125082 \pm 0.057
ψ (arc sec.)	0.046056 \pm 0.054	0.046056 \pm 0.054
ω (arc sec.)	0.101065 \pm 0.103	0.101065 \pm 0.103
Δs (ppm.)	-0.998484 \pm 0.234	-0.998484 \pm 0.234

สำหรับแบบจำลองของ Molodensky-Badekas จุดกำเนิดของการหมุนถูกเลื่อนไปอยู่ที่ตำแหน่ง X= -1238517.2 เมตร, Y= 6031363.7 เมตร และ Z= 1606525.8 เมตร

ค่าที่มีเครื่องหมาย \pm นำหน้า คือค่า rms (root mean square) เป็นดัชนีที่บอกว่าคุณค่าและค่ามุมหมุนที่คำนวณได้มีสหสัมพันธ์กันสูง

3.4.1.2 การคำนวณครั้งที่ 2 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ซึ่งใช้จุดร่วมจำนวน 19 หมุด โดยตัดจุดร่วมที่ตรวจพบเศษคงเหลือในระดับเมตรในการคำนวณครั้งที่ 1 ที่จำนวน 2 หมุด ผลปรากฏว่าพบเศษคงเหลือในระดับเมตรที่จุดจำนวนหนึ่งหมุดคือ หมุด 3041(1.022, 0.157, -0.704 เมตร) ผลลัพธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ปรากฏตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าพารามิเตอร์จากการใช้จุดร่วม 19 หมุด

ค่าพารามิเตอร์	แบบจำลอง Bursa – Wolf	แบบจำลอง Molodensky-Badekas
ΔX (m.)	-207.6 ± 3.012	-204.4 ± 0.094
ΔY (m.)	-831.6 ± 1.687	-837.7 ± 0.094
ΔZ (m.)	-297.4 ± 1.920	-294.7 ± 0.094
ϵ (arc sec.)	-0.143820 ± 0.062	-0.143820 ± 0.062
ψ (arc sec.)	0.002903 ± 0.056	0.002903 ± 0.056
ω (arc sec.)	0.073319 ± 0.097	0.073319 ± 0.097
Δs (ppm.)	-0.892015 ± 0.253	-0.892015 ± 0.253

แบบจำลองของ Molodensky-Badekas จุดกำเนิดของการหมุนถูกเลื่อนไปอยู่ที่ตำแหน่ง $X = -1259844.4$ เมตร, $Y = 6012861.4$ เมตร และ $Z = 1668985.9$ เมตร

3.4.1.3 การคำนวณครั้งที่ 3 เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้ายซึ่งใช้จุดร่วมจำนวน 18 หมุด โดยตัดจุดร่วมที่ตรวจพบเศษคงเหลือในระดับเมตรของการคำนวณครั้งที่ 1 และ 2 ที่จำนวน 3 หมุด ได้แก่ หมุด 3308, 3380 และ 3041 ผลจากการคำนวณปรากฏว่าเศษคงเหลือของจุดร่วมหลังจากคำนวณอยู่ในระดับเซนติเมตร ผลลัพธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ปรากฏตามตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ค่าพารามิเตอร์จากการใช้จุดร่วม 18 หมู่

ค่าพารามิเตอร์	แบบจำลอง Bursa – Wolf	แบบจำลอง Molodensky-Badekas
ΔX (m.)	-207.8 ± 2.823	-204.4 ± 0.089
ΔY (m.)	-832.0 ± 1.564	-837.7 ± 0.089
ΔZ (m.)	-297.5 ± 1.777	-294.7 ± 0.089
ϵ (arc sec.)	-0.143771 ± 0.057	-0.143771 ± 0.057
ψ (arc sec.)	0.009339 ± 0.052	0.009339 ± 0.052
ω (arc sec.)	0.076394 ± 0.091	0.076394 ± 0.091
Δs (ppm.)	-0.845027 ± 0.234	-0.845027 ± 0.234

แบบจำลองของ Molodensky-Badekas จุดกำเนิดของการหมุนถูกเลื่อนไปอยู่ที่ตำแหน่ง $X = -1252226.9$ เมตร, $Y = 6013356.8$ เมตร และ $Z = 1670977.5$ เมตร

จากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในครั้งที่ 3 ซึ่งพบเศษคงเหลือของจุดร่วมอยู่ในระดับเซนติเมตร ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 3.9 ระหว่างแบบจำลอง Bursa-Wolf และ Molodensky-Badekas ในการแปลงค่าพิกัดของพื้นหลักฐาน จากตารางที่ 3.9 จะสังเกตเห็นว่าค่ามุมหมุนและค่าต่างมาตราส่วนของแบบจำลองทั้งสองมีค่าเท่ากันและค่า rms มีขนาดใหญ่กว่าค่ามุมหมุนและค่าต่างมาตราส่วนที่คำนวณได้ ซึ่งจะบ่งบอกถึงความไม่น่าเชื่อถือของค่ามุมหมุนและค่าต่างมาตราส่วน ดังนั้นจึงได้พิจารณาเฉพาะค่าเลื่อน 3 ตัวแปรของแบบจำลองทั้งสองเท่านั้น

จากการพิจารณาค่า rms ของแบบจำลอง Bursa-Wolf พบว่าแบบจำลองนี้มีค่า rms สูง ซึ่งแสดงว่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าเลื่อนและค่ามุมหมุนของแบบจำลองนี้มีความสัมพันธ์กันมาก แต่ในขณะเดียวกันแบบจำลองของ Molodensky-Badekas มีค่า rms ต่ำ แสดงว่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าเลื่อนและค่ามุมหมุนของแบบจำลองนี้มีความสัมพันธ์กันน้อยมากซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้ ประกอบกับความไม่น่าเชื่อถือของค่ามุมหมุนและค่าต่างมาตราส่วนที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของการแปลงพื้นหลักฐานจึงเลือกใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง Molodensky-Badekas เป็นค่าพารามิเตอร์ในการ

แปลงค่าพิกัดพื้นฐานของประเทศไทยและค่าพารามิเตอร์นั้นได้แก่ ค่าเลื่อน 3 ตัวแปรคือ ค่าเลื่อนทางแกน X, Y และ Z ตามลำดับ ซึ่งมีค่าตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวแปรที่ได้จากการวิจัย

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ (เมตร)	rms (root mean square)
ΔX	-204.4	0.089
ΔY	-837.7	0.089
ΔZ	-294.7	0.089

หมายเหตุ ในการแปลงค่าพิกัดระหว่างพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 และพื้นหลักฐาน WGS84 จะเป็นการหาความสัมพันธ์ของพื้นหลักฐานทั้งสองตามสมการที่ 3.1 ด้วยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัยในตารางที่ 3.10 ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} X_{WGS84} + \Delta X &= X_{Indian75} \\ Y_{WGS84} + \Delta Y &= Y_{Indian75} \\ Z_{WGS84} + \Delta Z &= Z_{Indian75} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1)$$

3.4.2 ความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัย

จากผลการคำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐาน WGS84 เป็นพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 พบว่ามีค่าเลื่อนต่างจากค่าเลื่อนที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนี้

ตารางที่ 3.11 ผลต่างของค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ปัจจุบัน (ม.)	ค่าพารามิเตอร์จากการวิจัย (ม.)	ค่าต่างของ พารามิเตอร์(ม.)
ΔX	-206	-204.4	1.6
ΔY	-837	-837.7	0.7
ΔZ	-295	-294.7	0.3

จากผลต่างของค่าพารามิเตอร์จึงได้แยกทำการวิเคราะห์ค่าสถิติของความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์สำหรับการแปลงค่าพิกัดพื้นหลักฐานตามตารางดังต่อไปนี้

1) เปรียบเทียบค่าต่างของมุมหลักฐานดาวเทียม GPS ในโครงข่าย NIMA ระหว่างค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย ตามตารางที่ 3.12 รายละเอียดติดตามได้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.4

ตารางที่ 3.12 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 ระหว่างค่าพิกัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย

ค่าสถิติ	ละติจูด (")	ลองจิจูด(")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
MAX	0.096	0.042	2.876	1.249	1.030
MIN	0.000	0.001	0.002	0.033	0.003
MEAN	0.017	0.017	0.506	0.514	0.199
S.D.	0.023	0.011	0.700	0.338	0.230

หมายเหตุ

$$1'' \cong 30 \text{ ม.} : 0.1'' \cong 3 \text{ ม.}$$

$$0.01'' \cong 0.3 \text{ ม.} : 0.001'' \cong 0.03 \text{ ม.}$$

$$0.0001'' \cong 0.003 \text{ ม.}$$

2) เปรียบเทียบค่าต่างของหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ในโครงข่าย NIMA ระหว่างค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์ที่ประกาศใช้อยู่ ตามตารางที่ 3.13 รายละเอียดติดตามได้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.5

ตารางที่ 3.13 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 ระหว่างค่าพิกัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์ที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่

ค่าสถิติ	ละติจูด (")	ลองจิจูด(")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
MAX	0.081	0.088	2.433	2.655	1.320
MIN	0.000	0.017	0.009	0.512	0.077
MEAN	0.023	0.052	0.698	1.555	0.982
S.D.	0.022	0.020	0.655	0.590	0.252

3) เปรียบเทียบค่าต่างของหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ในโครงข่าย NIMA บนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 ระหว่างค่าพิกัดซึ่งได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์ที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่ในปัจจุบัน (ใช้อยู่จุดยึดตึกร้างเพียง 1 จุดที่เขาสะแกกรัง ค่าพิกัดที่ใช้คือ $\phi=15^{\circ} 23' 01.547''$ $\lambda=100^{\circ} 00' 47.506''$ h = 111.647 ม. คำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA) และค่าพิกัดที่แปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย (ใช้อยู่จุดยึดตึกร้าง 18 จุดจากการวิจัยคำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA) ปราบกฏผลตามตารางที่ 3.14 รายละเอียดติดตามได้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.6

ตารางที่ 3.14 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 ระหว่างค่าพิกัดซึ่งได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์ที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่แปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย

ค่าสถิติ	ละติจูด (")	ลองจิจูด(")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
MAX	0.020	0.050	0.589	1.497	0.970
MIN	0.013	0.046	0.405	1.374	0.809
MEAN	0.018	0.048	0.533	1.432	0.897
S.D.	0.002	0.001	0.057	0.034	0.046

4) เปรียบเทียบค่าต่างของหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ในโครงข่าย NIMA บนพื้นหลักฐาน WGS84 โดยการกำหนดค่าพิกัดที่ศูนย์กำเนิดเขาสะแกกรังเป็นจุดยึดตริงโครงข่ายเพียงจุดเดียว ค่าพิกัดที่ใช้คือ $\phi=15^{\circ} 23' 01.547''$ $\lambda=100^{\circ} 00' 47.506''$ $h = 111.647$ ม. เปรียบเทียบกับผลการคำนวณปรับแก้โครงข่ายโดยใช้จุดยึดตริง 18 จุดจากการวิจัย ปราบกฎผลตามตารางที่ 3.15 รายละเอียดติดตามได้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.7

ตารางที่ 3.15 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 เมื่อใช้จุดยึดตริงที่เขาสะแกกรังเพียงจุดเดียวและจุดยึดตริง 18 จุดที่ใช้ในการวิจัย

ค่าสถิติ	ละติจูด (")	ลองจิจูด(")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
MAX	0.041	0.055	1.221	1.656	5.017
MIN	0.000	0.003	0.001	0.096	2.850
MEAN	0.014	0.038	0.424	1.142	3.976
S.D.	0.011	0.008	0.332	0.241	0.540

5) เปรียบเทียบค่าต่างของหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ในโครงข่าย NIMA บนพื้นหลักฐาน WGS84 ระหว่างการใช้จุดยึดตริง 18 จุดจากการวิจัยในการคำนวณปรับแก้เปรียบเทียบกับผลการคำนวณปรับแก้เมื่อใช้จุดยึดตริง 4 จุดที่กรมแผนที่ทหารทำงานร่วมกับ NIMA ปราบกฎผลตามตารางที่ 3.16 รายละเอียดติดตามได้ในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.8

ตารางที่ 3.16 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 เมื่อใช้จุดยึดตริง 18 จุดที่ใช้ในการวิจัยและจุดยึดตริง 4 จุดที่กรมแผนที่ทหารทำงานร่วมกับ NIMA

ค่าสถิติ	ละติจูด (")	ลองจิจูด(")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
MAX	0.003	0.038	0.091	1.141	1.298
MIN	0.000	0.011	0.000	0.321	0.111
MEAN	0.001	0.014	0.030	0.422	0.271
S.D.	0.001	0.004	0.021	0.123	0.250

จากการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ในตารางที่ 3.12 พบว่าค่าพิกัดที่แปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย มีค่าความต่างของพิกัดทางราบอยู่ในระดับเซนติเมตร คือ เฉลี่ยทางละติจูด 0.506 เมตร และทางลองจิจูด 0.514 เมตร ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกว่าค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์ที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่ในปัจจุบันตามตารางที่ 3.13 จากความแตกต่างของค่าพิกัดย่อยเดคิมิกที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัยมาแปลงค่าพิกัดหมุดหลักฐานดาวเทียมเป็นค่าพิกัดระนาบแผนที่อ้างอิงบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 มาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งเป็นแผนที่มูลฐานของประเทศไทยผลปรากฏว่า จะให้ค่าพิกัดที่ใกล้เคียงกับค่าพิกัดเดิมและไม่เกินเกณฑ์การแก้ไขแผนที่ดังที่ได้กล่าวต่อไป

สำหรับค่าต่างทางด้านความสูงบนพื้นหลักฐาน WGS84 ซึ่งมีค่าประมาณ 4 เมตร ในตารางที่ 3.15 อาจเกิดจากการกำหนดค่าความสูงที่จุดศูนย์กำเนิดสะแกกรังในการคำนวณปรับแก้เมื่อปี พ.ศ.2518 มีความคลาดเคลื่อนไป

3.5 สรุปความเหมาะสมของพื้นหลักฐานกับสภาพพื้นผิวย่อยของประเทศไทย

3.5.1 จากการศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 กับพื้นผิวย่อยของประเทศไทย ตามทฤษฎีทางย็อดเดซีแล้วการพิจารณาเหมาะสมของพื้นหลักฐานหรือรูปทรงรีที่จะนำมาใช้อ้างอิง จะพิจารณาจากความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (Deflection of vertical) และความสูงย็อดเดซี (Geoid Undulation) ซึ่งเป็นเงื่อนไขในการพิจารณาคูณสมบัติพื้นหลักฐานที่ดี จากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า

3.5.1.1 จากการศึกษาความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งพบว่า $\sum(\xi^2 + \eta^2)$ ของพื้นหลักฐาน WGS84 มีค่าต่ำกว่าพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าพื้นหลักฐาน WGS84 มีทิศทางการวางตัวที่เหมาะสมกับพื้นผิวย่อยของประเทศไทยมากกว่าพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ตามผลการวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 3.3.1

3.5.1.2 จากการศึกษาความสูงย็อดเดซีพบว่า $\sum(N^2)$ ของพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 มีค่าต่ำกว่าพื้นหลักฐาน WGS84 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 มีความแนบสนิทหรือมีความใกล้เคียงกับพื้นผิวย่อยของประเทศไทยมากกว่าพื้นหลักฐาน WGS84 ตามผลการวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 3.3.2

เนื่องจากเทคนิคการรังวัดในการหาค่าพิกัดหรือสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบของพื้นที่หลักฐาน WGS84 และพื้นที่หลักฐานอินเดีย 1975 มีวิธีการที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง แต่ถ้าพิจารณาการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบของทั้งสองพื้นที่หลักฐานบนบรรทัดฐานเดียวกันโดยวิธีสร้างโครงข่ายงานสามเหลี่ยม จะพบว่าความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งและค่าความสูงยี่ออยมีความจำเป็นต่อการทอนทิศทางและระยะทางที่รังวัดได้บนพื้นผิวโลกลงบนพื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิง และเมื่อทิศทางและระยะทางที่ได้รับการทอนลงสู่พื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิงเรียบร้อยแล้วก็จะถูกนำไปจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบต่อไป ในการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบในอดีตเพื่อให้โครงข่ายงานสามเหลี่ยมมีการวางตัวและกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนได้บนพื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิง จำเป็นจะต้องอาศัยวิธีการรังวัดทางดาราศาสตร์มาช่วยในการคำนวณงาน ความสัมพันธ์ของระบบพิกัดทางดาราศาสตร์และระบบพิกัดยี่ออยเดซีเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \phi &= \Phi - \xi, \\ \lambda &= \Lambda - \eta \sec \phi, \\ \alpha &= A - \eta \tan \phi \quad (\text{สมการลาพลาซ, Laplace's Equation}) \end{aligned}$$

ถ้าพิจารณาถึงผลกระทบต่องานคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ของระบบดาราศาสตร์และระบบยี่ออยเดซี จากสมการข้างบนจะเห็นว่าความแตกต่างระหว่างค่าพิกัดของทั้งสองระบบนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (ξ, η) ถ้ามุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งมีขนาดต่ำมากหรือเป็นศูนย์จะทำให้ค่าพิกัดทั้งสองระบบมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นค่าพิกัดทางดาราศาสตร์ที่รังวัดมาได้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบได้โดยไม่ต้องมีการตรวจแก้ทิศทางก่อน จากการศึกษาพบว่าความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง $\Sigma(\xi^2 + \eta^2)$ ของพื้นที่หลักฐาน WGS84 มีค่าต่ำกว่าพื้นที่หลักฐานอินเดีย 1975 แสดงว่าพื้นที่หลักฐาน WGS84 มีความเหมาะสมต่องานคำนวณเพื่อกำหนดทิศทางการวางตัวที่ถูกต้องของโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบบนพื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิงมากกว่าพื้นที่หลักฐานอินเดีย 1975 และถ้าพิจารณาการวางตัวของพื้นที่หลักฐานทั้งสองกับพื้นผิวยี่ออยของประเทศไทยตามภาพที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าพื้นที่หลักฐาน WGS84 จะมีความสูงยี่ออยอยู่ในช่วงประมาณ 33 เมตร (-9 ถึง -42 ม.) ในขณะที่ช่วงความสูงยี่ออยของพื้นที่หลักฐานอินเดีย 1975 มีค่าประมาณ 90 เมตร (45 ถึง -45 ม.) จะเห็นได้ว่าพิสัยความสูงยี่ออยของพื้นที่หลักฐาน WGS84 มีค่าต่ำกว่าพื้นที่หลักฐานอินเดีย 1975 ประกอบกับเทคนิคและวิธีการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดของดาวเทียมระบบ GPS มีวิธีการที่แตกต่างจากการสำรวจในอดีตโดยสิ้นเชิงและยังเชื่อถืออันวยประโยชน์ต่องานสำรวจในปัจจุบันเป็นอย่างมาก ดังนั้นถ้าประเทศไทย

พิจารณาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 ในงานรังวัดชั้นสูงหรืองานทางด้านยื่อเดซีของประเทศแทนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ที่ประกาศใช้อยู่ในปัจจุบันก็จะส่งผลดีต่องานรังวัดและกิจการแผนที่ของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง

3.5.2 การเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณงานสำรวจจะส่งผลกระทบต่อค่าพิกัดตำแหน่ง ทั้งนี้เพราะการคำนวณงานที่รังวัดมาได้จะอ้างอิงอยู่บนรูปทรงรีที่ต่างกัน ดังนั้นถ้าประเทศไทยจะเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงในงานสำรวจจำเป็นจะต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแปลงค่าพิกัดระหว่างสองพื้นหลักฐาน ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเมื่อนำไปใช้ในการแปลงค่าของระบบพิกัดสองระบบจะต้องให้ค่าพิกัดที่ใกล้เคียงกับค่าพิกัดเดิมมากที่สุดและต้องไม่ส่งผลกระทบต่อค่าพิกัดบนระนาบแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งเป็นแผนที่มูลฐานของประเทศ สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัดที่อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 เป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ที่ได้จากการวิจัยประกอบไปด้วยค่าเลื่อนทางแนวแกน X, Y และ Z 3 ตัวแปร ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.4 สำหรับค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวแปรนั้นคือ

$$\text{ค่าเลื่อนทางแกน X } (\Delta X) = -204.4 \text{ เมตร}$$

$$\text{ค่าเลื่อนทางแกน Y } (\Delta Y) = -837.7 \text{ เมตร}$$

$$\text{ค่าเลื่อนทางแกน Z } (\Delta Z) = -294.7 \text{ เมตร}$$

พื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐาน ITRF ถือได้ว่าเป็นพื้นหลักฐานอันเดียวกันเพราะมีศูนย์กำเนิดหรือจุดศูนย์มวลสารอันเดียวกันแต่เนื่องจากพื้นหลักฐาน WGS84 ได้ถูกนิยามไว้อย่างหลวมๆ มีความถูกต้องในเกณฑ์ $\pm 1-2$ เมตร ซึ่งต่างจากพื้นหลักฐาน ITRF ที่มีความถูกต้องของตำแหน่งสัมบูรณ์ในระดับ ± 3 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก สำหรับการวิจัยเพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพื้นหลักฐานได้ใช้ค่าพิกัดของหมุดยึดตริงจำนวน 18 หมุด ซึ่งอ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน ITRF ยึดตริงโครงข่าย NIMA ซึ่งถือว่าเป็นโครงข่ายที่มีตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างหมุดดาวเทียมที่สูง จึงทำให้ผลการคำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA บนพื้นหลักฐาน ITRF มีความละเอียดถูกต้องสูงสุด ประกอบกับได้คำนวณหาค่าความสูงของหมุดสามเหลี่ยมที่จะใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ซึ่งอยู่ในโครงข่าย NIMA โดยอาศัยค่าหมุดระดับชั้นที่ 1 และรูปจำลองสนามความถ่วงโลกที่ดีที่สุดในปัจจุบันคือ EGM96 จึงทำให้ได้ค่าพิกัดสามมิติของหมุดสามเหลี่ยมบนพื้นหลักฐานดาวเทียมและพื้นหลักฐานอินเดีย

1975 ที่มีความถูกต้องสูงมาก ดังนั้นเมื่อนำค่าพิกัดสามมิติบนพื้นหลักฐานทั้งสองนี้ไปคำนวณ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในการแปลงพื้นหลักฐานจะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องสูงเช่นเดียวกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลกระทบต่องานรังวัดและกิจการแผนที่เมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้ พื้นหลักฐาน WGS84 แทนพื้นหลักฐานอินเดียย 1975

4.1 ทัวไป

ในงานรังวัดและกิจการแผนที่ที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้รูปทรงเรขาคณิตเป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวณงาน ซึ่งรูปทรงเรขาคณิตนั้นก็คืรูปทรงรีนั่นเอง ขนาดรูปร่างและทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีรวมกันเราเรียกว่า “พื้นหลักฐาน” พื้นหลักฐานจะแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของภูมิภาคนั้นๆ ปัจจุบันประเทศไทยใช้พื้นหลักฐานอินเดียย 1975 แต่เนื่องจากเทคโนโลยีของงานทางด้าน การสำรวจมีความเจริญก้าวหน้าไปเป็นอย่างมาก มีการนำเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS เข้ามาใช้ในงานด้านการสำรวจจึงทำให้พื้นหลักฐานอ้างอิงในงานสำรวจเปลี่ยนไปเป็นพื้นหลักฐานดาวเทียมหรือพื้นหลักฐาน WGS84

งานรังวัดชั้นสูงหรืองานรังวัดทางเยื่อเดซี¹ หมายถึง งานจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานที่ใช้ควบคุมค่าพิกัดตำแหน่งทางราบ ระดับสูง รวมถึงการวัดแรงถ่วงของประเทศหรือภูมิภาค ในอดีตการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบและหมุดหลักฐานทางดิ่งจะแยกจากกันโดยสิ้นเชิงทั้งนี้เพราะอ้างอิงอยู่บนพื้นผิวคนละพื้นผิวกัน แต่ในปัจจุบันอาจจะมีหมุดหลักฐานทั้งสองบางหมุดที่จัดสร้างและรังวัดบนหมุดหลักฐานเดียวกัน แต่สำหรับงานคำนวณปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานทั้งสองก็จะกระทำแยกกันโดยสิ้นเชิง สำหรับโครงข่ายหมุดหลักฐานเพื่อการวัดแรงถ่วงก็แยกตัวออกจากโครงข่ายอื่นเช่นเดียวกัน ดังนั้นในอนาคตเมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 จะส่งผลกระทบต่องานรังวัดและกิจการแผนที่หรือไม่ซึ่งจะได้ทำการศึกษาต่อไป

¹ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, เยื่อเดซี (กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2537), หน้า 6-1.

4.2 ผลกระทบต่องานรังวัดชั้นสูง

4.2.1 โครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่ง (Vertical Control Network)

การจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งจะแยกตัวออกจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทั้งนี้เพราะในงานคำนวณการรังวัดควบคุมทางดิ่งจะอ้างอิงกับพื้นระดับทะเลปานกลาง(MSL) หรือพื้นผิวเอียงเพื่อกำหนดค่าระดับภายในโครงข่ายควบคุมทางดิ่ง ในการกำหนดค่าระดับจะใช้การทำงานที่เรียกว่า **การทำระดับแบบสูงต่าง²(Differential Levelling)** ซึ่งเป็นการถ่ายค่าระดับจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ระดับทะเลปานกลางที่ใช้อ้างอิงทางด้านความสูงแต่ละประเทศจะถูกสร้างขึ้นอย่างเป็นอิสระต่อกันดังนั้นระดับทะเลปานกลางของประเทศหนึ่งจะแตกต่างไปจากระดับทะเลปานกลางของอีกประเทศหนึ่ง เนื่องจากการรังวัดควบคุมทางดิ่งใช้พื้นผิวระดับทะเลปานกลางหรือพื้นผิวเอียงเป็นพื้นผิวอ้างอิงในการรังวัดและการคำนวณซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการคำนวณบนรูปทรงเรขาคณิตหรือรูป ทรงรี ดังนั้นเมื่อประเทศไทยพิจารณาเปลี่ยนพื้นหลักฐานควบคุมทางราบจึงไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อระดับสูงหรือโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งของประเทศ สำหรับประเทศไทยใช้ค่าระดับทะเลปานกลางที่ **อ.เกาะหลัก จ.ประจวบคีรีขันธ์ (ละติจูด 11° 48' ลองจิจูด 99° 49')** เป็นค่าอ้างอิงในการกำหนดค่าระดับภายในโครงข่ายระดับ

4.2.2 โครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบ (Horizontal Control Network)

ในอดีตการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดหมุดหลักฐานทางราบที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่จะอาศัยวิธีการทำสามเหลี่ยมวัดมุม (Triangulation) สามเหลี่ยมเชิงด้าน (Trilateration) และงานวงรอบ (Traverse) เพื่อขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบ โดยมีพื้นผิวของรูปทรงรีเป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวณงานที่ได้จากการรังวัด ลักษณะของรูปทรงรีที่ใช้อ้างอิงในการคำนวณหาค่าพิกัดทางราบจะมีรูปร่าง ขนาดและทิศทางการวางตัวที่แตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของรูปทรงรีกับพื้นผิวเอียงของประเทศหรือภูมิภาคนั้นๆ สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันใช้รูปทรงรีเอเวอเรสต์ ซึ่งเป็นรูปทรงรีส่วนภูมิภาค (Best-Fitting Ellipsoid)มีจุดศูนย์กลางกำเนิดอยู่ที่เขา

²ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, ยี่ออดเดซี (กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2537), หน้า 6-4.

สะแกกรัง จ.อุทัยธานี เป็นรูปทรงรีอ้างอิงในการคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดทางราบ แต่เนื่องจากในปัจจุบันเทคนิคการสำรวจด้วยดาวเทียมมีความเจริญก้าวหน้าและมีบทบาทต่องานรังวัดเป็นอย่างมากทั้งนี้เพราะการสำรวจด้วยระบบดาวเทียมให้ความละเอียดถูกต้องอยู่ในระดับเดียวกับงานสามเหลี่ยมหรืองานรังวัดชั้นสูง ดังนั้นเมื่อประเทศไทยเปลี่ยนพื้นหลักฐานหรือรูปทรงรีอ้างอิงเป็นรูปทรงรี WGS84 ซึ่งเป็นรูปทรงรีภูมิศาสตร์ (Terrestrial Ellipsoid หรือ Global Ellipsoid) ย่อมจะส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดตำแหน่งบนโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบอย่างแน่นอน

ประเทศไทยโดยกรมแผนที่ทหารได้นำเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS เข้ามาใช้ในการดำเนินการสำรวจตั้งแต่ปี พ.ศ.2534 จนถึงปัจจุบันได้ทำการขยายโครงข่ายค่าพิกัดหมุดหลักฐานทางราบครอบคลุมทั่วทั้งประเทศแล้วทั้งสิ้น 655 หมุด (พ.ศ.2534-2540) ซึ่งความถูกต้องของหมุดทั่วโครงข่ายมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน (Homogeneous Accuracy) เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ปัญหาในหัวข้อต่อไปจึงขอจำแนกงานรังวัดควบคุมทางราบของหน่วยงานต่างๆ ทั้งของรัฐบาลและเอกชนเป็น 3 ประเภท³ ดังนี้

- 1) งานรังวัดควบคุมที่ใช้พื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิงเป็นพื้นหลักฐาน
- 2) งานรังวัดที่ใช้พื้นราบเป็นพื้นหลักฐานโดยไม่โยงยึดกับพิกัดบนระนาบแผนที่
- 3) งานรังวัดทางดาราศาสตร์

4.2.2.1 งานรังวัดควบคุมที่ใช้พื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิงเป็นพื้นหลักฐาน

ในการคำนวณงานรังวัดที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่จำเป็นต้องอาศัยพื้นผิวของรูปทรงรีที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับพื้นผิวย่อยของประเทศหรือภูมิภาคนั้นมาอ้างอิงในการคำนวณ งานรังวัดควบคุมที่ใช้พื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิงเป็นพื้นหลักฐานสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

³อภิชาติ แสงรุ่งเรือง, การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 กับพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527), หน้า 37.

1) งานรังวัดควบคุมเยื้องเดดติก (Geodetic Survey)

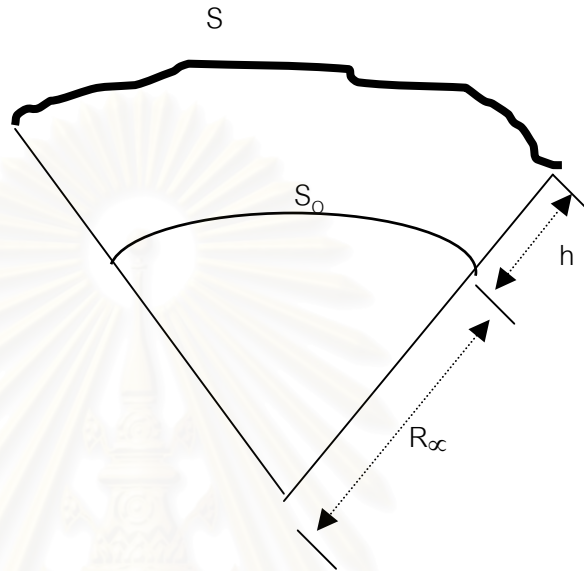
งานจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบได้แก่ งานข่ายสามเหลี่ยมซึ่งถือได้ว่าเป็นงานส่วนหนึ่งของงานรังวัดชั้นสูงหรืองานรังวัดทางเยื้องเดดซี ค่าพิกัดที่ได้จะถูกคำนวณลงบนพื้นผิวของรูปทรงรี ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทอนปริมาณที่รังวัดมาได้จากภูมิประเทศลงบนพื้นผิวของรูปทรงรีก่อนที่จะนำไปคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพิกัดต่อไป ปริมาณรังวัดที่จำเป็นจะต้องทอนได้แก่ ทิศทางมุมและระยะทาง กรมแผนที่ทหารซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบต่องานรังวัดควบคุมเยื้องเดดติกของประเทศไทยได้ใช้วิธีการเช่นเดียวกับที่ระบุไว้ใน Rapp, 1974 ในการทอนค่ารังวัดดังนี้

1.1) การทอนค่าทิศทาง ได้แก่ อะซิมุท ใช้สูตร

$$D_c = D + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \dots\dots\dots(4.1)$$

- เมื่อ D_c = ค่าการรังวัดทิศทางที่ทอนแล้ว
- D = ค่าการรังวัดทิศทาง
- δ_1 = ค่าตรวจแก้แนวตัดปกติเป็นเยื้องเดดติก
 $= - (e^2/12) (s/N)^2 \cos^2 \phi_m \sin 2A_{12}$
- δ_2 = ค่าตรวจแก้เนื่องจากความสูงของที่หมายเล็ง
 $= (h^2/2M_m) e^2 \cos^2 \phi_m \sin 2A_{12}$
- δ_3 = ค่าตรวจแก้เนื่องจากการเบี่ยงเบนของเส้นโค้ง
 $= - (\xi \sin A_{12} - \eta \cos A_{12}) \cot Z$
- M_m = รัศมีความโค้งในแนวเมริเดียนที่ละติจูด ϕ_m
 $= a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \phi_m)^{3/2}$
- N = $a / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}$
- A คือ อะซิมุทของรูปตัดฉากจาก A ไป B
- e คือ ความเยื้องศูนย์กลางที่หนึ่ง
- s คือ ความยาวของเส้นเยื้องเดดติก
- Z คือ ระยะเซนทิต (90° - มุมสูง) ของแนวเล็ง

1.2) การทอนระยะทาง ระยะที่วัดได้บนผิวโลกจำเป็นต้องทอนให้เป็นระยะที่วัดได้บนรูปทรงรีอ้างอิง สำหรับการรังวัดระยะด้วยเทปอินวาร์ถือว่าระยะที่วัดนั้นเป็นเส้นโค้งตามผิวโลก การทอนระยะลงมาบนรูปทรงรีใช้สูตรดังนี้



ภาพที่ 4.1 การทอนระยะด้วยเทปอินวาร์ลงบนพื้นผิวของรูปทรงรี

$$\frac{S}{R_\alpha + h} = \frac{S_0}{R_\alpha} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$S_0 = \left[\frac{R_\alpha}{R_\alpha + h} \right] * S \dots\dots\dots(4.3)$$

หรือ
เมื่อ

$$S_0 = S (1 - h/R_\alpha + \dots)$$

S = ระยะที่วัดด้วยเทปอินวาร์

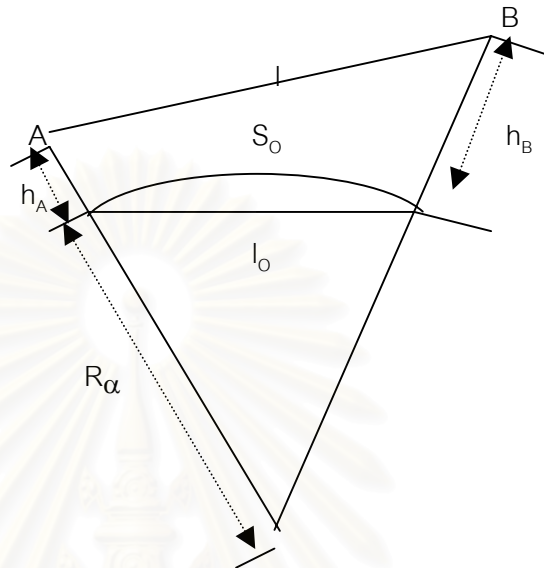
S₀ = ระยะที่ทอนลงบนรูปทรงรีอ้างอิง

$$R_\alpha = \sqrt{MN}$$

$$M = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}, N = a / (1 - e^2 \sin^2 \phi)^{1/2}$$

h = ความสูงของแนวการวัดจากพื้นรูปทรงรี

ในกรณีที่ใช้เครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ทำการรังวัด การหาค่าวัดระยะต้องคำนวณอีกวิธีหนึ่ง เพราะวาระยะที่วัดได้เป็นระยะระหว่างจุดที่ไม่ได้ตรวจแก้ความโค้งของโลก



ภาพที่ 4.2 การทอนระยะด้วยเครื่องมือวัดระยะด้วยอิเล็กทรอนิกส์ลงบนพื้นผิวของรูปทรงรี

ค่า l_0 คำนวณได้จากสมการใน

$$l_0 = \frac{l^2 - \Delta h^2}{\sqrt{(1 + h_A/R_\alpha)(1 + h_B/R_\alpha)}} \dots\dots\dots(4.4)$$

เมื่อ $\Delta h = h_B - h_A$

$$S_0 = 2R_\alpha \sin^{-1} (l_0/2R_\alpha)$$

$$R_\alpha = 1/2 (R_{\alpha A} + R_{\alpha B})$$

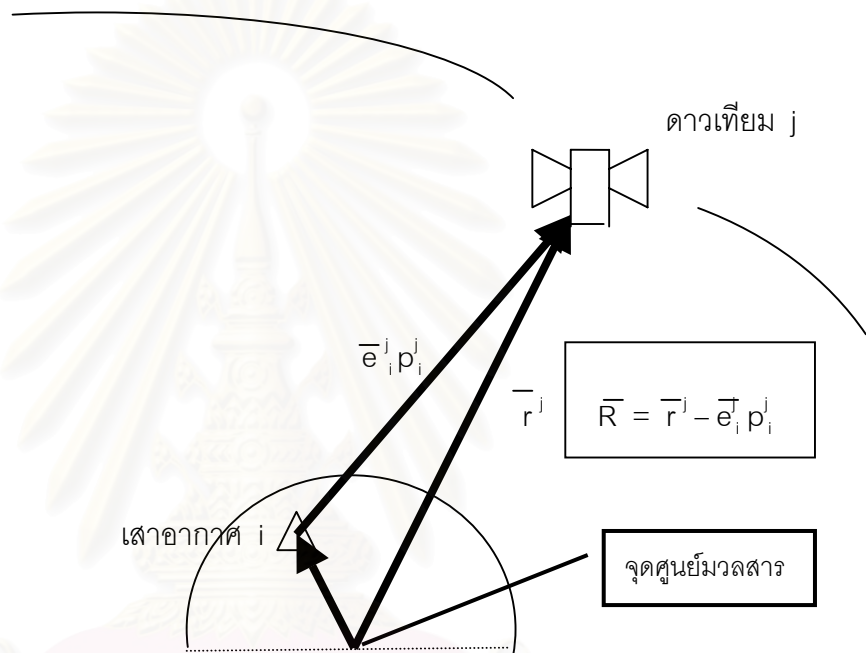
l คือ ระยะจากจุด A ไป B (slope distance)

l_0 ระยะตรงบนพื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิง

S_0 ระยะบนพื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิง

เนื่องจากปัจจุบันการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมมีบทบาทสูงต่องานด้านการสำรวจโดยเฉพาะอย่างยิ่งการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ทั้งนี้เพราะให้ความสะดวก รวดเร็ว และมีความ

ถูกต้องสูงในการหาค่าพิกัดทางราบ ค่าพิกัดที่รังวัดมาได้จะอ้างอิงอยู่บนพื้นหลักดาวเทียม ซึ่งจุดกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก (center of mass of the earth) มีหลักการพื้นฐานของการหาค่าพิกัดหรือตำแหน่งดังนี้คือ⁴ ตามปกติเราจะรู้ตำแหน่งหรือรูปร่างโคจรของดาวเทียมแล้วนำมาหาพิกัดตำแหน่งของจุดที่ต้องการบนพื้นผิวโลก จากภาพที่ 4.3 แสดงหลักการพื้นฐานของการหาตำแหน่งจากดาวเทียม



ภาพที่ 4.3 หลักการพื้นฐานของการหาตำแหน่งจากดาวเทียม

จุด i คือตำแหน่งของจุดบนโลกที่ต้องการหาจากการรังวัดดาวเทียมแสดงด้วยเวกเตอร์ R_i สำหรับตำแหน่งของดาวเทียมซึ่งแสดงด้วยเวกเตอร์ เป็นค่าที่เรารู้หรือคำนวณมาได้จากรูปร่างโคจรของดาวเทียมในการทำงานรังวัดดาวเทียม ถ้าเราสามารถวัดทิศทางและระยะทางจากจุด i ไปยังดาวเทียม j ได้ก็จะสามารถคำนวณหาค่า R_i ได้ จากรูปทิศทางจากจุด i ไปยังดาวเทียม j แสดงด้วยหน่วยเวกเตอร์ (unit vector) e_i^j ส่วนระยะทางจากจุด i ไปยังจุด j แสดงด้วย p_i^j

⁴ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, งานรังวัดดาวเทียม GPS, เอกสารประกอบการฝึกอบรมการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS 8-12 พฤษภาคม 2538. (เอกสารไม่ตีพิมพ์เผยแพร่)

ดาวเทียมที่ใช้ประโยชน์ในการหาตำแหน่งเป็นดาวเทียมที่โคจรรอบโลกซึ่งเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ความถูกต้องของพิกัดตำแหน่งมีความถูกต้องสูงสุดอยู่ในระดับเซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการรังวัด

ในการหาค่าพิกัดทางราบบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 และพื้นหลักฐาน WGS84 มีวิธีการที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อุปสรรคและข้อจำกัดของการรังวัดในอดีต ถูกแทนที่ด้วยการสำรวจด้วยระบบดาวเทียม ซึ่งเป็นเทคนิคการสำรวจสมัยใหม่ที่ทำให้ความละเอียดถูกต้องสูงในการหาค่าพิกัดหรือสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบ เนื่องจากพื้นหลักฐานทั้งสองอ้างอิงบนพื้นผิวรูปทรงรีที่ต่างกันจึงทำให้ค่าพิกัดทางราบที่คำนวณได้จากพื้นหลักฐานทั้งสองมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งแสดงได้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลต่างของค่าพิกัดย่อยออกเดติกระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

หมายเลข	ชื่อหมุด	WGS84			INDIAN75			ผลต่างของค่าพิกัด		
		°	'	"	°	'	"	"	เมตร	
3001	OTRI91	φ	15	23	01.53962	15	22	56.04870	5.490	164.700
		λ	100	00	47.54203	100	00	59.19060	11.650	349.500
3026	OTRI103	φ	14	20	35.37407	14	20	29.53571	5.840	175.200
		λ	101	09	56.26851	101	10	08.39398	12.130	363.900
3027	OTRI101	φ	14	44	31.10347	14	44	25.38122	5.720	171.600
		λ	101	00	24.26121	101	00	36.33740	12.080	362.400
3041	OTRI126	φ	14	56	03.23444	14	55	57.43200	5.800	174.000
		λ	103	05	53.42372	103	06	06.39907	12.980	389.400

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อหมุด	WGS84			INDIAN75			ผลต่างของค่าพิกัด		
		°	'	"	°	'	"	"	เมตร	
3065	OTRI193	φ	15	35	52.20878	15	35	46.49809	5.710	171.300
		λ	105	01	23.25180	105	01	37.13046	13.880	416.400
3075	OTRI203	φ	16	26	01.89634	16	25	56.47138	5.420	162.600
		λ	104	22	07.49696	104	22	21.16538	13.670	410.100
3077	OTRI206	φ	16	35	51.40754	16	35	46.04658	5.360	160.800
		λ	104	11	04.37016	104	11	17.97874	13.160	408.300
3083	OTRI209	φ	17	11	30.64385	17	11	25.44791	5.200	156.000
		λ	104	13	19.28757	104	13	32.93203	13.640	409.200
3106	OTRI229	φ	17	30	52.25120	17	30	47.34550	4.910	147.300
		λ	101	20	42.13896	101	20	54.52930	12.390	371.700
3121	OTRI97	φ	15	37	26.94394	15	37	21.46090	5.480	164.400
		λ	101	02	00.45942	101	02	12.61045	12.150	364.500
3139	OTRI220	φ	16	40	00.36068	16	39	55.11736	5.240	157.200
		λ	102	37	31.60213	102	37	44.51613	12.910	387.300
3140	OTRI216	φ	16	50	14.38002	16	50	09.15364	5.230	156.900
		λ	102	56	06.66023	102	56	19.72322	12.060	391.800

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อหมุด	WGS84			INDIAN75			ผลต่างของค่าพิกัด		
		°	'	"	°	'	"	"	เมตร	
3145	OTRI279	φ	15	11	48.91864	15	11	43.13047	5.790	173.700
		λ	104	15	43.96243	104	15	57.49645	13.530	405.900
3173	OTRI84	φ	15	53	09.25806	15	53	03.94638	5.310	159.300
		λ	99	27	29.12107	99	27	40.55109	11.430	342.900
3177	OTRI134	φ	16	18	40.34844	16	18	35.18085	5.170	155.100
		λ	99	26	56.66715	99	27	08.10911	11.440	343.200
3206	OTRI234	φ	17	37	38.15215	17	37	33.34031	4.810	144.300
		λ	100	16	12.51813	100	16	24.39671	11.880	356.400
3217	OTRI147	φ	18	20	07.22887	18	20	02.68039	4.550	136.500
		λ	99	22	16.35776	99	22	27.88404	11.530	345.900
3308	OTRI22	φ	11	11	42.00219	11	11	35.31083	6.690	200.700
		λ	99	34	08.62191	99	34	19.84257	11.220	336.600
3345	OTRI61	φ	08	28	43.34726	08	28	35.94423	7.400	222.000
		λ	99	58	14.05615	99	58	25.38011	11.320	339.600
3380	OTRI67	φ	07	13	04.91021	07	12	57.21763	7.690	230.700
		λ	99	22	53.51685	99	23	04.52331	11.010	330.300

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อหมุด	WGS84			INDIAN75			ผลต่างของค่าพิกัด		
		°	'	"	°	'	"	"	เมตร	
3402	OTRI187	φ	06	43	57.19067	06	43	49.26538	7.930	237.900
		λ	101	05	48.39279	101	06	00.15927	11.770	353.100

2) งานรังวัดระบบพิกัดบนระนาบแผนที่

แผนที่เป็นสิ่งที่ทำขึ้นเพื่อแสดงลักษณะภูมิประเทศ และรายละเอียดบนพื้นพิภพโดยเขียนเป็นเส้น จุดและสัญลักษณ์ต่างๆ ที่สามารถสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่าย แผนที่ที่มีลักษณะเป็นแผ่นและมีขนาดที่ย่อส่วนจากของจริงทำให้สะดวกในการผลิต ใช้งานและเก็บรักษา แต่เนื่องจากโลกมีลักษณะเป็นพื้นผิวโค้งการถ่ายทอดรายละเอียดและค่าพิกัดตำแหน่งที่อยู่บนพื้นผิวโลกซึ่งมีลักษณะโค้งลงบนพื้นผิวระนาบแผนที่ซึ่งเป็นระนาบราบก่อให้เกิดปัญหาในการถ่ายทอดรายละเอียดต่างๆ เช่นมีความเพี้ยนเชิงมุม ความเพี้ยนเชิงเส้น ความเพี้ยนเชิงพื้นที่ เป็นต้น ซึ่งเราไม่อาจจะหลีกเลี่ยงปัญหานี้ได้แต่เราสามารถที่จะลดทอนปัญหาต่างๆ เหล่านี้ได้โดยการเลือกวิธีการ **ฉายแผนที่** (Map Projection) ให้เหมาะสมกับพื้นที่หรือภูมิภาคที่ทำจัดทำแผนที่รวมถึงการคงคุณสมบัติต่างๆ ตามลักษณะงานที่เราจะนำแผนที่ไปใช้และถ่ายทอดความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดภูมิศาสตร์กับค่าพิกัดฉากบนระนาบแผนที่จะอาศัยสมการ **การฉายแผนที่** (Mapping Equations) ซึ่งมีลักษณะดังนี้

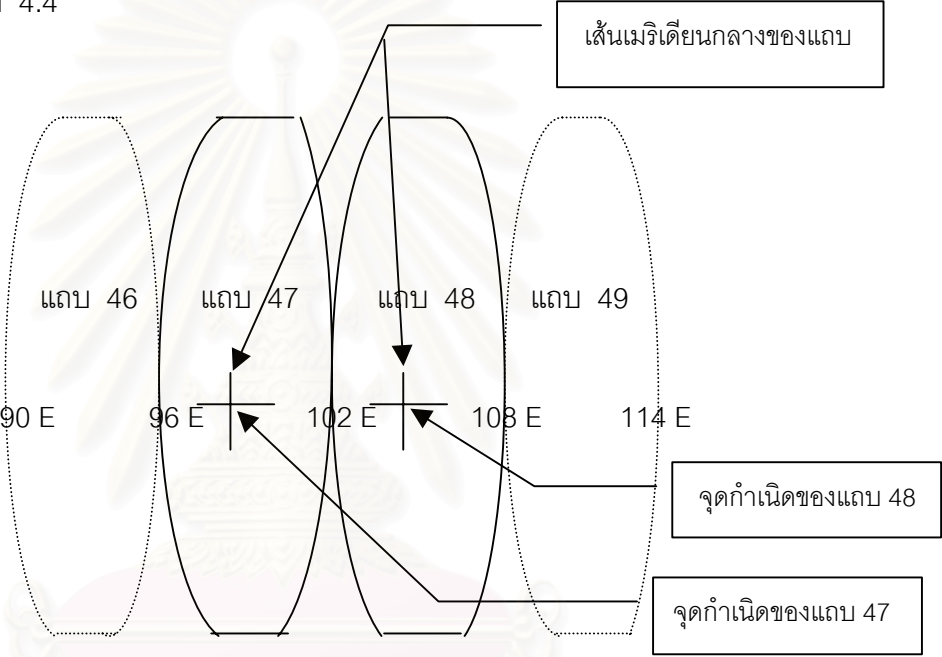
$$\left. \begin{aligned} X &= f_1(\phi, \lambda) \\ Y &= f_2(\phi, \lambda) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.5)$$

หรือ

$$\left. \begin{aligned} \phi &= g_1(X, Y) \\ \lambda &= g_2(X, Y) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.6)$$

ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของพื้นผิวโลกซึ่งได้จากการคำนวณบนพื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิงจะถูกถ่ายทอดค่าพิกัดของจุดต่างๆ ลงบนระนาบราบโดยอาศัยสมการการฉายแผนที่ ตามสมการที่ 4.5 และ 4.6 วิธีการฉายแผนที่ที่ประเทศไทยใช้ผลิตแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) นั้นใช้การ

ฉายแสงโดยอาศัยทรงกระบอกวางตัดในแนวขวางของโลก แกนของทรงกระบอกขนานกับแนวศูนย์สูตรและจุดกำเนิดแสงอยู่ที่ศูนย์กลางของโลกผลที่ได้จากการฉายแสงจะมีคุณสมบัติแบบคงรูป (Conformality) ซึ่งวิธีการนี้ได้นำมาใช้ในการสร้างระบบเส้นโครงแผนที่สากลที่มีชื่อเรียกว่า Universe Transverse Mercator Grid หรือเรียกย่อๆ ว่า U.T.M.Grid กรมแผนที่ทหารซึ่งเป็นหน่วยงานหลักเกี่ยวกับงานรังวัดและจัดทำแผนที่ของประเทศไทยได้เลือกใช้วิธีการสร้างเส้นโครงแผนที่แบบกริดยูทีเอ็มในการผลิตแผนที่ของประเทศ ประเทศไทยตั้งอยู่ในโซนหรือแถบที่ 47 และ 48 จาก 60 โซนของระบบกริดยูทีเอ็ม เเมริเดียนกลางอยู่ที่ 99 และ 105 องศาตะวันออกซึ่งมีลักษณะตามภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงโซนของประเทศไทยบนพิกัดระนาบแผนที่กริดยูทีเอ็ม

ดังนั้นเมื่อรูปร่างและขนาดของรูปทรงรีมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปย่อมส่งผลกระทบต่อค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมด้วยตามสมการ 4.7 และ 4.8 ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} E_{75} &= f_1(\phi_{75}, \lambda_{75}) \\ N_{75} &= f_2(\phi_{75}, \lambda_{75}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.7)$$

และ

$$\left. \begin{aligned} E_{84} &= f_1(\phi_{84}, \lambda_{84}) \\ N_{84} &= f_2(\phi_{84}, \lambda_{84}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.8)$$

จากการคำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA โดยใช้จุดควบคุม 18 สถานี ตรึงโครงข่ายตามทีกล่าวมาแล้วในบทที่ 3 และได้คัดเลือกหมุดที่มีการรังวัดซ้ำกันระหว่างค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 และค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ได้จำนวน 21 หมุด และทำการแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ทั้ง 21 หมุดของพื้นหลักฐานทั้งสองลงบนระนาบแผนที่กรีดยูทีเอ็มโดยแยกเป็นค่าพิกัดที่อยู่ในโซน 47 และโซน 48 ซึ่งผลความแตกต่างของค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ระหว่างพื้นหลักฐานทั้งสองแสดงได้ในตารางที่ 4.2 ความแตกต่างนี้เมื่อนำมาแสดงเป็นเวกเตอร์โดยใช้ความแตกต่างเฉลี่ยของแต่ละโซนจะได้ตามภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 แสดงผลต่างของค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

โซน 47

หมายเลข ชื่อหมุด	WGS84 (เมตร)	INDIAN75 (เมตร)	ผลต่างของค่าพิกัด $\Delta N, \Delta E$ (เมตร)	ระยะทาง $\sqrt{\Delta N^2 + \Delta E^2}$, ม.)
3001 OTRI91	N 1701027.453	1700724.203	303.250	450.490
	E 608735.426	609068.564	-333.138	
3026 OTRI103	N 1586772.458	1586469.745	302.713	450.121
	E 733566.999	733899.126	-333.127	
3027 OTRI101	N 1630750.395	1630447.416	302.979	450.375
	E 716034.688	716367.917	-333.229	
3106 OTRI229	N 1938008.614	1937705.936	302.678	450.128
	E 748979.695	749312.863	-333.168	
3121 OTRI97	N 1728404.005	1728100.414	303.591	451.128
	E 718004.612	718338.302	-333.690	

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

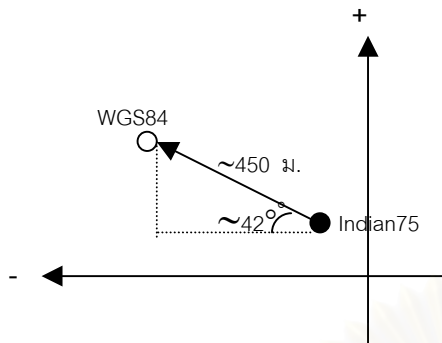
หมายเลข ชื่อหมุด	WGS84 (เมตร)	INDIAN75 (เมตร)	ผลต่างของค่าพิกัด $\Delta N, \Delta E$ (เมตร)	ระยะทาง $\sqrt{\Delta N^2 + \Delta E^2}$, (ม.)
3173 OTRI84	N 1756368.554	1756065.288	303.266	450.762
	E 549039.846	549373.337	-333.491	
3177 OTRI134	N 1803412.761	1803109.942	302.819	450.288
	E 547972.497	548305.753	-333.256	
3206 OTRI234	N 1949400.663	1949097.864	302.799	449.727
	E 634749.495	635082.012	-332.517	
3217 OTRI147	N 2027327.022	2027023.984	-303.038	450.351
	E 539222.588	539555.731	333.143	
3308 OTRI22	N 1237600.781	1237298.024	302.757	449.457
	E 562126.212	562458.401	332.189	
3345 OTRI61	N 937353.761	937053.542	300.219	447.841
	E 606832.598	607164.908	-332.310	
3380 OTRI67	N 797869.128	797570.587	298.541	446.477
	E 542121.093	542453.079	-331.986	
3402 OTRI187	N 744681.039	744380.662	300.377	447.025
	E 731771.047	732102.114	-331.067	
		MEAN	ΔN 302.233 ΔE -332.793	449.552

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

โซน 48

หมายเลข ชื่อหมุด	WGS84 (เมตร)	INDIAN75 (เมตร)	ผลต่างของค่าพิกัด $\Delta N, \Delta E$ (เมตร)	ระยะทาง $\sqrt{\Delta N^2 + \Delta E^2}$, ม.)
3041 OTRI126	N 1651926.899	1651613.160	313.739	519.605
	E 295444.271	295858.466	-414.195	
3065 OTRI193	N 1724451.170	1724137.650	313.520	518.453
	E 502479.122	502892.037	-412.915	
3075 OTRI203	N 1817032.567	1816718.667	313.900	519.565
	E 432607.998	433022.020	-414.022	
3077 OTRI206	N 1835218.698	1834904.833	-303.244	519.897
	E 413015.005	413429.471	332.817	
3083 OTRI209	N 1900944.158	1900629.780	314.378	519.624
	E 417272.351	417686.085	-413.734	
3139 OTRI220	N 1844197.494	1843883.396	314.096	520.933
	E 246741.272	247156.860	-417.588	
3140 OTRI216	N 1862708.240	1862393.645	314.595	520.976
	E 279985.608	280400.874	-415.266	
3145 OTRI279	N 1680240.365	1679926.758	313.607	519.382
	E 420753.412	421167.427	-414.015	
		MEAN	ΔN 313.963 ΔE -414.275	519.804

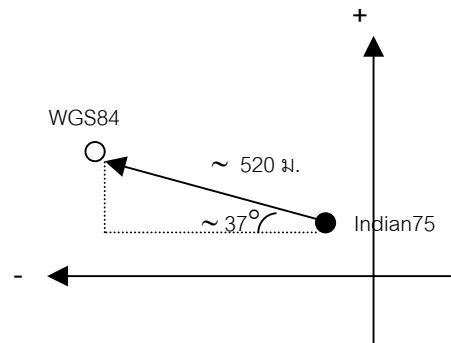
ความต่างพิกัดตามแกน Y (Northing)



ความต่างของพิกัดตามแกน X (Easting)

โซน 47

ความต่างพิกัดตามแกน Y (Northing)



ความต่างของพิกัดตามแกน X (Easting)

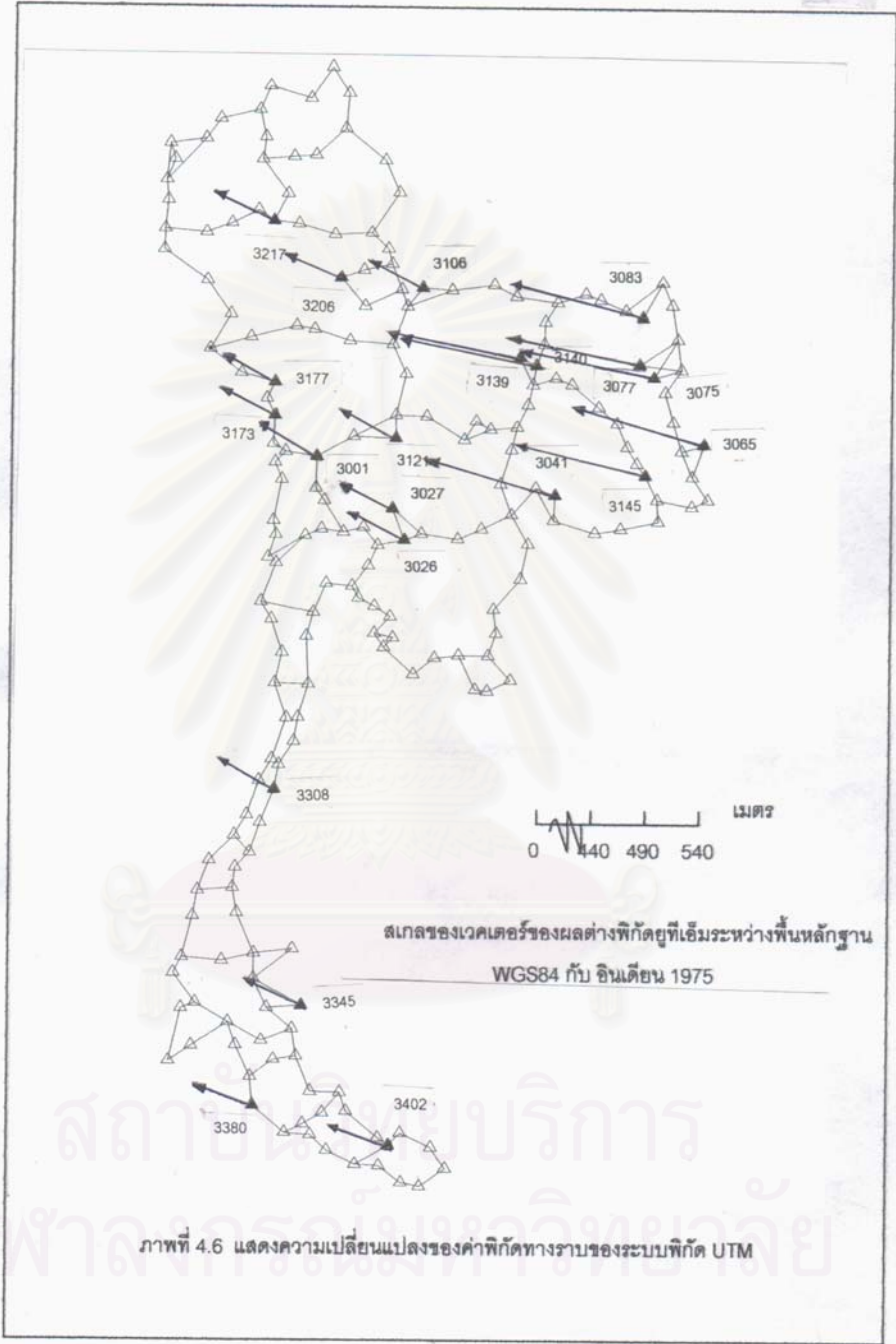
โซน 48

ภาพที่ 4.5 แสดงเวกเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดจากยูทีเอ็มในโซน 47 และโซน 48

เมื่อนำการเปลี่ยนแปลงของค่าพิกัดบนระนาบแผนที่โซน 47 และ โซน 48 ของประเทศไทยมาเขียนแสดงเป็นเวกเตอร์บนหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ทั้ง 21 หมุด จะได้ตามภาพที่ 4.6 ความแตกต่างของค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ในแต่ละโซนของประเทศไทยจะไม่เท่ากันพบว่าในโซนที่ 47 จะมีความแตกต่างของค่าพิกัดที่ระยะประมาณ 450 เมตรซึ่งเป็นพื้นที่ทางภาคกลาง, ภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศไทย ส่วนในโซนที่ 48 จะมีความต่างของค่าพิกัดที่ระยะประมาณ 520 เมตรซึ่งเป็นพื้นที่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

4.2.2.2 งานรังวัดที่ใช้พื้นระนาบ (Plan survey) เป็นพื้นฐานโดยไม่โยงยึดกับพิกัดบนระนาบแผนที่

งานที่คำนวณบนพื้นระนาบเป็นงานหรือโครงการที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็กหรือเป็นงานเฉพาะพื้นที่ เฉพาะหน่วยงาน เช่น งานรังวัดที่ดิน งานพัฒนาที่ดิน งานชลประทาน งานสร้างเส้นทางการจราจร เป็นต้น ซึ่งงานเหล่านี้เกิดจากการตั้งสมมุติฐานว่า ระยะทางและทิศทางต่างๆ ที่รังวัดได้นั้นเป็นค่าระนาบราบที่สัมพันธ์กับผิวโลก ณ จุดหนึ่งๆ ของพื้นที่งาน ระบบที่ใช้อ้างอิงในการทำงานจะเป็นระบบลอยตัวไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบหรือใช้กับระบบอื่นได้ ส่วนงานคำนวณบนระนาบราบก็ไม่ซับซ้อนทั้งนี้เพราะคำนวณลงบนระนาบราบได้โดยตรง ไม่ต้องทอนค่าที่รังวัดมาได้ลงบนพื้นผิวของรูปทรงรี และเกณฑ์งานที่ใช้ในการกำหนดชั้นของงานจะหยาบกว่างานรังวัดชั้นสูง จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการรังวัดบนระนาบไม่มีความสัมพันธ์กับ



พื้นหลักฐานอ้างอิงแต่อย่างใด ดังนั้นในการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงจึงไม่ส่งผลกระทบต่อ งานรังวัดที่ใช้พื้นราบเป็นพื้นหลักฐานโดยไม่โยงยึดกับระบบพิกัดบนระนาบแผนที่

4.2.2.3 งานรังวัดทางดาราศาสตร์

งานรังวัดทางดาราศาสตร์อ้างอิงอยู่กับระบบพิกัดฟ้า ซึ่งถือว่าโลกคือดาวเคราะห์ดวง หนึ่งในระบบของจักรวาล จากการสังเกต ศึกษาและค้นคว้าของมนุษย์ที่สืบต่อกันมา ทำให้ทราบ ว่าวิธีการโคจรของดาวต่างๆ บนท้องฟ้ามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และในขณะเดียวกันก็สัมพันธ์ กับวิธีการโคจรของโลกด้วย ดังนั้นถ้าทราบตำแหน่งที่ถูกต้องของวัตถุบนท้องฟ้าเหล่านี้ก็จะ สามารถคำนวณหาพิกัดตำแหน่งบนผิวโลกได้เช่นกัน ในอดีตงานรังวัดทางดาราศาสตร์จะมีความ สำคัญต่องานรังวัดควบคุมเยื่อเดติกเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะในการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลัก ฐานทางราบจำเป็นจะต้องอาศัยการรังวัดทางดาราศาสตร์เพื่อกำหนดทิศทางและการวางตัวของ โครงข่ายบนพื้นผิวของรูปทรงรี ค่าพิกัดตำแหน่งและทิศทางที่ได้จากการรังวัดทางดาราศาสตร์ คือ ละติจูด Φ , ลองจิจูด Λ และอะซิมุท A ซึ่งจะแตกต่างจากค่าพิกัดทางเยื่อเดติก⁵

เนื่องจากระบบพิกัดทางดาราศาสตร์ใช้ทรงกลมฟ้าเป็นพื้นอ้างอิงจึงไม่เกี่ยวกับรูปทรงรีที่ ใช้อ้างอิงในงานทางเยื่อเดติกจึงสรุปได้ว่าการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงไม่ส่งผลกระทบต่อ งานรังวัดทางดาราศาสตร์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันได้นำเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS มาใช้ในงานทางด้าน การสำรวจจึงทำให้การกำหนดสถานีจุดควบคุมหลักและการสร้าง โครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบมีความยืดหยุ่นกันดี มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน ดังนั้น จึงทำให้การรังวัดทางดาราศาสตร์มีบทบาทลดลง แต่ถึงอย่างไรก็ตามการรังวัดทางดาราศาสตร์ก็ยังคงมีความจำเป็นต่องานเยื่อเดติกอยู่ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการตรวจสอบหรือหาค่าพิกัดในกรณีที่มีการ สำรวจด้วยดาวเทียมไม่สามารถดำเนินการรังวัดได้

⁵ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, เยื่อเดติก (กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย),

4.2.3 โครงข่ายการวัดแรงถ่วง (Gravity Network)

โครงข่ายการวัดแรงถ่วงถูกจัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในงานรังวัดขั้นสูง และงานด้านธรณีฟิสิกส์(Geophysics) โครงข่ายของการวัดแรงถ่วงจะถูกสร้างขึ้นในลักษณะเดียวกับวิธีการสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่ง กล่าวคือ จะใช้วิธีการวัดแรงถ่วงสัมพัทธ์จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ โดยที่โครงข่ายการวัดแรงถ่วงนี้อาจจะมีเพียงจุดเดียวหรือสองจุดเท่านั้นที่มีการวัดแรงถ่วงสมบูรณ์ งานทางด้านกรวัดแรงถ่วงจะเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการหารูปทรงของยอดหรือรูปสัณฐานที่แท้จริงของโลก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานจึงไม่ส่งผลกระทบต่อกรวัดแรงถ่วงแต่อย่างใด

4.3 ผลกระทบต่อกิจการแผนที่

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูปทรงรีอ้างอิงในการคำนวณงานยอดเดติกจะมีผลทำให้ค่าพิกัดบนระนาบแผนที่กริดยูทีเอ็มที่อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เปลี่ยนแปลงไปด้วยตามที่กล่าวมาแล้วใน 4.2.2.1 ข้อ 2) และเมื่อพิจารณาระยะทางของตำแหน่งที่เคลื่อนไปโดยเฉลี่ยของทั้งสองโซนระหว่างพื้นหลักฐานทั้งสองบนแผนที่กริดยูทีเอ็มมีค่าประมาณ 476 เมตร ระยะทางของตำแหน่งที่เคลื่อนไปนี้เมื่อนำมาคิดลงบนแผนที่มาตราส่วนต่างๆ จะมีความคลาดเคลื่อนดังนี้

ตารางที่ 4.3 ระยะทางของตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปบนแผนที่มาตราส่วนต่างๆ

แผนที่มาตราส่วนต่างๆ	ระยะทางของตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไป
1:1,000	476 มม.
1:4,000	119 มม.
1:10,000	47.6 มม.
1:25,000	19 มม.
1:50,000	9.5 มม.
1:250,000	1.9 มม.
1:1,000,000	0.5 มม.

สำหรับเกณฑ์การพิจารณาการแก้ไขแผนที่มาตราส่วนต่างๆ จะพิจารณาจากอุปกรณ์
ต่างๆ ไปที่ใช้อ่านแผนที่ ซึ่งมีข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

- 1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งบนแผนที่ตามปกติจะใช้ไม้บรรทัดซึ่งจะมี
ความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร ดังนั้นความละเอียดที่ทำการวัดด้วยไม้บรรทัดจึงมีค่าเพียง
0.5 มม. โดยการประมาณด้วยสายตา
- 2) การกำหนดตำแหน่งบนแผนที่ตามปกติจะใช้ดินสอหรือปากกาซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง
ประมาณ 0.2-0.5 มม.
- 3) ความหนาของเส้นกริดในการวัดค่าพิกัดหรือตำแหน่งบนแผนที่ต้องวัดจากเส้นกริด
แนวตั้งและแนวนอนที่ดีเป็นตารางบนแผนที่ซึ่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.5 มม.

ดังนั้นการพิจารณาในการแก้ไขแผนที่จะต้องพิจารณาจากความละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้
วัดและความหนาของเส้นกริดซึ่งเกิดจากการวัดระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปตามแกนของแผนที่จนถึง
จุดที่พิจารณา ดังนี้

$$\text{ระยะ} = \text{ปลายทาง} - \text{ต้นทาง}$$

$$\sigma^2 \text{ ระยะ} = \sigma^2 \text{ ปลายทาง} + \sigma^2 \text{ ต้นทาง}$$

ความคลาดเคลื่อนที่ปลายทางเกิดจากการนำไม้บรรทัดวัดไปยังจุดที่พิจารณา นั่นคือ
ความคลาดเคลื่อน ณ จุดปลายทางเกิดจากความคลาดเคลื่อนของไม้บรรทัดซึ่งมีค่า 0.5 มม. กับ
ความคลาดเคลื่อนของจุดบนแผนที่ซึ่งมีค่าประมาณ 0.3 มม. ดังนั้น

$$\begin{aligned} \sigma^2 \text{ ปลายทาง} &= 0.5^2 + 0.3^2 \\ &= 0.34 \text{ มม.}^2 \end{aligned}$$

ความคลาดเคลื่อนของจุดต้นทางเกิดจากการวัดระยะทางเมื่อนำไม้บรรทัดวัดหาไปยัง
เส้นกริด นั่นคือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากไม้บรรทัดมีค่าเท่ากับ 0.5 มม. กับความคลาดเคลื่อนของ
เส้นกริดมีค่าประมาณ 0.2 มม. ดังนั้น

$$\begin{aligned}\sigma^2 \text{ ต้นทาง} &= 0.5^2 + 0.2^2 \\ &= 0.29 \text{ มม.}^2\end{aligned}$$

เนื่องจากการอ่านค่าของจุดต้นทางและปลายทางของไม้บรรทัดเป็นอิสระต่อกัน เพราะฉะนั้นจะได้ความคลาดเคลื่อนของระยะทางมีค่าเท่ากับ

$$\sigma^2 \text{ ระยะ} = 0.34 + 0.29 \text{ มม.}^2$$

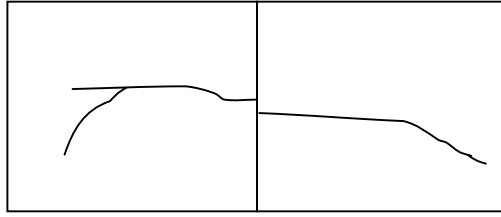
$$\sigma \text{ ระยะ} = 0.8 \text{ มม.}$$

เกณฑ์การพิจารณาแก้ไขแผนที่สมควรใช้ระดับความมีนัยสำคัญ 90% ในการทดสอบทางสถิติคือ 1.645σ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจที่จะทำการแก้ไขแผนที่ นั่นคือถ้าความเปลี่ยนแปลงบนแผนที่โตกว่าหรือเท่ากับ 1.3 มม. ก็ทำการพิจารณาแก้ไขแผนที่ ตัวอย่างเช่นจากตารางที่ 4.3 สำหรับแผนที่มาตราส่วน 1:1,000,000 มีระยะของตำแหน่งที่เปลี่ยนไปบนระนาบแผนที่เพียง 0.5 มม. ซึ่งมีระยะไม่เกินเกณฑ์การแก้ไขแผนที่ที่กำหนดคือ 1.3 มม. ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการแก้ไขแผนที่ในเชิงตำแหน่งแต่อย่างใด แต่สำหรับแผนที่ที่มีมาตราส่วนใหญ่กว่า 1:1,000,000 จะต้องได้รับการแก้ไขแผนที่ให้ถูกต้อง สำหรับผลกระทบในเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดบนระนาบแผนที่เมื่อเปลี่ยนพื้นหลักฐานคือ⁶

1) แผนที่ชุดเก่าต่อกับแผนที่ชุดใหม่ไม่ได้

เนื่องจากค่าพิกัดบนระนาบแผนที่มาตราส่วนที่ใหญ่กว่า 1:1,000,000 มีการเปลี่ยนแปลงทางระยะเกินเกณฑ์การแก้ไขแผนที่เมื่อนำแผนที่ชุดเก่าและชุดใหม่มาต่อกันจะทำให้แผนที่ต่อกันไม่ได้ตามภาพที่ 4.7

⁶อิทธิ ตรีวิริสดียวงศ์, เรื่องผลกระทบของการเปลี่ยนพื้นหลักฐานที่มีต่อกิจการแผนที่และ GIS, บรรยาย ณ ห้องสยามบอลรูม โรงแรมสยามอินเตอร์คอนติเนนตัล, 8 สิงหาคม 2543.



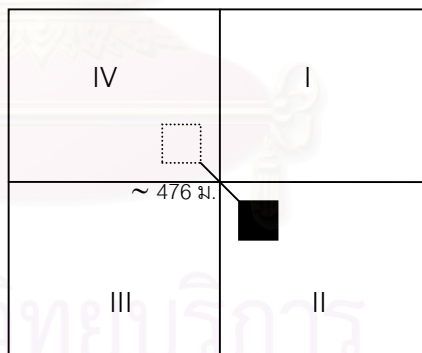
L7017

L7018

ภาพที่ 4.7 แสดงแผนที่ชุด L7017 ต่อกับ L7018

2) แผนที่ตัวเลขหรือ Digital Map ที่ได้รับการพัฒนาแล้วนำมาเชื่อมต่อกับ Digital Map ของพื้นหลักฐาน WGS84 ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้

3) สำหรับรายละเอียดของแผนที่ชุดเก่าที่อยู่ขอบระวางจะตกขอบระวางหรือจะปรากฏ ระวังข้างเคียงของแผนที่ชุดใหม่ ซึ่งจะมีผลทำให้หมายเลขระวางอ้างอิงเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างเช่น ตำแหน่งที่แทนด้วยสัญลักษณ์ ■ ปรากฏอยู่บนขอบแผนที่ชุดเก่าระวาง II แต่เมื่อเปลี่ยนพื้นหลักฐานจะปรากฏอยู่บนแผนที่ชุดใหม่ระวาง IV ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ □ ห่างจากตำแหน่งเดิมเป็นระยะทางเฉลี่ยประมาณ 476 เมตร ตามภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณขอบระวาง

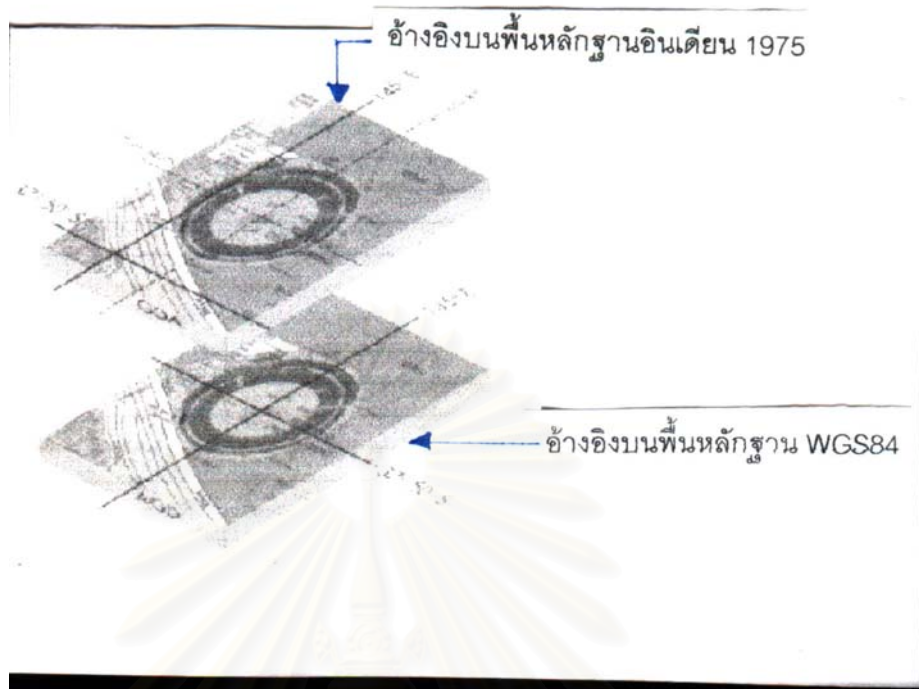
สำหรับกรมแผนที่ทหารเป็นหน่วยงานหลักในการผลิตแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งเป็นแผนที่ชุดมูลฐาน (Base Map) ของประเทศไทยทั้งนี้เพื่อสนับสนุนภารกิจทางการทหาร การพัฒนาประเทศและหน่วยงานของทางภาครัฐที่ต้องการใช้เป็นแผนที่อ้างอิงและปฏิบัติงานจากระยะทางที่เคลื่อนที่ไปเมื่อเปลี่ยนพื้นหลักฐานนำมาเปรียบเทียบลงบนระนาบแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ผลปรากฏว่าตำแหน่งเปลี่ยนไปเป็นระยะทางประมาณ 9.5 มม. ตามตารางที่ 4.3 ซึ่งเกินเกณฑ์ที่ใช้ในพิจารณาแก้ไขแผนที่คือ 1.3 มม. ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเปลี่ยนพื้นหลักฐานใน

การคำนวณงานทางด้านย็อดเดติคจากพื้นหลักฐานอินเดียยน 1975 เป็นพื้นหลักฐาน WGS84 มีผลกระทบต่อแผนที่ชุดมูลฐานของประเทศไทย (Base Map) สำหรับการดำเนินการแก้ปัญหาเรื่องนี้ของกรมแผนที่ทหารอาจจะสามารถสรุปหรือแยกดำเนินการได้ 2 วิธีการ คือ การแก้ไขแผนที่เดิมที่มีอยู่และการผลิตแผนที่ชุดใหม่

4.3.1 การแก้ไขแผนที่ชุดเดิม (L7017)

เนื่องจากการทำแผนที่ในปัจจุบันเป็นการทำแผนที่ระบบอัตโนมัติ ทำให้มีความสะดวกรวดเร็วในการผลิตและการแก้ไขแผนที่จากเดิม 18-23 ปี ให้เหลืออยู่ในห้วง 5 ปี ตามมาตรฐานสากล อีกทั้งการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ การเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานการคำนวณในงานย็อดเดติคจากพื้นหลักฐานอินเดียยน 1975 เป็นพื้นหลักฐาน WGS84 มีผลทำให้ค่าพิกัดบนระนาบแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 เปลี่ยนไปเกินเกณฑ์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การแก้ไขแผนที่ทำได้โดยการใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแปลงค่าพิกัดตำแหน่งบนระนาบแผนที่ระหว่างพื้นหลักฐานทั้งสอง กล่าวคือ การจัดทำแผนที่ในปัจจุบันของกองทำแผนที่กรมแผนที่ทหาร จะจัดทำแผนที่ระบบอัตโนมัติ (Digital Mapping) ซึ่งข้อมูลแผนที่ต่างๆ เช่นแผนที่ดินฉบับ ต้นร่างแผนที่ รูปถ่ายทางอากาศและข้อมูลเชิงตัวเลขจากแหล่งอื่นๆ จะถูกจัดเก็บด้วยอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์และโปรแกรมประยุกต์ใช้งานให้อยู่ในรูปเชิงตัวเลข (Digital Data) ดังนั้นการแปลงค่าพิกัดกริดยูทีเอ็มบนแผนที่ชุด L7017 เป็นค่าพิกัดกริดยูทีเอ็มซึ่งอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน WGS84 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) นำค่าพิกัดกริดยูทีเอ็ม (Northing, Easting) บนแผนที่ชุด L7017 ซึ่งข้อมูลทุกประเภทจะถูกจัดเก็บไว้ในรูปเชิงตัวเลขมาแปลงเป็นค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (ϕ, λ)
- 2) แปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ในข้อ 1) เป็นระบบพิกัดฉากสามมิติ (X, Y, Z)
- 3) นำค่าพิกัดฉากสามมิติในข้อ 2) มาแปลงเป็นค่าพิกัดฉากสามมิติซึ่งอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน WGS84 ด้วยค่าพารามิเตอร์ที่จัดเตรียมเอาไว้
- 4) นำค่าพิกัดฉากสามมิติใหม่ที่แปลงได้ในข้อ 3) มาแปลงเป็นค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์และค่าพิกัดกริดยูทีเอ็ม ตามลำดับ และในขั้นตอนสุดท้ายนี้จะทำให้ได้ค่าพิกัดกริดยูทีเอ็มซึ่งอ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 ตามต้องการ ดังแสดงให้เห็นภาพได้อย่างคร่าวๆ ตามภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงภาพการแปลงค่าพิกัดบนระนาบแผนที่

สำหรับวิธีการแปลงค่าพิกัดบนแผนที่กริดยูทีเอ็มทั้งสองระบบที่กองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหารใช้คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 มิติของ Bursa-Wolf(Bursa-Wolf(3-D) Transformation) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม MGE Projection Manager ตัวแปรที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัดสามมิติมี 3 ค่า⁷ คือ ค่าเลื่อนทางแกน X (ΔX) 210 เมตร, ค่าเลื่อนทางแกน Y (ΔY) 814 เมตร และค่าเลื่อนทางแกน Z (ΔZ) 289 เมตร

หมายเหตุ สำหรับค่าพารามิเตอร์ของประเทศไทย ที่กรมแผนที่ทหารประกาศใช้อย่างเป็นทางการในการแปลงค่าพิกัดทางยึดอเดติกระหว่างพื้นฐาน WGS84 กับ พื้นฐานอินเดีย 1975 ในขณะนี้คือ ค่าเลื่อนทางแกน X (ΔX) 206 เมตร, ค่าเลื่อนทางแกน Y (ΔY) 837 เมตร และค่าเลื่อนทางแกน Z (ΔZ) 295 เมตร

⁷GEODESY AND GEOPHYSICS DEPARTMENT, Publication SMWD1-96-1564
Final Report Geodetic Survey Thailand National Network, (September 1996), P. 23.

จากการวิจัยได้ทำการทดลองแปลงค่าพิกัดย็อดเดติกที่อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 เป็นค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ที่อ้างอิงบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ด้วยค่าพารามิเตอร์ของกองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหารและค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับค่าพิกัดบนระนาบแผนที่เดิมซึ่งอ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 พบว่ามีความแตกต่างทางระยะมากที่สุดประมาณ 3.063 และ 2.165 เมตร ตามลำดับ เมื่อนำความแตกต่างทางระยะนี้มาเปรียบเทียบกับบนแผนที่มาตราส่วนต่างๆ จะได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าพิกัดบนระนาบแผนที่มาตราส่วนต่างๆ

แผนที่มาตราส่วนต่างๆ	ระยะทางของตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปบนแผนที่	
	พารามิเตอร์กองทำแผนที่	พารามิเตอร์จากการวิจัย
1:1,000	3.1 มม.	2.2 มม.
1:4,000	0.8 มม.	0.5 มม.
1:10,000	0.3 มม.	0.2 มม.
1:25,000	0.1 มม.	0.1 มม.
1:50,000	0.06 มม.	0.04 มม.
1:250,000	0.01 มม.	0.009 มม.
1:1,000,000	0.003 มม.	0.002 มม.

จากเกณฑ์การพิจารณาแก้ไขแผนที่คือ 1.3 มม. สามารถพิจารณาได้ว่าการแปลงค่าพิกัดด้วยพารามิเตอร์จะมีผลกระทบต่อแผนที่มาตราส่วน 1:1,000 ซึ่งเป็นแผนที่มาตราส่วนใหญ่ ดังแสดงได้ตามตารางที่ 4.4 ส่วนแผนที่ที่มาตราส่วนเล็กกว่า 1:1,000 สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแปลงค่าพิกัดได้ การแก้ไขแผนที่ด้วยวิธีนี้ช่วยให้ประหยัดงบประมาณที่ไม่ต้องทำการผลิตแผนที่ชุดใหม่และประหยัดเวลาขณะระดมแผนที่ทหารผลิตแผนที่ชุดใหม่ขึ้นมาใช้อาจใช้วิธีการแก้ไขแผนที่ด้วยวิธีการแปลงค่าพิกัดโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ไปก่อน

4.3.2 การผลิตแผนที่ชุดใหม่

กรมแผนที่ทหารเป็นหน่วยงานหลักในการจัดทำและผลิตแผนที่ของประเทศไทย ทั้งนี้เพื่อสนับสนุนภารกิจทางการทหารและงานในด้านต่างๆ ของหน่วยงานภาครัฐ ดังนั้นเพื่อตอบสนอง

ความต้องการของการใช้แผนที่ในด้านต่างๆ และเพื่อให้แผนที่ของประเทศไทยเป็นที่ยอมรับในระดับสากล กรมแผนที่ทหารจึงมีโครงการเพิ่มขีดความสามารถการผลิตแผนที่เชิงเส้น(Line Map) เริงรหัสหรือเชิงตัวเลข(Digital Map) มาตรฐาน 1:50,000 ซึ่งเป็นแผนที่ชุดมาตรฐานของประเทศไทยขึ้นมาใหม่ โดยแผนที่ชุดใหม่นี้มีชื่อว่า L7018 มีจำนวนทั้งสิ้น 830 ระวัง ตามดัชนีแผนที่(Index) ที่แสดงให้ไว้ในภาพที่ 4.10 ค่าพิกัดของแผนที่ชุดใหม่นี้จะอ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 การผลิตแผนที่ชุดใหม่นี้กรมแผนที่ทหารได้ดำเนินการผลิตเองส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งได้จัดจ้างหน่วยงานแผนที่สหรัฐ(NIMA) เป็นผู้ผลิต ทั้งนี้เพื่อให้แล้วเสร็จและทันใช้ในต้นปี พ.ศ.2546 การผลิตแผนที่ชุดใหม่จึงเป็นอีกหนทางหนึ่งในการแก้ปัญหาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ในการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิง ถึงแม้จะต้องใช้งบประมาณในการผลิตแผนที่ค่อนข้างสูงแต่จะทำให้กิจการแผนที่ของประเทศไทยเป็นที่ยอมรับในระดับสากล นอกจากนี้แผนที่ชุดใหม่ยังช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้โดยตรงในแง่การหาค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ด้วยเครื่องมือ GPS ชนิดต่างๆ แต่ถ้าต้องการทราบค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์และค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ที่อ้างอิงกับพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ที่ทำยระวางของแผนที่ชุด L7018 ทุกระวางจะบอกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัดพื้นหลักฐานด้วย ตัวอย่างเช่น แผนที่ระวาง 4741 – II ที่ทำยระวางจะปรากฏข้อความว่าเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษว่า

การแปลงค่าพิกัดจาก WGS84 เป็น INDIAN1975

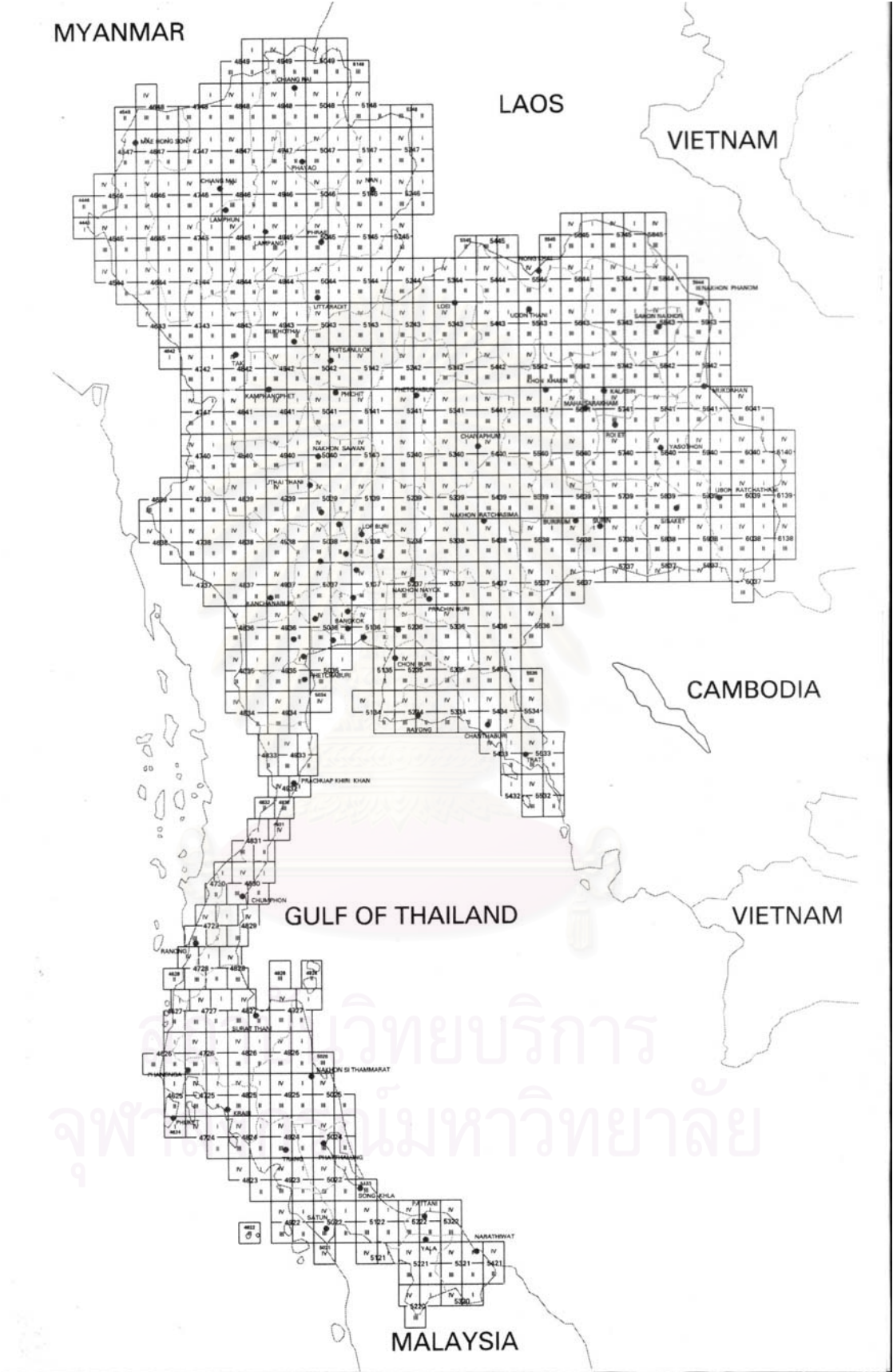
กริด : บวกระยะวันออก 335 เมตร, ลบระยะเหนือ 304 เมตร

ทางภูมิศาสตร์ : บวกเส้นแวง 11.2 พิลิปดา, ลบเส้นรุ้ง 5.2 พิลิปดา

COORDINATE CONVERSION WGS84 TO INDIAN 1975

Grid : add 335 m.E. ; Subtract 304 m.N.

Geographic : add 11.2" Long. ; Subtract 5.2 " Lat.



ภาพที่ 4.10 แสดงดัชนีของแผนที่ชุด L7018

4.3.2.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตแผนที่ชุดใหม่ (L7018)

1) ปริมาณความต้องการใช้แผนที่ชุดใหม่ L7018

ในการผลิตแผนที่ชุด L7018 มาตรฐาน 1:50,000 กรมแผนที่ทหารได้ดำเนินการผลิตเองส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งได้จัดจ้างหน่วยงาน NIMA ให้เป็นผู้ผลิต ค่าพิกัดของแผนที่ชุดนี้จะอ้างอิงบนพื้นหลักฐานดาวเทียมที่ชื่อว่าพื้นหลักฐาน WGS84 จากความแตกต่างของค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น กรมแผนที่ทหารจำเป็นต้องผลิตแผนที่ชุดใหม่เพื่อรองรับกับความต้องการของหน่วยงานทางภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับการใช้แผนที่ แต่เนื่องจากกรมแผนที่ทหารยังไม่ทราบความต้องการใช้แผนที่ชุดใหม่ที่แน่ชัด ทั้งนี้เพราะการหาค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ชุดใหม่อาจทำได้โดยการใช้ค่าพารามิเตอร์แปลงค่าพิกัดระหว่างแผนที่ชุดเก่าและแผนที่ชุดใหม่ได้ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้บางหน่วยงานที่มีความจำเป็นน้อยมากที่จะต้องใช้แผนที่ชุดใหม่หรือมีงบประมาณไม่เพียงพอในการจัดซื้อแผนที่ ไม่จำเป็นต้องซื้อแผนที่ชุดใหม่ จากสาเหตุเหล่านี้จึงทำให้กรมแผนที่ทหารไม่ทราบปริมาณที่แน่นอนในการใช้แผนที่ชุดใหม่ แต่ในขั้นต้นกรมแผนที่ทหารมีแผนที่ที่จะพิมพ์แผนที่ชุด L7018 ราวละประมาณ 1,500 - 2,000 แผนที่

2) ปริมาณแผนที่ชุดเดิม L7017

ปัจจุบันแผนที่ชุดเดิมมีจำนวนที่ยังคงค้างอยู่ในคลังเก็บแผนที่อยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อมีการผลิตแผนที่ชุดใหม่ขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อแผนที่ชุดเก่าที่ยังไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นเราควรที่จะหาทางใช้ประโยชน์จากแผนที่ชุดเดิมให้มากที่สุดทั้งนี้เพื่อให้คุ้มค่ากับงบประมาณที่ใช้ในการผลิต

3) ความแตกต่างของระบบพิกัดระหว่างประเทศ

เนื่องจากเทคโนโลยีของการสำรวจและการจัดทำแผนที่ในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่นประเทศเพื่อนบ้านของไทยบางประเทศยังคงใช้การหาตำแหน่งหรือค่าพิกัดแบบเดิมๆ เช่น งานสามเหลี่ยมและยังคงคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดทางราบโดยอ้างอิงกับรูปทรงรีเอเวอเรสต์อยู่ ความแตกต่างของระบบพิกัดระหว่างประเทศอาจทำให้เกิดความยุ่งยากเกี่ยวกับ

กิจการทางด้านการทหารและการป้องกันประเทศ เช่น ความยุ่งยากในการหาเป้าหมายของข้าศึก หรือกรณีเกิดปัญหาข้อพิพาทเรื่องดินแดนระหว่างประเทศจำเป็นต้องใช้แผนที่ชุดเดียวกับประเทศเพื่อนบ้านหรืออาจจะใช้แผนที่ต่างชุดกันก็ได้แต่จะต้องรู้ความสัมพันธ์ (ค่าพารามิเตอร์) ของแผนที่ทั้งสองระบบทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการใช้แผนที่

4.3.2.2 แนวทางแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้นในการผลิตแผนที่ชุดใหม่ (L7018)

1) ติดต่อสอบถามเกี่ยวกับความต้องการในการใช้แผนที่ชุดใหม่ไปยังหน่วยงานของภาครัฐพร้อมทั้งประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณหาค่าพิกัดทางราบของกรมแผนที่ทหารให้ทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจทางราบ

2) แผนที่ที่เหลืออยู่ในคลังแผนที่ทั้งระวางที่เป็นของเก่าและระวางที่แก้ไขปรับปรุงแล้ว ควรจะแจกจ่ายให้กับหน่วยงานที่ขอความอนุเคราะห์มายังกรมแผนที่ทหารทั้งนี้เพื่อเป็นวิทยาทาน และเป็นการจำหน่ายแผนที่ที่ยังคงค้างอยู่ในคลังแผนที่เป็นจำนวนมาก

3) เนื่องจากการคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดบนแผนที่ของประเทศเพื่อนบ้านบางประเทศของไทยยังอ้างอิงอยู่กับพื้นหลักฐานเดิมอยู่ เช่น พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1954 การรู้ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐานเหล่านี้กับพื้นหลักฐานดาวเทียมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในกิจการทางด้านการทหารและการป้องกันประเทศหรือกิจการอื่นๆ ที่ต้องเกี่ยวข้องกับพื้นที่บริเวณชายแดน

4.4 ผลกระทบต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดและการผลิตแผนที่

กรมแผนที่ทหารซึ่งเป็นหน่วยงานหลักของประเทศไทยในการดำเนินงานรังวัดและจัดทำแผนที่ มีนโยบายที่จะดำเนินการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณงานทางเยื้องเดดติค ซึ่งแต่เดิมคือพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เป็นพื้นหลักฐานดาวเทียมคือพื้นหลักฐาน WGS84 ทั้งนี้เพื่อความละเอียดถูกต้องและความสะดวกรวดเร็วในงานด้านการสำรวจ อีกทั้งเพื่อให้เป็นระบบสากลในงานด้านการรังวัดและการจัดทำแผนที่ เมื่อพื้นหลักฐานเปลี่ยนไปค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ย่อมเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างหน่วยงานหนึ่งหน่วยงาน

ที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดและการผลิตแผนที่ซึ่งอ้างอิงกับกรมแผนที่ทหารที่จะต้องได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้คือ กรมที่ดิน

กรมที่ดินเป็นหน่วยงานหนึ่งที่ใช้แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7017 (อ้างอิงบนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975) ของกรมแผนที่ทหารอ้างอิงในการดำเนินงานของกรมที่ดิน เช่น การวางแผนงาน หรือการเรียกชื่อแผนที่ระวางแผนที่ในระบบพิกัดฉากยูทีเอ็ม ขณะเดียวกันกรมที่ดินมีวัตถุประสงค์ที่จะต้องพัฒนาองค์กรไปสู่องค์กรหลักทางด้านข้อมูลข่าวสารในด้านที่ดิน เช่น ข้อมูลทางทะเบียน ข้อมูลทางด้านกรังวัดและการจัดทำแผนที่ และเพื่อป้องกันความสับสนค่าพิกัดหลักฐานแผนที่ไม่ตรงกับส่วนราชการอื่นซึ่งจะทำให้เกิดความไม่น่าเชื่อถือต่อกรมที่ดิน กรมที่ดินจึงมีแนวคิดที่จะเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงตามกรมแผนที่ทหารอย่างแน่นอนเพื่อประโยชน์ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ก็ยังไม่มีการดำเนินการในเรื่องนี้ทั้งนี้เพราะต้องรอให้กรมแผนที่ทหารดำเนินการผลิตแผนที่ชุดใหม่ให้เสร็จก่อนแต่ก็ได้ศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับกรมที่ดินจากการเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานครั้งนี้ดังนี้

4.4.1 โฉนดที่ดิน

ปัจจุบันประเทศไทยมีโฉนดที่ดินอยู่ประมาณ 16 ล้านฉบับ ซึ่งเอกสารหลักฐานเหล่านี้หากมีการปรับเปลี่ยนการเรียกชื่อแปลงที่ดินในปัจจุบัน ก็ต้องนำมาแก้ไขตัวเลขที่ดินเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะกระทบทั้งเอกสารโฉนดที่ดินฉบับสำนักงานที่ดินและฉบับของประชาชน ทำให้เอกสารสกรปรกไม่สวยงามสมกับเป็นเอกสารราชการและทำให้ประชาชนขาดความมั่นใจในเอกสารนี้ด้วย

4.4.2 ระวางแผนที่ในระบบพิกัดฉากยูทีเอ็ม

ปัจจุบันกรมที่ดินได้สร้างและใช้ระวางแผนที่ระบบพิกัดฉากยูทีเอ็ม (เดิมใช้ระบบ 29 ศูนย์) ในส่วนราชการแล้ว มีจำนวนประมาณ 150,000 ระวาง หากต้องเปลี่ยนเป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 จะต้องจัดสร้างระวางแผนที่ในระบบพิกัดฉากยูทีเอ็มใหม่ทั้งหมด เนื่องจากการเรียกชื่อระวางแผนที่ในระบบพิกัดฉากยูทีเอ็มของกรมที่ดินเรียกอ้างอิงจากค่าพิกัดฉากหลักหน่วยและหลักสิบของกิโลเมตรของค่าพิกัดฉาก หากมีการเลื่อนไปของค่าพิกัดก็จะทำให้กริดของระวางเคลื่อนไปด้วย แปลงที่ดินที่เคยอยู่ในระวางหนึ่งต้องไปอยู่ในระวางข้างเคียง ดังนั้นหากต้องการเรียกชื่อระวางด้วยระบบเดิมก็ต้องจัดสร้างระวางแผนที่ขึ้นใหม่ทั้งหมด

4.4.3 ฐานข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

โครงการพัฒนากรรมที่ดินและเร่งรัดการออกโฉนดที่ดินทั่วประเทศ ซึ่งได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2528 กรมที่ดินได้จัดสร้างหมุดหลักฐานแผนที่ควบคุมด้วยระบบดาวเทียมมากกว่า 4,000 หมุด และหมุดหลักฐานโครงการแผนที่ได้มากกว่าหนึ่งล้านหนึ่งแสนหมุด หากมีการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดฉากไปสู่พื้นหลักฐาน WGS84 จะต้องทำการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดเหล่านี้ทั้งหมด และแก้ไขเอกสารที่ส่งใช้ในราชการแล้วทั้งหมดอีกด้วย นอกจากนี้กองรังวัดและทำแผนที่อยู่ในระหว่างการจัดทำฐานข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ซึ่งได้ดำเนินการไปแล้วหลายจังหวัด เมื่อมีการคำนวณค่าพิกัดหมุดหลักฐานแผนที่เป็นค่าใหม่ก็ต้องปรับปรุงฐานข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดซึ่งต้องใช้ระยะเวลาดำเนินการนานพอสมควร

4.4.4 ระบบสารสนเทศที่ดิน

ปัจจุบันกรมที่ดินได้ดำเนินการจัดทำระบบสารสนเทศที่ดินให้แก่สำนักงานที่ดินแล้วจำนวน 5 แห่งในกรุงเทพมหานคร หากต้องมีการเปลี่ยนพื้นหลักฐานใหม่ก็ต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดของแปลงที่ดินใหม่ด้วย ระบบข้อมูลต่างๆ และฐานข้อมูลเชื่อมโยงจะต้องปรับเปลี่ยนทั้งหมด เนื่องจากเลขที่ดินในระวางแผนที่จะเปลี่ยนไปทำให้ข้อมูลทุกประเภทจะต้องเปลี่ยนแปลงไปหมด

จากผลกระทบที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร กรมที่ดินได้วางแผนและแนวทางในการดำเนินงานเกี่ยวกับเรื่องนี้ดังนี้

1) การดำเนินการปรับเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิง ไม่ควรเปลี่ยนในทันทีทันใดที่กรมแผนที่ทหารเริ่มดำเนินการ ควรมีระยะเวลาในการเตรียมการพอสมควรอย่างน้อยควรให้แล้วเสร็จการดำเนินงานภายใต้โครงการพัฒนากรรมที่ดินฯ ในปี พ.ศ.2547 เสียก่อน

2) ขณะนี้กองรังวัดและทำแผนที่ควรคำนวณค่าพิกัดหมุดหลักฐานแผนที่จากการรับสัญญาณดาวเทียมให้มีค่าพิกัดยูทีเอ็มอยู่บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 และพื้นหลักฐาน WGS84

3) หลังจากคำนวณค่าพิกัดหมุดหลักฐานแผนที่จากการรับสัญญาณดาวเทียมให้มีค่าพิกัดจากสองระบบแล้ว ได้ส่งค่าพิกัดจากคำนวณเส้นโครงการแผนที่เพื่อให้หมุดหลักฐานของเส้นโครงการแผนที่ที่มีค่าพิกัดจากอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 ด้วยโดยจะคำนวณทุกเส้นโครงการ

4) กองรังวัดและทำแผนที่ได้จัดทำฐานข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่โดยให้สามารถเรียกข้อมูลพิกัดจากบนพื้นหลักฐาน WGS84 ได้แต่ในชุดส่งใช้ราชการนั้นให้ใช้ค่าพิกัดในพื้นที่ฐานอินเดีย 1975 ก่อน

5) การดำเนินการรังวัดและทำแผนที่จำเป็นต้องดำเนินการต่อไปทั้งในเรื่องการเดินทางสำรวจออกโฉนดที่ดิน การปรับปรุงระวางแผนที่ การรังวัดออกหนังสือสำคัญสำหรับที่หลวงและการรังวัดเฉพาะรายควรรังวัดโดยใช้เครื่องมือและเก็บค่าพิกัดให้อยู่ในรูปแบบของดิจิทัล

6) เมื่อมีความพร้อมให้ทำการแปลงค่าพิกัดที่อยู่บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ไปเป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 โดยดำเนินการที่ละจังหวัด

จากการศึกษาผลกระทบและแนวทางในการดำเนินงานเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานของกรมที่ดินเป็นตัวอย่างที่ดีให้กับหน่วยงานอื่นๆ ที่ใช้แผนที่ของกรมแผนที่ทหารอ้างอิงในการทำงาน ความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนพื้นหลักฐานของหน่วยงานอื่นๆ ที่ทำงานเกี่ยวกับงานด้านการสำรวจและจัดแผนที่มีความจำเป็นมากทั้งนี้เพื่อความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันและเพื่อที่จะก้าวไปสู่ระบบสากลในงานรังวัดและจัดทำแผนที่ของประเทศไทย แต่การจะเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานครั้งนี้จะมีปัญหามากน้อยแค่ไหนอยู่ที่หน่วยงานนั้นๆ ต้องมีการศึกษา วางแผนและเตรียมการเพื่อรองรับปัญหาต่างๆ ให้ดีอย่างเช่นกรมที่ดินที่กำลังดำเนินการอยู่ในขณะนี้

4.5 สรุปผลกระทบต่องานรังวัดและกิจการแผนที่เมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 แทนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

1. การเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณงานรังวัดขั้นสูงหรืองานทางด้านเยื้องคดีมีผลให้ค่าพิกัดตำแหน่งทางราบที่คำนวณได้เปลี่ยนไป ทั้งนี้เพราะรูปทรงเรขาคณิตที่ใช้อ้างอิงในงานคำนวณเปลี่ยนไป ปัจจุบันประเทศไทยใช้พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ซึ่งอ้างอิงกับรูปทรงรีเอเวอเรสต์ และในอนาคตจะเปลี่ยนไปใช้พื้นหลักฐานดาวเทียมซึ่งอ้างอิงกับรูปทรงรี WGS84

ขนาด รูปร่าง และทิศทางการวางตัวของรูปทรงรี WGS84 จะแตกต่างจากรูปทรงรีเอเวอเรสต์ จึงทำให้ค่าพิกัดทางยี่ออดเดซีที่คำนวณได้เปลี่ยนไปจากตำแหน่งเดิมประมาณ 476 เมตร

2. จากข้อ 1 เมื่อค่าพิกัดตำแหน่งทางยี่ออดเดซีเปลี่ยนไปจะมีผลทำให้ค่าพิกัดบนระนาบแผนที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่าค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ที่กริดยูทีเอ็ม ณ จุดเดียวกันแต่อ้างอิงคนละพื้นหลักฐานของประเทศไทยจะมีค่าพิกัดต่างกันตามตารางที่ 4.3 แผนที่ที่ได้รับผลกระทบได้แก่แผนที่มาตราส่วนใหญ่กว่า 1:1,000,000 ซึ่งมีค่าความต่างทางระยะบนระนาบแผนที่มาตราส่วนต่างๆ เกินเกณฑ์การแก้ไขแผนที่ที่กำหนดไว้คือ 1.3 มม. แนวทางแก้ไขที่กรมแผนที่ทหารกำลังดำเนินการอยู่ขณะนี้มียู่ 2 แนวทาง ได้แก่ แนวทางแรกคือการใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแปลงค่าพิกัดระหว่างสองพื้นหลักฐานและแนวทางที่สองคือการผลิตแผนที่กริดยูทีเอ็มชุดใหม่ (L7018) ขึ้นมาใช้แทนแผนที่ชุดเดิม (L7017) คาดว่าจะแล้วเสร็จในต้นปี พ.ศ.2546

3. จากการเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณงานทางด้านยี่ออดเดซีของประเทศไทย ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดและกิจการแผนที่ซึ่งอ้างอิงอยู่กับกรมแผนที่ทหารได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานครั้งนี้ด้วย ตัวอย่างเช่น กรมที่ดิน ทั้งนี้เพราะค่าพิกัดอ้างอิงตำแหน่งทางราบเปลี่ยนไปจากเดิม ส่วนผลกระทบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับพิจารณาถึงความจำเป็นในการเปลี่ยนพื้นหลักฐานของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดและกิจการแผนที่รวมถึงการวางแผนที่จะเปลี่ยนพื้นหลักฐานของหน่วยงานต่างๆ เหล่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 กับพื้นผิวยืดของประเทศไทย

จากการวิจัยครั้งนี้ได้คำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA จำนวน 176 หมุด รวมกับหมุดที่ทำการเชื่อมโยงเข้ากับโครงข่าย NIMA อีก 24 หมุด รวมเป็นหมุดหลักฐานดาวเทียมระบบ GPS ที่นำเข้าร่วมกับการปรับแก้โครงข่ายครั้งนี้ทั้งสิ้น 204 หมุด โดยใช้หมุดที่ได้จากพื้นหลักฐาน ITRF ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องในระดับเซนติเมตรเป็นจุดยึดตรึงโครงข่ายที่ใช้ในการวิจัย จากการคำนวณปรับแก้ทำให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 จากนั้นได้คัดเลือกหมุดที่ได้จากโครงข่ายงานสามเหลี่ยมซึ่งมีทั้งค่าพิกัดที่อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 มาทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นหลักฐานกับสภาพพื้นผิวยืดของประเทศไทยโดยเปรียบเทียบกับค่าพิกัดทางดาราศาสตร์ ซึ่งพื้นหลักฐานที่ดีและเหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้คือ

- 1) $\sum(\xi^2 + \eta^2) = \text{ค่าต่ำสุด}$
- 2) $\sum(N^2) = \text{ค่าต่ำสุด}$

จากการวิจัยพบว่าพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ต่างก็มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับพื้นผิวยืดประเทศไทยต่างกัน กล่าวคือ พื้นหลักฐาน WGS84 มีทิศทางการวางตัวที่เหมาะสมกับพื้นผิวยืดของประเทศไทยมากกว่าพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เพราะ $\sum(\xi^2 + \eta^2)$ มีค่าต่ำสุด ในขณะที่พื้นหลักฐานอินเดีย 1975 มีความแนบสนิทกับพื้นผิวยืดของประเทศไทยมากกว่าพื้นหลักฐาน WGS84 ทั้งนี้เพราะ $\sum(N^2)$ มีค่าต่ำสุด ในการหาค่าพิกัดทางราบทั้งปริมาณความเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งและความสูงยืดอนั้นมีความจำเป็นต่อการหาค่าทิศทางและระยะทางที่รังวัดมาได้ก่อนที่จะนำค่าที่ได้รับมาคำนวณลงบนพื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิง แต่ถ้าพิจารณาในแง่การคำนวณปรับแก้เพื่อกำหนดการวางตัวที่แน่นอนของโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบลงบนพื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิงด้วยวิธีการสำรวจที่เหมือนกันเช่นการสร้างโครงข่ายงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ซึ่งจำเป็นจะต้องอาศัยวิธีการรังวัดทางดาราศาสตร์มาช่วย ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดดาราศาสตร์และค่าพิกัดยืดอนี้มีดังนี้

$$\phi = \Phi - \xi,$$

$$\lambda = \Lambda - \eta \sec \phi,$$

$$\alpha = A - \eta \tan \phi \quad (\text{สมการลาปลาซ, Laplace's Equation})$$

จากสมการข้างบนจะเห็นว่าความแตกต่างระหว่างค่าพิกัดของทั้งสองระบบนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง (ξ, η) ถ้ามุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งมีขนาดต่ำมากหรือเป็นศูนย์จะทำให้ค่าพิกัดทั้งสองระบบมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณทางดาราศาสตร์ที่รังวัดมาได้สามารถใช้เป็นค่าพิกัดยี่ห้อเดซีได้เลยโดยไม่ต้องมีการตรวจแก้ทิศทางหรือถ้ามีก็มีปริมาณที่น้อย ค่าพิกัดยี่ห้อเดซีที่ได้จากการรังวัดทางดาราศาสตร์นี้จะถูกนำไปเป็นค่าพิกัดในการคำนวณเพื่อกำหนดทิศทางการวางตัวของโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบลงบนพื้นผิวของรูปทรงรีอ้างอิงต่อไป จากผลการวิจัยในข้อ 3.3 จะเห็นว่าขนาดของมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่ง $\sum(\xi^2 + \eta^2)$ ของพื้นหลักฐาน WGS84 มีค่าต่ำสุด ประกอบกับในงานรังวัดของดาวเทียมระบบ GPS ด้วยเทคนิคและวิธีการรังวัดแบบต่างๆ จะทำให้หมุดทั่วโครงข่ายมีความถูกต้องสูงและอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน (Homogeneous Accuracy) อีกทั้งขีดความสามารถในการทำงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS มีอยู่อย่างไม่จำกัดและสำหรับในงานด้านการแผนที่ค่าพิกัดที่ได้จากการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS สามารถนำมาใช้อ้างอิงกับแผนที่ชุดใหม่ที่กรมแผนที่ทหารกำลังดำเนินการผลิตได้ทันที ทำให้เกิดความสะดวกในการอ่านหรือใช้แผนที่ ดังนั้นเพื่อประโยชน์ในงานรังวัดและกิจการแผนที่ของประเทศไทยและเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือให้งานรังวัดและกิจการแผนที่ของประเทศไทยเป็นที่ยอมรับในระดับสากลจึงเป็นการเหมาะสมที่ประเทศไทยจะเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84

5.2 การแปลงค่าพิกัดระหว่างพื้นหลักฐาน WGS84 และพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

จากผลการสรุปในข้อ 5.1 ดังนั้นเมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 อ้างอิงในการคำนวณงานรังวัดขั้นสูงแทนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 จึงจำเป็นต้องจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบขึ้นมาใหม่ซึ่งโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบนี้จะอ้างอิงกับพื้นหลักฐาน WGS84 และค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 จะต้องมีความสัมพันธ์กับพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ด้วย สำหรับความสัมพันธ์นี้จะอาศัยค่าพารามิเตอร์ในการแปลงค่าพิกัดพื้นหลักฐานทั้งสองระบบ จากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 ของประเทศไทยคือค่าเลื่อนทางแกน X, แกน Y และแกน Z ซึ่งมีค่าดังนี้

ค่าเลื่อนทางแกน X (ΔX) = 204.4 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Y (ΔY) = 837.7 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Z (ΔZ) = 294.7 เมตร

5.3 ผลกระทบต่องานรังวัดอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนพื้นหลักฐานและแนวทางแก้ไข

การเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณงานรังวัดชั้นสูงหรืองานเยื่อเดติกของประเทศไทยจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เป็นพื้นหลักฐาน WGS84 มีผลทำให้ค่าพิกัดตำแหน่งทางราบเปลี่ยนไปจากเดิมเฉลี่ยประมาณ 370 เมตร ทั้งนี้เพราะขนาดของรูปทรงรีที่ใช้อ้างอิงในการคำนวณงานมีขนาดและรูปร่างเปลี่ยนไป จากเดิมพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 ใช้รูปทรงรีเอเวอเรสต์ ซึ่งเป็นรูปทรงรีที่ใช้อ้างอิงเฉพาะพื้นที่หรือภูมิภาคเป็นรูปทรงรีอ้างอิงในการคำนวณงาน แต่สำหรับพื้นหลักฐาน WGS84 จะเป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงของตำแหน่งต่างๆ ทั่วโลกโดยมีรูปทรงรี WGS84 อ้างอิงในการคำนวณงาน

สำหรับแนวทางแก้ไขในงานรังวัดควบคุมเยื่อเดติกเมื่อประเทศไทยจะเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 แทนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 คือ การจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบทั้งโครงข่ายหลักและโครงข่ายรองขึ้นมาใหม่ ซึ่งปัจจุบันกรมแผนที่ทหารได้ดำเนินการจัดสร้างแล้วโดยให้ชื่อโครงข่ายนี้ว่าโครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม ค่าพิกัดในโครงข่ายนี้จะใช้เป็นหมุดอ้างอิงให้กับการปฏิบัติงานรังวัดและการสำรวจของกรมแผนที่ทหารเองและหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดและการสำรวจ ซึ่งจะมีผลทำให้งานทางด้านสำรวจของประเทศไทยมีมาตรฐานเดียวกันและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

5.4 ผลกระทบต่องานผลิตแผนที่อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนพื้นหลักฐานและแนวทางแก้ไข

การเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดทางราบจากพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เป็นพื้นหลักฐาน WGS84 นอกจากจะทำให้ค่าพิกัดเยื่อเดติกเปลี่ยนแปลงไปแล้วยังส่งผลกระทบต่อค่าพิกัดบนระนาบแผนที่กริดยูทีเอ็มเปลี่ยนแปลงไปด้วย จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ในแต่ละโซนของประเทศไทยจะมีขนาดต่างกัน โดยโซนที่ 47 ค่าพิกัดจะเปลี่ยนแปลงจากเดิมเป็นระยะประมาณ 450 เมตรและโซนที่ 48 ค่าพิกัดจะเปลี่ยนแปลงจากเดิมเป็นระยะประมาณ 520 เมตร เมื่อคิดเป็นระยะเฉลี่ยโดย

รวมบนแผนที่ชุดมูลฐานของประเทศไทยคือแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 จะมีระยะเปลี่ยนไปประมาณ 9.5 มม. ซึ่งมีขนาดเกินเกณฑ์การแก้ไขแผนที่คือ 1.3 มม. ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานครั้งนี้จะมีผลต่อค่าพิกัดบนระนาบแผนที่มาตราส่วนต่างๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่าแผนที่มาตราส่วน 1:1,000,000 ด้วย สำหรับแนวทางการแก้ปัญหาผลกระทบต่องานทางด้านแผนที่เมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 ซึ่งกรมแผนที่กำลังดำเนินการอยู่ในขณะนี้คือ

1. การแก้ไขแผนที่ชุดเดิม

เนื่องจากมีข้อมูลบางส่วนของแผนที่ชุด L7017 ได้ถูกเก็บไว้ในระบบข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Mapping) ดังนั้นเมื่อต้องการทราบค่าพิกัดของแผนที่ชุดเดิมที่อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 ก็สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัยแปลงค่าพิกัดบนระนาบแผนที่ที่อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐานอินเดียเยน 1975 เป็นค่าพิกัดบนระนาบแผนที่อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 เหมาะสำหรับหน่วยงานที่ไม่มีเวลาจำเป็นจะใช้แผนที่มากนักหรือหน่วยงานที่มีความจำเป็นเร่งด่วนที่จะต้องใช้แผนที่ที่อ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 ขณะที่รอการผลิตแผนที่ชุดใหม่อยู่ อีกทั้งการแก้ไขแผนที่ชุดเดิมด้วยวิธีนี้จะช่วยประหยัดงบประมาณในการที่ไม่ต้องผลิตแผนที่ขึ้นมาใช้ใหม่

2. การผลิตแผนที่ชุดใหม่ (L7018) ขึ้นมาใช้แทนแผนที่ชุดเดิม (L7017)

ปัจจุบันประเทศไทยโดยกรมแผนที่ทหารมีโครงการผลิตแผนที่โดยร่วมมือกับหน่วยงานทำแผนที่สหรัฐหรือ NIMA ในการจัดทำแผนที่ชุด L7018 มาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งเมื่อเสร็จสิ้นโครงการจะได้ผลิตแผนที่ในรูปแบบของแผนที่และ DIGITAL MAP ครอบคลุมทั่วทั้งประเทศจำนวน 830 ระวัง ซึ่งแผนที่ชุดใหม่นี้จะเอื้ออำนวยประโยชน์ให้กับผู้ใช้เป็นอย่างมากทั้งนี้เพราะแผนที่ชุดใหม่อ้างอิงกับพื้นหลักฐานดาวเทียมหรือพื้นหลักฐาน WGS84 ซึ่งผู้ใช้แผนที่สามารถหาค่าพิกัดตำแหน่งของตนเองบนแผนที่ได้ทันทีด้วยเครื่อง GPS หรือถ้าต้องการทราบค่าพิกัดที่อ้างอิงกับพื้นหลักฐานเดิมคือพื้นหลักฐานอินเดียเยน 1975 ก็สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ที่มีประจำแผนที่ทุกระวางหรือค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัยแปลงค่าพิกัดได้ทันที นอกจากนี้การผลิตแผนที่ชุด L7018 จะทำให้งานทางด้านกิจการแผนที่ของประเทศไทยเป็นที่ยอมรับหรือใช้อ้างอิงในระดับสากลได้ซึ่งการผลิตแผนที่ชุดใหม่นี้คาดว่าจะแล้วเสร็จต้นปี พ.ศ.2546

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเทคโนโลยีในการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดทางราบและการผลิตแผนที่ในปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าไปเป็นอย่างมาก มีการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ทันสมัยเข้ามาทดแทนหรือเสริมทักษะในการทำงานของบุคลากร ดังนั้นเพื่อสร้างความรู้ความชำนาญให้กับผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในงานรังวัดและการผลิตแผนที่ควรมีการฝึกอบรมให้กับผู้ปฏิบัติงานให้มีความรู้อย่างแท้จริงและสามารถแก้ปัญหาต่างๆ ในเบื้องต้นได้

2. กรมแผนที่ทหารซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการในการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานแห่งชาติและการผลิตแผนที่ของประเทศไทยมีนโยบายที่จะเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณงานทางด้านเยื่อเดซี ดังนั้นควรมีการประกาศหรือประชาสัมพันธ์ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดและกิจการแผนที่ทราบแต่เนิ่นๆ ทั้งนี้เพื่อหน่วยงานนั้นๆ จะได้วางนโยบายและแผนในอันที่จะรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นหลักฐานในครั้งต่อไป

3. ควรมีการสัมมนาแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างตัวแทนของกรมแผนที่ทหารและนักวิชาการที่มีความรู้ความสามารถในงานทางด้านเยื่อเดซีจากสถาบันการศึกษาถึงผลดี-ผลเสียและผลกระทบที่ประเทศไทยจะเปลี่ยนพื้นหลักฐานอ้างอิงในงานรังวัดชั้นสูงจากเดิมคือพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 เป็นพื้นหลักฐาน WGS84 พร้อมทั้งหาข้อสรุปที่แน่นอนในการเลือกใช้จุดยึดตริง (Fiducial Station) ในการคำนวณปรับแก้โครงข่าย GPS ของประเทศไทยว่าจะใช้จุดยึดตริงของหน่วยงาน NIMA , จุดยึดตริงจากพื้นหลักฐาน ITRF หรือจุดยึดตริงของกรมแผนที่ทหารที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเพียงจุดเดียวที่เขาสะแกกรัง พร้อมทั้งศึกษาความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการแปลงค่าพิกัดของพื้นหลักฐานทั้งสองระบบ เมื่อถึงเวลาที่จะต้องประกาศใช้จุดยึดตริงและค่าพารามิเตอร์ในการแปลงค่าพิกัดหมุดหลักฐานจะได้ยึดถือเป็นระเบียบอันเดียวกันในงานรังวัดและกิจการผลิตแผนที่ของประเทศไทย

4. แผนที่ชุดเดิมซึ่งมีอยู่ในคลังแผนที่เป็นจำนวนมาก ควรจะแจกจ่ายให้หน่วยงานของรัฐที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้แผนที่หรืออาจจะดำเนินการใดๆ กับแผนที่ที่มีอยู่ในอันที่จะก่อให้เกิดประโยชน์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ก่อนที่จะมีการผลิตแผนที่ชุดใหม่ออกมาใช้งาน แต่ในขณะเดียวกันก็ควรจะต้องเก็บแผนที่ชุดเก่าไว้จำนวนหนึ่งทั้งนี้เพื่อให้อ้างอิงให้กับหน่วยงานที่ยังใช้แผนที่ชุดเดิมอยู่ ส่วนแผนที่ชุดใหม่ที่จะผลิตออกมาใช้งานควรมีจำนวนเพียงพอกับความต้องการของหน่วยงานที่ใช้แผนที่ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป

5.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงผลกระทบต่างๆ ที่จะตามมาเมื่อประเทศไทยเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 แทนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 ทั้งนี้เพื่อให้หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดและกิจการแผนที่จะได้วางแผนรองรับกับปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นได้

2. จากการวิจัยทำให้ทราบว่าพื้นหลักฐาน WGS84 มีความเหมาะสมกับพื้นผิวย่อยของประเทศไทยและสามารถนำมาเป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงในงานรังวัดขั้นสูงของประเทศไทยได้ ประกอบกับเทคนิคและวิธีการในการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดทางราบของดาวเทียมระบบ GPS จะทำให้ได้ค่าพิกัดที่มีความน่าเชื่อถือและมีความถูกต้องสูง

3. จากการวิจัยทำให้ทราบประโยชน์ของการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ที่นำมาใช้ในงานสำรวจของประเทศไทย นอกจากจะได้ค่าพิกัดทางราบที่มีความละเอียดถูกต้องสูงเทียบเท่ากับงานถ่ายสามเหลี่ยมที่จัดทำขึ้นในอดีตแล้ว การรังวัดด้วยระบบดาวเทียมยังถืออำนวยความสะดวกอื่นๆ อีกกล่าวคือ

- 3.1) ให้ความสะดวกรวดเร็วในการรังวัด
- 3.2) สิ้นเปลืองงบประมาณค่าใช้จ่ายในการสร้างหมุดหลักฐานน้อยกว่า
- 3.3) ข้อมูลที่ทำการรังวัดมาได้สามารถเก็บไว้ใช้ในการประมวลผลหรือตรวจสอบความถูกต้องได้
- 3.4) โครงข่ายหมุดหลักฐานที่ทำการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน (Homogeneous accuracy) เป็นอันหนึ่งอันเดียวกันดีกว่างานถ่ายสามเหลี่ยม
- 3.5) เทคนิคการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS จะช่วยพัฒนางานรังวัดของประเทศไทยให้ก้าวไปสู่งานทางด้านการสำรวจในระดับสากลในอนาคต

ฯลฯ

4. ทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัดระหว่างพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 กับค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 และทำให้รู้แนวทางในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการแปลงค่าพิกัดหมุดหลักฐานของประเทศไทย ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของแต่ละประเทศหรือแต่ละภูมิภาคจะมีความเหมาะสมเฉพาะพื้นที่เท่านั้น และค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้นี้ยังจะถือประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดและการจัดทำแผนที่ ถ้าหน่วยงานนั้นๆ ต้องการจะ

ทราบค่าพิกัดของทั้งสองระบบก็สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัยนี้แปลงเป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานที่ต้องการทราบได้ทันที (Datum Transformation)

5. ทำให้รู้แนวทางในการจัดทำแผนที่ในปัจจุบันซึ่งมีความเจริญก้าวหน้าไปเป็นอย่างมาก และการเปลี่ยนมาใช้พื้นหลักฐาน WGS84 ทำให้แผนที่ที่กริดยูทีเอ็มของประเทศไทยเป็นที่น่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

6. การวิจัยในครั้งนี้เป็นแนวทางในการศึกษา เปรียบเทียบและวิเคราะห์พื้นหลักฐานที่มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นผิวย่อยของประเทศไทย เพื่อในอนาคตถ้าหากมีพื้นหลักฐานใดมีความเหมาะสมกับสภาพพื้นผิวย่อยของประเทศไทยมากกว่าพื้นหลักฐาน WGS84 จะได้ใช้วิธีการศึกษาในลักษณะเดียวกันนี้วิจัยในครั้งต่อไปได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. ยี่ออดีซี. 500 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. งานรังวัดดาวเทียม GPS. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS (8 – 12 พฤษภาคม 2538). (ม.ป.ท.), 2538. (อัดสำเนา)

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. การแปลงพื้นฐานแผนที่สำหรับประเทศไทย. เอกสารการวิจัยร่วมระหว่างกรมแผนที่ทหารกับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (ม.ป.ท., ม.ป.ป.). (อัดสำเนา)

ที่ดิน, กรม. การปรับเปลี่ยนพื้นฐานอ้างอิง. กรุงเทพมหานคร: กรมที่ดิน, (ม.ป.ป.). (อัดสำเนา)

ธวัชชัย กฤษณ์เพชร. การตรวจสอบโครงข่ายสามเหลี่ยมด้านทิศตะวันตกของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

ยี่ออดีซี, แผนก. บัญชีค่าหมุดดาราศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : กองยี่ออดีซีและยี่ออดีซีกรมแผนที่ทหาร, 2532.

สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร. เส้นโครงแผนที่. 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

หัสฎี วงศ์อิศเรศ. การกำหนดตำแหน่งดาวเทียมโดยวิธีดอปเปลอร์และการแปลงค่าพิกัดในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530.

อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล. รายงานผลการคำนวณปรับแก้โครงข่าย GPS ของประเทศไทย. แผนกยี่ออดีซี กองยี่ออดีซีและยี่ออดีซี กรมแผนที่ทหาร, 2539.

อภิชาติ แสงรุ่งเรือง. การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพื้นฐานอินเดีย 2518 กับพื้นฐานอินเดีย 2497. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์, เรื่องผลกระทบของการเปลี่ยนพื้นฐานที่มีต่อกิจการแผนที่และGIS, บรรยาย ณ ห้องสยามบอลรูม โรงแรมสยามอินเตอร์คอนติเนนตัล, 8 สิงหาคม 2543.

ภาษาอังกฤษ

- Boonpakdee, C., M. Beaker and P. Neumaier, Final Results of the THAICA 94 / 96 GPS Campaigns. Royal Thai Survey Department. Bangkok, 1996.
- Heiskanen, W. and H. Moritz, Physical Geodesy. San Francisco: W.H. Freeman and Co., 1967.
- John P.Seyder. Geological survey bulletin 1532, map projections. Washington: United states government printing office, 1982.
- Leick, A., GPS Satellite Surveying, 2nd ed. New York: A Wiley – Interscience Publication, 1995.
- National Imagery Mapping Agency. Department of defense world geodetic system 1984, its definition and relationships with local geodetic system. USA, 1997.
- National Imagery Mapping Agency. Final report geodetic survey Thailand National Network. USA, 1996.
- Project 4, Working Group 3. Development of a Transformation Strategy to Convert from Local Datums into a Regional System, The Fourth Meeting of The Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia and the Pacific, February 28 – March 4, 1998.
- Rapp, R.H. Geometric Geodesy: Part I, Lecture Note, Dept. of Geodetic Science, The Ohio State University. Columbus, Ohio, 1984.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

เกณฑ์การคำนวณงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS

การกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมระบบ GPS โดยการรังวัดดาวเทียม ณ จุดใดๆ บนผิวพิภพ ในงานสำรวจโครงข่ายหมุดหลักฐานใช้วิธีการรังวัดแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) โดยการใช้เครื่องมือรับสัญญาณตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป การกำหนดมาตรฐานคุณลักษณะเฉพาะของงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS อ้างอิงจากเอกสารร่างแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณลักษณะเฉพาะทางยี่ห้อเดซีเรซาคณิตของ FGCC ปี ค.ศ.1989 ซึ่งปรากฏอยู่ในระเบียบกองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิลิกส์ว่าด้วยการสำรวจวงหมุดหลักฐานทางราบและทางตั้ง พ.ศ.2539 กองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิลิกส์ กรมแผนที่ทหาร หน้า 12-18 ดังนี้

1. การจำแนกประเภทของงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS

1.1 งานชั้น AA (Special Type) มีความละเอียดถูกต้องสูงสุด ใช้ในงานวิทยาศาสตร์ ศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในภูมิภาคและสากล ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 0.01 ppm.(1:100,000,000)

1.2 งานชั้น A (Very high precision) มีความละเอียดถูกต้องสูงมากใช้ในงานโครงข่ายหมุดหลักฐานนานาชาติ ศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในภูมิภาคและท้องถิ่น ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 0.1 ppm.(1:10,000,000)

1.3 งานชั้น B (High precision) มีความละเอียดถูกต้องสูง ใช้ในงานโครงข่ายหมุดหลักฐานแห่งชาติ ศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในท้องถิ่นและงานรังวัดความละเอียดสูงทางวิศวกรรม ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 1.0 ppm.(1:1,000,000)

1.4 งานชั้น C (Terrestrial based survey) ใช้ในงานขยายโครงข่ายหมุดหลักฐาน กำหนดจุดบังคับรูปถ่ายทางอากาศ การรังวัดแบ่งแปลงที่ดินและงานรังวัดทางวิศวกรรมทั่วไป ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 10 ppm., 20 ppm., 50 ppm. และ 100 ppm. (1:100,000 ถึง 1:10,000) ตามลำดับ

หมายเหตุ ppm. = part per million / หนึ่งในล้านส่วน

2. การวางโครงข่ายการรังวัด

การวางโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS จะต้องมีการโยงยึดกับหมุดหลักฐานทางราบและทางตั้งแห่งชาติที่มีอยู่เดิม มีลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่าย ดังนี้

ตารางที่ ก.1 การวางโครงข่ายการรังวัด

ชั้นของงาน	AA	A	B	C	C	C	C
ชั้น – ประเภท				1	2-I	2-II	3
จำนวนหมุดหลักฐานทางราบแห่งชาติในการโยงยึด							
งานชั้น AA, A และ B ไม่น้อยกว่า (หมุด)	4	3	3		2		
งานชั้นที่ C(1) ไม่น้อยกว่า (หมุด)	-	-	-		3		
งานชั้นที่ C (2,3) ไม่น้อยกว่า (หมุด)	-	-	-		4		
จำนวนหมุดหลักฐานทางตั้งแห่งชาติในการ							
โยงยึดไม่น้อยกว่า (หมุด)	5	5	5		4		
จำนวนสถานีรับสัญญาณต่อเนื่อง							
(สถานีแม่ข่ายหรืออ้างอิง)							
ไม่น้อยกว่า (สถานี)	4	3	2	ตามความต้องการ			
ระยะห่างของสถานีรังวัด GPS กับจุดศูนย์กลางของโครงการ							
ระยะไม่เกิน(กม.)	100d	10d	7d		5d		
ระยะไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 กม.	5d	5d	5d		d/5		
(d คือระยะไกลสุดจากจุดศูนย์กลาง)							
ตำแหน่งของหมุดหลักฐานแห่งชาติในพื้นที่โครงการ							
จะต้องกระจายอยู่ในจตุรัสคดล (quadrants)							
จำนวนไม่น้อยกว่า (จตุรัสคดล)	4	4	3		3		

3. เครื่องมือรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS

เครื่องมือรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS สามารถใช้ได้ทั้งเครื่องมือระบบสัญญาณความถี่เดียวหรือสองความถี่ (Single or Dual frequencies) แต่ถ้าเป็นเครื่องมือระบบสองความถี่

จะให้ผลการรังวัดที่ละเอียดถูกต้องสูงกว่า อย่างไรก็ตามวิธีการรังวัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้ผลการรังวัดมีความละเอียดถูกต้องแตกต่างกัน เครื่องมือที่ใช้ในงานเยื่อเดซีจะต้องเป็นระบบสองความถี่ที่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมพร้อมกันอย่างน้อย 4 ดวง โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องมือ 3 ประการ คือ ระบบการรับสัญญาณ, เส้าอากาศ, ระบบบันทึกข้อมูล สำหรับระบบการรับสัญญาณมีทั้งชนิดรหัส (Code) และคลื่นพาห์ (Carrier) เป็นต้น

4. การปฏิบัติงานรังวัดดาวเทียมระบบ GPS

ตารางที่ ก.2 การปฏิบัติงานรังวัดดาวเทียมระบบ GPS

ชั้นของงาน	AA	A	B	C	C	C	C
ชั้น-ประเภท				1	2-I	2-II	3
การรังวัดด้วยเครื่องมือ GPS ระบบสองความถี่ (L 1/L 2) “บังคับใช้”							“ตามความจำเป็น”
เครื่องมือที่ใช้รังวัดดาวเทียมพร้อมกัน							
จำนวนไม่น้อยกว่า (เครื่อง)	5	5	4			3	
ห้วงระยะเวลารับสัญญาณดาวเทียมพร้อมกัน (Session) สำหรับกลุ่มดาวเทียม 4 ดวงหรือมากกว่าแบ่งตามวิธีการประมวลผลดังนี้							
แบบ Triple difference (นาที) “ยังไม่กำหนด”						60 – 120	
แบบ Double difference (นาที)	240	240	240			30 – 60	
อัตราความเร็วในการรับสัญญาณข้อมูลดาวเทียม							
สูงสุด (วินาที)	15	30	30			15 – 30	
การโยงยึดโดยตรงกับหมุดหลักฐานอื่นๆ							
ระยะไม่เกิน (กม.)	30	10	5			3	
การวัดสภาพบรรยากาศ (อุณหภูมิ, ความกดอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์) ในแต่ละห้วงเวลาการรังวัด (Session) ไม่น้อยกว่า (ครั้ง)	3	3	2			2	
ไม่มากกว่า (นาที)	30	30	60			60	

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

ชั้นของงาน	AA	A	B	C	C	C	C
ชั้น - ประเภท				1	2-I	2-II	3
<u>ความคลาดเคลื่อนวงบรรจบ (Loop Closure)</u>							
จำนวนเส้นฐานและ/หรือด้าน (Vector) ที่ได้จากการรังวัด							
อิสระของห้วงเวลาต่างๆ ไม่น้อยกว่า (ด้าน)	3	3	2			2	
ผลรวมของจำนวนเส้นฐานและ/หรือด้านแต่ละวงบรรจบไม่น้อยกว่า (ด้าน)	6	8	10			10	
ผลรวมของระยะเส้นฐานและ/หรือด้านแต่ละวงบรรจบไม่น้อยกว่า (กม.)	2,000	300	100			100	
จำนวนเส้นฐานและ/หรือด้านที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ตรวจรับงานของวงบรรจบใดๆ ต้องไม่เกิน (%)	0	5	20			30	
จำนวนสถานีที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ตรวจรับงานของวงโคจรใดๆ ต้องไม่เกิน (%)	0	5	10			15	

5.งานสำนักงาน (Office Procedures)

5.1 การประมวลผลข้อมูล (Data Processing)

ในการประมวลผลข้อมูลจากข้อมูลสนามที่รังวัดสัญญาณได้ในภูมิภาคจะต้องมีซอฟต์แวร์ประมวลผลในสำนักงานที่สามารถดำเนินการวิธีข้อมูลทั้งที่เป็นข้อมูลของระยะเพียงระยะเดียวหรือหลายๆ ระยะได้พร้อมกัน และสามารถแสดงผลพีชของการประมวลผลซึ่งมีความละเอียดถูกต้องมาตรฐานเกณฑ์รับงานรวมทั้งให้ค่าทางสถิติของผลการรังวัดและการคำนวณซึ่งสามารถนำมาใช้ในการปรับแก้รังวัดแบบโครงข่ายชนิด 3 มิติได้ต่อไป

หลักเกณฑ์เบื้องต้นในการประมวลผลและกำหนดความละเอียดถูกต้องของการกำหนดตำแหน่งด้วยวิธีการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS แบบสัมพัทธ์ที่สำคัญมีดังนี้

ก) มุมสูงของสิ่งกีดขวางจากพื้นของฟ้าไม่ควรเกินกว่า 20 องศา

ข) ค่าพิกัดของจุดหนึ่งจุดใด (แบบสัมบูรณ์) ที่กำหนดให้เป็นค่าคงที่ทั้งที่รังวัดได้แบบห้วงระยะเวลาเดียว หรือ การรังวัดแบบโครงข่ายพร้อมกันจะต้องอ้างอิงจากพื้นฐานค่าพิกัด หรือ

องค์ประกอบของวงโคจรดาวเทียม ที่เรียกว่าพื้นหลักฐานยี่ห้อเดติกโลก ปี ค.ศ.1984 (World Geodetic System 1984 : WGS84)

การแบ่งเกณฑ์รับงานของการกำหนดตำแหน่งในการรังวัดแบบอิสระหรือ สัมบูรณ์ (Absolute Point Positioning) ดังนี้

งานชั้น AA	มีความถูกต้องไม่เกิน	± 0.5 เมตร
งานชั้น A	มีความถูกต้องไม่เกิน	± 0.5 เมตร
งานชั้น B	มีความถูกต้องไม่เกิน	± 2.5 เมตร
งานชั้นที่ 1 หรือต่ำกว่า	มีความถูกต้องไม่เกิน	± 25 เมตร

ค) การประมวลผลข้อมูลการรังวัดจากดาวเทียมระบบ GPS จะต้องคำนึงถึงการเอียงของที่ตั้งเสาอากาศทั้งทางราบและตั้งที่ไม่สามารถตั้งบนหัวหมุดหลักฐานได้โดยตรง

ง) การตัดทิ้งค่าผลการรังวัดอันเนื่องจากมุมสูงจากขอบฟ้าที่เกินเกณฑ์หรือผลการรังวัดที่ได้ในห้วงเวลาไม่พร้อมกันจะต้องเกินกว่าร้อยละ 5 สำหรับงานชั้น AA, A และ B และเกินกว่าร้อยละ 10 สำหรับงานชั้นที่ต่ำกว่า

จ) ความน่าเชื่อถือของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการรังวัดระยะระหว่างสถานีที่ทำการรังวัดกับดาวเทียมระบบ GPS ขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ อาทิ ห้วงเวลาในการรังวัดระยะห่างระหว่างสถานี คุณภาพของข้อมูลและวิธีการประมวลผล โดยมีเกณฑ์การตรวจสอบการรังวัดดังนี้

งานชั้น A, B และชั้นที่ 1	มีเกณฑ์ระหว่าง	0.1 – 2.0 ซม.
งานชั้นที่ 2	มีเกณฑ์ระหว่าง	1.0 – 4.0 ซม.
งานชั้นที่ 3	มีเกณฑ์ระหว่าง	1.0 – 8.0 ซม.

ฉ) เกณฑ์รับงานของค่าความคลาดเคลื่อนการวัดระยะระหว่างสองสถานีโดยปกติจะมีค่าไม่เกิน 2 ซม. สำหรับระยะไม่เกิน 50 กม.

5.2 การวิเคราะห์และปรับแก้ข้อมูล (Analysis and Adjustment)

การปรับแก้ผลการรังวัดข้อมูลแบบสัมพัทธ์ของโครงข่ายดาวเทียมระบบ GPS ในทางปฏิบัติแบ่งการปรับแก้ ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก) การปรับแก้ทางเรขาคณิต (Geometric Classification) เป็นการปรับแก้โครงข่าย GPS ซึ่งไม่มีการโยงยึดกับค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานแห่งชาติ เพื่อให้ได้ค่าความน่าเชื่อถือของโครงข่ายที่ทำการรังวัดก่อนการปรับแก้โยงยึดกับโครงข่ายแห่งชาติต่อไป

ข) การปรับแก้แบบโยงยึดกับโครงข่ายแห่งชาติ (National Geodetic Reference System : NGRS) ในการปรับแก้ชนิดนี้จะโยงยึดกับค่าพิกัดของหมุดหลักฐานแห่งชาติและกำหนดให้เป็นค่าพิกัดคงที่ในการปรับแก้โดยวิธีการที่เรียกว่า “ Minimally Constrained (Free) Least Squares Adjustment “

ค) การแบ่งชั้นงานของผลการรังวัดโครงข่าย GPS แบบสัมพัทธ์ ตามตาราง ก.3 ดังนี้

ตารางที่ ก.3 การแบ่งชั้นงานของผลการรังวัดโครงข่าย GPS แบบสัมพัทธ์

ชั้นของงาน	AA	A	B	1	2-I	2-II	3
ppm.	0.01	0.1	1.0	10	20	50	100
ปฏิทินวงโคจรดาวเทียม							
ความถูกต้องของวงโคจรต่ำสุด (ppm.)	0.008	0.05	0.5	5	10	25	50
ความต้องการปฏิทินวงโคจรดาวเทียมที่ละเอียด	Y	Y	Y	OP	OP	N	N
ความคลาดเคลื่อนวงบรรจบ (เกณฑ์ต่ำสุด)							
จำนวนระยะ (ที่วัดโดยตรง) ของวงบรรจบไม่น้อยกว่า (Vector / เส้น)	4	3	2	2	2	2	2
ผลรวมของระยะในแต่ละวงบรรจบรวมแล้วไม่เกิน (Vector / เส้น)	6	8	10	10	10	15	15
ความยาวของวงบรรจบไม่เกิน (กม.)	2000	300	100	100	100	100	100
ความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบของแต่ละมิติ							
(X, Y, Z) ไม่เกิน (ซม.)	10	10	15	25	30	50	100
ความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบเชิงเส้นในทอมของ							
ความยาววงบรรจบ							
สูงสุดไม่เกิน (ppm.)	0.2	0.2	1.25	12.5	25	60	125
เฉลี่ยไม่เกิน (ppm.)	0.09	0.09	0.9	8	16	40	80
ความแตกต่างของระยะที่วัดซ้ำ							
ความยาวของระยะแต่ละเส้นไม่เกิน (กม.)	2000	2000	500	250	250	100	50

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

ชั้นของงาน ppm.	AA	A	B	1	2-I	2-II	3
	0.01	0.1	1.0	10	20	50	100
ความแตกต่างสูงสุดของแต่ละระยะ ในแต่ละมิติ (X,Y,Z) ไม่เกิน (ppm.)	0.01	0.1	1.0	10	20	50	100

หมายเหตุ 1. Y = Yes (ต้องการ), N = No (ไม่ต้องการ), OP = Option (บางกรณี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแปลงค่าพิกัตย็ออกเดติกเป็นค่าพิกัตจากบนระนาบแผนที่

สูตรการแปลงค่าพิกัตย็ออกเดติกเป็นค่าพิกัตจากบนระนาบแผนที่ มีดังนี้ (Army, 1973, p.5-7; Thomas, 1952, p.2-3)

$$x = k_0 N [A + (1-T+C)A^3/6 + (5-18T + T^2 + 72C-58e'^2)A^5 / 120]$$

$$y = k_0 \{ M - M_0 + N \tan \phi [A^2/2 + (5-T+9C+4C^2)A^4/24 + (61-58T + T^2+600C - 330e'^2)A^6 / 720] \}$$

เมื่อ

$$f = (a - b) / a$$

$$e^2 = 2f - f^2$$

$$e'^2 = e^2 / (1 - e^2)$$

$$N = a / (1 - e'^2 \sin^2 \phi)^{1/2}$$

$$T = \tan^2 \phi$$

$$C = e'^2 \cos^2 \phi$$

$$A = \cos \phi (\lambda - \lambda_0)$$

$$M = a [(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256 - \dots) \phi - (3e^2/8 + 3e^4/32 + 45e^6/1024 + \dots) \sin 2\phi + (15e^4/256 + 45e^6/1024 + \dots) \sin 4\phi - (35e^6/3072 + \dots) \sin 6\phi + \dots]$$

ในขณะเดียวกันสูตรในการแปลงค่าพิกัตจากบนระนาบแผนที่เป็นค่าพิกัตย็ออกเดติกมีดังนี้ (Army, 1973, p.6, 7, 46; Thomas, 1952, p.2-3):

$$\phi = \phi_1 - (N_1 \tan \phi_1 / R_1) [D^2/2 - (5+3T_1+10C_1-4C_1^2-9e'^2)D^4/24 + (61+90T_1+298C_1+45T_1^2 - 252e'^2-3C_1^2)D^6 / 720]$$

$$\lambda = \lambda_0 + [D - (1+2T_1+C_1)D^3/6 + (5-2C_1 + 28T_1-3C_1^2+8e'^2 + 24T_1^2)D^5 / 120] / \cos \phi_1$$

การคำนวณหาความสูงยี่ออยบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975

การคำนวณเพื่อหาค่าความสูงยี่ออยบนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 คำนวณได้จาก สถานีรังวัดทางดาราศาสตร์และสถานีดาวเทียมดอปเปลอร์ซึ่งมีสมการค่าสังเกตดังนี้

1) สมการค่าสังเกตในการคำนวณหาความสูงยี่ออย ณ สถานีรังวัดทางดาราศาสตร์

$$V_{ij} = (N_j + \Delta N_j) - (N_i + \Delta N_i) - \Delta N_{ij}$$

โดยที่

N_i, N_j คือค่าประมาณความสูงยี่ออย ณ จุด P_i และ P_j

$\Delta N_i, \Delta N_j$ คือค่าแก้ของ N_i และ N_j

ΔN_{ij} คือค่าความเปลี่ยนแปลงความสูงยี่ออยระหว่างสถานี
 $= \frac{-S \sin 1''}{2} [(\xi_i + \xi_j) \cos \alpha_{ij} + (\eta_i + \eta_j) \sin \alpha_{ij}]$

ξ, η คือค่ามุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งในแนวเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก

S คือระยะทางระหว่าง P_i และ P_j

α_{ij} คืออะซิมูทยี่ออยเดติกรหว่าง P_i และ P_j

V_{ij} คือค่าเศษคงเหลือ (residual)

2) สมการค่าสังเกตของสถานีดาวเทียมที่ใช้ในการปรับแก้ลิสต์สแควร์ได้จาก

$$V_i = n_i + \Delta N_i - N_i^0$$

โดยที่

$N_i^0 = H_i - h_i$

N_i^0 คือ ค่าความสูงยี่ออยที่ได้จากสถานีดอปเปลอร์

h_i คือ ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง

N_i คือ ค่าประมาณของพารามิเตอร์

ΔN_i คือ ค่าแก้ของ N_i

V_i คือ เศษคงเหลือ (residual)

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 หมุดระดับชั้นที่ 1 ที่ใช้ร่วมในการคำนวณปรับแก้โครงข่าย NIMA บนพื้นหลักฐาน WGS84

ลำดับที่	หมายเลข หมุด	ชื่อหมุด หลักฐาน	ความสูงเหนือระดับ ทะเลปานกลาง(ม.)	ความสูง ยี่ออย(ม.)	ความสูงเหนือ รูปทรงรี(ม.)
1	3052	OBMP1374	136.627	-22.988	113.639
2	3128	OBMP0880	156.252	-29.776	126.476
3	3137	OBMP0892	162.536	-30.130	132.406
4	3138	OBMP0387	174.363	-29.981	144.382
5	3143	OBMP0391	174.176	-30.015	144.161
6	3255	OBMP1152	235.490	-41.815	193.675
7	3273	OBMP1675	394.143	-36.893	357.250
8	3303	OBMP1055	10.663	-29.922	-19.254
9	3319	OBMP2035	29.601	-29.951	-0.350
10	3322	OBMP1770	8.723	-27.598	-18.875
11	3330	OBMP2058	18.295	-27.825	-9.53
12	3384	OBMP2121	26.893	-16.103	10.790
13	3385	OBMP1808	0.984	-15.474	-14.490
14	3424	OBMP1408	58.355	-29.548	28.807
15	3432	OBMP1422	5.584	-27.550	-21.966
16	3466	OBMP1916	125.788	-35.160	90.628

ตารางที่ ข.2 แสดงผลต่างของค่าพิกัดบนแผนที่กริดยูทีเอ็มมาตราส่วน 1:50,000 ระหว่างค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 และค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยค่าพารามิเตอร์ของกองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร

หมายเลข ชื่อหมุด	WGS84 (เมตร)	ค่าพิกัดที่แปลงด้วย พารามิเตอร์ (เมตร)	ผลต่างของ ค่าพิกัด ($\Delta N, \Delta E, \text{ม.}$)	ผลต่างทาง ระยะของค่า พิกัด (ม.)	ผลต่างทาง ระยะบน แผนที่ (มม.)
3001 OTRI91	N 1701027.453	1701028.107	0.654	1.232	0.025
	E 608735.426	608734.382	1.044		
3026 OTRI103	N 1586772.458	1586773.201	0.743	0.832	0.017
	E 733565.999	733565.625	0.374		
3027 OTRI101	N 1630750.395	1630751.071	0.676	0.794	0.016
	E 716034.688	716034.272	0.416		
3041 OTRI126	N 1651926.899	1651927.017	0.118	1.338	0.027
	E 295444.271	295442.938	1.333		
3065 OTRI193	N 1724451.170	1724452.169	0.999	1.100	0.022
	E 502479.122	502478.661	0.461		
3075 OTRI203	N 1817032.567	1817034.114	1.547	1.547	0.031
	E 432607.998	432607.992	0.006		
3077 OTRI206	N 1835218.698	1835220.461	1.763	1.783	0.036
	E 413015.005	413015.268	0.263		
3083 OTRI209	N 1900944.158	1900946.048	1.890	1.943	0.039
	E 417272.351	417271.901	0.450		

หมายเลข ชื่อหมุด	WGS84 (เมตร)	ค่าพิกัดที่แปลง ด้วยพารามิเตอร์ (เมตร)	ผลต่างของ ค่าพิกัด ($\Delta N, \Delta E, \text{ม.}$)	ผลต่างทาง ระยะของค่า พิกัด (ม.)	ผลต่างทาง ระยะบน แผนที่ (มม.)
3106 OTRI229	N 1938008.614	1938010.816	2.202	2.277	0.046
	E 748979.695	748979.115	0.580		
3121 OTRI97	N 1728404.005	1728404.500	0.495	0.496	0.010
	E 718004.612	718004.585	0.027		
3139 OTRI220	N 1844197.494	1844199.228	1.734	1.748	0.035
	E 246741.272	246741.048	0.224		
3140 OTRI216	N 1862708.240	1862709.626	1.386	1.102	0.028
	E 279985.608	279985.399	0.209		
3145 OTRI279	N 168024.365	1680240.836	0.471	0.513	0.010
	E 420753.412	420753.209	0.203		
3173 OTRI84	N 1756368.554	1756369.396	0.842	1.263	0.025
	E 549039.846	549038.904	0.942		
3177 OTRI134	N 1803412.761	1803414.248	1.487	1.917	0.038
	E 547972.497	547971.287	1.210		
3206 OTRI234	N 1949400.663	1949402.727	2.064	2.654	0.053
	E 634749.495	634747.826	1.669		
3217 OTRI147	N 2027327.022	2027329.069	2.047	2.472	0.049
	E 539222.588	539221.203	1.385		

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

หมายเลข ชื่อหมุด	WGS84 (เมตร)	ค่าพิกัดที่แปลง ด้วยพารามิเตอร์ (เมตร)	ผลต่างของ ค่าพิกัด ($\Delta N, \Delta E, \text{ม.}$)	ผลต่างทาง ระยะของ ค่าพิกัด (ม.)	ผลต่างทาง ระยะบน แผนที่(มม.)
3308 OTRI22	N 1237600.781	1237599.414	1.367	2.471	0.049
	E 562126.212	562124.153	2.059		
3345 OTRI61	N 937353.761	937352.775	0.986	1.788	0.036
	E 606832.598	606831.107	1.491		
3380 OTRI67	N 797869.128	797868.597	0.531	2.344	0.047
	E 542121.093	542118.810	2.283		
3402 OTRI187	N 744681.039	744678.353	2.686	3.062	0.061
	E 731771.047	731769.577	1.470		

ค่าเลื่อนทางแกน X = 210 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Y = 814 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Z = 289 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.3 แสดงผลต่างของค่าพิกัดบนแผนที่กริดยูทีเอ็มมาตราส่วน 1:50,000 ระหว่างค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียปี 1975 ที่ประกาศใช้อยู่ปัจจุบันและค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยค่าพารามิเตอร์จากการวิจัย

หมายเลข ชื่อหมุด	INDIAN75 (เมตร)	ค่าพิกัดที่แปลงด้วยพารามิเตอร์ (เมตร)	ผลต่างของค่าพิกัด ($\Delta N, \Delta E, \text{ม.}$)	ผลต่างทางระยะของค่าพิกัด (ม.)	ผลต่างทางระยะบนแผนที่ (มม.)
3001 OTRI91	N 1700724.203	1700724.496	-0.293	0.453	0.009
	E 609068.564	609068.219	0.345		
3026 OTRI103	N 1586469.745	1586469.498	0.247	0.581	0.012
	E 733899.126	733898.600	0.526		
3027 OTRI101	N 1630447.416	1630447.409	0.007	0.560	0.011
	E 716367.917	716367.357	0.560		
3041 OTRI126	N 1651613.160	1651613.809	-0.649	1.412	0.028
	E 295858.466	295859.720	-1.254		
3065 OTRI193	N 1724137.650	1724137.706	-0.056	1.191	0.024
	E 502892.037	502893.227	-1.190		
3075 OTRI203	N 1816718.667	1816718.538	0.129	0.486	0.010
	E 433022.020	433022.489	-0.469		
3077 OTRI206	N 1834904.833	1834904.561	0.272	0.300	0.006
	E 413429.471	413429.598	-0.127		
3083 OTRI209	N 1900629.780	1900629.640	0.140	0.861	0.017
	E 417686.085	417686.935	-0.850		

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

หมายเลข ชื่อหมุด	INDIAN75 (เมตร)	ค่าพิกัดที่แปลง ด้วยพารามิเตอร์ (เมตร)	ผลต่างของ ค่าพิกัด ($\Delta N, \Delta E$, ม.)	ผลต่างทาง ระยะของค่า พิกัด (ม.)	ผลต่างทาง ระยะบน แผนที่ (มม.)
3106 OTRI229	N 1937705.936	1937705.612	0.324	0.423	0.008
	E 749312.863	749312.591	0.272		
3121 OTRI97	N 1728100.414	1728100.974	-0.560	1.083	0.022
	E 718338.302	718337.375	0.927		
3139 OTRI220	N 1843883.396	1843883.188	0.208	0.213	0.004
	E 247156.860	247156.815	0.045		
3140 OTRI216	N 1862393.645	1862393.859	-0.214	0.227	0.005
	E 280400.874	280400.951	-0.077		
3145 OTRI279	N 1679926.758	1679927.167	-0.409	0.738	0.015
	E 421167.427	421168.041	-0.614		
3173 OTRI84	N 1756065.288	1756065.609	-0.321	0.760	0.015
	E 549373.337	549372.648	0.689		
3177 OTRI134	N 1803109.942	1803109.803	0.139	0.445	0.009
	E 548305.753	548305.330	0.423		
3206 OTRI234	N 1949097.864	1949097.723	0.141	0.408	0.008
	E 635082.012	635082.395	-0.383		
3217 OTRI147	N 2027023.984	2027024.164	-0.180	0.335	0.007
	E 539555.731	539555.448	0.283		

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

หมายเลข ชื่อหมุด	INDIAN (เมตร)	ค่าพิกัดที่แปลง ด้วยพารามิเตอร์ (เมตร)	ผลต่างของ ค่าพิกัด ($\Delta N, \Delta E$, ม.)	ผลต่างทาง ระยะของค่า พิกัด (ม.)	ผลต่างทาง ระยะบน แผนที่(มม.)
3308 OTRI22	N 1237298.024	1237298.514	-0.490	0.686	0.014
	E 562458.401	562458.881	-0.480		
3345 OTRI61	N 937053.542	937052.470	1.072	1.075	0.022
	E 607164.908	607164.993	-0.085		
3380 OTRI67	N 797570.587	797568.514	2.073	2.165	0.043
	E 542453.079	542453.704	-0.625		
3402 OTRI187	N 744380.662	744380.534	-0.128	0.568	0.011
	E 732102.114	732102.667	-0.553		

ค่าเลื่อนทางแกน X = -204.4 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Y = -837.7 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Z = -294.7 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.4 ค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 เมื่อใช้ค่าพิกัดที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่ในปัจจุบันเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย

หมายเลข	ชื่อหมุด	INDIAN75			INDIAN75 จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์			ผลต่างของค่าพิกัด		
		°	'	"	°	'	"	"	เมตร	
3001	OTRI91	φ	15	22	56.04870	15	22	56.05827	0.010	0.287
		λ	100	00	59.19060	100	00	59.17889	0.012	0.351
		h	115.938 ม.		116.206 ม.		0.268 ม.			
3026	OTRI103	φ	14	20	29.53571	14	20	29.52787	0.008	0.235
		λ	101	10	08.39398	101	10	08.37621	0.018	0.533
		h	727.774 ม.		727.820 ม.		0.046 ม.			
3027	OTRI101	φ	14	44	25.38122	14	44	25.38116	0.000	0.002
		λ	101	00	36.33740	101	00	36.31865	0.019	0.563
		h	425.081 เมตร		425.154 ม.		0.073 ม.			
3041	OTRI126	φ	14	55	57.43200	14	55	57.45347	0.021	0.644
		λ	103	06	06.39907	103	06	06.44072	0.042	1.249
		h	288.884 ม.		289.145 ม.		0.261 ม.			
3065	OTRI193	φ	15	35	46.49809	15	35	46.49988	0.002	0.054
		λ	105	01	37.13046	105	01	37.17057	0.040	1.203
		h	157.475 ม.		157.628 ม.		0.153 ม.			
3075	OTRI203	φ	16	25	56.47138	16	25	56.46724	0.096	2.876
		λ	104	22	21.16538	104	22	21.18108	0.016	0.471
		h	478.152 ม.		478.109 ม.		0.043 ม.			
3077	OTRI206	φ	16	35	46.04658	16	35	46.03773	0.009	0.266
		λ	104	11	17.97874	104	11	17.98296	0.004	0.127
		h	598.742 ม.		598.731 ม.		0.011 ม.			

ตารางที่ ๗.4 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อหมุด	INDIAN75			INDIAN75 จากการ แปลงด้วยพารามิเตอร์			ผลต่างของค่าพิกัด		
		๐	'	"	๐	'	"	"	เมตร	
3083	OTRI209	φ	17	11	25.44791	17	11	25.44346	0.004	0.133
		λ	104	13	32.93203	104	13	32.96087	0.029	0.865
		h	162.411 ม.		162.256 ม.		0.155 ม.			
3106	OTRI229	φ	17	30	47.34550	17	30	47.33509	0.010	0.312
		λ	101	20	54.52930	101	20	54.52009	0.009	0.276
		h	1362.677 ม.		1362.647 ม.		0.030 ม.			
3121	OTRI97	φ	15	37	21.46090	15	37	21.47940	0.018	0.555
		λ	101	02	12.61045	101	02	12.57930	0.031	0.934
		h	423.178 ม.		423.219 ม.		0.041 ม.			
3139	OTRI220	φ	16	39	55.11736	16	39	55.11061	0.007	0.203
		λ	102	37	44.51613	102	37	44.51502	0.001	0.033
		h	556.268 ม.		556.536 ม.		0.268 ม.			
3140	OTRI216	φ	16	50	09.15364	16	50	09.16061	0.007	0.209
		λ	102	56	19.72322	102	56	19.72578	0.003	0.077
		h	450.271 ม.		450.381 ม.		0.110 ม.			
3145	OTRI279	φ	15	11	43.13047	15	11	43.14388	0.013	0.402
		λ	104	15	57.49645	104	15	57.51690	0.020	0.614
		h	146.652 ม.		147.016 ม.		0.364 ม.			
3173	OTRI84	φ	15	53	03.94638	15	53	03.95690	0.011	0.316
		λ	99	27	40.55109	99	27	40.52794	0.023	0.694
		h	505.246 ม.		505.593 ม.		0.347 ม.			
3177	OTRI134	φ	16	18	35.18085	16	18	35.17637	0.004	0.134
		λ	99	27	08.10911	99	27	08.09482	0.014	0.429
		h	125.040 ม.		125.426 ม.		0.386 ม.			

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อหมุด	INDIAN75			INDIAN75 จากการ แปลงด้วยพารามิเตอร์			ผลต่างของค่าพิกัด		
		°	'	"	°	'	"	"	เมตร	
3206	OTRI234	φ	17	37	33.34031	17	37	33.33561	0.005	0.141
		λ	100	16	24.39671	100	16	24.40956	0.013	0.386
		h	342.448 ม.		342.547 ม.		0.099 ม.			
3217	OTRI147	φ	18	20	02.68039	18	20	02.68628	0.006	0.177
		λ	99	22	27.88404	99	22	27.87440	0.010	0.289
		h	236.766 ม.		237.111 ม.		0.345 ม.			
3308	OTRI22	φ	11	11	35.31083	11	11	35.32674	0.016	0.477
		λ	99	34	19.84257	99	34	19.85841	0.016	0.475
		h	220.156 ม.		220.300 ม.		0.144 ม.			
3345	OTRI61	φ	08	28	35.94423	08	28	35.90934	0.035	1.047
		λ	99	58	25.38011	99	58	25.38283	0.003	0.082
		h	14.763 ม.		14.771 ม.		0.008 ม.			
3380	OTRI67	φ	07	12	57.21763	07	12	57.15011	0.068	2.026
		λ	99	23	04.52331	99	23	04.54364	0.020	0.610
		h	333.446 ม.		333.449 ม.		0.003 ม.			
3402	OTRI187	φ	06	43	49.26538	06	43	49.26115	0.004	0.127
		λ	101	06	00.15927	101	06	00.17696	0.018	0.531
		h	87.198 ม.		86.168 ม.		1.030 ม.			

ค่าเลื่อนทางแกน X (ΔX) = -204.4 เมตรค่าเลื่อนทางแกน Y (ΔY) = -837.7 เมตรค่าเลื่อนทางแกน Z (ΔZ) = -294.7 เมตร

ตารางที่ ข.5 ค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 เมื่อใช้ค่าพิกัดที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่
ในปัจจุบันเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการแปลงด้วยพารามิเตอร์ที่ประกาศใช้อยู่

หมายเลข	ชื่อหมุด	INDIAN75			INDIAN75 จากการ แปลงด้วยพารามิเตอร์			ผลต่างของค่าพิกัด		
		°	'	"	°	'	"	"	เมตร	
3001	OTRI91	φ	15	22	56.04870	15	22	56.04050	0.008	0.246
		λ	100	00	59.19060	100	00	59.22765	0.037	1.112
		h	115.938 ม.			117.060 ม.			1.122 ม.	
3026	OTRI103	φ	14	20	29.53571	14	20	29.51038	0.025	0.760
		λ	101	10	08.39398	101	10	08.42408	0.030	0.903
		h	727.774 ม.			728.712 ม.			0.938 ม.	
3027	OTRI101	φ	14	44	25.38122	14	44	25.36350	0.018	0.532
		λ	101	00	36.33740	101	00	36.36669	0.029	0.879
		h	425.081 ม.			426.038 ม.			0.957 ม.	
3041	OTRI126	φ	14	55	57.43200	14	55	57.43528	0.003	0.098
		λ	103	06	06.39907	103	06	06.48756	0.088	2.655
		h	288.884 ม.			290.077 ม.			1.193 ม.	
3065	OTRI193	φ	15	35	46.49809	15	35	46.48093	0.017	0.515
		λ	105	01	37.13046	105	01	37.21636	0.086	2.577
		h	157.475 ม.			158.598 ม.			1.123 ม.	
3075	OTRI203	φ	16	25	56.47138	16	25	56.44799	0.077	2.298
		λ	104	22	21.16538	104	22	21.22748	0.062	1.863
		h	478.152 ม.			479.056 ม.			0.904 ม.	
3077	OTRI206	φ	16	35	46.04658	16	35	46.01842	0.028	0.845
		λ	104	11	17.97874	104	11	17.02951	0.051	1.523
		h	598.742 ม.			599.671 ม.			0.929 ม.	

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อหมวด	INDIAN75			INDIAN75 จากการ แปลงด้วยพารามิเตอร์			ผลต่างของค่าพิกัด		
		°	'	"	°	'	"	"	เมตร	
3083	OTRI209	φ	17	11	25.44791	17	11	25.42384	0.024	0.722
		λ	104	13	32.93203	104	13	33.00754	0.076	2.265
		h	162.411 ม.		163.192 ม.		0.781 ม.			
3106	OTRI229	φ	17	30	47.34550	17	30	47.31599	0.030	0.885
		λ	101	20	54.52930	101	20	54.56860	0.039	1.179
		h	1362.677 ม.		1363.512 ม.		0.835 ม.			
3121	OTRI97	φ	15	37	21.46090	15	37	21.46129	0.000	0.012
		λ	101	02	12.61045	101	02	12.62753	0.017	0.512
		h	423.178 ม.		424.095 ม.		0.917 ม.			
3139	OTRI220	φ	16	39	55.11736	16	39	55.09162	0.026	0.772
		λ	102	37	44.51613	102	37	44.56255	0.046	1.392
		h	556.268 ม.		557.440 ม.		1.172 ม.			
3140	OTRI216	φ	16	50	09.15364	16	50	09.14146	0.012	0.365
		λ	102	56	19.72322	102	56	19.77316	0.050	1.498
		h	450.271 ม.		451.290 ม.		1.019 ม.			
3145	OTRI279	φ	15	11	43.13047	15	11	43.12531	0.005	0.155
		λ	104	15	57.49645	104	15	57.56308	0.067	1.999
		h	146.652 ม.		147.972 ม.		1.320 ม.			
3173	OTRI84	φ	15	53	03.94638	15	53	03.93902	0.007	0.221
		λ	99	27	40.55109	99	27	40.57714	0.026	0.781
		h	505.246 ม.		506.428 ม.		1.182 ม.			
3177	OTRI134	φ	16	18	35.18085	16	18	35.15829	0.023	0.677
		λ	99	27	08.10911	99	27	08.14412	0.035	1.050
		h	125.040 ม.		126.257 ม.		1.217 ม.			

ตารางที่ ข.5 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อหมุด	INDIAN75			INDIAN75 จากการ แปลงด้วยพารามิเตอร์			ผลต่างของค่าพิกัด		
		°	'	"	°	'	"	"	เมตร	
3206	OTRI234	φ	17	37	33.34031	17	37	33.31671	0.024	0.708
		λ	100	16	24.39671	100	16	24.45874	0.062	1.861
		h	342.448 ม.		343.385 ม.		0.937 ม.			
3217	OTRI147	φ	18	20	02.68039	18	20	02.66728	0.013	0.393
		λ	99	22	27.88404	99	22	27.92429	0.040	1.207
		h	236.766 ม.		237.920 ม.		1.154 ม.			
3308	OTRI22	φ	11	11	35.31083	11	11	35.31112	0.000	0.009
		λ	99	34	19.84257	99	34	19.90659	0.064	1.920
		h	220.156 ม.		221.180 ม.		1.024 ม.			
3345	OTRI61	φ	08	28	35.94423	08	28	35.89504	0.049	1.476
		λ	99	58	25.38011	99	58	25.43040	0.050	1.509
		h	14.763 ม.		15.683 ม.		0.920 ม.			
3380	OTRI67	φ	07	12	57.21763	07	12	57.13653	0.081	2.433
		λ	99	23	04.52331	99	23	04.59138	0.068	2.042
		h	333.446 ม.		334.355 ม.		0.909 ม.			
3402	OTRI187	φ	06	43	49.26538	06	43	49.24765	0.018	0.532
		λ	101	06	00.15927	101	06	00.22371	0.064	1.933
		h	87.198 ม.		87.121 ม.		0.077 ม.			

ค่าเลื่อนทางแกน X (ΔX) = -206 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Y (ΔY) = -837 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Z (ΔZ) = -295 เมตร

ตารางที่ ข.6 ค่าต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียปี 1975 เมื่อแปลงจากพารามิเตอร์ที่ประกาศ
ใช้อยู่ในปัจจุบันกับค่าพิกัดที่แปลงด้วยพารามิเตอร์จากการวิจัย

หมายเลข	ชื่อหมุด	INDIAN75			INDIAN75			ผลต่างของค่าพิกัด		
		พารามิเตอร์ปัจจุบัน			พารามิเตอร์จากการวิจัย			" เมตร		
		°	'	"	°	'	"			
3001	OTRI91	φ	15	22	56.04050	15	22	56.05827	0.018	0.533
		λ	100	00	59.22765	100	00	59.17889	0.049	1.463
		h	117.060 ม.			116.206 ม.			0.854 ม.	
3026	OTRI103	φ	14	20	29.51038	14	20	29.52787	0.017	0.525
		λ	101	10	08.42408	101	10	08.37621	0.048	1.436
		h	728.712 ม.			727.820 ม.			0.892 ม.	
3027	OTRI101	φ	14	44	25.36350	14	44	25.38116	0.018	0.530
		λ	101	00	36.36669	101	00	36.31865	0.048	1.441
		h	426.038 ม.			425.154 ม.			0.884 ม.	
3041	OTRI126	φ	14	55	57.43528	14	55	57.45347	0.018	0.546
		λ	103	06	06.48756	103	06	06.44072	0.047	1.405
		h	290.077 ม.			289.145 ม.			0.932 ม.	
3065	OTRI193	φ	15	35	46.48093	15	35	46.49988	0.019	0.568
		λ	105	01	37.21636	105	01	37.17057	0.046	1.374
		h	158.598 ม.			157.628 ม.			0.970 ม.	
3075	OTRI203	φ	16	25	56.44799	16	25	56.46724	0.019	0.578
		λ	104	22	21.22748	104	22	21.18108	0.046	1.392
		h	479.056 ม.			478.109 ม.			0.947 ม.	
3077	OTRI206	φ	16	35	46.01842	16	35	46.03773	0.019	0.579
		λ	104	11	17.02951	104	11	17.98296	0.047	1.396
		h	599.671 ม.			598.731 ม.			0.940 ม.	

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อหมวด	INDIAN75			INDIAN75			ผลต่างของค่าพิกัด		
		พารามิเตอร์ปัจจุบัน			พารามิเตอร์จากการวิจัย			" เมตร		
		๐	'	"	๐	'	"	"	เมตร	
3083	OTRI209	φ	17	11	25.42384	17	11	25.44346	0.020	0.589
		λ	104	13	33.00754	104	13	32.96087	0.047	1.400
		h	163.192 ม.		162.256 ม.		0.936 ม.			
3106	OTRI229	φ	17	30	47.31599	17	30	47.33509	0.019	0.573
		λ	101	20	54.56860	101	20	54.52009	0.049	1.455
		h	1363.512 ม.		1362.647 ม.		0.865 ม.			
3121	OTRI97	φ	15	37	21.46129	15	37	21.47940	0.018	0.543
		λ	101	02	12.62753	101	02	12.57930	0.048	1.447
		h	424.095 ม.		423.219 ม.		0.876 ม.			
3139	OTRI220	φ	16	39	55.09162	16	39	55.11061	0.019	0.570
		λ	102	37	44.56255	102	37	44.51502	0.048	1.426
		h	557.440 ม.		556.536 ม.		0.904 ม.			
3140	OTRI216	φ	16	50	09.14146	16	50	09.16061	0.019	0.574
		λ	102	56	19.77316	102	56	19.72578	0.047	1.422
		h	451.290 ม.		450.381 ม.		0.909 ม.			
3145	OTRI279	φ	15	11	43.12531	15	11	43.14388	0.019	0.557
		λ	104	15	57.56308	104	15	57.51690	0.046	1.385
		h	147.972 ม.		147.016 ม.		0.956 ม.			
3173	OTRI84	φ	15	53	03.93902	15	53	03.95690	0.018	0.536
		λ	99	27	40.57714	99	27	40.52794	0.049	1.476
		h	506.428 ม.		505.593 ม.		0.835 ม.			
3177	OTRI134	φ	16	18	35.15829	16	18	35.17637	0.018	0.542
		λ	99	27	08.14412	99	27	08.09482	0.049	1.479
		h	126.257 ม.		125.426 ม.		0.831 ม.			

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อหมุด	INDIAN75			INDIAN75			ผลต่างของค่าพิกัด		
		พารามิเตอร์ปัจจุบัน			พารามิเตอร์จากการวิจัย			" เมตร		
		°	'	"	°	'	"			
3206	OTRI234	φ	17	37	33.31671	17	37	33.33561	0.019	0.567
		λ	100	16	24.45874	100	16	24.40956	0.049	1.475
		h	343.385 ม.		342.547 ม.		0.838 ม.			
3217	OTRI147	φ	18	20	02.66728	18	20	02.68628	0.019	0.570
		λ	99	22	27.92429	99	22	27.87440	0.050	1.497
		h	237.920 ม.		237.111 ม.		0.809 ม.			
3308	OTRI22	φ	11	11	35.31112	11	11	35.32674	0.016	0.469
		λ	99	34	19.90659	99	34	19.85841	0.048	1.445
		h	221.180 ม.		220.300 ม.		0.880 ม.			
3345	OTRI61	φ	08	28	35.89504	08	28	35.90934	0.014	0.429
		λ	99	58	25.43040	99	58	25.38283	0.048	1.427
		h	15.683 ม.		14.771 ม.		0.912 ม.			
3380	OTRI67	φ	07	12	57.13653	07	12	57.15011	0.014	0.407
		λ	99	23	04.59138	99	23	04.54364	0.048	1.432
		h	334.355 ม.		333.449 ม.		0.906 ม.			
3402	OTRI187	φ	06	43	49.24765	06	43	49.26115	0.013	0.405
		λ	101	06	00.22371	101	06	00.17696	0.047	1.402
		h	87.121 ม.		86.168 ม.		0.953 ม.			

พารามิเตอร์ที่ประกาศใช้อยู่ในปัจจุบัน

ค่าเลื่อนทางแกน X (ΔX) = -206 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Y (ΔY) = -837 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Z (ΔZ) = -295 เมตร

พารามิเตอร์ที่ได้จากการวิจัย

ค่าเลื่อนทางแกน X (ΔX) = -204.4 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Y (ΔY) = -837.7 เมตร

ค่าเลื่อนทางแกน Z (ΔZ) = -294.7 เมตร

ตารางที่ ข.7 ผลต่างของค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 เมื่อใช้จุดยึดต้ว 18 จุดจากการวิจัยและจุดยึดต้ว 1 จุดของกรมแผนที่ทหารที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

หมายเลข หมวด	จุดยึดต้ว 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดต้ว 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3001	1.5396210	47.5420290	107.713	1.5470000	47.5060000	111.647	0.007	0.036	0.221	1.081	3.934
3005	2.8226885	38.1525299	-21.096	2.8279138	38.1154558	-17.228	0.005	0.037	0.157	1.112	3.868
3008	49.1828360	32.2762890	75.769	49.1868246	32.2389307	79.624	0.004	0.037	0.120	1.121	3.855
3010	14.1580742	35.2585776	-26.644	14.1592155	35.2206787	-22.819	0.001	0.038	0.034	1.137	3.825
3011	25.0481816	47.8857211	-27.394	25.0497299	47.8463514	-23.621	0.002	0.039	0.046	1.181	3.773
3013	54.2527769	27.0316961	-23.810	54.2540167	26.9908281	-20.098	0.001	0.041	0.037	1.226	3.712
3015	16.3551921	52.1570367	55.668	16.3567996	52.1127340	59.338	0.002	0.044	0.048	1.329	3.670
3017	56.9625902	35.5747651	-5.800	56.9625405	35.5320736	-2.186	0.000	0.043	0.001	1.281	3.614
3022	6.3897882	56.6727520	-25.023	6.3905104	56.6357811	-21.127	0.001	0.037	0.022	1.109	3.896
3023	41.6307427	35.7659366	-22.240	41.6281380	35.7290363	-18.357	0.003	0.037	0.078	1.107	3.883
3024	29.3269021	16.6975973	-26.869	29.3258652	16.6608078	-22.948	0.001	0.037	0.031	1.104	3.921
3026	35.3740709	56.2685136	709.265	35.3728024	56.2331629	713.262	0.001	0.035	0.038	1.061	3.997
3027	31.1034714	24.2612084	408.807	31.1041344	24.2254704	412.828	0.001	0.036	0.020	1.072	4.021
3029	38.0796525	4.1429645	685.854	38.0784091	4.1083305	689.900	0.001	0.035	0.037	1.039	4.046
3032	57.7342701	49.8814532	478.126	57.7321550	49.8487104	482.249	0.002	0.033	0.063	0.982	4.123
3033	52.7272335	10.1531019	182.017	52.7253003	10.1217762	186.216	0.002	0.031	0.058	0.940	4.199
3035	9.1391051	37.5244764	142.820	9.1409568	37.4927624	147.076	0.002	0.032	0.056	0.951	4.256
3037	2.9834029	14.9722084	184.962	2.9833447	14.9407309	189.185	0.000	0.031	0.002	0.944	4.223
3040	39.1822073	42.8717350	140.588	39.1825083	42.8424323	144.930	0.000	0.029	0.009	0.879	4.342

หมายเลข หมู่	จุดยึดต้ว 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดต้ว 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3041	3.2344366	53.4237189	260.164	3.2337237	53.3953462	264.550	0.001	0.028	0.021	0.851	4.386
3043	58.1376746	48.3995951	133.297	58.1354364	48.3706328	137.636	0.002	0.029	0.067	0.869	4.339
3045	11.1917275	45.3018034	174.642	11.1872579	45.2723259	179.033	0.004	0.029	0.134	0.884	4.391
3049	34.9707897	42.8741273	177.458	34.9656983	42.8460017	181.936	0.005	0.028	0.153	0.844	4.478
3051	17.5010457	55.8891226	134.144	17.4951804	55.8633673	138.741	0.006	0.026	0.176	0.773	4.597
3052	4.0653940	57.3849310	115.131	4.0597517	57.3595838	119.793	0.006	0.025	0.169	0.760	4.662
3054	6.5209298	54.7991261	136.532	6.5146451	54.7753892	141.255	0.006	0.024	0.189	0.712	4.723
3060	24.2716314	8.6385841	110.041	24.2655521	8.6156049	114.813	0.006	0.023	0.182	0.689	4.772
3063	32.1114464	13.3201799	108.913	32.1069473	13.2962746	113.687	0.004	0.024	0.135	0.717	4.774
3065	52.2087791	23.2517961	117.666	52.2059145	23.2290676	122.523	0.003	0.023	0.086	0.682	4.857
3066	38.0257811	41.3647943	109.575	38.0229182	41.3407190	114.362	0.003	0.024	0.086	0.722	4.787
3068	21.3288837	27.8605868	139.216	21.3278616	27.8359437	144.033	0.001	0.025	0.031	0.739	4.817
3071	56.2707376	4.7421440	129.241	56.2716863	4.7166343	134.088	0.001	0.026	0.028	0.765	4.847
3074	35.4214055	33.0119808	116.371	35.4244206	32.9826687	121.290	0.003	0.029	0.090	0.879	4.919
3075	1.8963423	7.4969618	445.149	1.8992942	7.4659829	449.987	0.003	0.031	0.089	0.929	4.838
3077	51.4075407	4.3701614	567.493	51.4113788	4.3385135	572.322	0.004	0.032	0.115	0.949	4.829
3078	16.6112895	50.5784516	120.074	16.6160529	50.5494043	125.036	0.005	0.029	0.143	0.871	4.962
3082	40.0538996	26.7582419	128.216	40.0610548	26.7272761	133.217	0.007	0.031	0.215	0.929	5.001
3083	30.6438457	19.2875719	132.451	30.6502394	19.2557425	137.343	0.006	0.032	0.192	0.955	4.892

หมายเลข หมวด	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติง 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3084	56.5958160	56.3059260	120.616	56.6045550	56.2740045	125.633	0.009	0.032	0.262	0.958	5.017
3086	18.9356213	48.3453742	140.011	18.9428133	48.3128075	144.869	0.007	0.033	0.216	0.977	4.858
3088	8.5831175	59.7743200	144.699	8.5912713	59.7404314	149.514	0.008	0.034	0.245	1.017	4.815
3091	21.6941350	12.1707223	146.910	21.7028296	12.1360425	151.699	0.009	0.035	0.261	1.040	4.789
3093	31.5622170	17.7085560	140.271	31.5708158	17.6720863	144.978	0.009	0.036	0.258	1.094	4.707
3097	25.0801562	55.1104358	160.972	25.0892816	55.0714731	165.603	0.009	0.039	0.274	1.169	4.631
3098	48.7268027	44.6563197	192.270	48.7367992	44.6162833	196.873	0.010	0.040	0.300	1.201	4.603
3102	19.0671794	14.0739106	211.082	19.0812330	14.0441759	215.570	0.014	0.030	0.422	0.892	4.488
3106	52.2511957	42.1389612	1352.158	52.2657878	42.1075381	1356.579	0.015	0.031	0.438	0.943	4.421
3109	48.1079180	43.7710570	321.632	48.1216733	43.7384212	325.986	0.014	0.033	0.413	0.979	4.354
3112	45.6896265	59.8955899	634.453	45.7013883	59.8614070	638.717	0.012	0.034	0.353	1.025	4.264
3115	7.2097179	0.8065688	92.712	7.2194654	0.7727744	96.957	0.010	0.034	0.292	1.014	4.245
3118	0.9310472	37.6300094	57.775	0.9384341	37.5950300	61.923	0.007	0.035	0.222	1.049	4.148
3120	26.1477300	53.0413975	-3.737	26.1554453	53.0065864	0.347	0.008	0.035	0.231	1.044	4.084
3121	26.9439348	0.4594189	409.357	26.9502518	0.4251802	413.486	0.006	0.034	0.190	1.027	4.129
3128	2.6011108	40.9210415	127.601	2.6047534	40.8904527	131.940	0.004	0.031	0.109	0.918	4.339
3131	58.8676621	53.7885981	142.301	58.8724958	53.7586582	146.693	0.005	0.030	0.145	0.898	4.392
3134	21.3720660	2.1265106	147.971	21.3778849	2.0970173	152.399	0.006	0.029	0.175	0.885	4.428
3135	53.0853811	8.7163601	123.568	53.0899875	8.6889064	128.150	0.005	0.027	0.138	0.824	4.582

หมายเลข หมู่	จุดยึดต้ว 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดต้ว 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3136	41.8396093	42.3532926	141.659	41.8448416	42.3250167	146.213	0.005	0.028	0.157	0.848	4.554
3137	21.0659624	42.9884177	133.551	21.0711566	42.9586981	138.038	0.005	0.030	0.156	0.892	4.487
3138	23.0272848	2.3040844	145.526	23.0329289	2.2657590	150.061	0.006	0.038	0.169	1.150	4.535
3139	0.3606778	31.6021335	535.746	0.3671709	31.5671334	540.248	0.006	0.035	0.195	1.050	4.502
3140	14.3800244	6.6602320	428.078	14.3865493	6.6224297	432.679	0.007	0.038	0.196	1.134	4.601
3143	18.5489593	53.2437351	145.139	18.5566814	53.2062597	149.785	0.008	0.037	0.232	1.124	4.646
3145	48.9186393	43.9624281	111.063	48.9149988	43.9369837	115.710	0.004	0.025	0.109	0.763	4.647
3146	0.8978637	20.6446270	100.702	0.8952036	20.6189819	105.342	0.003	0.026	0.080	0.769	4.640
3147	18.6341909	33.3778781	101.310	18.6327579	33.3519817	105.945	0.001	0.026	0.043	0.777	4.635
3151	55.3384641	23.1204549	107.821	55.3386156	23.0943715	112.465	0.000	0.026	0.005	0.783	4.644
3154	11.5648151	8.3082989	118.669	11.5672610	8.2817905	123.302	0.002	0.027	0.073	0.795	4.633
3158	1.6098493	19.2002178	147.606	1.6149445	19.1687259	151.934	0.005	0.031	0.153	0.945	4.328
3159	12.9406150	1.5445960	158.741	12.9463963	1.5123913	163.047	0.006	0.032	0.173	0.966	4.306
3161	55.2718429	48.9340101	167.295	55.2767316	48.9008215	171.541	0.005	0.033	0.147	0.996	4.246
3163	14.9214691	32.3950316	247.762	14.9282829	32.3611456	251.972	0.007	0.034	0.204	1.017	4.210
3166	37.1159182	26.6723074	-17.729	37.1122529	26.6344256	-13.912	0.004	0.038	0.110	1.136	3.817
3167	17.2473290	18.4050109	-29.365	17.2430152	18.3656493	-25.576	0.004	0.039	0.129	1.181	3.789
3169	12.8312339	31.2178801	62.288	12.8374310	31.1764016	66.146	0.006	0.041	0.186	1.244	3.858
3171	48.9610035	50.8390271	125.841	48.9677200	50.7970647	129.676	0.007	0.042	0.201	1.259	3.835

หมายเลข หมู่	จุดยึดต้ว 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดต้ว 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3173	9.2580549	29.1210702	501.755	9.2663449	29.0796472	505.637	0.008	0.041	0.249	1.243	3.882
3174	17.8973100	3.2647982	90.137	17.9067408	3.2231044	94.030	0.009	0.042	0.283	1.251	3.893
3177	40.3484418	56.6671483	122.834	40.3586681	56.6261897	126.771	0.010	0.041	0.307	1.229	3.937
3178	18.6120465	19.7466594	1102.257	18.6232530	19.7039309	1106.123	0.011	0.043	0.336	1.282	3.866
3181	36.5135324	56.9551621	73.505	36.5267569	56.9135269	77.451	0.013	0.042	0.397	1.249	3.946
3183	10.6216910	17.0045321	23.207	10.6349931	16.9657190	27.281	0.013	0.039	0.399	1.164	4.074
3185	7.7200610	35.0172426	9.081	7.7330328	34.9794100	13.196	0.013	0.038	0.389	1.135	4.115
3195	45.5926938	5.7782484	193.944	45.6048863	5.7419566	198.118	0.012	0.036	0.366	1.089	4.174
3199	36.8604801	40.4514946	168.598	36.8720137	40.4186824	172.872	0.012	0.033	0.346	0.984	4.274
3202	25.1809988	2.8094421	469.478	25.1929611	2.7791879	473.855	0.012	0.030	0.359	0.908	4.377
3203	38.1402076	59.9067933	347.065	38.1537645	59.8763436	351.461	0.014	0.030	0.407	0.913	4.396
3204	46.0669469	51.4707744	56.314	46.0805419	51.4385589	60.637	0.014	0.032	0.408	0.966	4.323
3206	38.1521464	12.5181252	338.754	38.1656145	12.4844567	343.011	0.013	0.034	0.404	1.010	4.257
3207	59.2380374	55.5544668	189.251	59.2523928	55.5241052	193.662	0.014	0.030	0.431	0.911	4.411
3209	57.7184749	27.8387304	403.010	57.7339032	27.8076664	407.408	0.015	0.031	0.463	0.932	4.398
3211	18.2855174	21.7028165	123.094	18.3021076	21.6706943	127.344	0.017	0.032	0.498	0.964	4.250
3214	0.6703210	2.0419076	290.855	0.6884609	2.0082876	295.022	0.018	0.034	0.544	1.009	4.167
3216	26.9682746	50.3763129	255.719	26.9882851	50.3424768	259.917	0.020	0.034	0.600	1.015	4.198
3217	7.2288690	16.3577630	240.236	7.2475394	16.3227045	244.347	0.019	0.035	0.560	1.052	4.111

หมายเลข หมวด	จุดยึดต้ว 18 จุด จากกาวิจัย			จุดยึดต้ว 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3219	46.1668158	48.1862391	369.663	46.1864722	48.1502985	373.76	0.020	0.036	0.590	1.078	4.097
3223	39.5754529	54.7995459	289.004	39.5947400	54.7616758	293.023	0.019	0.038	0.579	1.136	4.019
3226	25.0605739	5.5176743	1453.315	25.0800246	5.4780739	1457.258	0.019	0.040	0.584	1.188	3.943
3228	24.9078659	58.2643988	942.499	24.9302869	58.2226956	946.419	0.022	0.042	0.673	1.251	3.920
3229	43.9624394	14.6103484	251.848	43.9832155	14.5679691	255.712	0.021	0.042	0.623	1.271	3.864
3230	52.1479535	27.6289851	118.714	52.1675159	27.5861366	122.542	0.020	0.043	0.587	1.285	3.828
3234	18.3457225	23.8278171	1282.926	18.3626936	23.7853634	1286.843	0.017	0.042	0.509	1.274	3.917
3238	4.2867281	41.2291188	1593.657	4.3013790	41.1870960	1597.585	0.015	0.042	0.440	1.261	3.928
3239	16.5500970	16.5478180	177.046	16.5630105	16.5036998	180.87	0.013	0.044	0.387	1.324	3.824
3252	54.6686781	11.2918095	573.750	54.6923166	11.2503543	577.699	0.024	0.041	0.709	1.244	3.949
3253	27.0109054	56.8338301	1234.479	27.0355874	56.7931719	1238.478	0.025	0.041	0.740	1.220	3.999
3255	18.0165006	50.8679620	195.264	18.0421410	50.8272446	199.277	0.026	0.041	0.769	1.222	4.013
3257	22.8006847	31.2924768	458.584	22.8260740	31.2540240	462.695	0.025	0.038	0.762	1.154	4.111
3259	25.7939162	26.7706712	701.030	25.8197085	26.7330372	705.191	0.026	0.038	0.774	1.129	4.161
3261	2.2507433	53.7143513	422.586	2.2741285	53.6788239	426.808	0.023	0.036	0.702	1.066	4.222
3262	27.6439611	23.0014227	461.004	27.6689670	22.9658908	465.255	0.025	0.036	0.750	1.066	4.251
3266	7.0338747	45.1945373	356.209	7.0546729	45.1612096	360.594	0.021	0.033	0.624	1.000	4.385
3267	45.1226619	35.3394327	406.929	45.1441593	35.3050601	411.224	0.021	0.034	0.645	1.031	4.295
3268	26.4813342	1.9012256	411.989	26.5035085	1.8652109	416.169	0.022	0.036	0.665	1.080	4.180

หมายเลข หมุด	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติง 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3270	22.2357641	12.7485961	447.681	22.2616098	12.7138120	452.017	0.026	0.035	0.775	1.044	4.336
3271	54.2259913	35.6975945	479.842	54.2503032	35.6650518	484.283	0.024	0.033	0.729	0.976	4.441
3272	58.1874192	49.2309841	377.787	58.2109292	49.2004747	382.372	0.024	0.031	0.705	0.915	4.585
3273	26.7049964	3.4566683	358.140	26.7266333	3.4254360	362.658	0.022	0.031	0.649	0.937	4.518
3275	28.8498950	10.8901530	332.050	28.8750306	10.8590102	336.641	0.025	0.031	0.754	0.934	4.591
3281	1.1976656	5.6315520	195.561	1.2169572	5.6023063	200.120	0.019	0.029	0.579	0.877	4.559
3284	23.1471820	34.7580963	268.522	23.1644419	34.7292473	273.056	0.017	0.029	0.518	0.865	4.534
3290	26.1344760	57.0136222	-29.376	26.1279049	56.9729986	-25.657	0.007	0.041	0.197	1.219	3.719
3293	53.4138681	26.3189302	92.140	53.4086333	26.2754275	95.758	0.005	0.044	0.157	1.305	3.618
3294	38.5748127	56.6641999	215.768	38.5683807	56.6209914	219.383	0.006	0.043	0.193	1.296	3.615
3296	27.0766295	9.5020335	-27.276	27.0687855	9.4606817	-23.614	0.008	0.041	0.235	1.241	3.662
3297	5.5410515	50.6695765	75.528	5.5323228	50.6261949	79.101	0.009	0.043	0.262	1.301	3.573
3299	47.6282163	52.9335393	95.632	47.6178205	52.8891326	99.167	0.010	0.044	0.312	1.332	3.535
3300	59.3500880	30.8670350	-27.376	59.3392744	30.8248603	-23.739	0.011	0.042	0.324	1.265	3.637
3302	18.9721145	6.5949098	34.918	18.9595588	6.5506402	38.427	0.013	0.044	0.377	1.328	3.509
3303	52.5565409	15.0553071	-18.220	52.5439825	15.0120681	-14.661	0.013	0.043	0.377	1.297	3.559
3304	30.9433562	21.9293489	-25.800	30.9294763	21.8854953	-22.291	0.014	0.044	0.416	1.316	3.509
3306	52.3862807	24.3467854	-22.686	52.3713737	24.3017300	-19.240	0.015	0.045	0.447	1.352	3.446
3307	54.1699413	44.3826047	64.206	54.1557070	44.3371856	67.657	0.014	0.045	0.427	1.363	3.451

หมายเลข หมู่	จุดยึดต้ว 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดต้ว 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3308	42.0021897	8.6219060	200.733	41.9860558	8.5762205	204.135	0.016	0.046	0.484	1.371	3.402
3309	37.4277694	34.8712215	48.650	37.4125399	34.8247763	52.043	0.015	0.046	0.457	1.393	3.393
3312	13.3188671	11.7837138	-18.060	13.3011567	11.7367585	-14.732	0.018	0.047	0.531	1.409	3.328
3313	49.4764363	51.1019219	25.015	49.4595110	51.0542813	28.334	0.017	0.048	0.508	1.429	3.319
3315	34.3446280	32.1993180	-4.490	34.3267974	32.1506612	-1.226	0.018	0.049	0.535	1.460	3.264
3316	56.9376159	34.9905600	-23.500	56.9186035	34.9425556	-20.228	0.019	0.048	0.570	1.440	3.272
3318	36.2156499	47.9027326	-0.075	36.1960120	47.8537824	3.132	0.020	0.049	0.589	1.469	3.207
3319	37.8108341	58.6403541	1.122	37.7919626	58.5899560	4.282	0.019	0.050	0.566	1.512	3.160
3321	54.6733319	40.1973385	-19.797	54.6529457	40.1458952	-16.718	0.020	0.051	0.612	1.543	3.079
3322	7.9556921	7.8726671	-17.834	7.9349334	7.8233114	-14.668	0.021	0.049	0.623	1.481	3.166
3324	59.8845061	45.5524452	-11.576	59.8622356	45.5029821	-8.441	0.022	0.049	0.668	1.484	3.135
3325	0.1011479	32.6780021	-17.354	0.0793354	32.6259214	-14.330	0.022	0.052	0.654	1.562	3.024
3327	53.2005988	6.1079353	-8.133	53.1758703	6.0568625	-5.115	0.025	0.051	0.742	1.532	3.018
3328	31.2790658	37.6971811	-12.736	31.2542470	37.6481586	-9.626	0.025	0.049	0.745	1.471	3.110
3330	21.0983999	34.0681962	-8.340	21.0744698	34.0149246	-5.411	0.024	0.053	0.718	1.598	2.929
3335	8.1279460	37.3466440	-19.338	8.1029369	37.2998942	-16.134	0.025	0.047	0.750	1.402	3.204
3337	20.0855390	41.9729054	10.707	20.0593289	41.9235337	13.774	0.026	0.049	0.786	1.481	3.067
3345	43.3472625	14.0561464	-17.451	43.3188454	14.0090560	-14.314	0.028	0.047	0.853	1.413	3.137
3346	51.6273442	3.8087783	11.192	51.5993084	3.7597277	14.244	0.028	0.049	0.841	1.472	3.052

หมายเลข หมู่	จุดยึดตริง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตริง 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3347	36.4948664	47.2082496	33.620	36.4663678	47.1567214	36.666	0.028	0.052	0.855	1.546	3.046
3350	9.5124132	37.8883199	-22.216	9.4877399	37.8342491	-19.329	0.025	0.054	0.740	1.622	2.887
3353	52.0424553	53.1557532	3.267	52.0154240	53.1027521	6.279	0.027	0.053	0.811	1.590	3.012
3356	33.5042284	53.6652222	23.821	33.4770835	53.6113125	26.790	0.027	0.054	0.814	1.617	2.969
3360	11.5712004	29.3726857	-7.052	11.5417599	29.3187532	-4.127	0.029	0.054	0.883	1.618	2.925
3362	12.2526381	58.6493858	5.502	12.2227051	58.5979546	8.528	0.030	0.051	0.898	1.543	3.026
3364	43.4636552	30.2013875	33.510	43.4335452	30.1514280	36.601	0.030	0.050	0.903	1.499	3.091
3366	3.1268447	27.8925543	3.941	3.0969631	27.8444640	7.122	0.030	0.048	0.896	1.443	3.181
3369	30.8885664	49.7784917	30.250	30.8572395	49.7289439	33.340	0.031	0.050	0.940	1.486	3.090
3370	18.2299091	39.8834120	-7.930	18.1979419	39.8323463	-4.922	0.032	0.051	0.959	1.532	3.008
3372	20.7916397	5.5938712	6.513	20.7601833	5.5456513	9.663	0.031	0.048	0.944	1.447	3.150
3380	4.9102051	53.5168543	299.577	4.8766199	53.4655440	302.546	0.034	0.051	1.008	1.539	2.969
3382	51.0412743	13.7486202	2.276	51.0076968	13.7005520	5.392	0.034	0.048	1.007	1.442	3.116
3383	15.7957216	25.9309886	-11.977	15.7617395	25.8845868	-8.789	0.034	0.046	1.019	1.392	3.188
3384	5.1095323	23.6055661	11.556	5.0746542	23.5578990	14.668	0.035	0.048	1.046	1.430	3.112
3385	29.6863611	23.2661868	-14.252	29.6513515	23.2207898	-10.371	0.035	0.045	1.050	1.362	3.881
3386	46.3594537	44.2837648	65.726	46.3242411	44.2348553	68.774	0.035	0.049	1.056	1.467	3.048
3388	57.1436187	15.5766127	-12.840	57.1080842	15.5267358	-9.832	0.036	0.050	1.066	1.496	3.008
3392	32.7271295	48.3650173	30.655	32.6910564	48.3167583	33.886	0.036	0.048	1.082	1.448	3.231

หมายเลข หมุด	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติง 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3393	55.1293250	20.1116082	48.117	55.0920496	20.0644890	51.833	0.037	0.047	1.118	1.414	3.716
3399	33.1689095	49.3951000	68.437	33.1303816	49.3983158	72.328	0.039	0.003	1.156	0.096	3.891
3400	49.9823559	43.8405668	-9.177	49.9452336	43.7965941	-5.169	0.037	0.044	1.114	1.319	4.008
3401	42.6137137	58.5614101	27.098	42.5747665	58.5170820	31.055	0.039	0.044	1.168	1.330	3.957
3402	57.1906670	48.3927900	39.850	57.1528531	48.3492638	43.928	0.038	0.044	1.134	1.306	4.078
3405	22.9169843	40.8269883	-11.526	22.8796933	40.7843093	-7.405	0.037	0.043	1.119	1.280	4.121
3406	40.8621378	1.9765885	-9.485	40.8234743	1.9353523	-5.342	0.039	0.041	1.160	1.237	4.143
3408	0.9387013	45.6019928	34.354	0.8984813	45.5586203	38.438	0.040	0.043	1.207	1.301	4.084
3410	18.6790316	41.2458776	33.242	18.6383372	41.2034652	37.282	0.041	0.042	1.221	1.272	4.040
3413	59.8597406	38.2294182	-8.272	59.8196895	38.1886583	-4.137	0.040	0.041	1.202	1.223	4.135
3418	35.5789594	29.8901984	-28.364	35.5745889	29.8525989	-24.559	0.004	0.038	0.131	1.128	3.805
3422	40.0244382	40.8231283	-28.146	40.0197483	40.7865576	-24.334	0.005	0.037	0.141	1.097	3.812
3424	47.7478610	15.4022872	28.929	47.7426172	15.3666892	32.748	0.005	0.036	0.157	1.068	3.819
3425	15.0195232	16.9064409	163.366	15.0139352	16.8699465	167.101	0.006	0.036	0.168	1.095	3.735
3427	13.9100770	40.9545760	51.519	13.9039653	40.9193047	55.276	0.006	0.035	0.183	1.058	3.757
3428	44.4395416	43.5584449	-22.352	44.4331620	43.5221783	-18.615	0.006	0.036	0.191	1.088	3.737
3432	38.7996541	46.3272078	-20.688	38.7913964	46.2922459	-16.927	0.008	0.035	0.248	1.049	3.761
3434	19.7236520	59.9942441	-10.879	19.7161387	59.9607683	-7.043	0.008	0.033	0.225	1.004	3.836
3438	24.7619884	9.6664650	6.290	24.7549730	9.6291709	10.186	0.007	0.037	0.210	1.119	3.896

หมายเลข หมุด	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติง 1 จุดของกรมแผนที่ทหาร			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84					
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)	
3440	31.4462069	58.5767707	77.887	31.4369930	58.5398762	81.765	0.009	0.037	0.276	1.107	3.878	
3442	24.7935190	38.6613400	-17.458	24.7843667	38.6249991	-13.544	0.009	0.036	0.275	1.090	3.914	
3444	5.6975265	0.6636650	11.073	5.6885985	0.6287922	15.057	0.009	0.035	0.268	1.046	3.984	
3448	31.4882669	47.4590792	224.317	31.4810140	47.4233690	228.283	0.007	0.036	0.218	1.071	3.966	
3450	22.4234463	39.5071380	107.212	22.4172724	39.4723141	111.230	0.006	0.035	0.185	1.045	4.018	
3453	16.8742196	21.1159286	127.267	16.8693692	21.0814007	131.314	0.005	0.035	0.146	1.036	4.047	
3457	30.3547683	48.3385680	41.788	30.3511316	48.3062510	45.942	0.004	0.032	0.109	0.970	4.154	
3460	39.8861326	4.6897278	210.878	39.8842579	4.6585115	215.100	0.002	0.031	0.056	0.936	4.222	
3463	2.3445291	40.2491641	190.539	2.3505308	40.2065915	194.348	0.006	0.043	0.180	1.277	3.809	
3466	18.5394819	3.6498732	91.390	18.5443092	3.6072581	95.180	0.005	0.043	0.145	1.278	3.790	
3469	3.8889881	29.6898148	90.109	3.8912409	29.6457990	93.798	0.002	0.044	0.068	1.320	3.689	
3477	5.5813970	3.9910150	4.680	5.5817627	3.9458039	8.290	0.000	0.045	0.011	1.356	3.610	
3656	18.0316360	51.0956120	195.722	18.0572758	51.0548491	199.739	0.026	0.041	0.769	1.223	4.017	
3657	32.6482410	12.9430760	-1.784	32.6179224	12.8878634	1.066	0.030	0.055	0.910	1.656	2.850	
							MAX	0.041	0.055	1.221	1.656	5.017
							MIN	0.000	0.003	0.001	0.096	2.850
							MEAN	0.014	0.038	0.424	1.142	3.976
							S.D.	0.011	0.008	0.332	0.241	0.540

ตารางที่ ข.8 ผลต่างของค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 เมื่อใช้จุดยึดต้ว 18 จุดจากการวิจัยและจุดยึดต้ว 4 จุดที่กรมแผนที่ทหารทำงานร่วมกับ NIMA

หมายเลข หมุด	จุดยึดต้ว 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดต้วของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3001	1.5396210	47.5420290	107.713	1.5406300	47.5308500	107.887	0.001	0.011	0.030	0.335	0.174
3005	2.8226885	38.1525299	-21.096	2.8234131	38.1409597	-20.931	0.001	0.012	0.022	0.347	0.165
3008	49.1828360	32.2762890	75.769	49.1832081	32.2641951	75.927	0.000	0.012	0.011	0.363	0.158
3010	14.1580742	35.2585776	-26.644	14.1577750	35.2454065	-26.503	0.000	0.013	0.009	0.395	0.141
3011	25.0481816	47.8857211	-27.394	25.0477464	47.8723218	-27.262	0.000	0.013	0.013	0.402	0.132
3013	54.2527769	27.0316961	-23.810	54.2521867	27.0178835	-23.694	0.001	0.014	0.018	0.414	0.116
3015	16.3551921	52.1570367	55.668	16.3544254	52.1414970	55.803	0.001	0.016	0.023	0.466	0.135
3017	56.9625902	35.5747651	-5.800	56.9630902	35.5617829	-5.688	0.001	0.013	0.015	0.389	0.112
3022	6.3897882	56.6727520	-25.023	6.3895135	56.6595423	-24.877	0.000	0.013	0.008	0.396	0.146
3023	41.6307427	35.7659366	-22.240	41.6300430	35.7535213	-22.075	0.001	0.012	0.021	0.372	0.165
3024	29.3269021	16.6975973	-26.869	29.3266818	16.6844040	-26.720	0.000	0.013	0.007	0.396	0.149
3026	35.3740709	56.2685136	709.265	35.3738655	56.2552934	709.427	0.000	0.013	0.006	0.397	0.162
3027	31.1034714	24.2612084	408.807	31.1031869	24.2479208	408.970	0.000	0.013	0.009	0.399	0.163
3029	38.0796525	4.1429645	685.854	38.0794661	4.1296469	686.024	0.000	0.013	0.006	0.400	0.170
3032	57.7342701	49.8814532	478.126	57.7341359	49.8681497	478.314	0.000	0.013	0.004	0.399	0.188
3033	52.7272335	10.1531019	182.017	52.7270920	10.1398518	182.228	0.000	0.013	0.004	0.398	0.211
3035	9.1391051	37.5244764	142.820	9.1403232	37.5091013	142.976	0.001	0.015	0.037	0.461	0.156
3037	2.9834029	14.9722084	184.962	2.9847069	14.9568705	185.116	0.001	0.015	0.039	0.460	0.154
3040	39.1822073	42.8717350	140.588	39.1831500	42.8568501	140.744	0.001	0.015	0.028	0.447	0.156

หมายเลข หมวด	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติงของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3041	3.2344366	53.4237189	260.164	3.2351833	53.4087329	260.332	0.001	0.015	0.022	0.450	0.168
3043	58.1376746	48.3995951	133.297	58.1383749	48.3845650	133.461	0.001	0.015	0.021	0.451	0.164
3045	11.1917275	45.3018034	174.642	11.1915988	45.2862893	174.828	0.000	0.016	0.004	0.465	0.186
3049	34.9707897	42.8741273	177.458	34.9703604	42.8588779	177.651	0.000	0.015	0.013	0.457	0.193
3051	17.5010457	55.8891226	134.144	17.5005475	55.8739326	134.345	0.000	0.015	0.015	0.456	0.201
3052	4.0653940	57.3849310	115.131	4.0646427	57.3699196	115.334	0.001	0.015	0.023	0.450	0.203
3054	6.5209298	54.7991261	136.532	6.5204980	54.7837791	136.731	0.000	0.015	0.013	0.460	0.199
3060	24.2716314	8.6385841	110.041	24.2712578	8.6229311	110.244	0.000	0.016	0.011	0.470	0.203
3063	32.1114464	13.3201799	108.913	32.1110618	13.3041148	109.114	0.000	0.016	0.012	0.482	0.201
3065	52.2087791	23.2517961	117.666	52.2083600	23.2356436	117.871	0.000	0.016	0.013	0.485	0.205
3066	38.0257811	41.3647943	109.575	38.0246877	41.3475219	109.800	0.001	0.017	0.033	0.518	0.225
3068	21.3288837	27.8605868	139.216	21.3278076	27.8427152	139.441	0.001	0.018	0.032	0.536	0.225
3071	56.2707376	4.7421440	129.241	56.2697379	4.7233667	129.465	0.001	0.019	0.030	0.563	0.224
3074	35.4214055	33.0119808	116.371	35.4212800	32.9879684	116.592	0.000	0.024	0.004	0.720	0.221
3075	1.8963423	7.4969618	445.149	1.8960544	7.4729605	445.361	0.000	0.024	0.009	0.720	0.212
3077	51.4075407	4.3701614	567.493	51.4071440	4.3461888	567.708	0.000	0.024	0.012	0.719	0.215
3078	16.6112895	50.5784516	120.074	16.6107845	50.5540250	120.296	0.001	0.024	0.015	0.733	0.222
3082	40.0538996	26.7582419	128.216	40.0536985	26.7316263	128.434	0.000	0.027	0.006	0.798	0.218
3083	30.6438457	19.2875719	132.451	30.6433973	19.2621066	132.639	0.000	0.025	0.013	0.764	0.188

หมายเลข หมู่	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติงของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3084	56.5958160	56.3059260	120.616	56.5956875	56.2785252	120.832	0.000	0.027	0.004	0.822	0.216
3086	18.9356213	48.3453742	140.011	18.9349928	48.3201166	140.196	0.001	0.025	0.019	0.758	0.185
3088	8.5831175	59.7743200	144.699	8.5823953	59.7490874	144.878	0.001	0.025	0.022	0.757	0.179
3091	21.6941350	12.1707223	146.910	21.6933528	12.1455068	147.086	0.001	0.025	0.023	0.756	0.176
3093	31.5622170	17.7085560	140.271	31.5613788	17.6834142	140.440	0.001	0.025	0.025	0.754	0.169
3097	25.0801562	55.1104358	160.972	25.0792242	55.0853179	161.133	0.001	0.025	0.028	0.754	0.161
3098	48.7268027	44.6563197	192.270	48.7258237	44.6312498	192.431	0.001	0.025	0.029	0.752	0.161
3102	19.0671794	14.0739106	211.082	19.0702030	14.0583064	211.314	0.003	0.016	0.091	0.468	0.232
3106	52.2511957	42.1389612	1352.158	52.2541618	42.1233941	1352.382	0.003	0.016	0.089	0.467	0.224
3109	48.1079180	43.7710570	321.632	48.1109519	43.7555510	321.850	0.003	0.016	0.091	0.465	0.218
3112	45.6896265	59.8955899	634.453	45.6925761	59.8800401	634.671	0.003	0.016	0.088	0.466	0.218
3115	7.2097179	0.8065688	92.712	7.2118653	0.7919729	92.912	0.002	0.015	0.064	0.438	0.200
3118	0.9310472	37.6300094	57.775	0.9320290	37.6165924	57.937	0.001	0.013	0.029	0.403	0.162
3120	26.1477300	53.0413975	-3.737	26.1486661	53.0283315	-3.572	0.001	0.013	0.028	0.392	0.165
3121	26.9439348	0.4594189	409.357	26.9450491	0.4463995	409.518	0.001	0.013	0.033	0.391	0.161
3128	2.6011108	40.9210415	127.601	2.6022888	40.9056087	127.763	0.001	0.015	0.035	0.463	0.162
3131	58.8676621	53.7885981	142.301	58.8688113	53.7731432	142.470	0.001	0.015	0.034	0.464	0.169
3134	21.3720660	2.1265106	147.971	21.3731738	2.1109528	148.141	0.001	0.016	0.033	0.467	0.170
3135	53.0853811	8.7163601	123.568	53.0867367	8.7033133	123.714	0.001	0.013	0.041	0.391	0.146

หมายเลข หมู่	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติงของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3136	41.8396093	42.3532926	141.659	41.8408709	42.3401780	141.802	0.001	0.013	0.038	0.393	0.143
3137	21.0659624	42.9884177	133.551	21.0653754	42.9720047	133.737	0.001	0.016	0.018	0.492	0.186
3138	23.0272848	2.3040844	145.526	23.0265066	2.2791245	145.687	0.001	0.025	0.023	0.749	0.161
3139	0.3606778	31.6021335	535.746	0.3597630	31.5814131	535.913	0.001	0.021	0.027	0.622	0.167
3140	14.3800244	6.6602320	428.078	14.3792283	6.6352060	428.242	0.001	0.025	0.024	0.751	0.164
3143	18.5489593	53.2437351	145.139	18.5481284	53.2186565	145.305	0.001	0.025	0.025	0.752	0.166
3145	48.9186393	43.9624281	111.063	48.9196557	43.9495238	111.228	0.001	0.013	0.030	0.387	0.165
3146	0.8978637	20.6446270	100.702	0.8998300	20.6330400	100.855	0.002	0.012	0.059	0.348	0.153
3147	18.6341909	33.3778781	101.310	18.6360586	33.3661463	101.459	0.002	0.012	0.056	0.352	0.149
3151	55.3384641	23.1204549	107.821	55.3401047	23.1084607	107.969	0.002	0.012	0.049	0.360	0.148
3154	11.5648151	8.3082989	118.669	11.5671669	8.2964872	118.814	0.002	0.012	0.071	0.354	0.145
3158	1.6098493	19.2002178	147.606	1.6109483	19.1848372	147.770	0.001	0.015	0.033	0.461	0.164
3159	12.9406150	1.5445960	158.741	12.9416721	1.5292304	158.902	0.001	0.015	0.032	0.461	0.161
3161	55.2718429	48.9340101	167.295	55.2729080	48.9187108	167.452	0.001	0.015	0.032	0.459	0.157
3163	14.9214691	32.3950316	247.762	14.9224707	32.3808816	247.924	0.001	0.014	0.030	0.425	0.162
3166	37.1159182	26.6723074	-17.729	37.1150581	26.6601916	-17.563	0.001	0.012	0.026	0.363	0.166
3167	17.2473290	18.4050109	-29.365	17.2463198	18.3928785	-29.197	0.001	0.012	0.030	0.364	0.168
3169	12.8312339	31.2178801	62.288	12.8304967	31.2029451	62.449	0.001	0.015	0.022	0.448	0.161
3171	48.9610035	50.8390271	125.841	48.9607879	50.824347	126.004	0.000	0.015	0.006	0.440	0.163

หมายเลข หมู่	จุดยึดต้ว 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดต้วของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต้วของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3173	9.2580549	29.1210702	501.755	9.2581796	29.1064468	501.921	0.000	0.015	0.004	0.439	0.166
3174	17.8973100	3.2647982	90.137	17.8975962	3.2501203	90.305	0.000	0.015	0.009	0.440	0.168
3177	40.3484418	56.6671483	122.834	40.3490432	56.6525447	123.006	0.001	0.015	0.018	0.438	0.172
3178	18.6120465	19.7466594	1102.257	18.6131498	19.7322040	1102.426	0.001	0.014	0.033	0.434	0.169
3181	36.5135324	56.9551621	73.505	36.5152651	56.9406708	73.687	0.002	0.014	0.052	0.435	0.182
3183	10.6216910	17.0045321	23.207	10.6235949	16.9898885	23.402	0.002	0.015	0.057	0.439	0.195
3185	7.7200610	35.0172426	9.081	7.7221082	35.0025153	9.283	0.002	0.015	0.061	0.442	0.202
3195	45.5926938	5.7782484	193.944	45.5951880	5.7631659	194.151	0.002	0.015	0.075	0.452	0.207
3199	36.8604801	40.4514946	168.598	36.8606333	40.4382473	168.837	0.000	0.013	0.005	0.397	0.239
3202	25.1809988	2.8094421	469.478	25.1811965	2.7963799	469.702	0.000	0.013	0.006	0.392	0.224
3203	38.1402076	59.9067933	347.065	38.1403422	59.8937003	347.288	0.000	0.013	0.004	0.393	0.223
3204	46.0669469	51.4707744	56.314	46.0670344	51.4577485	56.541	0.000	0.013	0.003	0.391	0.227
3206	38.1521464	12.5181252	338.754	38.1521656	12.5051947	338.977	0.000	0.013	0.001	0.388	0.223
3207	59.2380374	55.5544668	189.251	59.2380390	55.5414343	189.473	0.000	0.013	0.000	0.391	0.222
3209	57.7184749	27.8387304	403.010	57.7183391	27.8257613	403.229	0.000	0.013	0.004	0.389	0.219
3211	18.2855174	21.7028165	123.094	18.2860590	21.6910116	123.240	0.001	0.012	0.016	0.354	0.146
3214	0.6703210	2.0419076	290.855	0.6712036	2.0305670	290.974	0.001	0.011	0.026	0.340	0.119
3216	26.9682746	50.3763129	255.719	26.9691069	50.3649112	255.843	0.001	0.011	0.025	0.342	0.124
3217	7.2288690	16.3577630	240.236	7.2297000	16.3464600	240.348	0.001	0.011	0.025	0.339	0.112

หมายเลข หมู่	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติงของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3219	46.1668158	48.1862391	369.663	46.1677625	48.1748507	369.778	0.001	0.011	0.028	0.342	0.115
3223	39.5754529	54.7995459	289.004	39.5765736	54.7881145	289.12	0.001	0.011	0.034	0.343	0.116
3226	25.0605739	5.5176743	1453.315	25.0617429	5.5062692	1453.426	0.001	0.011	0.035	0.342	0.111
3228	24.9078659	58.2643988	942.499	24.9094290	58.2529493	942.623	0.002	0.011	0.047	0.343	0.124
3229	43.9624394	14.6103484	251.848	43.9640057	14.5987323	251.964	0.002	0.012	0.047	0.348	0.116
3230	52.1479535	27.6289851	118.714	52.1495296	27.6172581	118.829	0.002	0.012	0.047	0.352	0.115
3234	18.3457225	23.8278171	1282.926	18.3472170	23.8142940	1283.084	0.001	0.014	0.045	0.406	0.158
3238	4.2867281	41.2291188	1593.657	4.2882705	41.2151217	1593.829	0.002	0.014	0.046	0.420	0.172
3239	16.5500970	16.5478180	177.046	16.5515586	16.5335428	177.212	0.001	0.014	0.044	0.428	0.166
3252	54.6686781	11.2918095	573.750	54.6702225	11.2804611	573.877	0.002	0.011	0.046	0.340	0.127
3253	27.0109054	56.8338301	1234.479	27.0124214	56.8224844	1234.605	0.002	0.011	0.045	0.340	0.126
3255	18.0165006	50.8679620	195.264	18.0179759	50.8566064	195.389	0.001	0.011	0.044	0.341	0.125
3257	22.8006847	31.2924768	458.584	22.8022282	31.2809807	458.722	0.002	0.011	0.046	0.345	0.138
3259	25.7939162	26.7706712	701.030	25.7949373	26.7588370	701.159	0.001	0.012	0.031	0.355	0.129
3261	2.2507433	53.7143513	422.586	2.2511667	53.7021305	422.708	0.000	0.012	0.013	0.367	0.122
3262	27.6439611	23.0014227	461.004	27.6443436	22.9891456	461.125	0.000	0.012	0.011	0.368	0.121
3266	7.0338747	45.1945373	356.209	7.0335638	45.1815553	356.413	0.000	0.013	0.009	0.389	0.204
3267	45.1226619	35.3394327	406.929	45.1227894	35.3268728	407.091	0.000	0.013	0.004	0.377	0.162
3268	26.4813342	1.9012256	411.989	26.4817798	1.8890623	412.11	0.000	0.012	0.013	0.365	0.121

หมายเลข หมู่	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติงของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3270	22.2357641	12.7485961	447.681	22.2357588	12.7359982	447.827	0.000	0.013	0.000	0.378	0.146
3271	54.2259913	35.6975945	479.842	54.2257905	35.6848314	480.023	0.000	0.013	0.006	0.383	0.181
3272	58.1874192	49.2309841	377.787	58.1867509	49.2177063	378.020	0.001	0.013	0.020	0.398	0.233
3273	26.7049964	3.4566683	358.140	26.7044764	3.4434381	358.369	0.001	0.013	0.016	0.397	0.229
3275	28.8498950	10.8901530	332.050	28.8490559	10.8768828	332.285	0.001	0.013	0.025	0.398	0.235
3281	1.1976656	5.6315520	195.561	1.1973196	5.6183407	195.794	0.000	0.013	0.010	0.396	0.233
3284	23.1471820	34.7580963	268.522	23.1469651	34.7449588	268.753	0.000	0.013	0.007	0.394	0.231
3290	26.1344760	57.0136222	-29.376	26.1334291	57.0015185	-29.209	0.001	0.012	0.031	0.363	0.167
3293	53.4138681	26.3189302	92.140	53.4127079	26.3069079	92.304	0.001	0.012	0.035	0.361	0.164
3294	38.5748127	56.6641999	215.768	38.5736747	56.6521369	215.937	0.001	0.012	0.034	0.362	0.169
3296	27.0766295	9.5020335	-27.276	27.0756078	9.4899893	-27.112	0.001	0.012	0.031	0.361	0.164
3297	5.5410515	50.6695765	75.528	5.5397282	50.6572428	75.686	0.001	0.012	0.040	0.370	0.158
3299	47.6282163	52.9335393	95.632	47.6268911	52.9210605	95.822	0.001	0.012	0.040	0.374	0.190
3300	59.3500880	30.8670350	-27.376	59.3489568	30.8547644	-27.156	0.001	0.012	0.034	0.368	0.220
3302	18.9721145	6.5949098	34.918	18.9709589	6.5825137	35.127	0.001	0.012	0.035	0.372	0.209
3303	52.5565409	15.0553071	-18.220	52.5554590	15.0431134	-18.001	0.001	0.012	0.032	0.366	0.219
3304	30.9433562	21.9293489	-25.800	30.9424355	21.9172541	-25.571	0.001	0.012	0.028	0.363	0.229
3306	52.3862807	24.3467854	-22.686	52.3859111	24.3349871	-22.409	0.000	0.012	0.011	0.354	0.277
3307	54.1699413	44.3826047	64.206	54.1698704	44.3708897	64.497	0.000	0.012	0.002	0.351	0.291

หมายเลข หมู่	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติงของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3308	42.0021897	8.6219060	200.733	42.0020650	8.6101765	201.028	0.000	0.012	0.004	0.352	0.295
3309	37.4277694	34.8712215	48.650	37.4278873	34.8595332	48.958	0.000	0.012	0.004	0.351	0.308
3312	13.3188671	11.7837138	-18.060	13.3190772	11.7720675	-17.738	0.000	0.012	0.006	0.349	0.322
3313	49.4764363	51.1019219	25.015	49.4768368	51.0902776	25.348	0.000	0.012	0.012	0.349	0.333
3315	34.3446280	32.1993180	-4.490	34.3452334	32.1876963	-4.139	0.001	0.012	0.018	0.349	0.351
3316	56.9376159	34.9905600	-23.500	56.9382808	34.9789539	-23.146	0.001	0.012	0.020	0.348	0.354
3318	36.2156499	47.9027326	-0.075	36.2163404	47.8912656	0.270	0.001	0.011	0.021	0.344	0.345
3319	37.8108341	58.6403541	1.122	37.8114478	58.6288225	1.464	0.001	0.012	0.018	0.346	0.342
3321	54.6733319	40.1973385	-19.797	54.6739871	40.1858827	-19.461	0.001	0.011	0.020	0.344	0.336
3322	7.9556921	7.8726671	-17.834	7.9564254	7.8612784	-17.493	0.001	0.011	0.022	0.342	0.341
3324	59.8845061	45.5524452	-11.576	59.8852921	45.5411102	-11.234	0.001	0.011	0.024	0.340	0.342
3325	0.1011479	32.6780021	-17.354	0.1018604	32.6665979	-17.021	0.001	0.011	0.021	0.342	0.333
3327	53.2005988	6.1079353	-8.133	53.2014672	6.0965757	-7.798	0.001	0.011	0.026	0.341	0.335
3328	31.2790658	37.6971811	-12.736	31.2799571	37.6859082	-12.392	0.001	0.011	0.027	0.338	0.344
3330	21.0983999	34.0681962	-8.340	21.0991801	34.0568858	-8.012	0.001	0.011	0.023	0.339	0.328
3335	8.1279460	37.3466440	-19.338	8.1291387	37.3354118	-18.990	0.001	0.011	0.036	0.337	0.348
3337	20.0855390	41.9729054	10.707	20.0866504	41.9617509	11.050	0.001	0.011	0.033	0.335	0.343
3345	43.3472625	14.0561464	-17.451	43.3485125	14.0449593	-17.100	0.001	0.011	0.037	0.336	0.351
3346	51.6273442	3.8087783	11.192	51.6285317	3.7976542	11.537	0.001	0.011	0.036	0.334	0.345

หมายเลข หมู่	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติงของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3347	36.4948664	47.2082496	33.620	36.4957998	47.1968863	34.061	0.001	0.011	0.028	0.341	0.441
3350	9.5124132	37.8883199	-22.216	9.5133044	37.8768869	-21.882	0.001	0.011	0.027	0.343	0.334
3353	52.0424553	53.1557532	3.267	52.0430910	53.1445515	3.721	0.001	0.011	0.019	0.336	0.454
3356	33.5042284	53.6652222	23.821	33.5048357	53.6540441	24.273	0.001	0.011	0.018	0.335	0.452
3360	11.5712004	29.3726857	-7.052	11.5720146	29.3614241	-6.614	0.001	0.011	0.024	0.338	0.438
3362	12.2526381	58.6493858	5.502	12.2536768	58.6380674	5.946	0.001	0.011	0.031	0.340	0.444
3364	43.4636552	30.2013875	33.510	43.4647398	30.1900252	33.958	0.001	0.011	0.033	0.341	0.448
3366	3.1268447	27.8925543	3.941	3.1279719	27.8811175	4.395	0.001	0.011	0.034	0.343	0.454
3369	30.8885664	49.7784917	30.250	30.8897562	49.7671531	30.702	0.001	0.011	0.036	0.340	0.452
3370	18.2299091	39.8834120	-7.930	18.2310845	39.8721432	-7.483	0.001	0.011	0.035	0.338	0.447
3372	20.7916397	5.5938712	6.513	20.7928682	5.5824905	6.970	0.001	0.011	0.037	0.341	0.457
3380	4.9102051	53.5168543	299.577	4.9115395	53.5056668	300.030	0.001	0.011	0.040	0.336	0.453
3382	51.0412743	13.7486202	2.276	51.0429005	13.7371226	2.726	0.002	0.011	0.049	0.345	0.450
3383	15.7957216	25.9309886	-11.977	15.7975618	25.9195444	-11.510	0.002	0.011	0.055	0.343	0.467
3384	5.1095323	23.6055661	11.556	5.1113643	23.5941986	12.018	0.002	0.011	0.055	0.341	0.462
3385	29.6863611	23.2661868	-14.252	29.6884330	23.2555014	-13.093	0.002	0.011	0.062	0.321	1.159
3386	46.3594537	44.2837648	65.726	46.3612649	44.2724594	66.184	0.002	0.011	0.054	0.339	0.458
3388	57.1436187	15.5766127	-12.840	57.1453420	15.5655354	-12.367	0.002	0.011	0.052	0.332	0.473
3392	32.7271295	48.3650173	30.655	32.7289170	48.3539786	31.288	0.002	0.011	0.054	0.331	0.633

หมายเลข หมุด	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติงของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84				
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)
3393	55.1293250	20.1116082	48.117	55.1311958	20.1007546	49.201	0.002	0.011	0.056	0.326	1.084
3399	33.1689095	49.3951000	68.437	33.1708511	49.4331179	69.651	0.002	0.038	0.058	1.141	1.214
3400	49.9823559	43.8405668	-9.177	49.9844622	43.8297397	-7.931	0.002	0.011	0.063	0.325	1.246
3401	42.6137137	58.5614101	27.098	42.6157189	58.5505299	28.326	0.002	0.011	0.060	0.326	1.228
3402	57.1906670	48.3927900	39.850	57.1927716	48.3818361	41.148	0.002	0.011	0.063	0.329	1.298
3405	22.9169843	40.8269883	-11.526	22.9191000	40.8159900	-10.247	0.002	0.011	0.063	0.330	1.279
3406	40.8621378	1.9765885	-9.485	40.8642638	1.9655389	-8.218	0.002	0.011	0.064	0.331	1.267
3408	0.9387013	45.6019928	34.354	0.9408002	45.5910880	35.596	0.002	0.011	0.063	0.327	1.242
3410	18.6790316	41.2458776	33.242	18.6811857	41.2349295	34.495	0.002	0.011	0.065	0.328	1.253
3413	59.8597406	38.2294182	-8.272	59.8619206	38.2183944	-7.009	0.002	0.011	0.065	0.331	1.263
3418	35.5789594	29.8901984	-28.364	35.5781840	29.8781808	-28.205	0.001	0.012	0.023	0.361	0.159
3422	40.0244382	40.8231283	-28.146	40.0238790	40.8112825	-27.994	0.001	0.012	0.017	0.355	0.152
3424	47.7478610	15.4022872	28.929	47.7474861	15.3905858	29.076	0.000	0.012	0.011	0.351	0.147
3425	15.0195232	16.9064409	163.366	15.0193165	16.8949940	163.498	0.000	0.011	0.006	0.343	0.132
3427	13.9100770	40.9545760	51.519	13.9098841	40.9433457	51.638	0.000	0.011	0.006	0.337	0.119
3428	44.4395416	43.5584449	-22.352	44.4394602	43.5469558	-22.218	0.000	0.011	0.002	0.345	0.134
3432	38.7996541	46.3272078	-20.688	38.7997171	46.3157188	-20.549	0.000	0.011	0.002	0.345	0.139
3434	19.7236520	59.9942441	-10.879	19.7237785	59.9826879	-10.736	0.000	0.012	0.004	0.347	0.143
3438	24.7619884	9.6664650	6.290	24.7641569	9.6508380	6.440	0.002	0.016	0.065	0.469	0.150

หมายเลข หมวด	จุดยึดตติง 18 จุด จากการวิจัย			จุดยึดตติงของหน่วยงาน NIMA			ค่าความต่างของพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84					
	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	h (ม.)	ละติจูด (")	ลองจิจูด (")	ละติจูด (ม.)	ลองจิจูด (ม.)	h (ม.)	
3440	31.4462069	58.5767707	77.887	31.4484649	58.5611739	78.039	0.002	0.016	0.068	0.468	0.152	
3442	24.7935190	38.6613400	-17.458	24.7961207	38.6455852	-17.295	0.003	0.016	0.078	0.473	0.163	
3444	5.6975265	0.6636650	11.073	5.7000396	0.6478578	11.237	0.003	0.016	0.075	0.474	0.164	
3448	31.4882669	47.4590792	224.317	31.4906537	47.4433387	224.472	0.002	0.016	0.072	0.472	0.155	
3450	22.4234463	39.5071380	107.212	22.4256929	39.4914324	107.368	0.002	0.016	0.067	0.471	0.156	
3453	16.8742196	21.1159286	127.267	16.8763095	21.1002693	127.422	0.002	0.016	0.063	0.470	0.155	
3457	30.3547683	48.3385680	41.788	30.3566247	48.3229893	41.947	0.002	0.016	0.056	0.467	0.159	
3460	39.8861326	4.6897278	210.878	39.8877577	4.6742174	211.038	0.002	0.016	0.049	0.465	0.160	
3463	2.3445291	40.2491641	190.539	2.3439246	40.2340989	190.695	0.001	0.015	0.018	0.452	0.156	
3466	18.5394819	3.6498732	91.390	18.5388241	3.6346778	91.542	0.001	0.015	0.020	0.456	0.152	
3469	3.8889881	29.6898148	90.109	3.8880601	29.6743909	90.244	0.001	0.015	0.028	0.463	0.135	
3477	5.5813970	3.9910150	4.680	5.5805971	3.9754435	4.809	0.001	0.016	0.024	0.467	0.129	
3656	18.0316360	51.0956120	195.722	18.0331281	51.0841872	195.852	0.001	0.011	0.045	0.343	0.130	
3657	32.6482410	12.9430760	-1.784	32.6487118	12.9321044	-1.342	0.000	0.011	0.014	0.329	0.442	
							MAX	0.003	0.038	0.091	1.141	1.298
							MIN	0.000	0.011	0.000	0.321	0.111
							MEAN	0.001	0.014	0.030	0.422	0.271
							S.D.	0.001	0.004	0.021	0.123	0.250

ตารางที่ 3.9 ค่าพิกัดหมุดหลักฐานที่ทำกรรังวัดด้วยวิธีการทางดาราศาสตร์

หมายเลขหมุด	ชื่อหมุด	ค่าพิกัดทางดาราศาสตร์			ที่ตั้งหมุด	ที่หมาย	ปีที่ทำการรังวัด
		ละติจูด o ' "	ลองจิจูด o ' "	อะซิมูท o ' "			
2	ปลายเส้นฐานใต้ราชฯ	13 33 18.28500	99 50 04.83000	177 09 11.55500	โคกหม้อ อ.เมือง จ.ราชบุรี	ปลายเส้นฐานเหนือราชบุรี สามเหลี่ยม 1	-
61	ปลายเส้นฐานเหนือนครศรีฯ	08 28 47.63500	99 58 06.69321	77 40 23.95000	อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช	เขาหลักไก่อ สามเหลี่ยม 64	-
193	ปลายเส้นฐาน ตต.อุบลฯ	15 35 55.16400	105 01 14.58800	284 13 17.93300	ต.ห้วยมะเขือ อ.ตระการพืชผล จ.อุบล	ปลายเส้นฐานตะวันออกอุบล สามเหลี่ยม 194	-
146	ปลายเส้นฐาน ตอ.ลำปาง	18 17 11.00323	99 27 37.80300	119 54 57.46200	อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง	-	-
222	ปลายเส้นฐานเหนืออุดรฯ	16 54 48.03000	102 32 21.24000	353 47 57.32400	ต.โนนสัง อ.หนองบัวลำภู จ.อุดรฯ	ปลายเส้นฐานอุดรธานี สามเหลี่ยม 223	-
187	หมุดควนบู	06 44 02.12430	101 05 42.01200	258 55 47.02500	อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	สามเหลี่ยม สามเหลี่ยม 188	-
209	หมุดบ้านแป้น	17 11 36.54220	104 13 14.42110	78 12 43.09800	ต.นาแก้ว อ.เมือง จ.สงขลา	ภูเขาเยว(สกลนคร) สามเหลี่ยม 210	2502-03
65	หมุดเขาเกาะลันตา	07 31 06.56500	99 04 34.04690	287 26 12.79130	อ.เกาะลันตา จ.กระบี่	เขากันตัง สามเหลี่ยม 66	-
66	หมุดเขาเกาะกันตัง	07 22 35.33940	99 31 38.47320	107 29 41.49380	อ.กันตัง จ.ตรัง	เขาเกาะลันตา สามเหลี่ยม 65	-
149	หมุดดอยขุนง	18 27 27.65500	99 29 57.56400	334 17 05.77600	อ.เมือง จ.ลำปาง	ดอยหลวงลำปาง สามเหลี่ยม 144	-
126	หมุดเขากระโดง	14 56 14.145534	103 05 48.71631	271 22 11.50200	ต.เสม็ด อ.เมือง บุรีรัมย์	วงรอบชั้นที่ 1 3	-
35	หมุดเขาบางเบน	09 37 04.62400	98 28 54.45000	24 56 59.15000	อ.เมือง จ.ระนอง	เกาะระ สามเหลี่ยม 37	2509-10
173	หมุดเขาหัวควาย	09 03 10.69000	99 14 29.08500	231 21 27.96000	อ.ท่าข้าม จ.สุราษฎร์ฯ	เขาเกาะนกกระเบา สามเหลี่ยม 171	2511-12
171	เขาเกาะนกกระเบา	09 23 34.87000	99 40 16.51500	51 25 35.35800	อ.ดอนสัก จ.สุราษฎร์ฯ	เขาหัวควาย สามเหลี่ยม 173	2511-12
147	ปลายเส้นฐาน ตต.ลำปาง	18 20 08.82260	99 22 14.11000	299 53 19.35000	อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง	ปลายเส้นฐานตะวันออกลำปาง สามเหลี่ยม 144	2512-13
Astro Pier	Astro Pier	18 46 08.48900	98 58 07.99500	220 27 42.43200	เที่ยงใหม่	-	-
194	ปลายเส้นฐาน ตอ.อุบลฯ	15 34 18.39000	105 07 51.84500	104 15 01.56000	ต.ห้วยมะเขือ อ.ตระการพืชผล จ.อุบล	ปลายเส้นฐาน ตต.อุบลฯ สามเหลี่ยม 193	2513-14
133	ปลายเส้นฐาน น.จ.จันทบุรี	12 36 15.42400	102 08 25.94800	17 28 16.77700	ต.พลับพลา อ.เมือง จ.จันทบุรี	ปลายเส้นฐานใต้ จ.จันทบุรี สามเหลี่ยม 132	2515
132	ปลายเส้นฐาน ต.จ.จันทบุรี	12 33 13.08400	102 07 28.39200	197 28 04.29000	ต.พลับพลา อ.เมือง จ.จันทบุรี	ปลายเส้นฐานเหนือ จ.จันทบุรี สามเหลี่ยม 133	2515
317	หมุดเขาเลียว	14 41 19.55300	100 46 39.43600	165 54 10.90800	ต.พุกม่วง อ.พระพุทธบาท จ.สระบุรี	เขาวงพระจันทร์ สามเหลี่ยม 316	2518-19
91	เขาสะแกกรัง	15 23 03.03300	100 00 42.34400	318 23 38.50400	อ.เมือง จ.อุทัยธานี	เขาสะแกกรัง สามเหลี่ยม 90	2516-17
90	เขาน้ำก้นลำ(เขาสะแก)	15 15 33.60700	100 07 32.42300	138 25 27.67300	อ.เมือง จ.ชัยนาท	เขาสะแกกรัง สามเหลี่ยม 91	2516-17

หมายเลข หมู่	ชื่อหมู่	ค่าพิกัดทางดาราศาสตร์			ที่ตั้งหมู่	ที่หมาย	ปีที่ทำการรังวัด
		ละติจูด o ' "	ลองจิจูด o ' "	อะซิมูท o ' "			
250	หมู่ตบางพลี	13 36 16.68300	100 42 17.14800	194 16 01.65900	ต.บางพลีใหญ่ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ	ลาดกระบัง ลาดกระบัง 249	2516-17
249	หมู่ตลาดกระบัง	13 43 30.18100	100 44 09.65700	14 16 28.51300	ต.ลาดกระบัง อ.ลาดกระบัง จ.พระนคร	อ.บางพลี สามเหลี่ยม 250	2516-17
103	หมู่ตเขายางดำ	14 20 34.67600	101 09 46.86200	158 48 32.02500	อ.เมือง จ.นครนายก	เขากำซอน สามเหลี่ยม 100	2517-18
100	หมู่ตเขากำซอน	14 44 29.39400	101 00 18.70600	338 46 09.37500	ต.หาดสองแคว อ.แก่งคอย จ.สระบุรี	เขายางดำ สามเหลี่ยม 103	-
278	บ้านหุบโมกข์	15 21 19.54100	104 10 23.31500	331 37 35.92100	ต.เมืองดง อ.วาปีปทุม จ.ศรีสะเกษ	บ้านครูชอด สามเหลี่ยม 279	2517-18
279	หมู่ตบ้านครูชอด	15 11 54.66500	104 15 36.99000	151 38 59.93400	ต.คูชอด อ.เมือง จ.ศรีสะเกษ	บ้านหุบโมกข์ สามเหลี่ยม 278	2517-18
314	วัดแจ้งพรหมนคร	14 50 49.04400	100 25 14.41500	247 40 21.96800	ต.ต้นโพธิ์ อ.เมือง จ.สิงห์	เขาวงพระจันทร์ สามเหลี่ยม 316	2518-19
49	หมู่ตเขาล้าน	07 48 40.54600	98 18 57.10100	194 24 51.65400	อ.เมือง จ.ภูเก็ต	เขาประทิว สามเหลี่ยม 48	2518-19
141	คอยกิวลม	17 38 10.12600	98 59 12.76500	15 46 58.00000	อ.ลี้ จ.ลำพูน	คอยปุยหลวง สามเหลี่ยม 139	2518-19
6	คอยห้วยแม่ด่าน (วงรอบ)	17 18 18.84200	98 14 26.44500	99 30 33.21200	อ.ท่าสองยาง จ.ตาก	คอยแม่อุสุ	2519-20
15	คอยขุนแม่เตี้ยะ (วงรอบ)	18 10 27.69100	98 28 56.71300	179 28 22.53300	อ.ฮอด จ.เชียงใหม่	คอยขุนแม่เตี้ยะ วงรอบ 16	2519-20
26	คอยขุนแม่แมะ (วงรอบ)	19 17 40.42500	98 50 10.10400	273 11 49.29700	ต.แม่่นะ อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	คอยจอมหด วงรอบ 155	2519-20
40	คอยกอมมู (วงรอบ)	19 17 55.928693	97 57 24.813972	189 31 19.26500	ต.จอมคำ อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน	คอยห้อยแม่สะงี(คอยผาแดง) วงรอบ 41	2520-21
33	คอยช้าง (วงรอบ)	18 34 21.905982	97 57 50.864832	190 05 32.01700	ต.แม่ลาหลวง อ.แม่ลาน้อย จ.แม่ฮ่องสอน	คอยช้าง(คอยมีฮ้าย) วงรอบ 34	2520-21
354	เขาผาแดง (วงรอบ)	16 43 43.82600	100 27 59.02700	150 25 24.59300	ต.หนองพระ อ.วังทอง จ.พิษณุ	เขาสมอแครง วงรอบ 358	2520-21
358	หมู่ตเขาสมอแครง (วงรอบ)	16 50 48.705293	100 23 56.740560	330 24 16.82800	อ.วังทอง จ.พิษณุ	เขาผาแดง วงรอบ 354	2520-21
84	หมู่ตเขาชนกัน	15 53 10.246464	99 27 21.315924	178 49 36.312862	ต.แม่เฒ่า อ.ลาดยาว จ.นครสวรรค์	เขาพริก สามเหลี่ยม 134	2521-22
134	หมู่ตเขาพริก	16 18 40.350795	99 26 51.88560	358 49 28.147345	ต.อ่างทอง อ.เมือง จ.กำแพงเพชร	เขากันชน สามเหลี่ยม 84	2521-22
337	หมู่ตบ้านปราสาท (วงรอบ)	15 14 39.238410	102 22 09.62200	150 24 24.86900	ต.ธารปราสาท อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา	ไม่มีที่หมาย	2522-23
340	หมู่ตบ้านโจด (วงรอบ)	15 24 47.230314	102 16 14.28700	330 22 51.95400	ต.เมืองนาท อ.ขามสะแกแสง จ.นครราชสีมา	ไม่มีที่หมาย	2522-23
261	หมู่ตภูผากล้วย	15 59 39.058991	101 51 03.35100	157 45 37.11200	ต.นาคันทัก อ.หนองบัวแดง จ.ชัยภูมิ	ไม่มีที่หมาย	2522-23
262	หมู่ตภูผาเหล็กค้ำง	16 10 01.715397	101 46 37.12700	337 44 23.64700	ต.หนองบัวแดง อ.หนองบัวแดง จ.ชัย	ไม่มีที่หมาย	2522-23

หมายเลข หมุด	ชื่อหมุด	ค่าพิกัดทางดาราศาสตร์			ที่ตั้งหมุด	ที่หมาย	ปีที่ทำการรังวัด
		ละติจูด o ' "	ลองจิจูด o ' "	อะซิมูท o ' "			
234	คอยแม่แล	17 37 40.53500	100 16 04.72400	109 54 16.77500	ต.ผาจุก อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์	คอยผักกูด สามเหลี่ยม 238	2523-24
238	คอยผักกูด	17 44 45.23600	99 55 35.74500	289 48 05.33800	ต.แม่พลู อ.ลับแล จ.อุดรดิตถ์	ไม่มีที่หมาย	2523-24
203	ภูผาแดง	16 26 04.39205	104 22 02.30865	132 41 16.22300	ต.บ้านเป้า อ.คำชะอี จ.นครพนม	ไม่มีที่หมาย	2524-25
206	ภูเมย	16 35 51.387011	104 10 56.015115	312 38 06.70500	ต.หนองห้าง อ.ภูผามาศ จ.กาฬสินธุ์	ไม่มีที่หมาย	2524-25
97	เขายางตาป้อ	15 37 27.71270	101 01 59.04480	126 07 53.56600	ต.สระประดู่ อ.วิเชียรบุรี จ.เพชรบูรณ์	เขาสูง สามเหลี่ยม 95	2525
174	หมุดบ้านเขว้า (วงรอบ)	15 46 44.44800	101 54 32.46890	254 43 21.37700	อ.เขว้า จ.ชัยภูมิ	ไม่มีที่หมาย	2526
220	หมุดภูพานคำ	16 40 04.17340	102 37 25.02150	240 12 19.35700	ต.เก่าข่า อ.น้ำพอง จ.ขอนแก่น	เขาสวนกวาง สามเหลี่ยม 216	2525
214	หมุดสนามบินหนองคาย (วงรอบ)	17 52 18.77130	102 44 42.22460	318 18 06.13500	อ.เมือง จ.หนองคาย	อ.เพ็ญ วงรอบ 215	2526
202	หมุดภูน้อย (วงรอบ)	17 17 58.37930	102 11 02.86940	115 54 09.27100	อ.นากลาง จ.อุดรธานี	ภูยั้ง	2526
241	หมุดคอยหินแก้ว วงรอบ	18 44 43.305472	100 44 23.92080	179 57 39.73500	ต.คูใต้ อ.เมือง จ.น่าน	คอยสันบวก วงรอบ 242	2527-28
256	คอยเขาควย วงรอบ	19 53 04.897269	99 48 32.043168	89 48 17.89000	ต.รอบเวียง อ.เมือง จ.เชียงราย	คอยแม่กรณ์ สามเหลี่ยม 160	2527-28
269	หมุดคอยม่อนทรายนอน วงร	18 43 59.338987	99 59 25.55655	169 22 13.91900	ต.หลวงใต้ อ.เมือง จ.ลำปาง	คอยแม่หยวก วงรอบ 270	2528-29
302	หมุดคอยแดง วงรอบ	17 01 26.047806	98 58 52.31336	135 05 34.33500	ต.ทุ่งกระเซาะ อ.บ้านตาก จ.ตาก	คอยปู่หลวง 139 สามเหลี่ยม 139	-
362	หมุดเขาดินหยง วงรอบ	06 25 02.17900	101 51 59.40000	130 49 52.30700	อ.เมือง จ.นราธิวาส	ไม่ทราบที่หมาย	2530-31
348	หมุดเขาคอหงส์ วงรอบ	07 01 03.99500	100 31 02.07448	320 12 39.11700	อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	ไม่ทราบที่หมาย	2530-31
229	หมุดภูเรือ	17 31 07.96300	101 20 40.51392	330 31 13.53900	ต.หนองบัว อ.ภูเรือ จ.เลย	ภูหลวง สามเหลี่ยม 228	2531-32
394	หมุดดงบัง วงรอบ	18 02 02.76200	104 08 31.27629	138 23 28.16200	ต.ดงบัง กิ่ง อ.บึงโขงหลง จ.หนองคาย	ภูวัว วงรอบ 393	2531-32

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 นิยามศัพท์

ศัพท์	คำอธิบาย
Datum Transformation	การหมุน การเลื่อนและการย่อขยาย โคจรย้ายจากพื้นหลักฐานหนึ่งไป อีกพื้นหลักฐานหนึ่ง
Error Ellipse	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานวงรีแสดงพื้นที่ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนแบบ 2 มิติ
Height above ellipsoid (h)	<p>ค่าระดับสูงเหนืออิลลิปซอยด์อ้างอิง</p> $h = H + N$ <p>N = ระดับสูงย้อยเหนืออิลลิปซอยด์</p> <p>H = ระดับสูงเหนือน้ำทะเลปานกลาง</p>
Minimally constrained	การคำนวณปรับแก้ที่ไม่ต้องกำหนดจุดควบคุมให้กับโคจรย้าย จะกระทำเป็นขั้นตอนแรกของการคำนวณปรับแก้ ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนที่อาจแฝงมากับข้อมูลที่สำรวจมาหรือความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากจุดควบคุม
Precise Ephemeris	ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมที่ได้รับการคำนวณใหม่จากสถานีติดตามดาวเทียมบนพื้นดินที่รู้ค่าพิกัดแล้วและทำการคำนวณตำแหน่งของดาวเทียมที่ปรากฏจริงขณะเวลาใดๆ ภายหลังจากรับสัญญาณดาวเทียมแล้ว
Ratio	การปิดค่า Bias Value ให้เป็นจำนวนเต็มเรียกว่า Integer โดย Integer ชุดแรกกระทำโดยปิดเศษขึ้นหรือลง ส่วน Integer ชุดที่สองกระทำโดยบวก และลบ Integer ชุดแรกด้วย 1 และ 2 หลังจากนั้นจึงทำการคัดเลือกกลุ่ม Integer ที่ให้ค่า Sum of residual (SOR) น้อยที่สุด การเปรียบเทียบ SOR ของกลุ่ม Integer อันดับสองกับ SOR ของกลุ่ม Integer ที่คาดว่าดีที่สุด ถ้าผลการเปรียบเทียบให้ค่า Ratio มากกว่า 3 แสดงค่าข้อมูลในการรังวัดครั้งนี้ดี (Ratoi ยิ่งมากยิ่งดี)

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ศัพท์	คำอธิบาย
Reference factor	การวัดขนาดของเศษคงเหลือของค่าสังเกตในโครงข่ายที่ปรับแก้แล้ว เปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนคาดคะเนของค่าสังเกตก่อนการคำนวณปรับแก้
Tau Criterion	<ul style="list-style-type: none"> - วิธีการทดสอบทางสถิติที่ค่าสังเกตใดควรจะถูกขจัดออกไปจากการคำนวณปรับแก้ทางสี่สแควร์ - ค่า Tau Criterion จะมีขนาดใดขึ้นอยู่กับจำนวนค่าสังเกตและลำดับชั้นความอิสระ - ถ้าค่าสังเกตใดมีค่าส่วนเบี่ยงเบนเศษคงเหลือมาตรฐานมากกว่าค่า Tau Criterion แล้ว ค่าเศษคงเหลือนั้นจะต้องถูกขจัดออกไป

ประวัติผู้เขียน

ร้อยโท ศราวุธ อยู่สำราญ เกิดวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ.2515 ที่อำเภอเมือง จังหวัด นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมแผนที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ โรงเรียน นายร้อยพระจุลจอมเกล้า ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2541 ปัจจุบันรับราชการที่แผนกยี่อเดซีและ ยี่อพิลิกส์ กรมแผนที่ทหาร กรุงเทพมหานคร



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย