



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพสำหรับประเทศไทย

The Suitability of Earth Gravitational Models in Thailand

นามผู้วิจัย นายสิวะ เทียมภัก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ธีรธร อัสวรจันนท์, M.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ดิษฐ์ เมฆากุลชาติ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ยอดสุคติ, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศึกษาของพิภพสำหรับประเทศไทย

The Suitability of Earth Gravitational Models in Thailand

โดย

นายสิวะ เทียมภัก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิเว เทียมถัก 2556: ความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพสำหรับประเทศไทย
ไทย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชา
วิศวกรรมโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ธีรธร อัสวรุจจนนท์,
M.Eng. 150 หน้า

ค่าพิคตทางคิ่งในงานสำรวจทางวิศวกรรมหรือความสูงออร์โทเมตริก เป็นความสูงที่อ้างอิง
กับพื้นผิวจีโออยด์ ซึ่งได้จากการเดินระดับด้วยกล้องระดับ ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสำรวจด้วย
ดาวเทียมระบบจีพีเอสได้เข้ามามีบทบาทในการกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกที่มีความถูกต้องสูง
โดยพิคตทางคิ่งจากจีพีเอสนั้นจะเป็นความสูงเหนือรูปทรงรี ดังนั้นจำเป็นต้องแปลงความสูงเหนือ
รูปทรงรีไปสู่ความสูงออร์โทเมตริก ซึ่งเป็นความสูงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่
ทั้งนี้จำเป็นต้องมีความสูงจีโออยด์ที่มีความถูกต้อง

ด้วยวัตถุประสงค์ของการวิจัย มุ่งที่จะศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักยภาพของ
พิภพสำหรับประเทศไทย จากการประยุกต์ใช้ข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ร่วมกับหมุด
หลักฐานการระดับ และแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพสองแบบ คือ EGM96 และ EGM2008 ใน
การดำเนินการวิจัยได้ใช้พื้นที่ประเทศไทยเป็นพื้นที่ศึกษา และใช้ข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพี
เอสที่จัดทำโดยกรมที่ดิน ในการประมวลผลเส้นฐานเพื่อสร้างโครงข่ายประเทศไทย โครงข่าย
ประกอบด้วยเส้นฐาน 1,421 เส้น เชื่อมโยงหมุดในโครงข่ายจำนวน 370 หมุด ในจำนวนดังกล่าว
เป็นหมุดหลักฐานการระดับจำนวน 30 หมุด ซึ่งจะถูกพิจารณาใช้เป็นค่าบังคับในการประมวลผล
และใช้เป็นค่าอ้างอิงในการวิเคราะห์

ผลจากการวิจัย พบว่า แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ EGM2008 เป็นแบบจำลองที่มีความ
เหมาะสมสำหรับพื้นที่ประเทศไทยมากกว่า แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ EGM1996 ด้วย
ความคงเส้นคงวาที่ดีกว่าประมาณ 1 เซนติเมตร โดยผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับ
จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง EGM2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดหลักฐานการระดับ
ให้มีค่าคงที่จำนวน 8 หมุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการทำระดับ จะให้ค่า
ต่างความสูงเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0699 เมตร และ 0.1766 เมตร ตามลำดับ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Siva Thiampak 2013: The Suitability of Earth Gravitational Models in Thailand.
Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department
of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Thirathorn Asavarujanon,
M.Eng. 150 pages.

The heights obtained from leveling or orthometric heights are referred to the geoid. In engineering surveying applications, the orthometric height is needed. Presently, Global Positioning System (GPS) has increasingly played an important role for highly accurate positioning. The GPS heights are typically the heights above the ellipsoid. To accurately convert GPS ellipsoidal heights into orthometric heights, we must know the relationship between the geoid and the ellipsoid, often known as geoidal heights.

The objective of this research is to study the suitability of Earth Gravitational Models in Thailand. Based on the application of survey data by GPS satellite in combination with benchmarks and both types of The Earth Gravitational Models; EGM96 and EGM2008, this research focused on the area of Thailand and used GPS network prepared by the Department of Lands consisting of 1,421 baselines connecting to 370 major control stations. Among these major control stations, 30 stations were the benchmarks. Elevations of benchmarks were used as fixed values in the adjustment and as reference values in the analysis.

Findings from the research suggest that EGM2008 is more suitable for Thailand than EGM1996 at centimeter level. Orthometric heights obtained from the application of EGM2008 in combination with 8 fixed benchmarks compared with orthometric heights from leveling show difference in average height and standard deviation at 0.0699 and 0.1766 meters, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ นายปาน เทียมภัก และนางพนิดา สมานกุล ผู้ซึ่งเป็นบิดา และมารดาของผู้วิจัย รวมถึงนายสุรชาติ – นางสาวอรุณี มาลาศรี ผู้ซึ่งเป็นผู้ปกครอง ที่ได้คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง อบรมสั่งสอน และสนับสนุนในทุก ๆ ด้านเสมอมา

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ธีรธร อัสวรุจจานนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ดิบุญ เมธากุลชาติ กรรมการที่ปรึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร โกษา ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการศึกษา ตลอดจนการตรวจแก้ไขรายงานจนแล้วเสร็จสมบูรณ์ รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัช สุขวิมลเสรี ผู้ซึ่งคอยอบรมสั่งสอน ทั้งทางด้านวิชาการ ด้านคุณธรรม จริยธรรม และสร้างให้ผู้วิจัยได้มีวันนี้ รวมถึงเป็นผู้ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ระหว่างการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่กรมที่ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณไพโรจน์ เผือกวิไล ที่ปรึกษาด้านวิศวกรรมสำรวจ กรมที่ดิน และคุณสุธี สุทธิภักทรานนท์ วิศวกรรังวัดชำนาญการ กรมที่ดิน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย รวมถึงให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการประมวลผล ขอขอบพระคุณ คุณวิชาญ ททาไพโรจน์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคนิค บริษัทไอเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ไฟล์แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ สำหรับใช้ในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้และอบรมสั่งสอน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปใช้ในการดำเนินชีวิต และต่อหน้าที่การงาน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ความดีหรือประโยชน์อันใดซึ่งเกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบเพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแต่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมโดยรวมสืบไป

สิวะ เทียมภัก

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	56
ผล	56
วิจารณ์	117
สรุปและข้อเสนอแนะ	121
สรุป	121
ข้อเสนอแนะ	122
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	124
ภาคผนวก	127
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	150

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	พารามิเตอร์รูปทรงรีอ้างอิง	8
2	ค่าระดับหรือค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดหลักฐานการระดับ	35
3	การอธิบายลำดับขั้นตอนการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย	52
4	สรุปผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบ	56
5	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล ในกรณีปราศจากการกำหนดหมุดควบคุมทางดิ่ง	58
6	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งสามหมุด	60
7	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งสี่หมุด	63
8	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งห้าหมุด	65
9	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งหกหมุด	68
10	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งเจ็ดหมุด	70
11	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งแปดหมุด	73
12	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งเก้าหมุด	75
13	การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าความสูงจากการทำระดับ และความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	การเปรียบเทียบค่าความสูงจีโออยด์ของหมุดควบคุมทางดิ่ง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ	80
15	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริกซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการ ประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนด ค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนแปดหมุด	82
16	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริกซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการ ประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนด ค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนแปดหมุด	84
17	การเปรียบเทียบผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก ในกรณีประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ	86
18	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 2 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย	91
19	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 1 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย	92
20	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 2 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย	93
21	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 1 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 3 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย	95
23	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 2 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย	96
24	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 4 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย	98
25	การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 2 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย	99
26	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย	100
27	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย	101
28	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย	102
29	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
30	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย	103
31	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย	104
32	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย	105
33	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย	106
34	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 3 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย	107
35	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 3 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย	107
36	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย	109
37	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย	109

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
38	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศัภภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 4 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย	110
39	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศัภภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 4 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย	111
40	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศัภภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย	112
41	การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ภูมิศัภภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุม ทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย	113
42	การเปรียบเทียบค่าความสูงจีโออยด์จากการคำนวณ และจากการประยุกต์ใช้ แบบจำลองภูมิศัภภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008	114
43	ค่าทางสถิติของผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริกโดยการประยุกต์ใช้ แบบจำลองทั้ง 2 แบบ ร่วมกับการกำหนดหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ จำนวน 8 หมุด กรณีประมวลผลโดยใช้โครงข่ายประเทศไทย	118
44	ค่าทางสถิติของผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยการประยุกต์ใช้ แบบจำลองทั้ง 2 แบบ ร่วมกับการกำหนดหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ ในจำนวนที่เหมาะสมของแต่ละพื้นที่ กรณีประมวลผลโดยแยกโครงข่าย ประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน	118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบระหว่างค่าพิกัดซึ่งได้จากการวิจัย และค่าพิกัดที่กรมที่ดินประกาศใช้	128



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สัณฐานของ โลกรูปทรงจีโออยด์	6
2	รูปทรงรีอ้างอิงและพารามิเตอร์ของรูปทรงรี	7
3	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวต่างๆ ในงานจีโอเดซี	9
4	ความสัมพันธ์ระหว่างสัณฐานของโลกรูปทรงกลมและรูปทรงรี	9
5	รูปทรงรีที่ใช้เป็นพื้นหลักฐานของทวีปอเมริกาเหนือ และยุโรปตะวันตก เปรียบเทียบกับจีโออยด์	11
6	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐานพิภพ (WGS84) เปรียบเทียบกับจีโออยด์	11
7	วงโคจรดาวเทียม	13
8	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงออร์โทเมตริก ความสูงเหนือรูปทรงรี และความสูงจีโออยด์	15
9	ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉากสามมิติและระบบพิกัดภูมิศาสตร์	17
10	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวจีโออยด์ พื้นผิวรูปทรงรี และความสูงจีโออยด์	18
11	อะนอมาลีแรงถ่วงที่จุด P	20
12	แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 (EGM96)	24
13	แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (EGM2008)	24
14	บริเวณพื้นที่ประเทศไทยสำหรับการวิจัย	32
15	แผนที่ตำแหน่งหมุดควบคุมทางราบจำนวน 18 หมุด	33
16	แผนที่ตำแหน่งหมุดหลักฐานการระดับหรือควบคุมทางตั้งจำนวน 30 หมุด	34
17	ตำแหน่งหมุด โครงข่ายหลัก (Major Control) จำนวน 370 หมุด	37
18	บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 1	38
19	บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 2	39
20	บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 3	40
21	บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 4	41
22	บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 5	42
23	บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 6	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 7	44
25	บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 8	45
26	โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 1	47
27	โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 2	47
28	โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 3	48
29	โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 4	48
30	โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 5	49
31	โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 6	49
32	โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 7	50
33	โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 8	50
34	โครงข่ายประเทศไทยจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส สำหรับการวิจัย	51
35	ผังงานขั้นตอนการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่ายประเทศไทย	54
36	ผังงานขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	55
37	ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่ จำนวนสามหมุด	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่ จำนวนสี่หมุด	63
39	ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่ จำนวนห้าหมุด	65
40	ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่ จำนวนหกหมุด	68
41	ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่ จำนวนเจ็ดหมุด	70
42	ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่ จำนวนแปดหมุด	73
43	ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่ จำนวนเก้าหมุด	75
44	พื้นผิวสามมิติแสดงผลต่างความสูงกรณีประยุกต์ใช้แบบจำลอง EGM96 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้คงที่จำนวน 8 หมุด	84
45	พื้นผิวสามมิติแสดงผลต่างความสูงกรณีประยุกต์ใช้แบบจำลอง EGM2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้คงที่จำนวน 8 หมุด	86
46	โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 1 ของประเทศไทย	91
47	โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 2 ของประเทศไทย	92
48	โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 3 ของประเทศไทย	93
49	โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 4 ของประเทศไทย	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 5 ของประเทศไทย	95
51	โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 6 ของประเทศไทย	96
52	โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 7 ของประเทศไทย	97
53	โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 8 ของประเทศไทย	98
54	พื้นผิวสามมิติของความสูงจีโออยด์บริเวณพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งได้จากการคำนวณ	116
55	พื้นผิวสามมิติของความสูงจีโออยด์บริเวณพื้นที่ประเทศไทยจาก แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996	116
56	พื้นผิวสามมิติของความสูงจีโออยด์บริเวณพื้นที่ประเทศไทยจาก แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008	117

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

- EGM96 = Earth Gravitational Model 1996 แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 เป็นแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ฮาร์มอนิกทรงกลมในระดับชั้น (Degree) และอันดับ (Order) สูงถึง 360 โดยมีอะนอมาลีความถ่วงเฉลี่ย 30' ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าความสูงจีออยด์ ซึ่งแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ได้รับการพัฒนาโดยความร่วมมือ ระหว่างองค์การแผนที่และภาพถ่ายแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Imagery and Mapping Agency, NIMA) ศูนย์การบินอวกาศกอดดาร์ด องค์การนาซา (NASA Goddard Space Flight Center, NASA GSFC) และมหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอไฮโอ (Ohio State University, OSU)
- EGM2008 = Earth Gravitational Model 2008 แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 เป็นแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ฮาร์มอนิกทรงกลมในระดับชั้น (Degree) 2190 และอันดับ (Order) 2159 โดยมีอะนอมาลีความถ่วงเฉลี่ย 5' ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าความสูงจีออยด์ ซึ่งแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ได้รับการพัฒนาและเผยแพร่โดยกลุ่มพัฒนา EGM ขององค์การอัจฉริยะเชิงพื้นที่แห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (U.S. National Geospatial-Intelligence Agency, NGA)
- GPS = Global Positioning System ดาวเทียมระบบจีพีเอส เป็นระบบนำวิถีที่ใช้ในการบอกพิกัดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ถูกสร้างและพัฒนาโดยหน่วยงานทางทหารของสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นระบบที่มีดาวเทียมทั้งสิ้น 24 ดวง สามารถระบุตำแหน่งได้ทุกที่บนพื้นผิวโลก ตลอด 24 ชั่วโมง และในทุกสภาพอากาศ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

- h = Ellipsoidal Height เป็นความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวรูปทรงรี ซึ่งความสูงเหนือรูปทรงรีได้จากการแปลงค่าพิกัดจากระบบพิกัดฉากสามมิติ ที่แสดงตำแหน่งค่าพิกัดเป็น (X, Y, Z) ซึ่งเป็นพิกัดได้จากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสโดยตรง มาเป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์ หรือระบบพิกัดทางยิปโซเดซี (Geodetic coordinate) ซึ่งอ้างอิงกับพื้นหลักฐานรูปทรงรี (Ellipsoid Datum) โดยจะระบุตำแหน่งค่าพิกัดด้วยค่าละติจูด (ϕ) ลองจิจูด (λ) และความสูงเหนือรูปทรงรี (Ellipsoidal height, h)
- H = Orthometric height ความสูงออร์โทเมตริก เป็นความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวจีอออยด์ หรืออีกนัยหนึ่งคือความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง (พื้นผิวจีอออยด์เป็นพื้นผิวที่ศักย์ภาพความถ่วงเท่ากันตลอดทั้งพื้นผิว และเป็นพื้นผิวที่ใช้อ้างอิงในงานระดับ) ซึ่งความสูงออร์โทเมตริกเป็นความสูงที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด เนื่องจากเป็นความสูงที่ใช้กันทั่วไปในงานวิศวกรรม
- N = Geoidal Height or Geoid Undulation ความสูงจีอออยด์ เป็นความสูงที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นผิวรูปทรงรี และพื้นผิวจีอออยด์ โดยค่าความสูงจีอออยด์สามารถมีค่าเป็น ได้ทั้งบวกและลบ ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าพื้นผิวจีอออยด์สูงกว่าพื้นผิวของทรงรี

ความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพสำหรับประเทศไทย

The Suitability of Earth Gravitational Models in Thailand

คำนำ

ดาวเทียมระบบจีพีเอส เป็นระบบนำวิถีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาให้มีบทบาทสำคัญในการสำรวจ เนื่องจากเป็นระบบการกำหนดตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพสูง มีความสะดวก และรวดเร็ว อีกทั้งยังให้ค่าพิกัดตำแหน่งที่มีความละเอียดถูกต้องสูงอีกด้วย ดังนั้น ช่างสำรวจและวิศวกรจึงได้ให้ความสนใจในการนำเทคนิคการรังวัดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในงานรังวัดขั้นสูง เพื่อสร้างหมุดหลักฐานหรือหมุดควบคุม โดยข้อมูลค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส จะอยู่ในระบบพิกัดของรูปทรงรี หรือระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinate System) ซึ่งมีค่าพิกัดทางราบ เป็นละติจูดและลองจิจูด ส่วนค่าพิกัดทางดิ่งเป็นค่าความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวของรูปทรงรี (Ellipsoidal Height, h) ซึ่งแตกต่างจากความสูงที่ใช้กันในงานวิศวกรรม ที่จะใช้ความสูงที่ได้จากการเดินระดับด้วยกล้องระดับ ที่เรียกว่า ความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric Height, H) ซึ่งเป็นความสูงเหนือจีโออยด์ หรืออีกนัยหนึ่งคือ ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง ด้วยเหตุนี้ จึงเกิดแนวคิดในการนำดาวเทียมระบบจีพีเอส มาใช้ในการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก แทนการทำระดับด้วยกล้องระดับ แต่ในการแปลงความสูงเหนือรูปทรงรีที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ไปเป็นความสูงออร์โทเมตริกนั้น จะต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างจีโออยด์กับรูปทรงรี ซึ่งก็คือ ความสูงจีโออยด์ (Geoidal Height or Geoid Undulation, N) นั่นเอง แต่เนื่องจากจีโออยด์มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ จึงยังคงเป็นปัญหาเกี่ยวกับค่าความสูงจีโออยด์ที่มีค่าไม่คงที่ ดังนั้นในการนำข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส มาใช้ในงานสร้างหมุดควบคุมทางดิ่ง จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองความสูงจีโออยด์ร่วมกับหมุดควบคุมทางดิ่งหลัก (Major Vertical Control) ที่มีอย่างเพียงพอ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความสูงจีโออยด์ และหาค่าความสูงจากการรังวัดด้วยดาวเทียม ซึ่งอยู่เหนือรูปทรงรีไปสู่ค่าความสูงออร์โทเมตริก

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีแบบจำลองความสูงจีโออยด์ท้องถิ่น (Local Geoid Height Model) วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ คือ การใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ (Earth Gravitational Model) ในการคำนวณหาค่าความสูงจีโออยด์ของท้องถิ่น ในปัจจุบัน แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพมีอยู่หลายแบบจำลอง ได้แก่ OSU91A, EGM96 และ EGM2008 เป็นต้น

ในการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาเพื่อเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ร่วมกับหมุดควบคุมทางดิ่งหลักในจำนวนที่เหมาะสม ทั้งนี้ ได้เลือกใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ 2 แบบในการศึกษา ได้แก่ แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 (Earth Gravitational Model 1996, EGM96) และแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (Earth Gravitational Model 2008, EGM2008) แล้วทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อสรุปเป็นแนวทางในการเลือกใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาต่อไป และผู้วิจัยมีความคาดหวังว่า จะสามารถนำเอาวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส มาประยุกต์ใช้ในการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก แทนที่วิธีการแบบเดิม ที่ทำการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก ด้วยการทำระดับด้วยกล้องระดับได้ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการช่วยลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานลง และหวังว่า จะสามารถนำค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับจากการวิจัย ไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมสำรวจในด้านต่างๆได้



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดควบคุมทางดิ่ง ระหว่างผล ซึ่งได้จากการคำนวณปรับแก้โครงข่าย (Network Adjustment) ด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส กับผลซึ่งได้ จากการทำระดับโดยใช้กล้องระดับ
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ EGM96 กับแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ EGM2008

ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้ข้อมูลเส้นฐานจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส (GPS Baseline Solution) ซึ่งเชื่อม หมุดโครงข่ายหลัก (Major Control) ของกรมที่ดินจำนวน 370 หมุด “ค่าพิกัดกรกฎาคม 2552” ที่ กระจายตัวอยู่ทั่วประเทศไทย ในจำนวนนี้เป็นหมุดหลักฐานการระดับชั้นที่หนึ่งของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 30 หมุด และนำเส้นฐานมาประกอบกันเป็นโครงข่าย (Network)
2. ใช้ข้อมูลหมุดโครงข่ายหลัก (Primary Network) ของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 18 หมุด เพื่อ ใช้ในการตั้งค่าพิกัดทางราบ (Fixed Horizontal Control) และข้อมูลหมุดระดับชั้นที่หนึ่งของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 30 หมุด เพื่อใช้ในการตั้งค่าพิกัดทางดิ่ง (Fixed Vertical Control) ในขั้นตอนการ ประมวลผล และใช้เป็นค่าอ้างอิงในขั้นตอนการวิเคราะห์
3. ทำการประมวลผลเส้นฐานและปรับแก้โครงข่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์
4. ใช้แฟ้มข้อมูลแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบค่าความสูงจีโออยด์ในบริเวณพื้นที่ที่ทำกรวิจัย

2. ได้แนวทางในการเลือกใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่ทำการวิจัย
3. สามารถนำแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพมาประยุกต์ใช้กับงานสำรวจจริงวัดด้านอื่นๆ เพื่อหาความสูงออร์โทเมตริกได้



การตรวจเอกสาร

1. สัณฐานของโลก (The Earth's Figure)

ซูเกียรติ (2537) สัณฐานของโลกมีทั้งทางกายภาพและทางคณิตศาสตร์ สัณฐานของโลกทางกายภาพ หมายถึง แนวเขตระหว่างผิวดิน หรือน้ำกับบรรยากาศรอบโลก ค่าพิกัดตำแหน่งของหมุดหลักฐานจากการทำงานรังวัดชั้นสูง ใช้แสดงสัณฐานส่วนที่เป็นพื้นดินได้อย่างหยาบๆ ในขณะที่ สัณฐานทางกายภาพของโลกส่วนที่เป็นพื้นน้ำมองเห็นได้ง่าย เพราะภายใต้สมมุติฐานบางอย่างจะถือได้ว่า ผิวของมหาสมุทรคือพื้นผิวระดับความโน้มถ่วงของโลกที่มีศักยภาพความถ่วงเท่ากันทุกจุด สำหรับสัณฐานของโลกทางคณิตศาสตร์ ได้จากการจินตนาการว่าพื้นผิวระดับของมหาสมุทรนี้ยื่นต่อเข้าไปในส่วนที่เป็นพื้นดิน พื้นผิวระดับที่ครอบคลุมโลกทั้งหมดนี้ มีชื่อเรียกว่า จีโออยด์ (Geoid) ในงานจีโอเดซีเมื่อกกล่าวถึงสัณฐานของโลกจะหมายความถึง จีโออยด์ ซึ่งเป็นพื้นผิวอ้างอิง ในขณะที่ทำงานรังวัดชั้นสูงและงานรังวัดทางดาราศาสตร์ รวมทั้งงานรังวัดอื่นๆ ด้วย ทั้งนี้เพราะระนาบราบที่เป็นพื้นผิวอ้างอิงในงานรังวัดอื่นๆ นั่นคือ ส่วนที่เล็กส่วนหนึ่งของจีโออยด์ ในพื้นที่ของโลกส่วนนั้นนั่นเอง

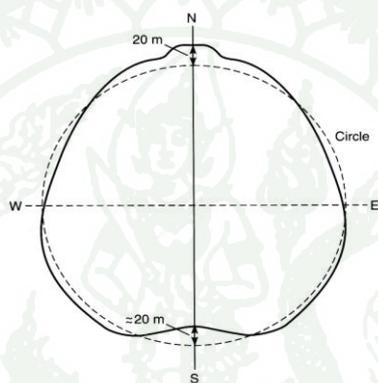
1.1 รายละเอียดสัณฐานของโลก

สัวส์ลีย์ (2535) โดยปรกติสัณฐานของโลกที่ใช้ในงานรังวัดและคำนวณคือ จีโออยด์ แต่จีโออยด์มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน และไม่ใช่อุปทรงเรขาคณิต เราจึงใช้สัณฐานทรงรี (Ellipsoid) และสัณฐานทรงกลม (Sphere) มาแทนสัณฐานของโลก การเลือกใช้สัณฐานใดนั้นควรพิจารณาถึงความละเอียดถูกต้องของงานนั้นๆ ซึ่งสัณฐานของโลกทั้ง 3 แบบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1.1 สัณฐานจีโออยด์

ถ้ามวลสารทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโลก มีคุณลักษณะเหมือนกันทั้งหมด ตั้งแต่วาระกำเนิดโลก และไม่มีสิ่งใดมารบกวนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆขึ้น สัณฐานของโลกจะเป็นรูปทรงรีที่สมบูรณ์ แต่ความจริงมิใช่เช่นนั้น มวลสารของโลกมิได้เป็นเนื้อเดียวกันตลอด ยังมีความไม่สม่ำเสมอของแรงถ่วง (Gravity) ของโลก และแรงดึงดูด (Gravitational) จากนอกโลก ฯลฯ สิ่งเหล่านี้ทำให้สัณฐานของโลกผิดเพี้ยนไปจากรูปทรงรีที่สมบูรณ์ สัณฐานที่เป็นตัวแทนของโลกที่ใกล้เคียงที่สุดคือ จีโออยด์ ภาพที่ 1 แสดงสัณฐานของโลกรูปทรงจีโออยด์ เป็นพื้นผิวระดับของสนาม

แรงโน้มถ่วงของโลก ที่มีศักยภาพของแรงถ่วงเท่ากันทุกจุด ตัวแทนที่ดีที่สุดของจีโออยด์ คือ พื้นผิวของระดับทะเลปานกลางที่ต่อเนื่องครอบคลุมทั่วโลก แนวสายดิ่งจะตั้งฉากกับพื้นผิวจีโออยด์ทุกแห่ง ลักษณะของจีโออยด์ จะมีรูปทรงที่นูนเบี้ยวไม่แน่นอน เป็นพื้นผิวโค้งเรียบที่ต่อเนื่องไม่มีเหลี่ยมหรือสัน จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นฐานอ้างอิงของการคำนวณในงานจีโอเดซี (Geodesy) และงานรังวัดชั้นสูง โดยปรกติเราใช้รูปทรงรีเป็นตัวแทนฐานโลก ในการคำนวณตำแหน่งทางราบของจุดต่างๆ เนื่องจากทรงรีมีรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน ส่วนค่าความสูงหรืองานระดับ จะใช้จีโออยด์เป็นผิวอ้างอิง เนื่องจากการรังวัดใดๆที่กระทำบนผิวโลก แนวสายดิ่งจะตั้งฉากกับจีโออยด์เสมอ



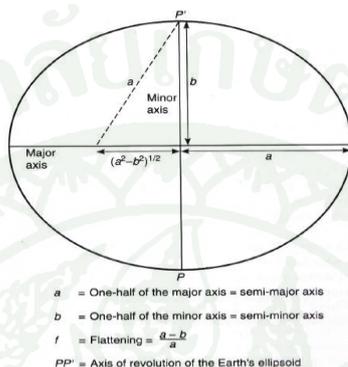
ภาพที่ 1 ฐานของโลกรูปทรงจีโออยด์

ที่มา: Schofield (1993)

1.1.2 ฐานทรงรี

ข้อมูลจากการรังวัดในพื้นที่ต่างๆทั่วโลกแสดงอย่างชัดเจนว่า ความโค้งของผิวโลกตามแนวเมริเดียน(แนวเหนือ – ใต้) มีความแปรผันตามค่าละติจูด ที่ตำแหน่งละติจูดต่ำจะมีรัศมีความโค้งยาวกว่าที่ละติจูดสูง แสดงว่าฐานของโลกไม่เป็นทรงกลม จากการวิเคราะห์พบว่า ฐานของโลกมีลักษณะเป็นรูปทรงที่เกิดจากการหมุนของวงรีรอบกึ่งแกนรองหรือแกนสั้น (Semi Minor Axis) ซึ่งทับกับแกนหมุนของโลก ตามลักษณะการหมุนของโลกรูปทรงชนิดนี้เรียกว่า ทรงรี (Ellipsoid) การระบุขนาดของรูปทรงรีบอกได้โดยพารามิเตอร์ 2 ตัว เช่น ค่ากึ่งแกนหลัก (Semi Major Axis) และอัตรายุบ (Flattening) หรือ ค่ากึ่งแกนหลัก และ ค่า Eccentricity เป็นต้น เหตุผลที่ทรงรีถูกนำมาใช้เป็นฐานอ้างอิงสำหรับการรังวัด และการทำแผนที่อย่างละเอียดนั้น เนื่องมาจากจีโออยด์ มีรูปทรงที่นูนเบี้ยวไม่ราบเรียบ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นระบบอ้างอิงของ

การคำนวณในงานจีโอเดซี และงานรังวัดชั้นสูง ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 1.1 (สัณฐานจีโออยด์) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหารูปทรงทางเรขาคณิตที่ใกล้เคียงกับจีโออยด์มากที่สุด และทราบคุณสมบัติหรือคำนวณหาได้ง่าย โดยปกติแล้วนิยมใช้รูปทรงรีที่เกิดจากการเอารูปทรงรีหมุนรอบกึ่งแกนรองหรือแกนสั้น (Semi Minor Axis) ซึ่งมีชื่อเฉพาะว่า รูปทรงรีอ้างอิง (Reference ellipsoid) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปทรงรีอ้างอิงและพารามิเตอร์ของรูปทรงรี

ที่มา: Schofield (1993)

เนื่องจากการทำงานด้านการสำรวจระดับชาติ ของแต่ละประเทศได้เลือกใช้รูปทรงรีที่แตกต่างกัน หรือก็คือ การเลือกใช้ชุดพารามิเตอร์ของรูปทรงรีในการคำนวณที่แตกต่างกัน โดยจะเลือกใช้ชุดพารามิเตอร์ของรูปทรงรีที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ของประเทศนั้นๆ ให้มากที่สุด ทั้งนี้ก็เพื่อให้การคำนวณหาขนาด และสัณฐานของรูปทรงรีมีความเหมาะสมกับจีโออยด์ในพื้นที่ของประเทศหรือภูมิภาคนั้นๆ โดยรูปทรงรีที่มีขนาดและคุณสมบัติใกล้เคียงกับจีโออยด์มากที่สุด คือรูปทรงรีเฉลี่ยของโลก ยกตัวอย่างเช่น รูปทรงรีของระบบอ้างอิงทางจีโอเดซี (Geodetic Reference System 1980) และในบางประเทศได้มีการสร้างรูปทรงรีขึ้นมาเพื่อใช้เป็นพื้นหลักฐาน (Datum) สำหรับการอ้างอิงในการทำงานด้านการสำรวจของประเทศนั้นๆ โดยเฉพาะ ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มประเทศสหราชอาณาจักร (Great Britain) ได้ใช้พารามิเตอร์ของรูปทรงรี จากการคำนวณโดยนักดาราศาสตร์ชื่อ เซอร์ จอร์จ แอร์รี่ (Sir George Airy) และได้เริ่มใช้เป็นพื้นหลักฐานสำหรับการอ้างอิงในพื้นที่ของกลุ่มประเทศสหราชอาณาจักร ในปี ค.ศ. 1830 ซึ่งรูปทรงรีดังกล่าวคือ ellipsoid Airy1830 ดังนั้นรูปทรงอ้างอิงที่ใช้เป็นพื้นหลักฐานของโลก สำหรับการคำนวณงานรังวัดชั้นสูง จึงมีอยู่หลายรูป (Smith, 1935) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์รูปทรงรีอ้างอิง

ปี ค.ศ.	ชื่อรูปทรงรี	ค่ากึ่งแกน หลัก a (เมตร)	ค่ากึ่งแกน รอง b (เมตร)	ส่วนกลับของ อัตราคาบ 1/f	ประเทศที่ใช้
1830	Airy	6378563.396	6356257	299.324964	Great Britain
1830	Everest	6377276.345	6356075	300.8017	India, Pakistan, Burma
1841	Bessel	6377397.155	6356079	299.152813	Germany, Indonesia, Netherlands, Japan, N.E.
1858	Clarke	6378249	6356618	294.261	Australia
1866	Clarke	6378206.4	6356584	294.978698	USA
1880	Clarke (modified)	6378249.145	6356515	293.4663	Cen., S., and W. Africa
1907	Helmert	6378200	6256818	298.3	-
1909	Hayford	6378388	6356912	297	USA; from 1924 used internationally; Europe
1924	International	6378388	-	297	-
1927	NAD 72	6378206.4	-	294.9786982	-
1948	Krassovski	6378245	6356863	298.3	Russia, Eastern countries
1960	Mercury	6378166	-	298.3	-
1960	Fischer	6378155	6356773	298.3	S. Asia
1965	Australian National	6378160	-	298.25	Australia
1966	World Geodetic System (WGS66)	6378145	6356760	298.25	-
1967	GRS67	6378160	6356775	298.247167243	W. Europe, S. America
1969	South America	6378160	-	298.25	S. Africa
1972	World Geodetic System (WGS72)	6378135	6356751	298.26	From satellite geodesy
1975	Int. Assoc. Geodesy	6378140	-	298.257±0.0015	-
1980	GRS80	6378137	-	298.257222101	-
1983	Int. Assoc. Geodesy	6378136	-	298.257	-
1984	World Geodetic System (WGS84)	6378137	-	298.257223563	-

ที่มา: Smith (1935)

ในการทำงานรังวัดชั้นสูง จะตั้งเครื่องมืออยู่บนพื้นผิวดิน ซึ่งเป็นฐานของโลกทางกายภาพ ค่าที่รังวัดได้จึงเป็นค่าที่อ้างอิงกับพื้นผิวจีออยด์ (ธนัช, 2540) ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวต่างๆ ในงานจีออเดซี

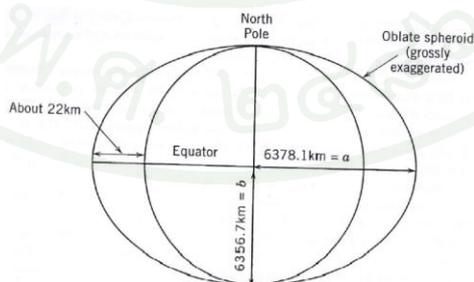


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวต่างๆ ในงานจีออเดซี

ที่มา: ศรายุทธ (2543)

1.1.3 ฐานทรงกลม

เป็นรูปทรงเรขาคณิตที่ง่ายที่สุด จึงเหมาะใช้เป็นฐานของโลกโดยประมาณ รัศมีของโลกที่ใช้ประมาณ 6,370 กิโลเมตร เส้นศูนย์สูตรยาว 40,024 กิโลเมตร เมื่อใช้มาตราส่วนเล็ก เช่น 1:5,000,000 หรือ เล็กกว่า พื้นที่ภูมิประเทศที่ขรุขระของโลกก็จะมีค่าเพียงเล็กน้อย ส่วนกลมกลืนไปกับพื้นผิวโค้งของโลก เพราะฉะนั้นเมื่อต้องการแผนที่มาตราส่วนเล็ก ที่ไม่ต้องการรายละเอียดมากเกินไป สามารถใช้ทรงกลมเป็นฐานของโลกได้ ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฐานของโลกรูปทรงกลมและรูปทรงรี



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างฐานของโลกรูปทรงกลมและรูปทรงรี

ที่มา: Smith (1935)

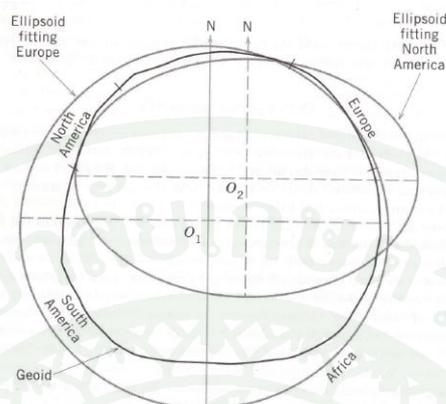
2. พื้นหลักฐานทางจีโอเดซี (Geodetic Datum)

Smith(1935) พื้นหลักฐานทางจีโอเดซีถูกกำหนดด้วยรูปทรงทางเรขาคณิตและค่าพารามิเตอร์ ทั้งนี้ก็เพื่อใช้ในการอ้างอิง และคำนวณปริมาณต่างๆ พื้นหลักฐานทางจีโอเดซี อาจจำแนกออกได้เป็นสองประเภทดังต่อไปนี้ ประเภทที่หนึ่ง คือ พื้นหลักฐานทางราบ เป็นพื้นหลักฐานที่ใช้ในการคำนวณ โครงข่ายหมุดควบคุมทางราบ โดยการคำนวณจะพิจารณาถึงความโค้งของโลกด้วย ซึ่งค่าพิกัดทางราบนั้นจะอ้างอิงกับพื้นผิวของรูปทรงรี และ ประเภทที่สอง คือ พื้นหลักฐานทางดิ่ง เป็นพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงในงานระดับ ซึ่งค่าระดับหรือค่าพิกัดทางดิ่งจะอ้างอิงกับพื้นผิวจีโออยด์ จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่าพิกัดทางราบและทางดิ่ง คำนวณอยู่บนพื้นผิวที่ต่างกัน ดังนั้นในอดีตหากกล่าวถึงค่าพิกัดทั้งสอง (ค่าพิกัดทางราบ และค่าพิกัดทางดิ่ง) จะถูกแยกออกจากกันอย่างชัดเจน แต่ในปัจจุบันในการกล่าวถึงพื้นหลักฐานทั้งทางราบและทางดิ่งนั้น จะไม่ถูกแยกออกจากกัน ด้วยสาเหตุจากวิวัฒนาการในงานสำรวจปัจจุบัน ที่ได้นำการสำรวจด้วยดาวเทียมเข้ามาใช้ในการหาตำแหน่งพิกัดบนพื้นผิวโลก ซึ่งค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมจะอยู่ในระบบพิกัดฉากสามมิติ (Geocentric coordinate) ที่มีจุดกำเนิดอยู่ ณ จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก ดังนั้นจะทำให้ได้ค่าตำแหน่งพิกัดทางราบและทางดิ่งในคราวเดียวกัน (X, Y, Z)

พื้นหลักฐานทางจีโอเดซีเป็นพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงในงานรังวัดชั้นสูง ดังนั้นแต่ละประเทศจึงมีความต้องการที่จะสร้างพื้นหลักฐานที่มีขนาด รูปร่าง และทิศทางการวางตัวที่แนบสนิทกับพื้นผิวจีโออยด์ของประเทศหรือภูมิภาคนั้นๆ ให้ได้มากที่สุด ทั้งนี้ก็เพื่อใช้สำหรับอ้างอิงในงานรังวัดชั้นสูงในแต่ละประเทศหรือภูมิภาคนั้นๆ จึงเป็นผลทำให้เกิดพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงขึ้นมากมาย ซึ่งพื้นหลักฐานที่มีพื้นผิวของรูปทรงรีแนบสนิทกับพื้นผิวจีโออยด์เฉพาะพื้นที่นี้ เรียกว่าพื้นหลักฐานส่วนท้องถิ่น (Local datum) ดังภาพที่ 5 แสดงพื้นหลักฐานของทวีปอเมริกาเหนือและยุโรปตะวันตก ที่ใช้เป็นสัณฐานของโลกได้เฉพาะบริเวณที่มีการนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณสร้างพื้นหลักฐานเท่านั้น หากนำไปใช้ในส่วนอื่นของโลกที่ไม่มีข้อมูลของการรังวัดพื้นผิวของรูปทรงรี จะไม่สามารถใช้ในการประมาณรูปทรงของพื้นผิวจีโออยด์ได้ (ธนัช, 2540)

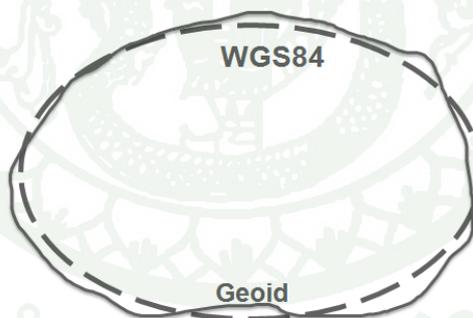
เมื่อเทคนิคการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมเข้ามามีบทบาทในการทำงานสำรวจ ทำให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลในส่วนต่างๆ ของโลกเข้าหากัน และทำให้สามารถคำนวณหารูปทรงรีที่มีขนาด และรูปร่างใกล้เคียงกับจีโออยด์ทั่วทั้งโลกได้ ซึ่งพื้นหลักฐานที่มีขนาด รูปร่าง และทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีที่ใกล้เคียงกับจีโออยด์ทั่วทั้งโลกนี้ เรียกว่า พื้นหลักฐานพิภพ (Global Datum) ดังตัวอย่างเช่น World Geodetic System 1984 (WGS84) ซึ่งเป็นพื้นหลักฐานที่ใช้ในระบบดาวเทียม

จีพีเอส (Global Positioning System) ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐานพิภพ (WGS84) และรูปทรงจีออยด์ของโลก (อภิมหา, 2527)



ภาพที่ 5 รูปทรงรีที่ใช้เป็นพื้นหลักฐานของทวีปอเมริกาเหนือ และยุโรปตะวันตก เปรียบเทียบกับจีออยด์

ที่มา: Smith (1935)



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐานพิภพ (WGS84) เปรียบเทียบกับจีออยด์

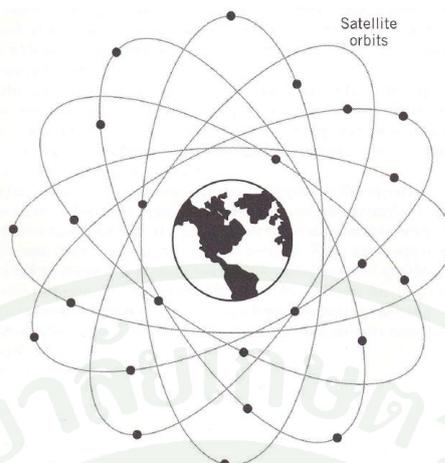
ในปัจจุบันการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส มีพื้นหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าพื้นหลักฐาน WGS84 โดยให้ค่าความถูกต้องอยู่ในระดับเซนติเมตร และสามารถใช้ศึกษาในเรื่องการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก พื้นหลักฐานที่กล่าวถึงนี้คือ พื้นหลักฐานอ้างอิงนานาชาติหรือพื้นหลักฐานอ้างอิง ITRF (International Terrestrial Reference Frame) ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย IERS (International Earth Rotation Service) มีคุณสมบัติเหมือนกับพื้นหลักฐาน WGS84 ทุกประการ แต่ต่างกันในเทคนิคของการสำรวจหาค่าพิกัดบนพื้นผิวโลก โดยพื้นหลักฐาน ITRF จะใช้เทคนิคการ

รังวัดแบบ VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging), GPS (Global Positioning System) และ DORIS (Doppler Orbitography and Ratio positioning Integrated by Satellite) รวมทั้งใช้ข้อมูลที่เรียกว่า Precise ephemeris ซึ่งจัดทำโดย IGS (International GPS Service for Geodynamics) เข้าร่วมกันในการประมวลผลหาค่าพิกัดบนพื้นผิวโลก จึงทำให้พื้นฐาน ITRF มีความถูกต้องสูง พื้นฐาน ITRF ได้มีการปรับปรุงและพัฒนา ดังนี้คือ ITRF88, ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97 และ ITRF2000 ตามลำดับ (<http://www.ltas-vis.ulg.ac.be/cmsms/uploads/File/ITRS.pdf>)

3. ระบบดาวเทียมจีพีเอส (Global Positioning System)

3.1 กล่าวนำ

รุ่น (2553) ระบบจีพีเอส เป็นระบบนำวิถีที่ใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งจากการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ ซึ่งพัฒนาต่อเนื่องมาจากดาวเทียมระบบทรานซิท (TRANSIT) โดยหน่วยงานทางทหาร (Department Of Defense: DOD) ของสหรัฐอเมริกา จนเกิดมาเป็นระบบดาวเทียมที่มีชื่อว่า NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS) แต่มักจะเรียกว่าระบบ GPS โดยระบบดาวเทียมจีพีเอส มีองค์ประกอบอยู่สามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งส่วนควบคุม (Control Segment) เป็นส่วนที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการปฏิบัติงานของระบบทั้งหมด ประกอบด้วยสถานีควบคุมหลัก (Master Control Station; MSC) และสถานีติดตามดาวเทียม (Monitor Station; MS) ส่วนที่สองส่วนอวกาศ ประกอบด้วยดาวเทียม NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging) จำนวน 24 ดวง (ในจำนวนนี้จะมีดาวเทียมสำรอง 3 ดวง) จัดเป็นวงโคจร (GPS Constellation) อยู่ในระนาบ 6 ระนาบๆ ละ 4 ดวง โดยแต่ละระนาบเอียงทำมุม 55° กับระนาบศูนย์สูตร และทำมุมระหว่างกัน 60° ดังแสดงในภาพที่ 7 ดาวเทียมเหล่านี้ที่อยู่สูงจากผิวโลก 20,200 กิโลเมตร มีคาบของการโคจร 12 ชั่วโมง และมีเวลาอยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในแต่ละสถานีที่ราว 5 ชั่วโมง และส่วนที่สามส่วนผู้ใช้ ประกอบด้วยผู้ใช้ในส่วนของพลเรือนและทหาร ซึ่งข้อมูลที่ผู้ใช้นำมาใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งจะมีทั้งข้อมูลซูดอร์เรนจ์ (Pseudo-Ranges) ที่จะใช้กับเครื่องรับสัญญาณแบบนำหน และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phases) จะใช้กับเครื่องรับสัญญาณแบบรังวัด โดยวิธีการรังวัดมีอยู่ 2 ลักษณะคือ การรังวัดแบบสถิต (Static Survey) และวิธีการรังวัดแบบจลน์ และส่วนของผู้ใช้ก็จะรวมไปถึงฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลด้วย



ภาพที่ 7 วงโคจรดาวเทียม

ที่มา: Smith (1935)

หลักการรังวัดเพื่อหาพิกัดตำแหน่งของระบบดาวเทียมจีพีเอส คือ สถานีภาคพื้นดินที่คอยติดตามดาวเทียม จะส่งข้อมูลที่รังวัดได้มายังสถานีควบคุมหลัก เพื่อทำการประมวลผลวงโคจรดาวเทียมและทำการพยากรณ์ตำแหน่งของดาวเทียมล่วงหน้า จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลที่ได้ปรับปรุงแล้ว พร้อมกับข้อมูลเวลา และข้อมูลคุณสมบัติวิทยุไปยังสถานีรับส่งสัญญาณ เพื่อส่งไปเก็บบันทึกไว้ยังดาวเทียม และเมื่อมีผู้ใช้นำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปตั้งไว้ยังตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าพิกัด ข้อมูลที่ดาวเทียมบันทึกไว้จะถูกส่งมายังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมด้วยคลื่นวิทยุ ความถี่สูง และเมื่อทำการรังวัดเสร็จสิ้นแล้ว ข้อมูลที่รังวัดได้จะถูกนำมาประมวลผลเพื่อหาพิกัดตำแหน่งของจุดที่เครื่องรับสัญญาณวางอยู่ต่อไป

การทำงานสำรวจรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส ที่ต้องการความถูกต้องสูง จะรังวัดด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต (Static Surveying) โดยใช้เครื่องรับสัญญาณแบบรังวัด (Survey or Geodetic Receiver) และใช้ข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phases) ก่อนที่จะนำมาประมวลผลข้อมูลเพื่อหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning or differential positioning) ซึ่งจะให้ค่าพิกัดตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูง โดยหลักการด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต (Static surveying) แบบสัมพัทธ์ จะใช้เครื่องรับสัญญาณแบบรังวัด อย่างน้อยสองเครื่อง และตั้งเครื่องรับสัญญาณแบบไม่มีการเคลื่อนที่ โดยเครื่องรับเครื่องหนึ่งจะตั้งรับสัญญาณอยู่ ณ จุดที่ทราบค่าพิกัดตำแหน่งแล้ว และ อีกเครื่องหนึ่ง จะตั้งรับสัญญาณอยู่ ณ จุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดตำแหน่ง หรือตำแหน่งจุด

ปลายของเส้นฐานที่ต้องการหาความยาว หรือตำแหน่งสัมพัทธ์ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณ จะต้องนานเพียงพอที่จะนำมาคำนวณหาค่าเลขปริศนา (Ambiguity) ได้ตามเกณฑ์ความถูกต้องที่ต้องการ ซึ่งระยะเวลาที่ใช้รับสัญญาณ จะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นฐาน จำนวนของดาวเทียมรวมทั้งเรขาคณิตของดาวเทียมด้วย

3.2 การประยุกต์ใช้งานรังวัดดาวเทียมระบบจีพีเอส

เนื่องจากดาวเทียมระบบจีเอส เป็นระบบกำหนดตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งให้ความถูกต้องทางตำแหน่งในระบบสามมิติ อีกทั้งยังสามารถทำงานได้ทุกสภาพอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง และตำแหน่งของหมุดที่ใช้ในการรังวัด ไม่จำเป็นต้องมองเห็นระหว่างกัน จึงเหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้งานรังวัดขั้นสูง เช่น งานสร้างหมุดหลักฐานสำหรับประเทศหรือภูมิภาค งานเก็บรายละเอียดเพื่อการทำแผนที่ภูมิประเทศ งานสร้างหมุดควบคุมสำหรับงานทำแผนที่ด้วยภาพถ่ายทางอากาศ และใช้งานด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมแขนงต่างๆ เป็นต้น และในปัจจุบัน ช่างรังวัดและวิศวกรได้ให้ความสนใจในการนำดาวเทียมระบบจีพีเอสมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric Height) หรืออีกนัยหนึ่งคือ ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) แทนวิธีการถ่ายระดับด้วยกล้องระดับ เพื่อช่วยในการลดค่าใช้จ่าย และเวลาในการปฏิบัติงานลง

4. ความสูง (Height)

Schofield(1993)ระบบพิกัดอ้างอิงทางด้านความสูงที่ใช้โดยทั่วไป จะใช้ค่าความสูงอยู่ 3 รูปแบบคือ ค่าความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวจีออยด์ ค่าความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวรูปทรงรี และค่าความสูงที่อ้างอิงกับจุดศูนย์กลางมวลสาร โลก ดังนั้นค่าระดับ หรือค่าความสูง ณ จุดใดๆ จะถูกแสดงออกมาใน 3 รูปแบบคือ ความสูงออร์โทเมตริก ความสูงเหนือรูปทรงรี และความสูงตามแนวตั้งฉากหรือแนวจากจุดศูนย์กลางมวลสาร โลก และเนื่องจากการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสได้เข้ามา มีบทบาทสำคัญในงานด้านวิศวกรรมสำรวจเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นวิศวกรสำรวจ จึงจำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจความแตกต่างของความสูงทั้ง 3 รูปแบบ

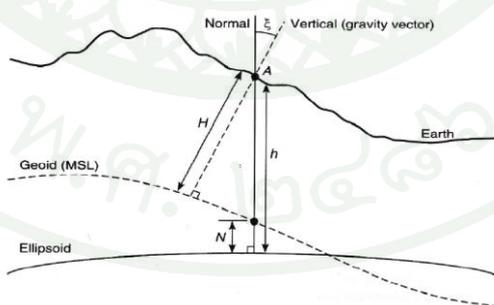
ความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric height, H) เป็นความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวจีออยด์ หรืออีกนัยหนึ่งคือความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง ซึ่งเป็นความสูงที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด เนื่องจากเป็นความสูงที่กันทั่วไปในงานวิศวกรรม

ความสูงเหนือรูปทรงรี (Ellipsoidal height, h) เป็นความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวรูปทรงรี ซึ่งความสูงเหนือรูปทรงรีได้จากการแปลงค่าพิกัดจากระบบพิกัดฉากสามมิติ ที่แสดงตำแหน่งค่าพิกัดเป็น (X, Y, Z) ซึ่งเป็นพิกัดได้จากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสโดยตรง มาเป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์ หรือระบบพิกัดทางจีโอเดซี (Geodetic coordinate) ซึ่งอ้างอิงกับพื้นหลักฐานรูปทรงรี (Ellipsoid Datum) โดยจะระบุตำแหน่งค่าพิกัดด้วยค่าละติจูด (ϕ) ลองจิจูด (λ) และความสูงเหนือรูปทรงรี (Ellipsoidal height, h) แต่เนื่องจากความสูงเหนือรูปทรงรี จะถูกนำไปใช้กับงานเฉพาะด้าน และใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมได้น้อย เพราะความสูงเหนือรูปทรงรีไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความถ่วง และไม่สามารถระบุทิศทางการไหลของน้ำได้ ดังนั้นการนำความสูงเหนือรูปทรงรีไปใช้ในงานด้านวิศวกรรม จำเป็นจะต้องแปลงความสูงเหนือรูปทรงรี (Ellipsoidal height, h) ไปสู่ความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric height, H) ก่อนโดยอาศัยสมการที่ (1) ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงออร์โทเมตริก ความสูงเหนือรูปทรงรี และความสูงจีโออยด์

$$h = N + H \cos \xi \quad (1)$$

แต่อย่างไรก็ตามค่า ξ (Deflection of the vertical) โดยปกติแล้วจะมีค่าน้อยกว่า $60''$ ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในระดับที่น้อยกว่า 0.4 มิลลิเมตร แต่เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยมากจึงไม่มีผลต่อค่าความสูง ดังนั้นสมการความสัมพันธ์จะเป็นไปตามสมการที่ 2

$$h = N + H \quad (2)$$



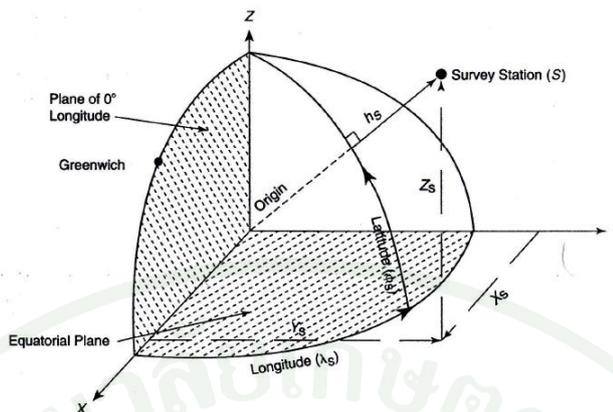
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงออร์โทเมตริก ความสูงเหนือรูปทรงรี และความสูงจีโออยด์

ที่มา: Schofield (1993)

โดยค่า N คือค่าความแตกต่างระหว่างพื้นผิวジオอยด์กับพื้นผิวรูปทรงรี ซึ่งถูกเรียกว่าความสูงジオอยด์ (Geoidal height or Geoid undulation, N) โดยค่าความสูงジオอยด์นี้เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการแปลงค่าความสูงเหนือรูปทรงรีไปสู่ความสูงออร์โทเมตริก แต่เนื่องจากジオอยด์เป็นพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอจึงทำให้ค่าความสูงジオอยด์มีค่าไม่คงที่ ดังนั้นจึงยังคงเป็นปัญหาในการหาค่าความสูงジオอยด์ แต่ในที่สุดปัญหาดังกล่าวได้ถูกแก้ไขโดยการสร้างแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ให้มีรูปทรงที่ใกล้เคียงกับรูปทรงジオอยด์มากที่สุด เพื่อนำแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพมาใช้ในการคำนวณหาค่าความสูงジオอยด์ (Geoidal height or Geoid undulation, N) จากนั้นจึงทำการแปลงค่าแปลงความสูงเหนือรูปทรงรีไปสู่ความสูงออร์โทเมตริก ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านวิศวกรรมได้ต่อไป

5. การหาความสูงด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส (Height Determination with GPS)

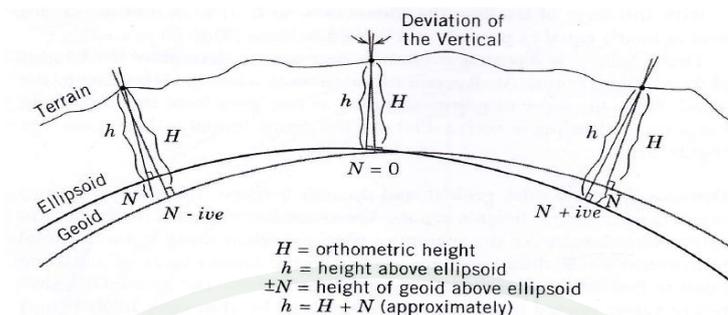
Wolf and Ghilani (2006) การรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส จะคำนวณค่าพิกัดออกมาในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinate) หรือระบบพิกัดจากสามมิติ (Geocentric coordinate) ที่มีจุดกำเนิดอยู่ ณ จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก ซึ่งบอกตำแหน่งค่าพิกัดเป็น (X, Y, Z) แต่เนื่องจากระบบพิกัดดังกล่าว ไม่สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ด้วยเหตุผลสามประการ คือ ประการแรกค่าพิกัดในระบบนี้ให้ค่าตัวเลขจำนวนมากเนื่องจากใช้จุดกำเนิดอยู่ ณ จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก เป็นจุดอ้างอิง ประการที่สอง ระนาบอ้างอิงในแนวราบ (X, Y) เป็นระนาบเดียวกับเส้นศูนย์สูตร (Equator) ซึ่งไม่สัมพันธ์ กับทิศทาง จึงยากต่อการระบุทิศทาง เหนือ, ใต้, ตะวันออก และ ตะวันตก ประการที่สามพิกัดในระบบนี้ไม่ได้บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของค่าระดับระหว่างจุดที่ทำการรังวัดในแต่ละจุด ด้วยเหตุผลดังกล่าว ค่าพิกัดในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน หรือระบบพิกัดจากสามมิติ จึงถูกแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ หรือระบบพิกัดทางジオเดซี (Geodetic coordinate) ซึ่งอ้างอิงกับพื้นหลักฐานรูปทรงรี (Ellipsoid Datum) โดยจะระบุตำแหน่งค่าพิกัดด้วยค่าละติจูด (ϕ) ลองจิจูด (λ) และความสูงเหนือรูปทรงรี (h) ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉากสามมิติและระบบพิกัดภูมิศาสตร์

ที่มา: Kavanagh and Glenn Bird (1989)

ดังนั้นค่าความสูงที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสนั้น เป็นความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวของรูปทรงรี (Ellipsoidal height, h) ที่ได้จากการวัดระยะทางตามแนวสายโค้ง ณ จุดที่ทำการรังวัดลงไปตั้งฉากกับพื้นผิวของรูปทรงรี ซึ่งจะแตกต่างจากความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric height, H) หรือค่าระดับที่ใช้ในงานระดับ (Elevations) ที่เป็นความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวจีโออยด์ ที่ได้จากการวัดระยะทางตามแนวสายโค้ง ณ จุดที่ทำการรังวัดลงไปตั้งฉากกับพื้นผิวจีโออยด์ (พื้นผิวจีโออยด์เป็นพื้นผิวที่ศักย์ภาพความถ่วงเท่ากันตลอดทั้งพื้นผิว และเป็นพื้นผิวที่ใช้อ้างอิงในงานระดับ) แต่ความสูงเหนือรูปทรงรีนั้นนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย เพราะความสูงที่ใช้ทั่วไปในงานวิศวกรรม หรืองานรังวัด เป็นความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวจีโออยด์ หรือความสูงออร์โทเมตริก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการแปลงความสูงเหนือรูปทรงรีไปสู่ความสูงออร์โทเมตริก ซึ่งเป็นความสูงที่ใช้อ้างอิงในงานระดับ ในการแปลงความสูงเหนือรูปทรงรีที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ไปสู่ความสูงออร์โทเมตริกนั้น จะต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวของรูปทรงรี และพื้นผิวจีโออยด์ ซึ่งก็คือความสูงจีโออยด์ (Geoidal height or Geoid undulation, N) ซึ่งความสูงจีโออยด์นั้นจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อพื้นผิวของรูปทรงรีและพื้นผิวจีโออยด์นั้นแนบสนิทกัน และค่าความสูงจีโออยด์มีค่าเป็นได้ทั้งบวกและลบ ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าพื้นผิวจีโออยด์สูงกว่าพื้นผิวของทรงรี ถ้ามีค่าเป็นลบ แสดงว่าพื้นผิวของจีโออยด์ต่ำกว่าพื้นผิวของรูปทรงรี ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวจีโออยด์ พื้นผิวรูปทรงรี และความสูงจีโออยด์

ที่มา: Smith (1935)

ในปัจจุบันได้มีการสร้าง และพัฒนาแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ และนำมาใช้งาน ร่วมกับการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส เพื่อคำนวณค่าความสูงจีโออยด์ (Geoidal height or Geoid undulation, N) ก่อนที่จะทำการแปลงค่าแปลงความสูงเหนือรูปทรงรีไปสู่ความสูงออร์โท เมตริก ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

6. การหาความสูงจีโออยด์ (Geoid Undulation Determination)

ชูเกียรติ (2537) ปัญหาที่สำคัญของงานทางจีโอเดซีพิภพ คือ การหาเส้นฐานของโลกหรือ รูปทรงจีโออยด์ และลักษณะที่ชัดเจนของสนามความถ่วง รวมทั้งรูปทรงรีเฉลี่ยของโลก ในทำนอง เดียวกัน การหาค่าความสูงจีโออยด์ ก็ยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งเช่นเดียวกัน ซึ่งการหา ความสูงจีโออยด์ ที่จะกล่าวในที่นี้มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี ดังต่อไปนี้

6.1 วิธีการทางดาราศาสตร์- จีโอเดซี (Astrogeodetic Methods)

วิธีการนี้อาศัยการรังวัดทางดาราศาสตร์และการรังวัดในงานรังวัดชั้นสูง ซึ่งค่าที่ใช้ใน การคำนวณ ได้แก่ ค่าละติจูด ลองจิจูด และ แอซิมัททางดาราศาสตร์ รวมถึงค่ามุมราบ ค่ามุมโค้งบน ค่าระยะทางและค่าผลต่างระดับ ในการคำนวณในงานรังวัดชั้นสูงนั้น ใช้ระบบอ้างอิงกับรูปทรงรี ที่ มีค่าพิกัดตำแหน่งเป็น ϕ , λ และ h ส่วนปริมาณต่างๆ ที่วัดมา ยกเว้นระยะทาง จะอ้างอิงอยู่กับ สนามความถ่วงของโลก หรือจีโออยด์ ปริมาณเดียวกันในระบบอ้างอิงกับรูปทรงรี และระบบอ้างอิง กับจีโออยด์ จะมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นในการนำค่าที่รังวัดได้มาคำนวณในงานรังวัดชั้นสูง

จึงต้องรวมค่าตรวจแก้ขนาดเล็กน้อยนี้ด้วยดังเช่น ค่าละติจูดทางดาราศาสตร์ (Φ) ค่าลองจิจูดทางดาราศาสตร์ (Λ) ค่าความสูงออร์โทเมตริก (H) จะแตกต่างกับค่าละติจูดทางจีโอเดซี (ϕ) ค่าลองจิจูดทางจีโอเดซี (λ) และค่าความสูงเหนือรูปทรงรี (h) ดังสมการที่ 3

$$\begin{aligned}\xi &= \Phi - \phi \\ \eta &= (\Lambda - \lambda) \cos \phi \\ N &= h - H\end{aligned}\quad (3)$$

ค่า ξ และ η คือมุมเบี่ยงเบนของเส้นดิ่งในแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออก-ตะวันตก (Deflection of the vertical) ตามลำดับ ส่วนค่า N คือความสูงจีโออยด์ (Geoidal Height or Geoid Undulation)

การหารูปทรงของจีโออยด์ โดยวิธีการทางดาราศาสตร์-จีโอเดซี กระทำได้โดยการหาค่าผลต่างของความสูงจีโออยด์ ระหว่างจุดสองจุด ซึ่งหาได้จากการวัดค่าต่างความสูงแบบตรีโกณมิติ (Trigonometric levelling) และ การทำระดับแบบสูงต่าง (Differential levelling) โดยการวัดค่าต่างความสูงแบบตรีโกณมิติ (Trigonometric levelling) จะให้ค่าต่างความสูงเหนือรูปทรงรี (Δh) ส่วนการทำระดับแบบสูงต่าง (Differential levelling) นั้น จะให้ค่าความสูงเหนือจีโออยด์ (ΔH) ดังนั้น

$$\Delta N = \Delta h - \Delta H \quad (4)$$

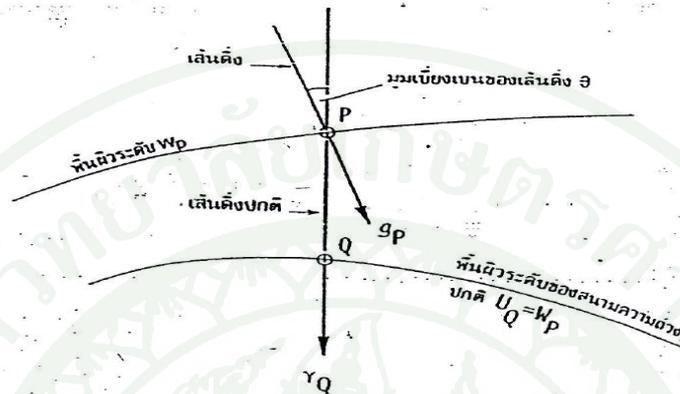
ด้วยวิธีการทางดาราศาสตร์-จีโอเดซีนี้ จำเป็นจะต้องอาศัยข้อมูลจากงานรังวัดทางดาราศาสตร์ และงานรังวัดขั้นสูง ดังนั้นสัณฐานของโลกที่ได้จากวิธีการนี้ จึงมีเฉพาะผิวโลกในส่วนที่เป็นพื้นผิวดินเดิมเท่านั้น

6.2 วิธีการทางความถ่วง (Gravimetric Methods)

วิธีการนี้อาศัยการวัดแรงถ่วง (g) ของโลก เป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งการวัดค่าต่างศักย์ภาพ (Potential difference) ที่ได้จากการทำระดับแบบสูงต่าง จากนั้นนำค่าแรงถ่วงไปหาค่า อะนอมะลีแรงถ่วง (Gravity anomaly) จากสมการที่ 5

$$\Delta g = g_p - \gamma_Q \quad (5)$$

โดยค่า g_p คือค่าแรงถ่วงที่วัดได้ที่จุด P และค่า γ_Q คือค่าแรงถ่วงปกติที่จุด Q ซึ่งอยู่บนพื้นผิวที่ศักย์ภาพของสนามความถ่วงปกติ U_Q เท่ากับกับศักย์ภาพของสนามความถ่วงจริงที่จุด P หรือ W_p ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 อะนอมาลีแรงถ่วงที่จุด P

ที่มา: ชูเกียรติ (2537)

วิธีการทางความถ่วงสามารถหารูปทรงของจีออยด์ได้ โดยใช้วิธีที่เรียกว่า ปัญหาค่าขอบเขตทางจีอเดซี (Geodetic boundary value problem) โดยวิธีการนี้พื้นผิวของจีออยด์ก็คือ เส้นขอบเขตของรูปทรงที่ต้องการหา ซึ่งเส้นขอบเขตจะเป็นพื้นผิวที่มีศักย์ภาพเท่ากันตลอดตรงกับปัญหาของการหาจีออยด์ที่เป็นพื้นผิวที่มีศักย์ภาพความถ่วงเท่ากันตลอดเช่นกัน และเมื่อจีออยด์เป็นเส้นขอบเขตแล้ว จะไม่สามารถมีมวลสารภายนอกจีออยด์ที่จะสร้างศักย์ภาพความถ่วงได้อีก ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีปัญหาค่าขอบเขต จึงจำเป็นที่จะต้องเคลื่อนย้ายมวลสารที่อยู่ภายนอกจีออยด์ ให้เข้ามาอยู่ภายในจีออยด์ โดยไม่ทำให้สนามความถ่วงของโลกเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ในการหาค่าความสูงจีออยด์ ณ จุดใดๆ สามารถที่จะคำนวณได้โดยการใช้รูปของการกระจายสัมประสิทธิ์ฮาร์โมนิกทรงกลม ได้ดังนี้ (Leick, 1990)

$$N = \frac{GM}{r\gamma} \sum_{n=2}^{n_{\max}} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos \lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \quad (6)$$

เมื่อ GM คือ ค่าคงที่ความดึงดูดของมวลโลก (Geocentric gravitational constant) r คือ รัศมีที่ศูนย์กลางโลก (Geocentric radius) γ คือ ค่าแรงถ่วงปกติ (Normal gravity) a คือ รัศมีแกนหลักของรูปทรงรี (Semi-major axis of the ellipsoid) n, m คือ ระดับชั้นและอันดับ (Degree and order of the spherical harmonic term) θ, λ คือ ระยะขั้ว (Polar distance or geocentric colatitude) และลองจิจูดภูมิศาสตร์ (Geographical longitude) ตามลำดับ \bar{C}_{nm} และ \bar{S}_{nm} คือ สัมประสิทธิ์ฮาร์โมนิกที่นอร์แมลไลซ์เต็มที (Fully normalized harmonic coefficients) ส่วน $\bar{P}_{nm}(\cos \theta)$ มีชื่อเรียกว่า ฟังก์ชันเลอจองด์สัมทบที่นอร์แมลไลซ์ (Normalized associated Legendre function)

ใน ค.ศ. 1849 สโตกส์ (G.G.Stokes) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาขอบเขต เพื่อหาค่าความสูงจีโออยด์ โดยกำหนดให้ Δg_0 เป็นค่าที่วัดได้ตลอดพื้นผิวจีโออยด์ ซึ่งตามวิธีของสโตกส์การหาค่าความสูงจีโออยด์ ณ จุดใดๆคำนวณได้ดังสมการที่ 7

$$N = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} S(\psi) \Delta g_0 d\sigma \quad (7)$$

เมื่อ R คือ รัศมีของโลก γ คือ ค่าแรงถ่วงปกติ ณ จุดที่กำลังพิจารณา σ แทนพื้นผิวของรูปทรงกลมที่มีรัศมีหนึ่งหน่วย Δg_0 เป็นค่าอะนอมะลีแรงถ่วง (Gravity anomaly) ที่วัดได้ตลอดพื้นผิวของจีโออยด์ ส่วน $S(\psi)$ มีชื่อเรียกว่า ฟังก์ชันสโตกส์ (Stokes function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทางเชิงมุม ψ ระหว่างจุดที่กำลังพิจารณากับจุดที่มีค่า Δg_0 โดยค่า $S(\psi)$ คำนวณได้จาก

$$S(\psi) = \frac{1}{\sin(\psi/2)} + 1 - 5 \cos \psi - 6 \sin(\psi/2) - 3 \cos \psi \ln[\sin(\psi/2) + \sin^2(\psi/2)] \quad (8)$$

ต่อมาใน ค.ศ. 1928 เวนิงไมเนส (Vening Meinesz) ได้ให้สมการสำหรับการคำนวณค่าเบี่ยงเบนเส้นโค้งไวดังนี้

$$\begin{Bmatrix} \xi \\ \eta \end{Bmatrix} = \frac{1}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} \frac{dS(\psi)}{d\psi} \Delta g_0 \begin{Bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{Bmatrix} d\sigma \quad (9)$$

เมื่อ α เป็นแอมพิทูดของเส้นที่เชื่อมระหว่างจุดที่กำลังพิจารณา และจุดที่มีค่า Δg_0

จากสมการ ของสโตคส์ และ เวนิงไมเนส มีความต้องการในค่าอะนอมเมลิแรงถ่วง (Δg_0) ทั้งผิวโลกหรือผิวจีโออยด์ จึงนำมาซึ่งปัญหาในทางปฏิบัติ สองประการ คือ ประการแรก ข้อมูลการวัดแรงถ่วงที่มีไม่เพียงพอ ประการที่สอง การอินทิเกรตตลอดทั้งรูปทรงกลม สำหรับการคำนวณค่าที่จุดเพียงจุดเดียว ซึ่งเป็นเรื่องที่ทำได้ไม่ถนัดนัก ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในทางปฏิบัติจึงได้มีการมีเทคนิคและวิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริง มากที่สุด

6.3 วิธีการทางจีโอเดซีดาวเทียม (Methods of Satellite Geodesy)

การคำนวณงานรังวัดดาวเทียม ใช้วิธีการคำนวณปรับแก้โดยการสร้างสมการค่าสังเกต (Observation equations) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าหรือต้องการหาค่า ซึ่งการคำนวณอาจแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

6.3.1 วิธีทางเรขาคณิต (Geometric Method)

ในวิธีการทางเรขาคณิตนี้ จะใช้ดาวเทียมมองเห็นได้ในระยะไกลเป็นเป้าเล็ง ซึ่งค่าพิกัดตำแหน่งของดาวเทียม อาจจะใช้ประโยชน์ได้เพียงแต่หาทิศทางของดาวเทียม เพื่อที่จะรังวัดได้อย่างถูกต้องเท่านั้น ส่วนในการคำนวณ ถ้าหากมีการรังวัดมายังดาวเทียมพร้อมๆ กันมากกว่าสองจุดขึ้นไป พิกัดตำแหน่งของดาวเทียมจะถูกกำจัดออกไปจากสมการค่าสังเกต ซึ่งจะทำให้พารามิเตอร์ที่ยังไม่ทราบค่าในสมการเหลือเพียงพิกัดตำแหน่งของสถานีรังวัด ในทางปฏิบัติจะรังวัดดาวเทียมไปเรื่อยๆ ตลอดเวลาที่ดาวเทียมโคจรอยู่นือศีรษะ ซึ่งจะเป็นเส้นของการโคจรหนึ่งเส้น เนื่องจากทุกสถานีรังวัดไปที่ดาวเทียมดวงเดียวกัน ซึ่งเส้นของการโคจรจะต้องเป็นเส้นเดียวกันและถือได้ว่าเป็นเส้นที่ราบเรียบ (Smooth) หรืออีกนัยหนึ่งคือ วงโคจรจะเป็นฟังก์ชันของเวลาซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ของวงโคจร โดยพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถที่จะเพิ่มเติมเข้าไปในการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีการสั้นโค้งสั้น (Short-arc method)

6.3.2 วิธีการทางพลวัต (Dynamic Method)

ในวิธีการทางพลวัตนี้ ดาวเทียมเปรียบเสมือนเครื่องวัดแรงถ่วงที่เคลื่อนที่ไปในสนามความถ่วงของโลก พารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าในสมการค่าสังเกต จะเป็นพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของดาวเทียม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พารามิเตอร์ที่บ่งชี้คุณลักษณะของการแทนสนามความถ่วงของโลกด้วยอนุกรมฮาร์โมนิก (Harmonic coefficients) การแทนสนามความถ่วงของโลกด้วยอนุกรมฮาร์โมนิกในลักษณะนี้ สามารถกระทำได้ถึงดีกรีสูงสุด

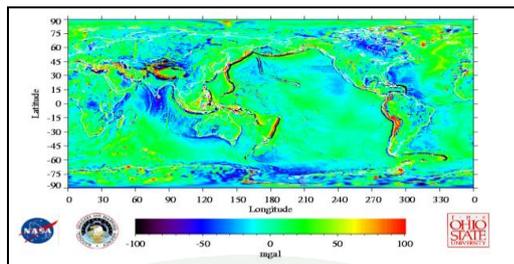
ที่เหมาะสมกับการแก้สมการระบบหนึ่งๆ เท่านั้น และในทางปฏิบัติก็จะพยายามกำจัดสัมประสิทธิ์บางตัวที่ทราบค่าแน่นอนแล้วหรือไม่มีนัยสำคัญต่อการคำนวณ หรือที่จะทำให้ระบบสมการมีค่าไม่เป็นเอกภาพ (Unique) เพื่อให้เหลือพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าจำนวนน้อยที่สุดในการคำนวณปรับแก้

7. แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ (Earth Gravitational Model)

แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ (Earth Gravitational Model) หรือแบบจำลองความสูงจีโออยด์ของพิภพ (Global Geoid Undulation Model) คำนวณมาจากอนุกรมฮาร์มอนิกทรงกลมของสนามความถ่วงของโลก โดยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณระดับชั้น (Degree) และอันดับ (Order) จะขึ้นอยู่กับข้อมูลการรังวัดความถ่วงของพื้นผิวโลก (Surface gravity data) และข้อมูลจากการวัดความสูงของผิวน้ำทะเลด้วยดาวเทียม (Satellite altimetry data) ร่วมกับการรังวัดดาวเทียม (Satellite-only observation) ซึ่งแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพนั้น ก็มีอยู่หลายแบบจำลอง ยกตัวอย่างเช่น DMA 10 x 10, OSU91A, EGM1996 และ EGM2008 เป็นต้น (<http://en.wikipedia.org/wiki/Geoid>; <http://priabroy.wordpress.com/2010/01/24/การคำนวณความสูง-geoid-โดยใช้-egm>) แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพที่ใช้ในการวิจัย มีอยู่ 2 แบบจำลอง คือ

7.1 แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 (Earth Gravitational Model 1996)

ได้รับการพัฒนาโดยความร่วมมือ ระหว่างองค์การแผนที่และภาพถ่ายแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Imagery and Mapping Agency, NIMA) ศูนย์การบินอวกาศกอดดาร์ด องค์การนาซา (NASA Goddard Space Flight Center, NASA GSFC) และมหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอไฮโอ (Ohio State University, OSU) โดยโครงการนี้ได้ รวบรวมข้อมูลความโน้มถ่วงจากหลายๆ แหล่งของโลก ด้วยวิธีที่แตกต่างกันบ้าง เช่น ในมหาสมุทรใช้ดาวเทียม GEOSAT และ ERS-1 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำมาหาค่าที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์จะถูกนำไปใช้ในฟังก์ชันฮาร์โมนิก (Harmonic) เพื่อคำนวณแรงโน้มถ่วงของโลก ในแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 (EGM96) ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 12 โดยแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ฮาร์มอนิกทรงกลมที่มีระดับชั้น (Degree) และอันดับ (Order) สูงถึง 360 โดยมีความละเอียด (Resolution) ของแบบจำลอง 30' x 30' และแต่ละช่องจะเก็บค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกันไปตามค่าพิกัด การคำนวณหาความสูงจีโออยด์ (Geoidal Height or Geoid Undulation, N) นั้นจะกระทำโดยรับข้อมูลค่าพิกัดจากผู้ใช้แล้วนำค่าพิกัดไปดึงเอาค่าสัมประสิทธิ์จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์ไปคำนวณหาความสูงจีโออยด์ (Geoidal Height or Geoid Undulation, N)

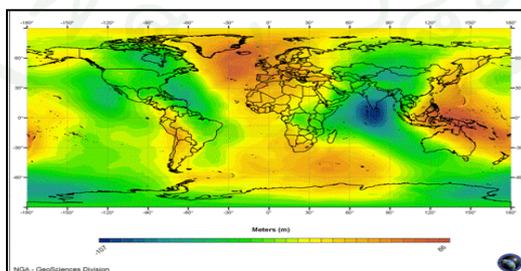


ภาพที่ 12 แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 (EGM96)

ที่มา: National Imagery and Mapping Agency et al. (2012)

7.2 แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (Earth Gravitational Model 2008)

ได้รับการพัฒนาและเผยแพร่โดยกลุ่มพัฒนา EGM ขององค์การอวกาศนาซาของสหรัฐอเมริกา (U.S. National Geospatial-Intelligence Agency, NGA) หรือชื่อเดิมก็คือ NIMA โดยแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (EGM2008) ได้นำแบบจำลอง EGM96 มาปรับปรุงใหม่ โดยเพิ่มข้อมูลจากดาวเทียม Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) ซึ่งเป็นดาวเทียมของ NASA ที่ใช้วัดสนามความโน้มถ่วงของโลก เข้าไปในแบบจำลองแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (EGM2008) ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ฮาร์โมนิกทรงกลมที่ขยายเพิ่มขึ้นถึงระดับชั้น (Degree) 2190 และอันดับ (Order) 2159 โดยมีความละเอียด (Resolution) ของแบบจำลอง $5' \times 5'$ หรือประมาณบรรจุก่า coefficients ประมาณ 4 ล้านค่า ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (EGM2008)

ที่มา: U.S. National Geospatial-Intelligence Agency (2012)

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้การรังวัดดาวเทียมระบบจีพีเอสในการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก (GPS-derived Orthometric Heights) ได้มีผู้ทำการศึกษา และเสนอเป็นรายงานการวิจัยขึ้นหลายฉบับ ซึ่งจะนำมาถ่วงดุลต่อไปนี้

ธนัช (2540) ศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยใช้ข้อมูลจากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส ร่วมกับหมุดควบคุมทางดิ่งหลักและแบบจำลองความสูงจีอออยด์ 3 แบบ ได้แก่ แบบจำลองความสูงจีอออยด์ OSU91A แบบจำลองความสูงจีอออยด์ของพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 และแบบจำลองความสูงจีอออยด์ EGM96 ซึ่งงานวิจัยได้เลือกพื้นที่ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสูง เป็นพื้นที่ศึกษา โดยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 80,000 ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีโครงข่ายประกอบด้วยเส้นฐาน 227 เส้น เชื่อมหมุดหลักฐานดาวเทียมจีพีเอส จำนวน 94 หมุด ที่สร้างขึ้นด้วยระยะห่างประมาณ 10 ถึง 100 กิโลเมตร และในจำนวนหมุดดังกล่าว เป็นหมุดหลักฐานการระดับชั้นที่หนึ่ง 7 หมุด หมุดหลักฐานการระดับชั้นที่สาม 12 หมุด และหมุดอื่นที่เหลือไม่ได้ทำการรังวัดเพื่อหาค่าระดับ ซึ่งค่าระดับของหมุดหลักฐานการระดับ จะถูกนำไปใช้เป็นค่าบังคับในขั้นการประมวลผล และใช้เป็นค่าอ้างอิงในขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผล จากผลการวิจัยพบว่า ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการประมวลผล โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงจีอออยด์ EGM96 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งหลักให้คงที่ 4 หมุด จะให้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ๆศึกษามากที่สุด และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ ให้ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าผลต่าง เท่ากับ 0.030 ม. และ 0.103 ม. ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ที่ได้รับจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส สามารถนำมาใช้เพื่อสร้างหมุดควบคุมทางดิ่งที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูง เช่น งานสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ หรืองานศึกษาความเหมาะสมขั้นต้นของโครงการก่อสร้าง

ธนัช (2547) ได้ศึกษาเรื่องความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสร่วมกับแบบจำลองความสูงจีอออยด์ โดยงานวิจัยได้ใช้วิธีการนำข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสมาใช้ร่วมกับหมุดควบคุมทางดิ่งหลัก และแบบจำลองความสูงจีอออยด์ ในการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ แบบจำลองความสูงจีอออยด์ OSU91A และแบบจำลองความสูงจีอออยด์ EGM96 ซึ่งงานวิจัยได้เลือกพื้นที่ในบริเวณตอนบนของประเทศไทย ที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขา เป็นพื้นที่ศึกษา โดยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 180,000 ตาราง

กิโลเมตร ซึ่งมีโครงข่ายประกอบด้วยเส้นฐาน 464 เส้น เชื่อมหมุดหลักฐานดาวเทียมจีพีเอส จำนวน 124 หมุด และในจำนวนหมุดดังกล่าว เป็นหมุดหลักฐานการระดับจำนวน 28 หมุด ซึ่งค่าระดับของหมุดหลักฐานการระดับ จะถูกนำไปใช้เป็นค่าบังคับในขั้นการประมวลผล และใช้เป็นค่าอ้างอิงในขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผล จากผลการวิจัยพบว่าแบบ จำลองที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา คือแบบจำลอง EGM96 และผลเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงจีโออยด์ EGM96 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งหลักให้คงที่ 5 หมุด จะให้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษามากที่สุด และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ ให้ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าผลต่าง เท่ากับ 0.013 ม. และ 0.115 ม. ตามลำดับ และยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าความสูงจีโออยด์ มีทิศทางเปลี่ยนแปลงความลาดชันตามแนวทิศตะวันออกเฉียงใต้ ไปยังทิศตะวันตกเฉียงเหนือค่อนข้างมาก ดังนั้น จึงควรมีหมุดควบคุมหลักที่กระจายตัวอย่างเพียงพอ และเหมาะสมในทิศทางดังกล่าว ซึ่งผลของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากงานวิจัย มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในเกณฑ์งานระดับที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูง เช่น งานสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่างานรังวัดดาวเทียมระบบจีพีเอส ได้ถูกนำมาแทนที่การทำระดับด้วยกล้องระดับ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดควบคุม ทั้งยังช่วยประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานได้อีกด้วย และเป็นอีกแนวทางหนึ่งในเชิงปฏิบัติ เพื่อพัฒนาการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ในการประยุกต์ใช้ในงานรังวัดควบคุมทางดิ่ง

ธนัช (2548) ได้ศึกษาเรื่องการประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้ข้อมูลจากการวัดด้วยดาวเทียม GPS ประยุกต์ร่วมกับแบบจำลองความสูงจีโออยด์ EGM96 ซึ่งข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม โดยใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต โดยมีเส้นฐานทั้งหมด 22 เส้นฐาน และเส้นฐานแต่ละเส้นมีความยาวที่ต่างกัน โดยมีความยาวตั้งแต่ 8.8 กิโลเมตร จนถึง 70.8 กิโลเมตร โดยที่จุดปลายเส้นฐานเป็นหมุดระดับที่ทราบค่าระดับ จากการเดินระดับด้วยกล้องระดับ ซึ่งค่าจากการเดินระดับด้วยกล้องเป็นค่าระดับในเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการการประมวลผลเส้นฐาน และปรับแก้โครงข่าย แบบแยกกันอย่างอิสระทีละเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ของค่าพิกัด ของหมุดควบคุม ซึ่งเป็นจุดปลายของเส้นฐานอีกด้านหนึ่ง จากงานวิจัย พบว่า ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS กับ ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการเดินระดับ ให้ค่าผลต่างเฉลี่ย เท่ากับ 0.037 ม. มีค่าผลต่างสูงสุด เท่ากับ 0.392 ม. มีค่าผลต่างต่ำสุด เท่ากับ -0.208 ม. และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าผลต่าง เท่ากับ 0.147 ม. และพบว่ามีจำนวนเส้นฐานที่ผ่านเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 4 จำนวน 17 เส้น และไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 5

เส้น ดังนั้น ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงค่าความถูกต้องที่ได้รับอยู่ในระดับเซนติเมตรถึง เดซิเมตร ดังนั้นวิธีการดังกล่าว จึงเหมาะสำหรับการหาค่าระดับของตำแหน่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ หรือไม่สามารถหาค่าระดับได้ ทั้งยังช่วยประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานสนามลง

ธนัช และคณะ (2553) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วย ดาวเทียมระบบ GPS โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008 โดยงานวิจัยได้ใช้วิธีการนำข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส มาใช้ร่วมกับหมุดควบคุม ทางดิ่งหลัก และแบบจำลองภูมิศักราชของพิภพในการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก โดย แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 และแบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 ซึ่งงานวิจัยได้เลือกพื้นที่ในบริเวณตอนบนของ ประเทศไทย ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาเป็นพื้นที่ที่ศึกษา โดยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 180,000 ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีโครงข่ายประกอบด้วยเส้นฐาน 466 เส้น เชื่อมหมุดหลักฐาน ดาวเทียมจีพีเอส จำนวน 124 หมุด และในจำนวนหมุดดังกล่าว เป็นหมุดหลักฐานการระดับจำนวน 27 หมุด ซึ่งค่าระดับของหมุดหลักฐานการระดับ จะถูกนำไปใช้เป็นค่าบังคับในขั้นตอนการประมวลผล และใช้เป็นค่าอ้างอิงในขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผล จากผลการวิจัยพบว่า แบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 (EGM2008) จะมีความคงเส้นคงวา (Consistency) ดีกว่าแบบจำลอง ภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 (EGM96) และผลเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราช ของพิภพ ค.ศ. 2008 (EGM2008) ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งหลักให้คงที่ 4 หมุด จะให้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษามากที่สุด และเมื่อนำมา เปรียบเทียบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ ให้ค่าเฉลี่ย และค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าผลต่าง เท่ากับ -0.146 ม. และ 0.328 ม. ตามลำดับ ดังนั้นในการทอน ค่าความสูงเหนือรูปทรงรีที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมไปสู่ค่าความสูงออร์โทเมตริก จึงจำเป็นต้องใช้ แบบจำลองความสูงจีออยด์ร่วมกับหมุดควบคุมทางดิ่งหลัก ซึ่งมีจำนวนและการกระจายตัว ครอบคลุมพื้นที่อย่างเพียงพอและเหมาะสม เพื่อให้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับเพียงพอ สำหรับการนำไปใช้ในเกณฑ์งานระดับที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูง จึงอาจกล่าวได้ว่างานรังวัด ดาวเทียมระบบ GPS ได้ถูกนำมาแทนที่การทาระดับด้วยกล้องระดับ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์ โทเมตริกของหมุดควบคุม ทั้งยังเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการ ปฏิบัติงานอีกด้วย

ชัยวัฒน์ และคณะ (2540) ได้ศึกษาเรื่องค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการสำรวจด้วย ดาวเทียมระบบ GPS ในประเทศไทย โดยได้ศึกษาหารูปแบบความสัมพันธ์ของ จีออยด์สากลและจี

ออยด์ท้องถิ่น และความเหมาะสมใช้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการประยุกต์ข้อมูลการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS ร่วมกับ แบบจำลองจีออยด์ EGM96 เพื่อใช้ทดแทนการหาค่ากำหนดสูงด้วยการทำระดับชั้นที่ 3 โดยหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ที่ใช้ในงานวิจัยมีจำนวนทั้งสิ้น 692 หมุด และในจำนวนนั้นเป็นหมุดที่มีการโยงค่าความสูงออร์โทเมตริกในโครงข่ายงานจุดควบคุมทางดิ่ง จากเกาะหลัก ของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 265 หมุด และใช้วิธีคำนวณค่าความสูงเหนือจีออยด์ EGM96 โดยใช้โปรแกรม 47795 และ ในการปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียมระบบ GPS ทั้ง 692 หมุด ใช้โปรแกรม GPSurvey ปรับแก้ โดยวิธีการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก กระทำโดยนำเอาค่าความต่างของค่าความสูงจีออยด์ (N) ระหว่างจีออยด์สากล (EGM96) กับ จีออยด์ท้องถิ่น ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากงานวิจัย (ค่าเฉลี่ยที่ได้จากงานวิจัยเท่ากับ 1.0525) จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปบวกเข้ากับ ค่าความสูงจีออยด์ (N) ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงจีออยด์สากล (EGM96) (ค่า N ที่ได้จากแบบจำลอง EGM96 + 1.0525) ซึ่งจะให้ได้ค่าความสูงจีออยด์ (N) ใหม่ออกมา โดยจากการปรับปรุงดังกล่าวถูกเรียกว่า การนำแบบจำลอง EGM96 ดัดแปลงกับ MSL ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการหาค่าความสูงออร์โทเมตริกในงานวิจัยนี้ต่อไป จากผลการวิจัย พบว่า ความสูงจีออยด์ของจีออยด์ท้องถิ่นสูงกว่าจีออยด์สากลเฉลี่ย 1.05 เมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.32 เมตร และพิสัย 2.04 เมตร ซึ่งค่าความแตกต่างดังกล่าว มีนัยสำคัญ แบบเป็นระบบ เมื่อนำค่าความสูงจีออยด์ของจีออยด์สากล บวกเข้ากับค่าเฉลี่ย 1.05 เมตร (EGM96 + 1.0525) เปรียบเทียบกับ ความสูงจีออยด์ ของจีออยด์ท้องถิ่น ทั้ง 265 หมุด พบว่า ค่าความแตกต่างเฉลี่ยลดลงเหลือ 0.23 เมตร เมื่อนำ ไปคำนวณปรับแก้พร้อมกันตลอดทั้งโครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียมระบบ GPS ของกรมแผนที่ทหารทั่วประเทศ จำนวน 692 หมุด ในแบบกำลังสองน้อยสุด โดยใช้จุดควบคุมค่าระดับสูงออร์โทเมตริก จำนวน 237 หมุด ผลจากการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดหลักฐานดาวเทียมระบบ GPS ที่ได้จากการปรับแก้ ในจำนวน 28 หมุด พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.04 เมตร โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.31 เมตร ค่าคลาดเคลื่อนระหว่าง 1.22 เมตร ถึง -0.42 เมตร ค่าพิสัย 1.64 เมตร ซึ่งเมื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับงานสำรวจระดับชั้นที่ 3 แล้ว พบว่ามีเพียง 7 หมุด เท่านั้น ที่ผ่านเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียมระบบ GPS ทั้งประเทศ ไม่สามารถนำไปใช้แทนการรังวัดระดับชั้นที่ 3 ได้ แต่อาจนำไปใช้ในการสำรวจหาความสูงออร์โทเมตริกในเฉพาะพื้นที่ที่มีขนาดไม่กว้างนักได้

สุรพงษ์ (2537) ศึกษาการประยุกต์ใช้งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสสำหรับควบคุมทางดิ่ง ในโครงการสร้างอ่างเก็บน้ำ ซึ่งตั้งอยู่ในกิ่งอำเภอสมเด็จ และอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

ด้วยพื้นที่ประมาณ 2,500 ตารางกิโลเมตร มีลักษณะของภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขา ในการวิจัยได้ใช้เครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียว Trimble 4000SE ทำการรังวัดบนหมุดควบคุมทางดิ่ง 20 หมุด ที่มีระยะห่างกันประมาณ 5 ถึง 20 กิโลเมตรข้อมูลจากการรังวัด จะนำมาประมวลผลเส้นฐานด้วยซอฟต์แวร์ TRIMVEC Plus ผลลัพธ์จากการประมวลผลเส้นฐานจำนวน 35 เส้น นำมาประกอบเป็นโครงข่าย และประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ TRIMNET ทั้งนี้ได้ใช้ค่าความสูงจากการทำระดับในเกณฑ์งานชั้นสาม เป็นค่าระดับอ้างอิงเป็นหมุดควบคุมทางดิ่งหลัก ในการทอนค่าความสูงเหนือรูปทรงรีจากการรังวัดดาวเทียม ให้เป็นค่าความสูงเหนือจีโออยด์ ใช้วิธีการปรับแก้โครงข่าย โดยการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งหลัก ตั้งแต่ 1 ถึง 7 หมุด ให้มีค่าคงที่ จากผลการวิจัยพบว่าการใช้หมุดควบคุมทางดิ่งหลัก 4 หมุดซึ่งมีระยะห่างกัน 20 กิโลเมตร ก็เพียงพอ และเหมาะสม กล่าวคือ เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติในการเปรียบเทียบผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก ระหว่างผลซึ่งได้จากการประมวลผล เมื่อมีหมุดควบคุมทางดิ่งหลัก 4 หมุด และผลซึ่งได้จากการทำระดับ จะให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.001 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.030 เมตร และยังได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส เปรียบเทียบกับเกณฑ์ของงานระดับในงานชั้นที่ 3 โดยในการศึกษาได้นำข้อมูลโครงข่ายจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสที่ประกอบด้วยเส้นฐานจำนวน 35 เส้น มาทำการประมวลผลร่วมกับแบบจำลอง OSU86 ในการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก และนำค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการประมวลผลมาเปรียบเทียบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการทำระดับ จากการวิจัยพบว่าผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริกมีค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.012 เมตร และ 0.169 เมตร ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์ของงานระดับในงานชั้นที่ 3 พบว่า มีเส้นฐานที่ผ่านเกณฑ์ของงานระดับในงานชั้นที่ 3 จำนวน 12 เส้น และไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 23 เส้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า การรังวัดดาวเทียมจีพีเอส สามารถนำไปใช้ในงานสร้างหมุดควบคุมทางดิ่งหลักที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูง นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และเวลา ระหว่างวิธีการเดินระดับ และวิธีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส เมื่อมีหมุดควบคุมทางดิ่งหลักเท่านั้น พบว่าวิธีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส จะประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าประมาณ 2.3 เท่า และประหยัดเวลากว่าประมาณ 4 เท่า

Collins (1989) ศึกษาการหาความสูงออร์โทเมตริก ด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส พบว่าในการนำข้อมูลจากการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส มาใช้ร่วมกับการกำหนดหมุดควบคุมทางดิ่งหนึ่งหมุด ซึ่งมีตำแหน่งของหมุดอยู่กลางพื้นที่ของโครงการขนาดใหญ่ เช่น 50 x 50 กิโลเมตร จะให้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่มีความถูกต้องประมาณ 0.300 เมตร โดยทั้งนี้ในการประมวลผลโครงข่าย ได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงจีโออยด์ที่มีระดับชั้นสูงถึง 360 ร่วมอยู่ด้วย

Milbert(1991)ศึกษาการหาความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงจีออยด์ OSU89B' และ GEOID90" ในโครงการสร้างหมุดควบคุมทางดิ่งของเมืองปรินซ์วิลเลียม (Prince William) รัฐเวอร์จิเนีย มีพื้นที่โครงการประมาณ 1,600 ตารางกิโลเมตร การรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส จะกระทำบนหมุดหลักฐานการระดับที่มีอยู่เดิมด้วย ในการวิจัย ได้ใช้วิธีการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งหลักให้มีค่าคงที่ ร่วมกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงจีออยด์ OSU89B และ GEOID90 เพื่อประมวลผลหาค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดดาวเทียม แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าความสูงเหนือพื้นหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (National Geodetic Vertical Datum of 1929 or NGVD29) ของหมุดหลักฐานการระดับดังกล่าว จากผลการวิจัยพบว่า ผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก ในกรณีของการประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงจีออยด์ OSU89B จะมีความคลาดเคลื่อน (RMS) เท่ากับ 0.123 เมตร และเมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงจีออยด์ GEOID90 จะเกิดความคลาดเคลื่อนในผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริกเพียง 0.016 เมตร เท่านั้น ดังนั้น การวิจัยจึงได้ให้ข้อสรุปในการนำแบบจำลองความสูงจีออยด์ GEOID90 ไปใช้ในโครงการสร้างหมุดควบคุมทางดิ่งดังกล่าว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แก่

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม Microsoft Excel , Microsoft Word
3. ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐาน และปรับแก้โครงข่าย Leica Geo Office Combined Version 5.0
4. ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างพื้นผิวสามมิติ SERFER6

วิธีการ

ในการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย มีรายละเอียดของวิธีการและขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

1. ขอบเขตและการรวบรวมข้อมูลในการวิจัย (Research Scope and Data Collection)

ในการกำหนดขอบเขตของการวิจัย ได้เลือกบริเวณพื้นที่ประเทศไทยเป็นพื้นที่ศึกษา ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 511,937 ตารางกิโลเมตร ดังภาพที่ 14 แสดงบริเวณพื้นที่ประเทศไทยที่ใช้ในการวิจัย และในการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1.1 ข้อมูลหมุดโครงข่ายหลัก (Primary network)

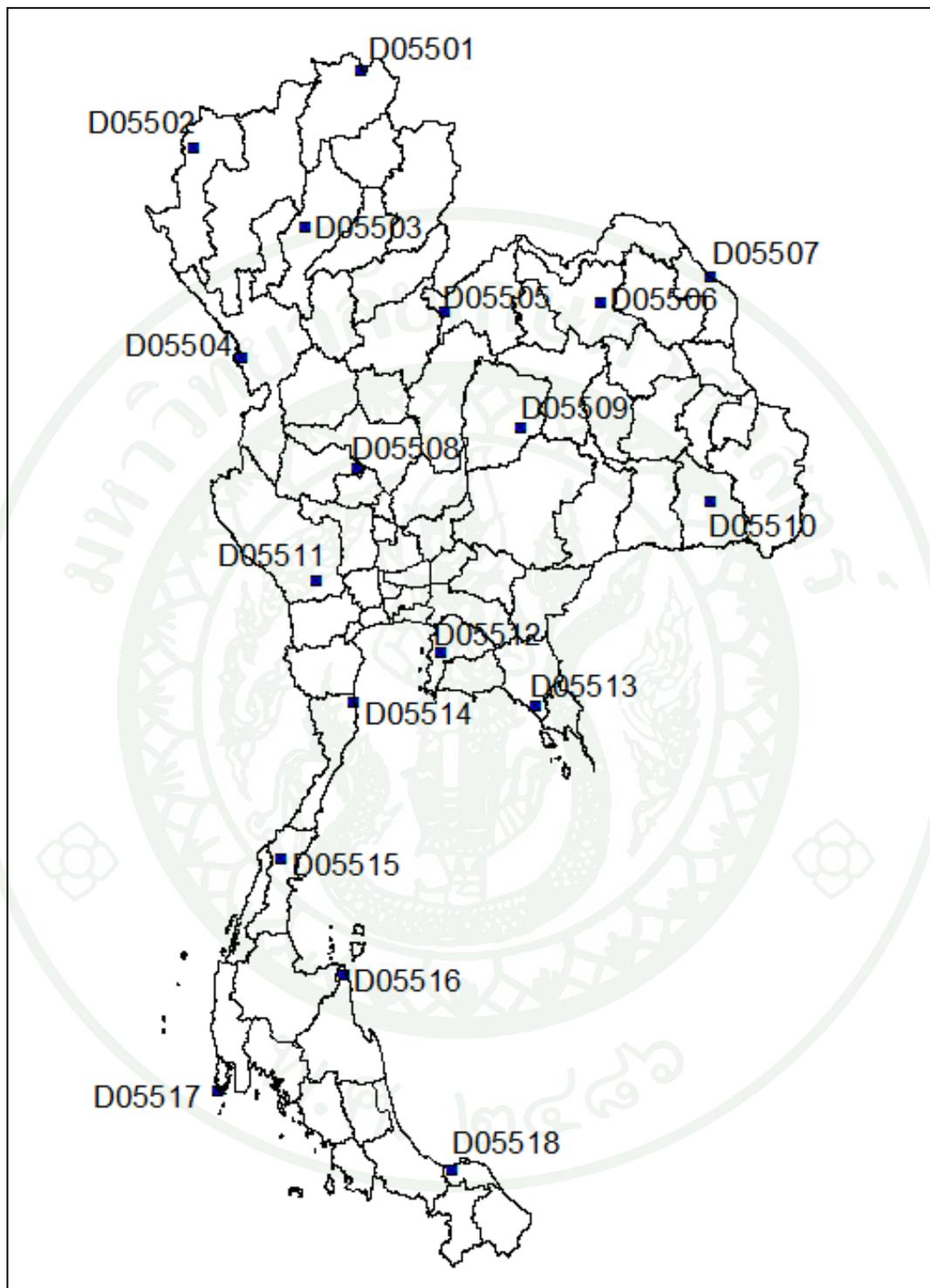
เป็นข้อมูลค่าพิกัดหมุดควบคุมทางราบของกรมแผนที่ทหารจำนวน 18 หมุด ที่มีตำแหน่งกระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณพื้นที่ประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 15 ซึ่งข้อมูลค่าพิกัดของหมุดโครงข่ายหลักดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เป็นค่าบังคับทางราบ หรือกำหนดค่าพิกัดทางราบให้มีค่าคงที่ (Fixed horizontal control) ในขั้นตอนการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย

1.2 ค่าระดับหรือค่าความสูงออร์โทเมตริก (Elevations or Orthometric Height)

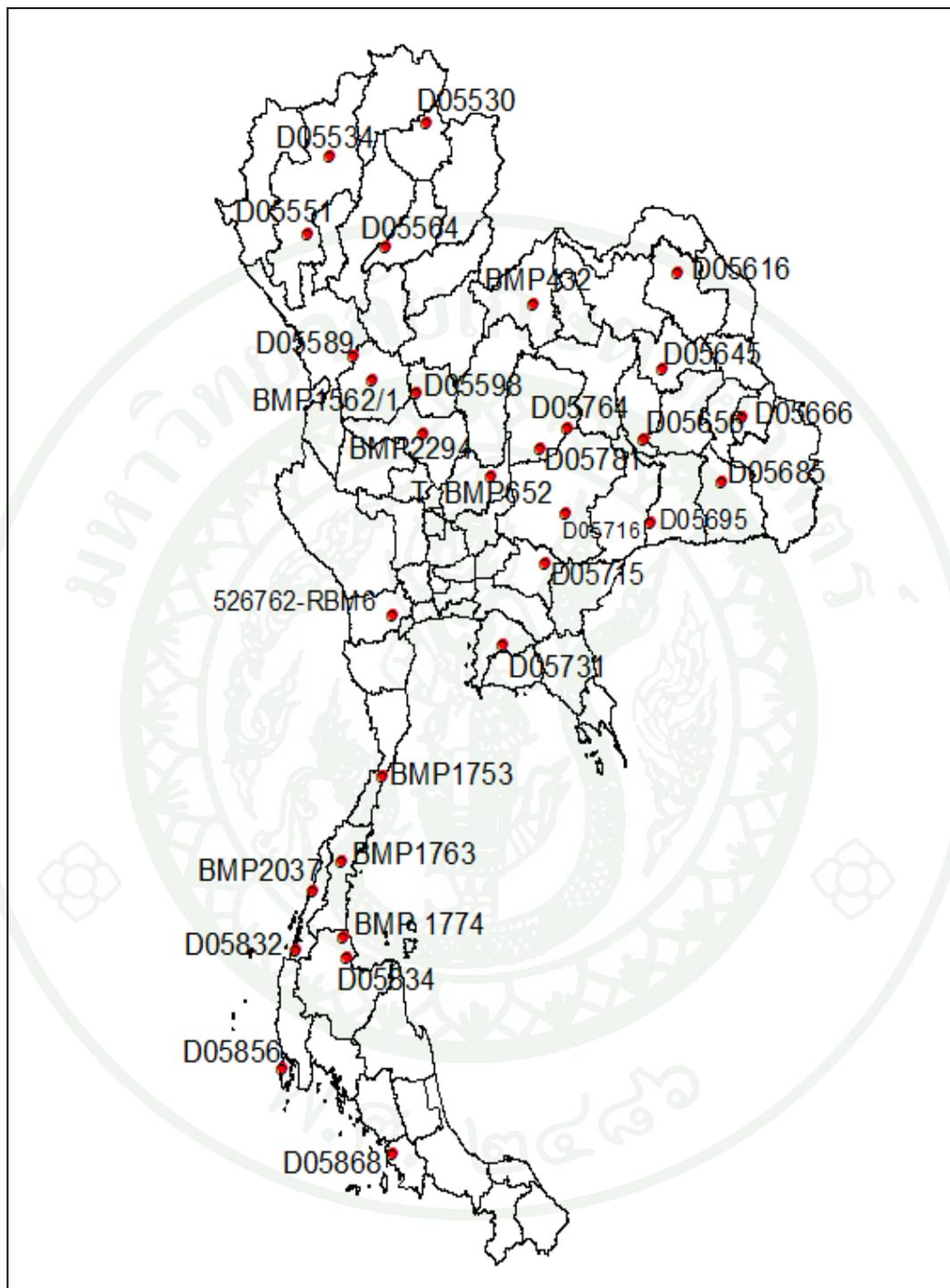
เป็นข้อมูลค่าระดับชั้นที่หนึ่งของหมุดหลักฐานการระดับ หรือหมุดควบคุมทางดิ่ง ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการเดินระดับด้วยกล้องระดับ (Spirit leveling) โดยกรมแผนที่ทหาร ดังตารางที่ 2 ซึ่งจะแสดงข้อมูลค่าระดับหรือค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดหลักฐานการระดับชั้นที่หนึ่งจำนวน 30 หมุด ที่มีตำแหน่งกระจายครอบคลุมทั้งพื้นที่ประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 16 โดยข้อมูลค่าระดับหรือค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดหลักฐานการระดับชั้นที่หนึ่ง จะถูกพิจารณาใช้เป็นค่าบังคับ หรือกำหนดให้มีค่าคงที่ (Fixed vertical control) ในขั้นตอนการประมวลผลและใช้เป็นค่าอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลในขั้นตอนการวิเคราะห์



ภาพที่ 14 บริเวณพื้นที่ประเทศไทยสำหรับการวิจัย



ภาพที่ 15 แผนที่ตำแหน่งหมุดควบคุมทางราบจำนวน 18 หมุด



ภาพที่ 16 แผนที่ตำแหน่งหมุดหลักฐานการระดับหรือควบคุมทางดิ่งจำนวน 30 หมุด

ตารางที่ 2 ค่าระดับหรือค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดหลักฐานการระดับ

ลำดับที่	ชื่อหมุด	จังหวัดที่ตั้ง	ค่าความสูงออร์โทเมตริก, H (เมตร)	ชั้นของงานระดับ
1	526762-RBM6	ราชบุรี	10.6443	1
2	BMP1562/1	กำแพงเพชร	78.5819	1
3	BMP1753	ประจวบคีรีขันธ์	20.5243	1
4	BMP1763	ชุมพร	32.9379	1
5	BMP1774	สุราษฎร์ธานี	16.3134	1
6	BMP2037	ระนอง	5.4312	1
7	BMP2294	นครสวรรค์	28.0930	1
8	BMP432	เลย	251.0031	1
9	D05530	พะเยา	394.0804	1
10	D05534	เชียงใหม่	336.7547	1
11	D05551	เชียงใหม่	264.1554	1
12	D05564	แพร่	170.5221	1
13	D05589	ตาก	100.2822	1
14	D05598	พิจิตร	36.8585	1
15	D05616	สกลนคร	164.6141	1
16	D05645	กาฬสินธุ์	145.3796	1
17	D05656	มหาสารคาม	142.9118	1
18	D05666	อำนาจเจริญ	152.7892	1
19	D05685	ศรีสะเกษ	127.8592	1
20	D05695	สุรินทร์	160.9105	1
21	D05715	ปราจีนบุรี	52.9778	1
22	D05716	นครราชสีมา	191.2045	1
23	D05731	ชลบุรี	102.7585	1
24	D05764	ชัยภูมิ	178.1760	1
25	D05781	ชัยภูมิ	198.0460	1
26	D05832	ระนอง	3.8740	1
27	D05834	สุราษฎร์ธานี	5.8280	1
28	D05856	ภูเก็ต	6.1690	1
29	D05868	สตูล	11.0050	1
30	T_BMP625	ลพบุรี	48.2740	1

1.3 เส้นฐานจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส (GPS Baseline Solutions)

เป็นข้อมูลการรังวัดที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมบนหมุดโครงข่ายหลัก (Major control) ของกรมที่ดินจำนวน 370 หมุดที่กระจายตัวอยู่ทั่วประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 17 (การรับสัญญาณดาวเทียมได้ทำการรังวัดเชื่อมโยงเข้ากับหมุดโครงข่ายหลัก (Primary network) ของกรมแผนที่ทหารจำนวน 18 หมุด และหมุดหลักฐานการระดับชั้นที่หนึ่งของกรมแผนที่ทหารจำนวน 30 หมุด) โดยการรังวัดได้แบ่งบริเวณพื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 18 ถึง 25 และทำการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ โดยวิธีการรับสัญญาณแบบสถิต (Static survey) ที่รับสัญญาณดาวเทียมพร้อมกันอย่างน้อย 5 ดวง และใช้ระยะเวลาในแต่ละคาบการทำงานมากกว่า 2 ชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งข้อมูลจากการรังวัดสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

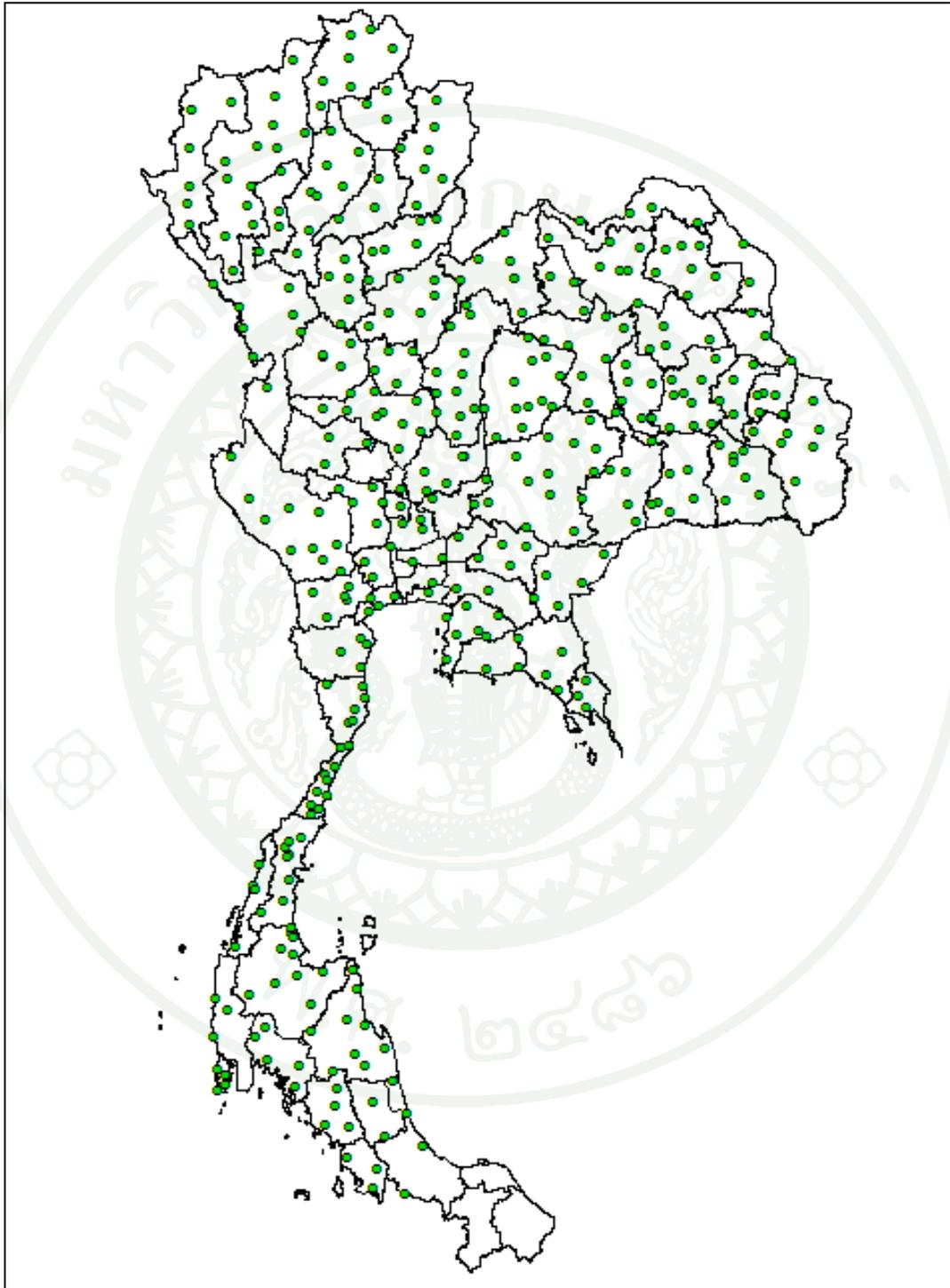
1.3.1 ข้อมูลการรับสัญญาณจากเครื่องรับสัญญาณ Trimble

ข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณ Trimble ซึ่งผลิตโดยบริษัท Trimble Navigation จะทำการรับสัญญาณบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 1, 2, 6 และ 8 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการรับสัญญาณจะอยู่ในรูปของนามสกุล T01 ไฟล์ (.T01 file) ก่อนจะถูกนำมาแปลงให้อยู่ในรูปของนามสกุล Dat ไฟล์ (.Dat file) จากนั้นจึงนำมาแปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลแบบมาตรฐาน หรือ RINEX (Receiver INdependent EXchange format) จากนั้นจึงนำข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน หรือ RINEX มาประมวลผลเพื่อสร้างเส้นฐาน (ในการประมวลผลเส้นฐานได้ปฏิบัติตามข้อกำหนด และเกณฑ์มาตรฐานความถูกต้องตามที่กรมที่ดินกำหนด) และนำเส้นฐานมาประกอบกันเพื่อสร้างเป็นโครงข่ายในบริเวณพื้นที่ 1, 2, 6 และ 8 แล้วจึงทำการส่งออกเพิ่มข้อมูลโครงข่ายพื้นที่ส่วนที่ 1, 2, 6 และ 8 ให้อยู่ในรูปเพิ่มข้อมูลแบบแอสกี (ASCII file)

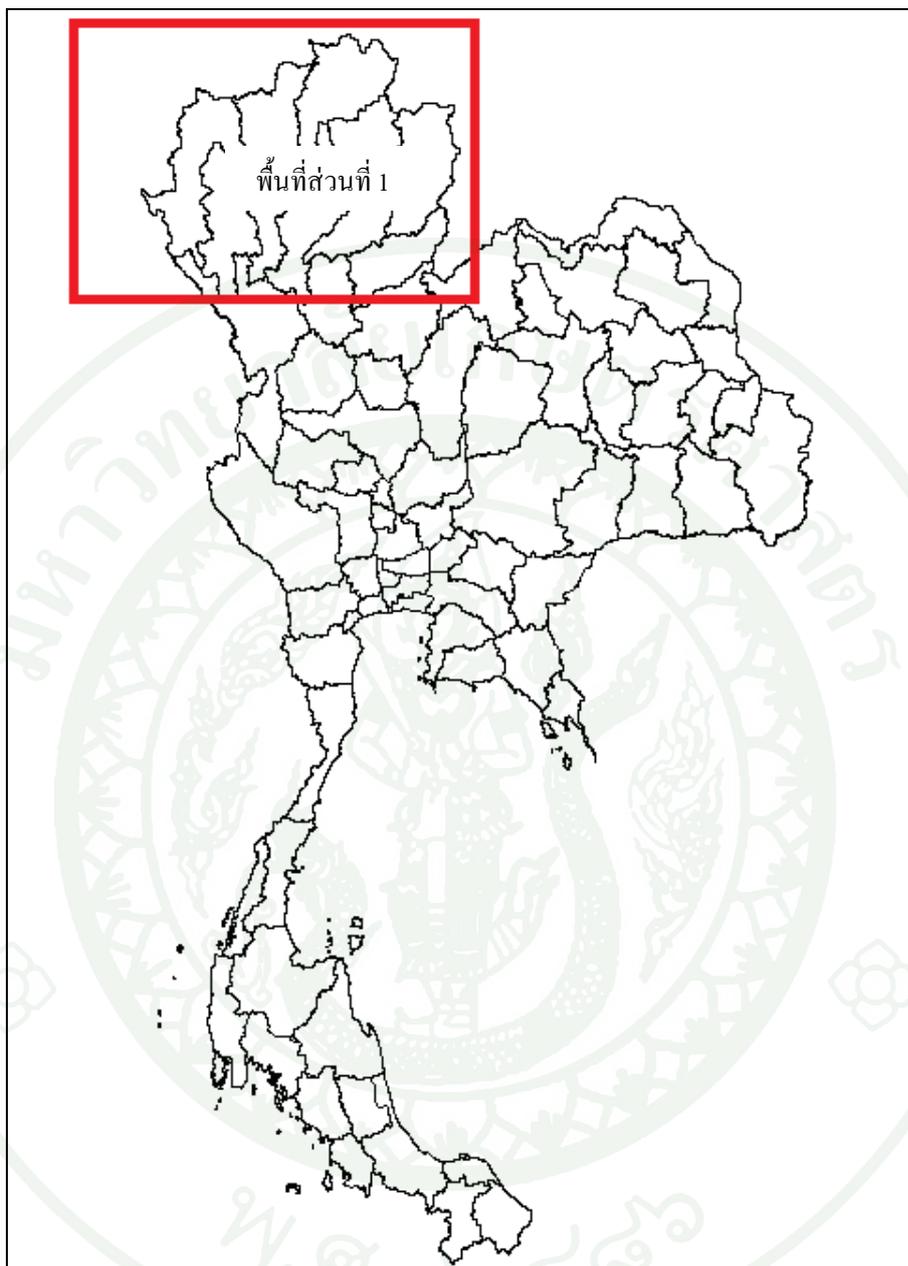
1.3.2 ข้อมูลการรับสัญญาณจากเครื่องรับสัญญาณ Leica

ข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณ Leica ซึ่งผลิตโดยบริษัท Leica จะทำการรับสัญญาณบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 3, 4, 5 และ 7 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการรับสัญญาณจะถูกนำมาประมวลผลเส้นฐาน โดยใช้โปรแกรม Leica Geo Office (ในการประมวลผลเส้นฐานได้ปฏิบัติตามข้อกำหนด และเกณฑ์มาตรฐานความถูกต้องตามที่กรมที่ดินกำหนด) และนำเส้นฐานมาประกอบกันเพื่อสร้างเป็นโครงข่ายในบริเวณพื้นที่ 3, 4, 5 และ 7 แล้วจึงทำการส่งออกเพิ่มข้อมูลโครงข่ายพื้นที่ส่วนที่ 3, 4, 5 และ 7 ให้อยู่ในรูปเพิ่มข้อมูลแบบแอสกี (ASCII file)

ผลลัพธ์จากการประมวลผลพื้นฐานของพื้นที่ทั้ง 8 ส่วน จะถูกนำมารวมกันเพื่อสร้างเป็นโครงข่ายประเทศไทยสำหรับนำไปใช้ในขั้นตอนการประมวลผลของการวิจัยในลำดับต่อไป



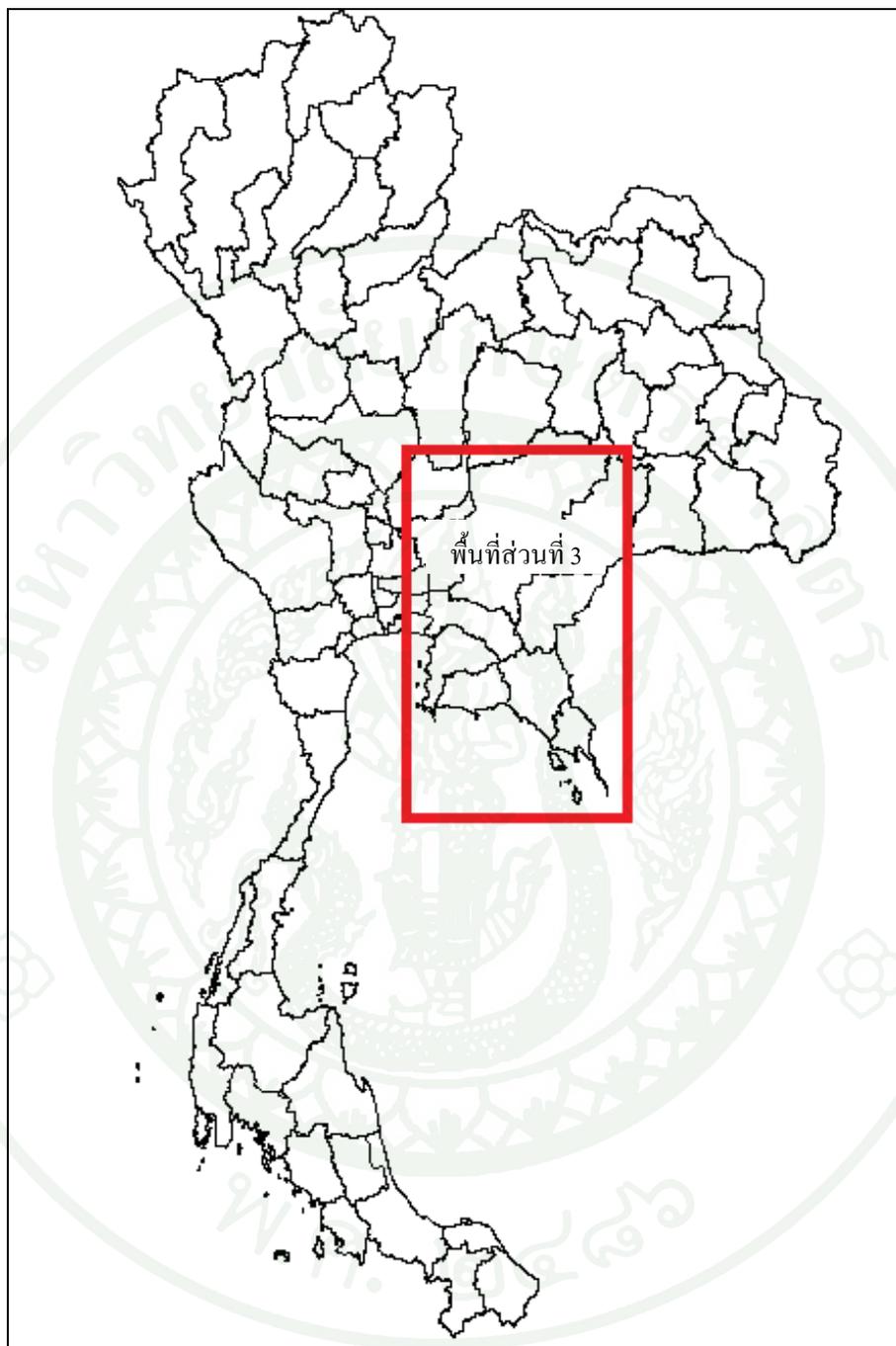
ภาพที่ 17 ตำแหน่งจุดโครงข่ายหลัก (Major Control) จำนวน 370 จุด



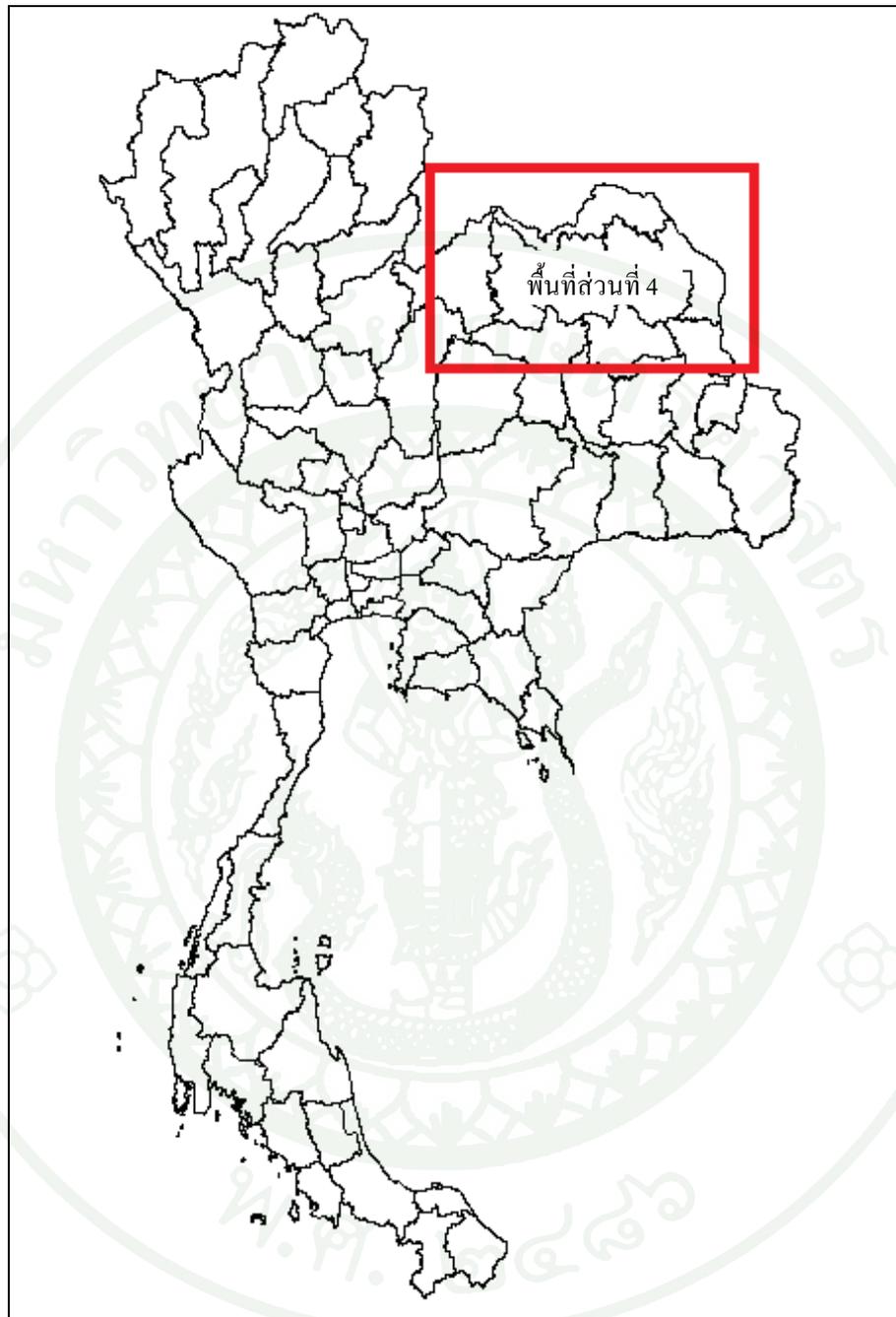
ภาพที่ 18 บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 1



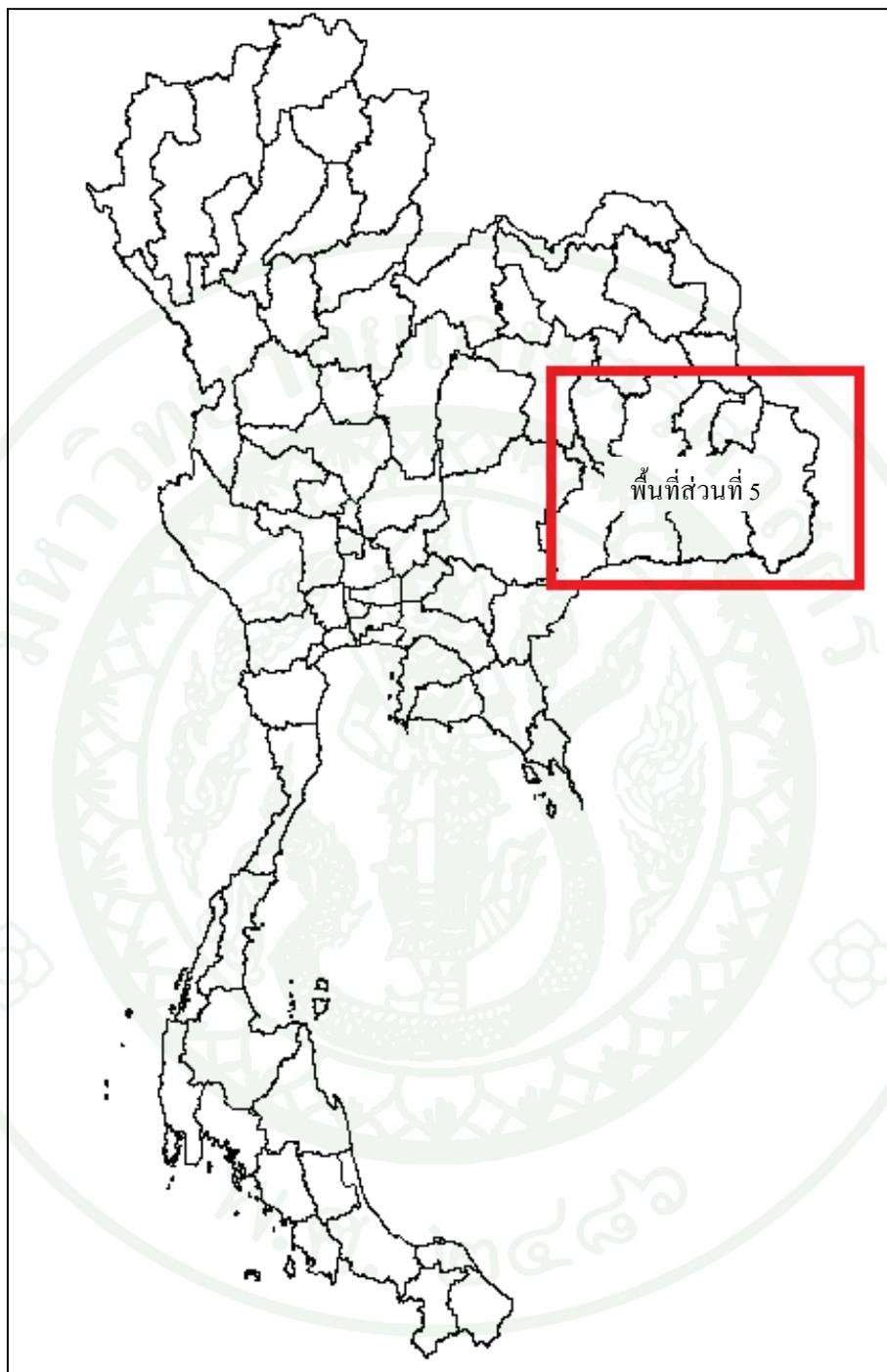
ภาพที่ 19 บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 2



ภาพที่ 20 บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 3



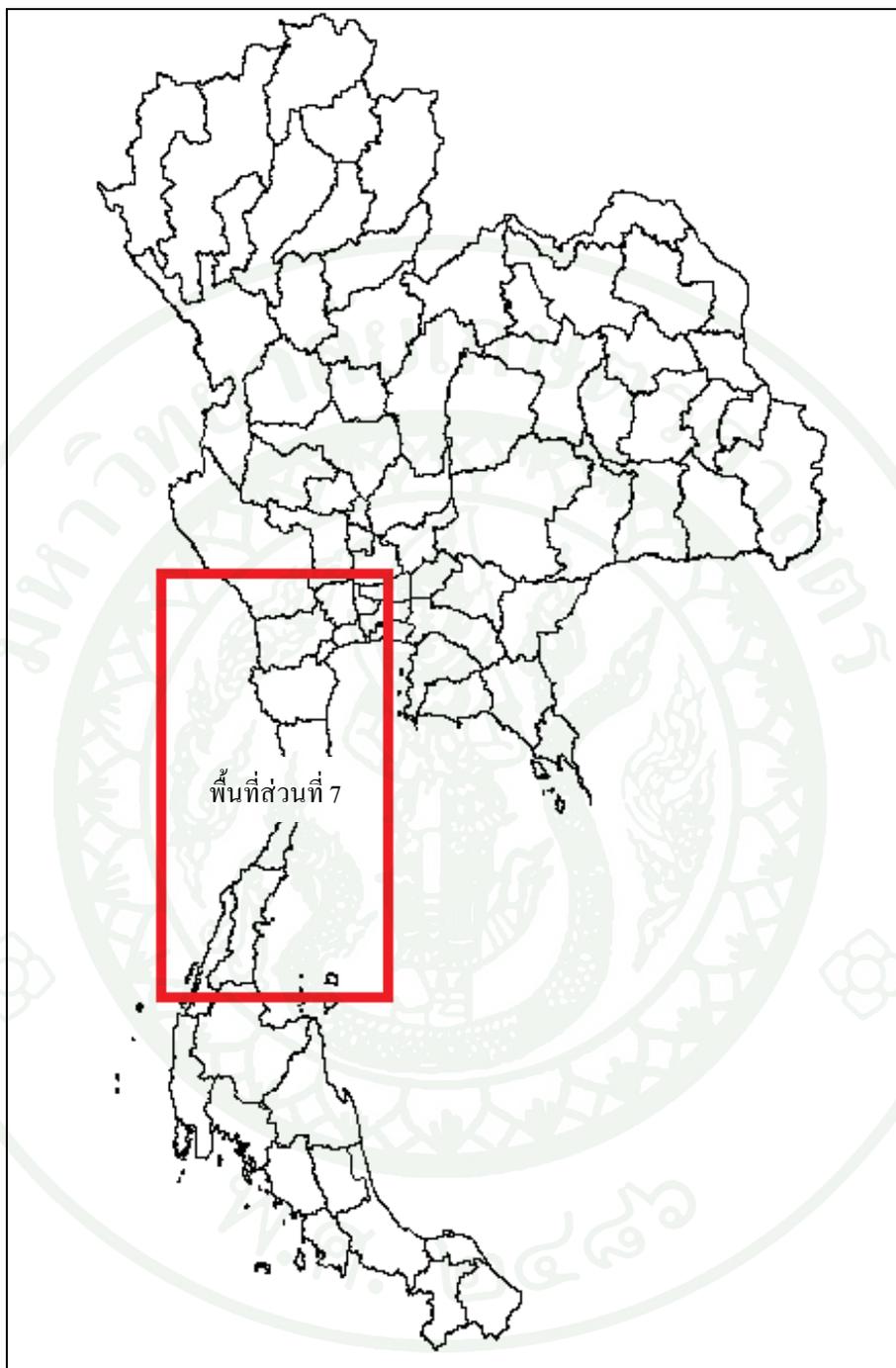
ภาพที่ 21 บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 4



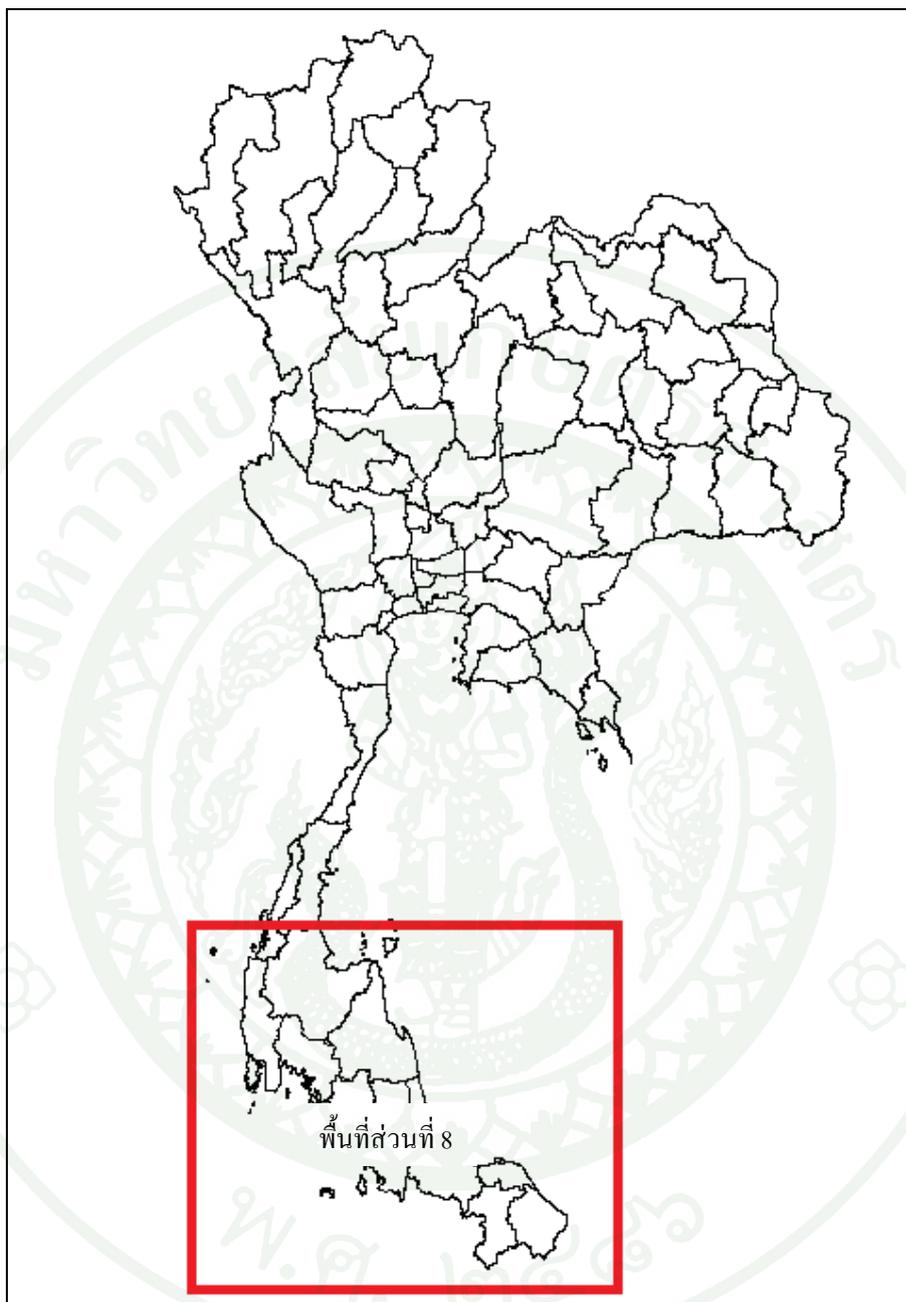
ภาพที่ 22 บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 5



ภาพที่ 23 บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 6



ภาพที่ 24 บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 7



ภาพที่ 25 บริเวณการรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ส่วนที่ 8

2. การเตรียมแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ (Preparing Earth Gravitational Model)

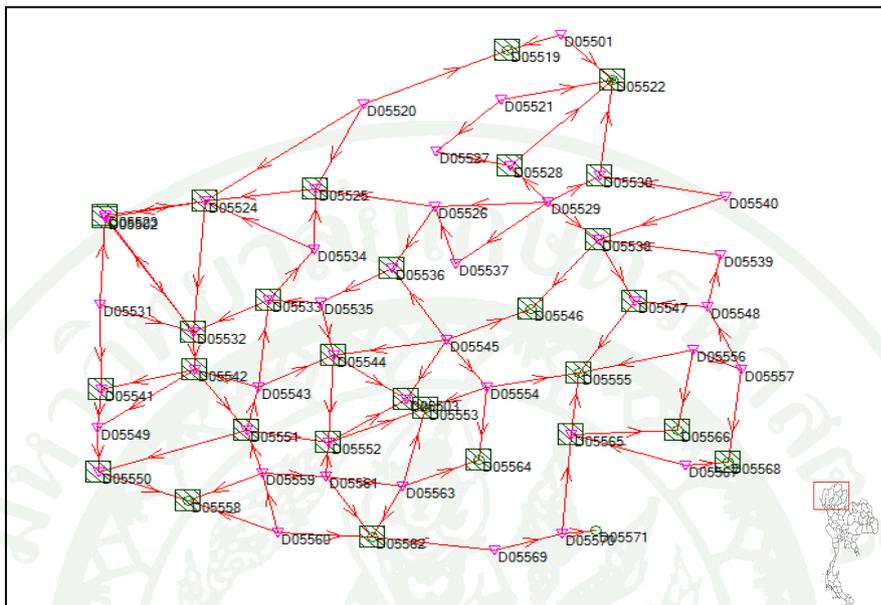
แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย ได้แก่ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 (Earth Gravitational Model 1996; EGM96) และ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (Earth Gravitational Model 2008; EGM2008)

ในการเตรียมแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพทั้งสองแบบจำลองดังกล่าวข้างต้น จะต้องอยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลที่พร้อมจะนำไปประมวลผลใน โปรแกรม Leica Geo Office (LGO) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับประมวลผล และปรับแก้โครงข่าย (ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Leica Geo Office (LGO) ในการประมวลผลเส้นฐานและปรับแก้โครงข่าย) ซึ่งรองรับนามสกุลไฟล์ของแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพในรูปแบบนามสกุลไฟล์ exe (.exe) และนามสกุลไฟล์ gem (.gem) ดังนั้นรูปแบบแฟ้มข้อมูลของแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ จึงอยู่ในรูปแบบนามสกุลไฟล์ exe หรือนามสกุลไฟล์ gem (การวิจัยได้ใช้แฟ้มข้อมูลแบบจำลอง EGM96.exe และ EGM2008.gem) นามสกุลไฟล์ exe (.exe) ย่อมาจาก Executable ซึ่งเป็นนามสกุลไฟล์ที่สามารถทำการเอกซีกิว (Execute) ซึ่งก็คือสามารถดำเนินการตามที่โปรแกรมบรรจุไว้ได้โดยตรงเมื่อป้อนคำสั่งไฟล์นั้นลงไป โดยโปรแกรมที่บรรจุลงในไฟล์ซึ่งเป็นรหัสไบนารี (ภาษาเครื่อง) จะถูกหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit; CPU) เรียกไปทำการประมวลผล (Process) ทันที ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรม Leica Geo Office (LGO) โปรแกรมดังกล่าวจะถูกบรรจุลงในไฟล์ซึ่งเป็นรหัสไบนารี ดังนั้นเมื่อเรียกใช้ไฟล์ EGM96.exe ระบบประมวลผลกลาง (Central Processing Unit; CPU) จะไปดึงเอาไฟล์แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ มาทำการประมวลผลเพื่อหาค่าความสูงจีอออยด์ เป็นต้น ส่วนนามสกุลไฟล์ gem (.gem) ย่อมาจาก Global Elevation Model เมื่อเรียกใช้ไฟล์ EGM2008.gem ในโปรแกรม Leica Geo Office (LGO) โปรแกรมจะทำการประมวลผล เพื่อหาค่าความสูงจีอออยด์เช่นกัน

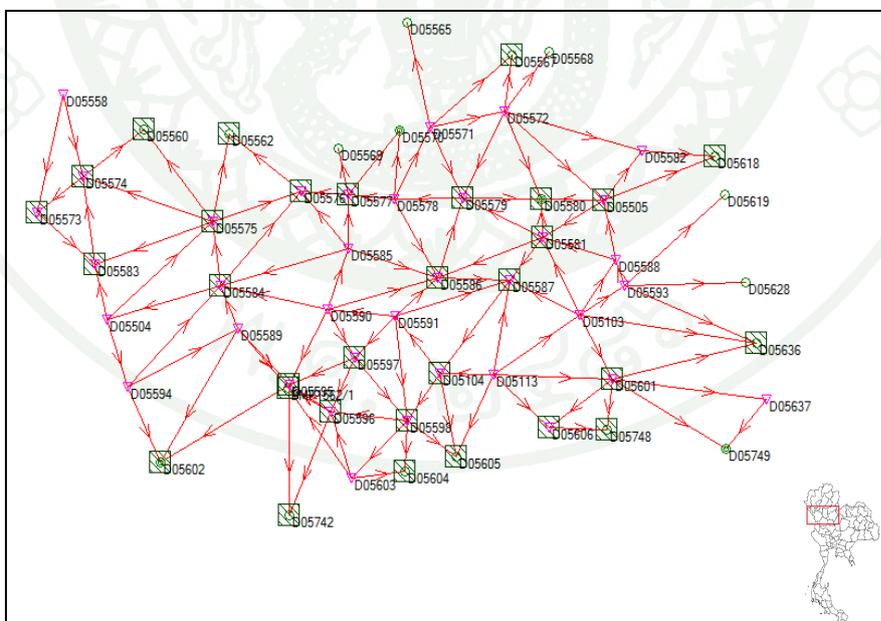
3. ขั้นตอนการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย (Process Network and Adjustment)

ภายหลังจากการประมวลผลเส้นฐาน (Process baseline) แล้วนำมาประกอบกันเพื่อให้ได้เป็นโครงข่ายของแต่ละพื้นที่ทั้ง 8 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 26 ถึง 33 ขั้นตอนต่อไปคือ การนำโครงข่ายของพื้นที่ทั้ง 8 ส่วน ที่อยู่ในรูปแฟ้มข้อมูลแบบแอสกี (ASCII file) มาประกอบกันเพื่อสร้างเป็นโครงข่ายประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 34 ก่อนที่จะนำไปทำการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย (Network adjustment) เพื่อให้ได้ผลค่าพิกัดของหมุดภายในโครงข่ายที่มีความถูกต้อง

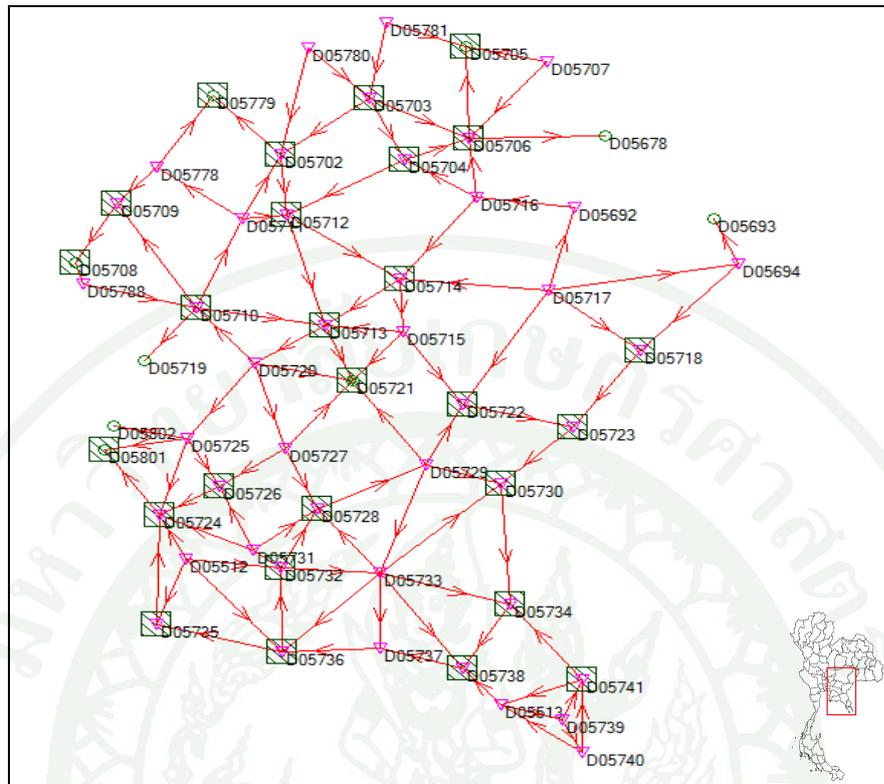
ในการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่ายในการวิจัยได้ใช้โปรแกรม Leica Geo Office (LGO) และทำการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้แบบลีสทส์แควร์ (Least squares adjustment)



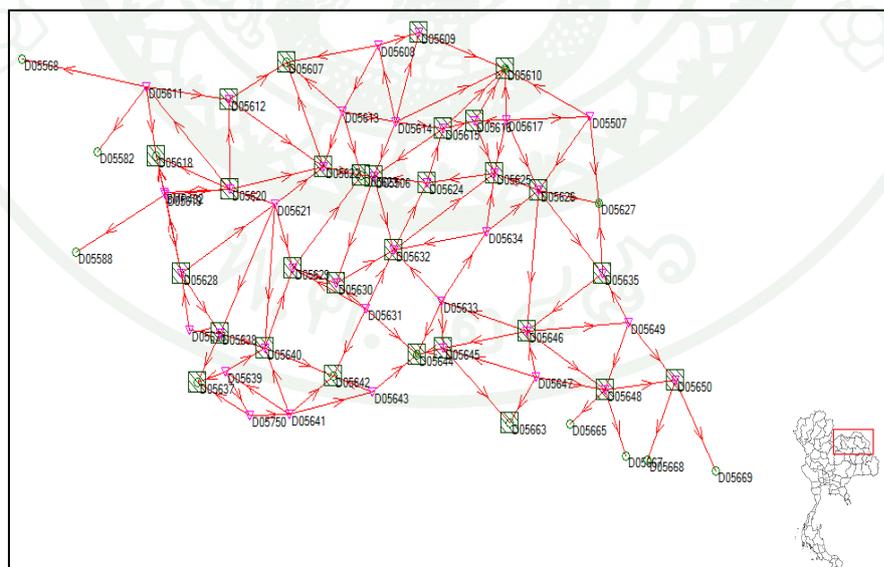
ภาพที่ 26 โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 1



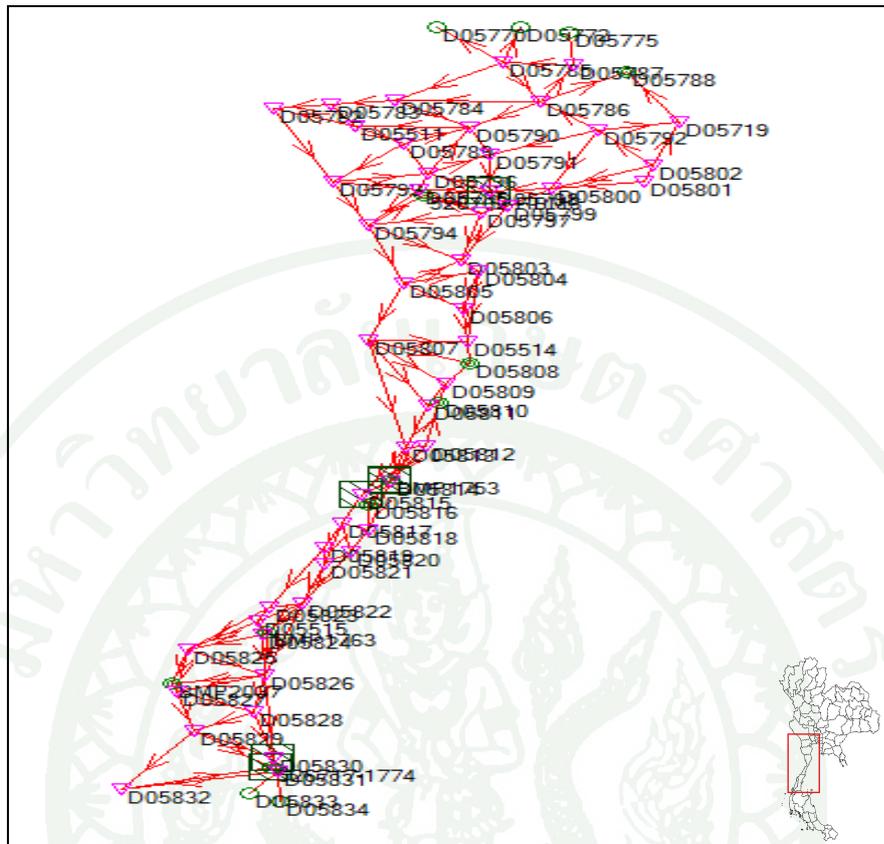
ภาพที่ 27 โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 2



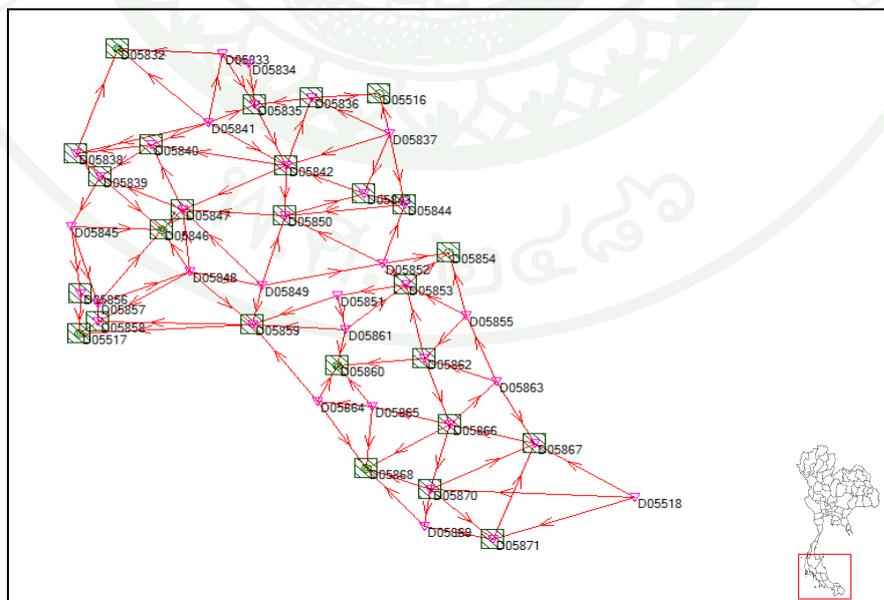
ภาพที่ 28 โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 3



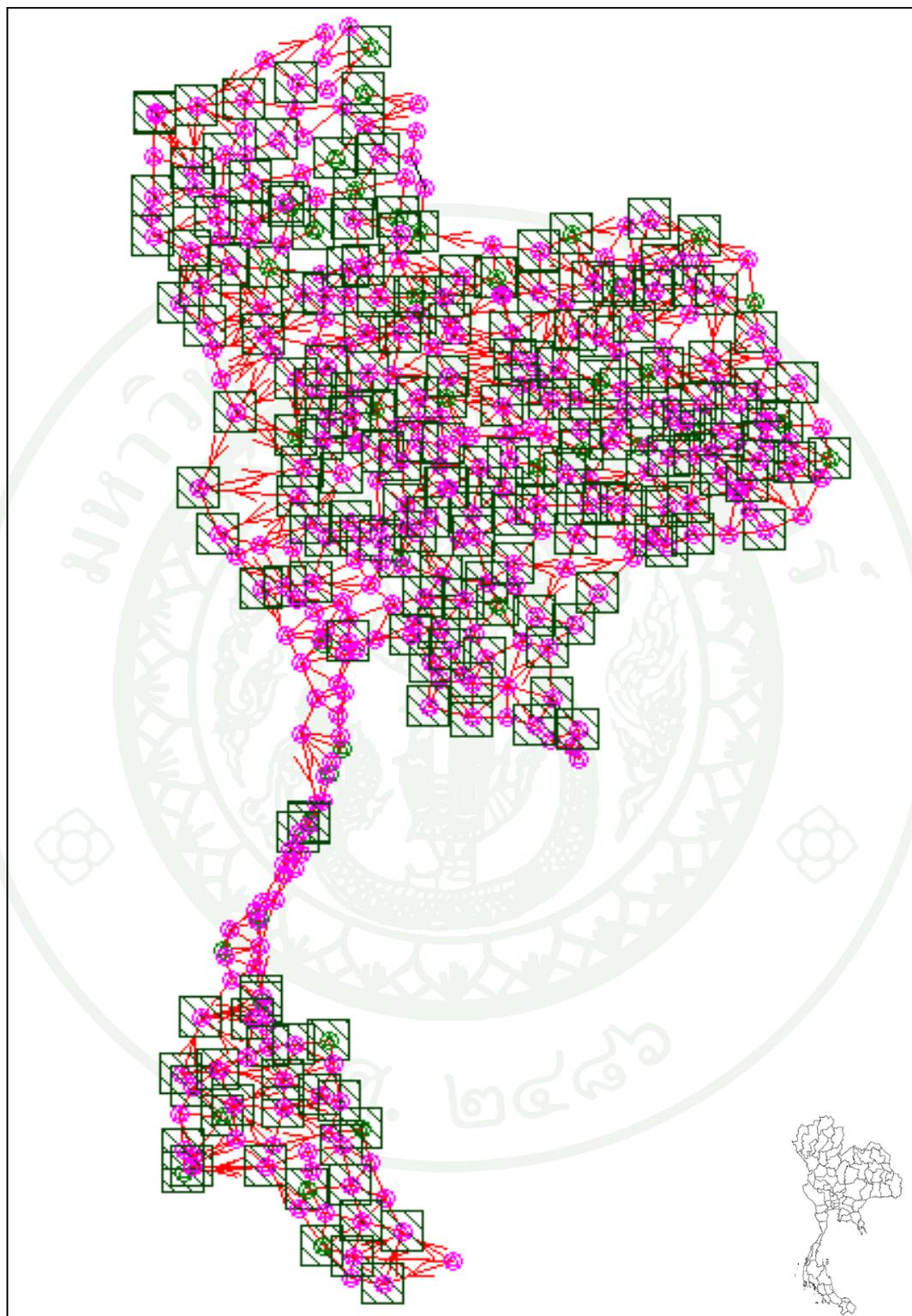
ภาพที่ 29 โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 4



ภาพที่ 32 โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 7



ภาพที่ 33 โครงข่ายจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส บริเวณพื้นที่ส่วนที่ 8



ภาพที่ 34 โครงข่ายประเทศไทยจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส สำหรับการวิจัย

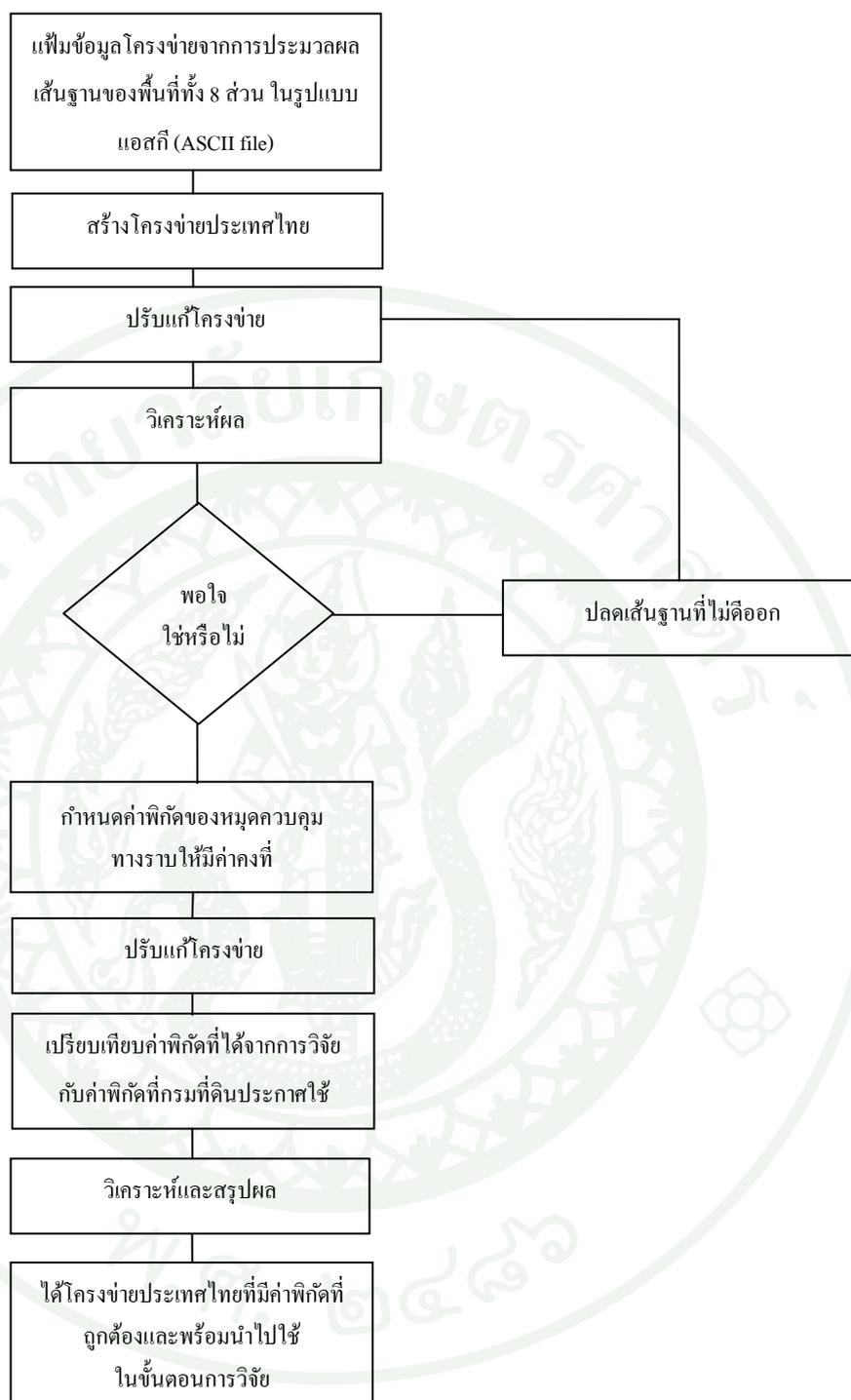
ในขั้นตอนการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย เป็นการเตรียมโครงข่ายประเทศไทยให้พร้อมสำหรับนำไปใช้ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ซึ่งขั้นตอนการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย สามารถแสดงได้ดังผังงานในภาพที่ 35 และสามารถอธิบายรายละเอียดในแต่ละลำดับขั้นตอนได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การอธิบายลำดับขั้นตอนการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย

ขั้นตอนที่	กระบวนการ	คำอธิบาย
1	การสร้างโครงข่ายประเทศไทย (Build Thailand network)	เป็นขั้นตอนการอ่านเพิ่มข้อมูลโครงข่ายจากการประมวลผลเส้นฐานของพื้นที่ทั้ง 8 ส่วน ในรูปแบบแอสกี (ASCII file) เพื่อนำมาประกอบกันสร้างเป็นโครงข่ายประเทศไทย โดยมีเส้นฐานทั้งสิ้นจำนวน 1421 เส้นฐาน
2	การปรับแก้โครงข่าย (Network adjustment)	เป็นขั้นตอนการปรับแก้โครงข่ายประเทศไทยในครั้งแรก ซึ่งต้องมีหมุดที่ใช้บังคับหรือกำหนดค่าพิกัดในแบบ 3 มิติ ให้คงที่เพียงหมุดเดียวเท่านั้น ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า การปรับแก้โครงข่ายแบบอิสระ (Free adjustment)
3	การวิเคราะห์ผล (Result analysis)	ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลจากรายการคำนวณ (Adjustment Report) จะใช้เกณฑ์มาตรฐานตามที่กรมที่ดินกำหนดในการตรวจสอบและวิเคราะห์ความถูกต้องของโครงข่าย ทั้งนี้เพื่อให้ได้โครงข่ายที่มีความถูกต้องตามเกณฑ์ที่กรมที่ดินกำหนด ในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลจากรายการคำนวณ กระทำเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ หรือความคลาดเคลื่อนของการรังวัดที่มีผลต่อความถูกต้องของโครงข่าย โดยตรวจสอบว่ามีเส้นฐานที่ไม่ดีแฝงอยู่ในโครงข่ายหรือไม่
4	การปลดเส้นฐาน (Removing GPS baseline)	ภายหลังจากการวิเคราะห์ผล หากพบว่ามีเส้นฐานที่ไม่ดีบางเส้นปรากฏอยู่ในโครงข่าย ในขั้นตอนนี้จะทำการเลือก และปลดเส้นฐานที่ไม่ดีออกจากโครงข่าย โดยเส้นฐานที่ถูกปลดออกแล้วจะไม่ถูกนำไปรวมในการประมวลผลครั้งต่อไป

ตารางที่ 3 (ต่อ)

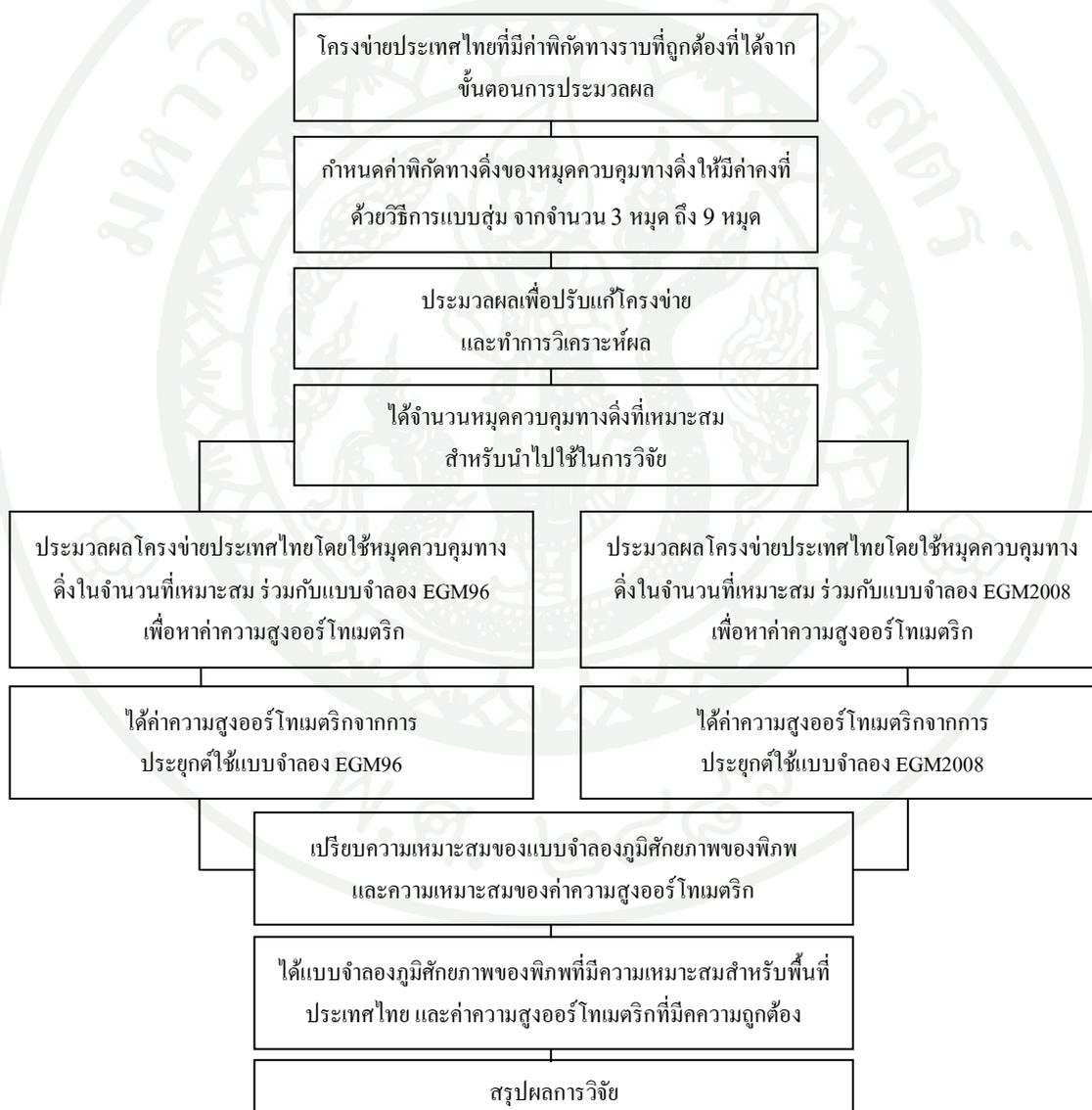
ขั้นตอน ที่	กระบวนการ	คำอธิบาย
5	การดำเนินการซ้ำในขั้นตอน 2-4 (Repeating step 2-4)	เป็นการกระทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2-4 จนกระทั่งผลการวิเคราะห์เป็นที่น่าพอใจ และมีความเชื่อมั่นในค่ารังวัด
6	การกำหนดค่าพิสัยควบคุม ทางราบให้มีค่าคงที่ (Fixing horizontal control)	ในขั้นตอนนี้เป็นกำหนดค่าพิสัยของหมุดควบคุมให้คงที่ ในรูปแบบ 2 มิติ (ค่าละติจูด และลองจิจูด) สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการกำหนดค่าพิสัยของหมุดควบคุมทางราบให้มี ค่าคงที่จำนวน 18 หมุด ตามตำแหน่งของหมุดควบคุมทาง ราบดังแสดงในภาพที่ 15
7	การปรับแก้โครงข่าย (Network adjustment)	ในขั้นตอนการปรับแก้โครงข่ายประเทศไทยครั้งที่สอง เป็น การปรับแก้ภายหลังจากการกำหนดค่าพิสัยของหมุดควบคุม ทางราบจำนวน 18 หมุดให้มีค่าคงที่ เพื่อให้ได้ค่าพิสัยของ หมุดภายในโครงข่ายที่มีความถูกต้อง
8	การเปรียบเทียบค่าพิสัยที่ได้จาก การวิจัยกับค่าพิสัยที่กรมที่ดิน ประกาศใช้ (Comparison horizontal coordinates)	เป็นการเปรียบเทียบผลของค่าพิสัยทางราบภายในโครงข่ายที่ ได้ภายหลังจากการปรับแก้ กับค่าพิสัยที่กรมที่ดินประกาศใช้ (ค่าพิสัยครกฎาคม 2552) เพื่อตรวจสอบผลต่างของค่าพิสัยที่ เกิดขึ้น
9	การวิเคราะห์และสรุปผล (Result analysis and Conclusion)	เป็นการวิเคราะห์ผลต่างของค่าพิสัยทางราบที่ได้ภายหลังจาก การปรับแก้โครงข่าย กับค่าพิสัยที่กรมที่ดินประกาศใช้ ว่า ผลต่างของค่าพิสัยดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องตามที่ กรมที่ดินกำหนด และยอมรับได้หรือไม่ พร้อมทั้งสรุปว่า โครงข่ายประเทศไทยที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการ ดำเนินการวิจัย ในลำดับต่อไปได้หรือไม่ ซึ่งถ้าหากอยู่ใน เกณฑ์ที่ยอมรับได้ จะทำให้ได้โครงข่ายประเทศไทยที่มีความ ถูกต้อง และพร้อมสำหรับนำไปใช้ในขั้นตอนการดำเนินการ วิจัยได้ต่อไป



ภาพที่ 35 ผังงานขั้นตอนการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่ายประเทศไทย

4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย (The process of conducting research)

ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัย จะเป็นการนำเอาโครงข่ายประเทศไทยที่ได้ทำการปรับแก้ให้มีความถูกต้องแล้ว จากขั้นตอนการประมวลผลมาใช้ในการทำงานวิจัย เพื่อหาจำนวนหมวดควบคุมทางดิ่งในจำนวนที่เหมาะสม และค่าความสูงออร์โทเมตริก รวมถึงศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศัภาพของพิภพ ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ประเทศไทย โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยสามารถแสดงได้ดังผังงานในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ผังงานขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ผลและวิจารณ์

ผล

ด้วยการวิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศัภภาพของพิภพสำหรับประเทศไทย จากการประยุกต์ใช้ข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสร่วมกับหมุดควบคุมทางดิ่ง และแบบจำลองภูมิศัภภาพของพิภพ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลในแต่ละขั้นตอน จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสม โดยผลและการวิเคราะห์ผลจากการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบ

ในการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบ เป็นการเปรียบเทียบค่าพิกัดของหมุดโครงข่ายหลักจากงานวิจัยที่ได้จากการกำหนดค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางราบให้มีค่าคงที่จำนวน 18 หมุด แล้วทำการประมวลผลและปรับแก้โครงข่ายประเทศไทย กับค่าพิกัดของหมุดโครงข่ายหลัก (Major Control) ที่กรมที่ดินประกาศใช้ (ค่าพิกัดกรกฎาคม 2552) เพื่อวิเคราะห์ผลและตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่ายที่ใช้ในการวิจัย โดยผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก และได้สรุปผลของการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบ

สรุปผล	ผลต่างค่าพิกัดเหนือ (N) เมตร	ผลต่างค่าพิกัดตะวันออก (E) เมตร
MAX.	0.0238	0.0262
MIN.	0.0000	0.0000
MEAN	0.0050	0.0062
S.D.	0.0042	0.0051

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบจากตารางที่ 4 พบว่า ค่าผลต่างของค่าพิกัดเหนือและค่าผลต่างของค่าพิกัดตะวันออก จะมีค่าต่างอยู่ที่ประมาณ 0.00 ถึง 0.02 เมตร โดยผลต่างของค่าพิกัดเหนือมีค่าผลต่างน้อยที่สุด และค่าผลต่างมากที่สุดเท่ากับ 0.0000 และ 0.0238 เมตร ตามลำดับ และผลต่างของค่าพิกัดตะวันออกมีค่าผลต่างน้อยที่สุด และค่าผลต่างมากที่สุด

เท่ากับ 0.0000 และ 0.0262 เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าผลต่าง พบว่า ค่าผลต่างของค่าพิกัดเหนือมีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0050 และ 0.0042 เมตร ตามลำดับ และค่าผลต่างของค่าพิกัดตะวันออกมีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0062 และ 0.0051 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าผลต่างของค่าพิกัดเหนือและค่าผลต่างของค่าพิกัดตะวันออกจากการวิจัย พร้อมทั้งนำผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดดังกล่าวส่งให้ทางกรมที่ดินได้พิจารณา พบว่า ค่าพิกัดของหมุดโครงข่ายหลักที่ได้จากการประมวลผลและปรับแก้โครงข่ายประเทศไทยของการวิจัย มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กรมที่ดินสามารถยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถนำโครงข่ายประเทศไทยไปใช้ในการวิจัยได้ ในลำดับต่อไป

2. การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่ง

การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่ง หรือหมุดหลักฐานการระดับชั้นที่หนึ่ง ในการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย สามารถจำแนกการวิเคราะห์ห้ออกได้ดังต่อไปนี้

2.1 กรณีปราศจากการใช้หมุดควบคุมทางดิ่ง

ในการปรับแก้โครงข่ายโดยปราศจากการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่งของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการปรับแก้แบบอิสระ ซึ่งจะเป็นเพียงการปรับแก้โดยใช้ข้อมูลโครงข่ายประเทศไทยที่สร้างจากเส้นฐานการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสเท่านั้น โดยผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย คือผลลัพธ์ของค่าความสูงเหนือรูปทรงรี โดยอ้างอิงกับพื้นหลักฐานพิภพ WGS84 ดังตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ หรือค่าที่ใช้อ้างอิง และค่าความสูงที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่า ค่าผลต่างของค่าความสูงจะมีขนาดใหญ่มาก โดยผลต่างของค่าความสูงจะอยู่ในช่วง -16 ถึง -37 เมตร โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ -16.1895 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -37.8735 เมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -28.8937 เมตร ซึ่งค่าผลต่างของค่าความสูงดังกล่าวก็คือระยะห่างระหว่างพื้นผิวของรูปทรงรีกับพื้นผิวจีออยด์ (Geoid Undulation) หรือที่เรียกว่าค่าความสูงจีออยด์ (Geoidal Height) นั่นเอง และเมื่อพิจารณาค่าผลต่างของค่าความสูง หรือค่าความสูงจีออยด์จะพบว่า ค่าผลต่างของค่าความสูง หรือค่าความสูงจีออยด์มีค่าเป็นลบทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวจีออยด์ อยู่ต่ำกว่าพื้นผิวของรูปทรงรี

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล ในกรณี
ปราศจากการกำหนดหมุดควบคุมทางดิ่ง

Station	Height (m.)		Diff. (m.)
	From Leveling	From Processing	
526762-RBM6	10.6443	-20.7098	-31.3541
BMP1562/1	78.5819	43.1900	-35.3919
BMP1753	20.5243	-7.4948	-28.0191
BMP1763	32.9379	5.5962	-27.3417
BMP1774	16.3134	-8.4556	-24.7690
BMP2037	5.4312	-22.4231	-27.8543
BMP2294	28.0930	-4.9284	-33.0214
BMP432	251.0031	220.2998	-30.7033
D05530	394.0804	357.6245	-36.4559
D05534	336.7547	298.9451	-37.8096
D05551	264.1554	226.2819	-37.8735
D05564	170.5221	134.4700	-36.0521
D05589	100.2822	64.1075	-36.1747
D05598	36.8585	2.7993	-34.0592
D05616	164.6141	136.6201	-27.9940
D05645	145.3796	118.8975	-26.4821
D05656	142.9118	115.5897	-27.3221
D05666	152.7892	129.6129	-23.1763
D05685	127.8592	105.5019	-22.3573
D05695	160.9105	137.1113	-23.7992
D05715	52.9778	27.1522	-25.8256
D05716	191.2045	164.7456	-26.4589
D05731	102.7585	76.1588	-26.5997
D05764	178.1760	148.9958	-29.1802
D05781	198.0460	168.8083	-29.2377
D05832	3.8740	-22.9461	-26.8201
D05834	5.8280	-18.1551	-23.9831
D05856	6.1690	-18.3758	-24.5448
D05868	11.0050	-5.1845	-16.1895

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)
	From Leveling	From Processing	
T_BMP625	48.2740	18.3147	-29.9593
Max			-16.1895
Min			-37.8735
Mean			-28.8937
S.D.			5.1840

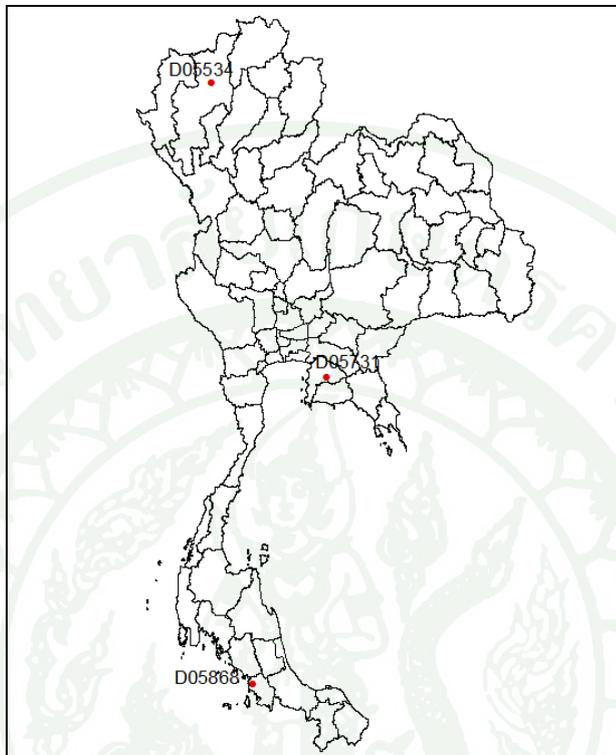
2.2 กรณีการใช้หมุดควบคุมทางดิ่ง

ในการพิจารณาความเหมาะสมของการเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งในการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่ายประเทศไทยนั้น จะมีปัจจัยที่สำคัญอยู่สองประการด้วยกันได้แก่ ประการที่หนึ่งคือ จำนวนของหมุดควบคุมทางดิ่ง และประการที่สองคือ ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่ง ซึ่งวิธีการในการหาความเหมาะสมจะสามารถกระทำได้โดยการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ (Fixed Vertical Control) โดยแบ่งการพิจารณาออกได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 การกำหนดค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนสามหมุด

ในการพิจารณาเลือกหมุดควบคุมทางดิ่งเพื่อใช้สำหรับกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนสามหมุดในการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย ได้พิจารณาเลือกหมุดหลักฐานการระดับชั้นที่หนึ่ง ของกรมแผนที่ทหาร ที่มีตำแหน่งของหมุดกระจายตัวครอบคลุมทั่วพื้นที่ประเทศไทย โดยเฉพาะตำแหน่งของหมุดที่อยู่บริเวณขอบของพื้นที่ ซึ่งจากการวิจัยได้พิจารณาเลือกหมุด DO5534, DO5731 และ DO5868 ดังแสดงในภาพที่ 37 ในการบังคับค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับให้มีค่าคงที่ แล้วจึงทำการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย ซึ่งผลลัพธ์จากการประมวลผลแสดงได้ดังตารางที่ 6 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลจะพบว่าผลต่างของการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล จะมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีปราศจากการใช้หมุดควบคุมทางดิ่ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -4.2875 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 3.3877 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -9.2923 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.6638 เมตร แต่อย่างไรก็ตามค่าผลต่างดังกล่าวยังมีขนาด

ใหญ่อยู่พอสมควร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนสามหมุดนั้นยังไม่เพียงพอสำหรับการประมวลผล



ภาพที่ 37 ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่จำนวนสามหมุด

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งสามหมุด

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	4.2772	-6.3671	
BMP1562/1	78.5819	70.0524	-8.5295	
BMP1753	20.5243	15.6126	-4.9117	
BMP1763	32.9379	25.3405	-7.5974	
BMP1774	16.3134	9.6188	-6.6946	
BMP2037	5.4312	-2.9889	-8.4201	
BMP2294	28.0930	21.6877	-6.4053	

ตารางที่ 6 (ต่อ)

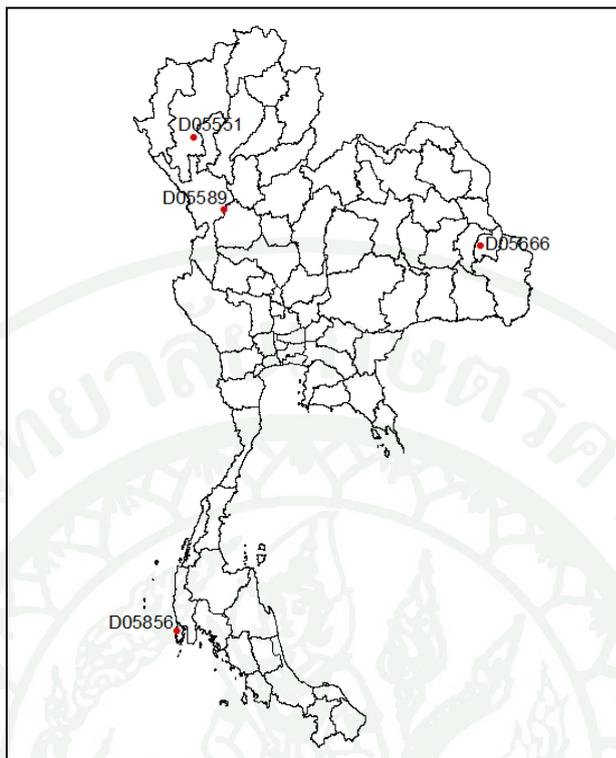
Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP432	251.0031	246.7819	-4.2212	
D05530	394.0804	389.4197	-4.6607	
D05534	336.7547	336.7547	-	Fixed
D05551	264.1554	257.7726	-6.3828	
D05564	170.5221	164.7312	-5.7909	
D05589	100.2822	90.9899	-9.2923	
D05598	36.8585	29.6501	-7.2084	
D05616	164.6141	162.6073	-2.0068	
D05645	145.3796	144.9024	-0.4772	
D05656	142.9118	141.4731	-1.4387	
D05666	152.7892	155.4538	2.6646	
D05685	127.8592	131.2469	3.3877	
D05695	160.9105	162.9846	2.0741	
D05715	52.9778	53.1161	0.1383	
D05716	191.2045	190.6574	-0.5471	
D05731	102.7585	102.7585	-	Fixed
D05764	178.1760	174.9866	-3.1894	
D05781	198.0460	194.8272	-3.2188	
D05832	3.8740	-5.1434	-9.0174	
D05834	5.8280	-0.3313	-6.1593	
D05856	6.1690	-1.3117	-7.4807	
D05868	11.0050	11.0050	-	Fixed
T_BMP625	48.2740	44.2643	-4.0097	
Max			3.3877	
Min			-9.2923	
Mean			-4.2875	
S.D.			3.6638	

2.2.2 การกำหนดค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนสี่หมุด

ในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่สี่หมุด โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จำนวน 100 ชุด ซึ่งผลจากการใช้วิธีการแบบสุ่มในการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่สี่หมุดในจำนวน 100 ชุด พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ ณ ตำแหน่งหมุด DO5551, DO5589, DO5666 และ DO5856 ดังแสดงในภาพที่ 38 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 7 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2868 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 8.1215 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -2.0748 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.2891 เมตร ซึ่งจากค่าผลต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนสี่หมุด มีผลทำให้พื้นผิวของรูปทรงรีเปลี่ยนไป และแนบสนิทกับพื้นผิวจีโออยด์มากขึ้น กว่าการใช้หมุดควบคุมทางดิ่งจำนวนสามหมุด

2.2.3 การกำหนดค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนห้าหมุด

ในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ห้าหมุด โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จำนวน 100 ชุด ซึ่งผลจากการใช้วิธีการแบบสุ่มในการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ห้าหมุดในจำนวน 100 ชุด พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ ณ ตำแหน่งหมุด DO5551, DO5589, DO5666, DO5832 และ DO5856 ดังแสดงในภาพที่ 39 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 8 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2071 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 3.8144 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -2.2761 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.7071 เมตร ซึ่งจากค่าผลต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนห้าหมุด มีผลทำให้พื้นผิวของรูปทรงรีเปลี่ยนไป และแนบสนิทกับพื้นผิวจีโออยด์มากขึ้น กว่า การใช้หมุดควบคุมทางดิ่งจำนวนสี่หมุด

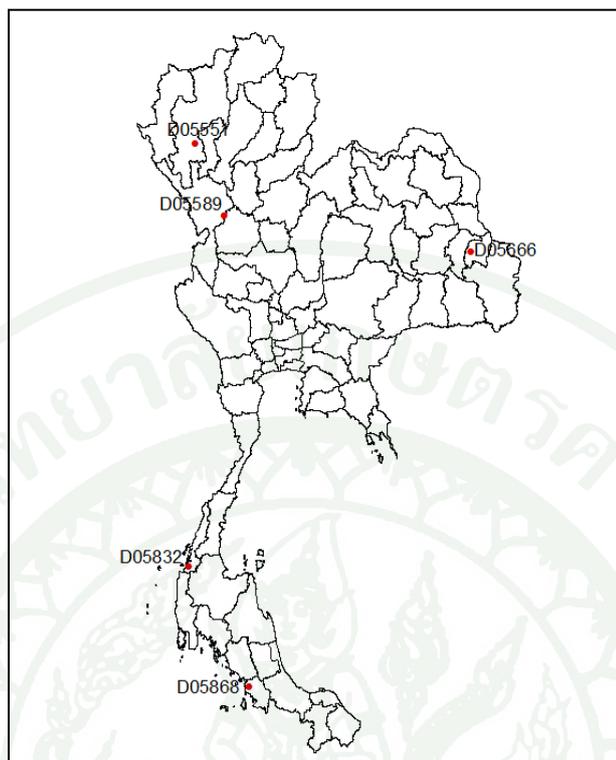


ภาพที่ 38 ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่จำนวนสี่หมุด
 ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล
 โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งสี่หมุด

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	8.5695	-2.0748	
BMP1562/1	78.5819	77.8967	-0.6852	
BMP1753	20.5243	20.6015	0.0772	
BMP1763	32.9379	31.7742	-1.1637	
BMP1774	16.3134	16.7139	0.4005	
BMP2037	5.4312	3.5753	-1.8559	
BMP2294	28.0930	27.5564	-0.5366	
BMP432	251.0031	249.8719	-1.1312	
D05530	394.0804	392.5567	-1.5237	
D05534	336.7547	334.8923	-1.8624	

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05551	264.1554	264.1554	–	Fixed
D05564	170.5221	169.8816	-0.6405	
D05589	100.2822	100.2822	–	Fixed
D05598	36.8585	35.8649	-0.9936	
D05616	164.6141	164.5293	-0.0848	
D05645	145.3796	146.0482	0.6686	
D05656	142.9118	142.7374	-0.1744	
D05666	152.7892	152.7892	–	Fixed
D05685	127.8592	131.6360	3.7768	
D05695	160.9105	164.2615	3.3510	
D05715	52.9778	55.7897	2.8119	
D05716	191.2045	193.2014	1.9969	
D05731	102.7585	104.8215	2.0630	
D05764	178.1760	176.9127	-1.2633	
D05781	198.0460	197.6311	-0.4149	
D05832	3.8740	2.0557	-1.8183	
D05834	5.8280	6.8685	1.0405	
D05856	6.1690	6.1690	–	Fixed
D05868	11.0050	19.1265	8.1215	
T_BMP625	48.2740	47.6458	-0.6282	
Max			8.1215	
Min			-2.0748	
Mean			0.2868	
S.D.			2.2891	



ภาพที่ 39 ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่จำนวนห้าหมุด

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งห้าหมุด

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	8.8284	-1.8159	
BMP1562/1	78.5819	77.9114	-0.6705	
BMP1753	20.5243	21.1590	0.6347	
BMP1763	32.9379	32.9124	-0.0255	
BMP1774	16.3134	18.2045	1.8911	
BMP2037	5.4312	4.8085	-0.6227	
BMP2294	28.0930	27.6008	-0.4922	
BMP432	251.0031	249.9113	-1.0918	
D05530	394.0804	392.5699	-1.5105	
D05534	336.7547	334.900	-1.8547	

ตารางที่ 8 (ต่อ)

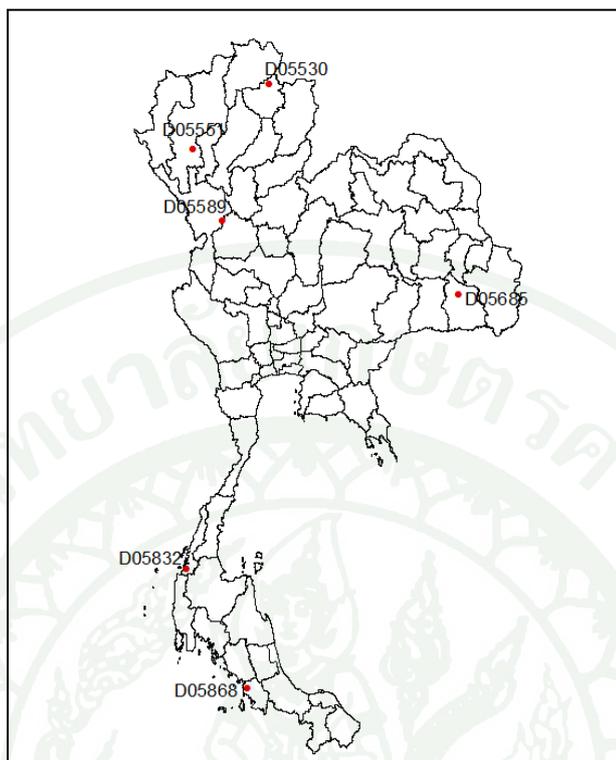
Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05551	264.1554	264.1554	–	Fixed
D05564	170.5221	169.8925	-0.6296	
D05589	100.2822	100.2822	–	Fixed
D05598	36.8585	35.8937	-0.9648	
D05616	164.6141	164.5681	-0.0460	
D05645	145.3796	146.0863	0.7067	
D05656	142.9118	142.7852	-0.1266	
D05666	152.7892	152.7892	–	Fixed
D05685	127.8592	131.6736	3.8144	
D05695	160.9105	164.3179	3.4074	
D05715	52.9778	55.8942	2.9164	
D05716	191.2045	193.2910	2.0865	
D05731	102.7585	104.9430	2.1845	
D05764	178.1760	176.9690	-1.2070	
D05781	198.0460	197.7050	-0.3410	
D05832	3.8740	3.8740	–	Fixed
D05834	5.8280	7.5775	1.7495	
D05856	6.1690	3.8929	-2.2761	
D05868	11.0050	11.0050	–	Fixed
T_BMP625	48.2740	47.7354	-0.5386	
Max			3.8144	
Min			-2.2761	
Mean			0.2071	
S.D.			1.7071	

2.2.4 การกำหนดค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนหกหมุด

ในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่หกหมุด โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จำนวน 100 ชุด ซึ่งผลจากการใช้วิธีการแบบสุ่มในการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่หกหมุดในจำนวน 100 ชุด พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ ณ ตำแหน่งหมุด DO5530, DO5551, DO5589, DO5685, DO5832 และ DO5868 ดังแสดงในภาพที่ 40 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 9 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.5714 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 2.0579 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -2.9432 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.5051 เมตร ซึ่งจากค่าผลต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนหกหมุด มีผลทำให้พื้นผิวของรูปทรงรีเปลี่ยนไป และแนบสนิทกับพื้นผิวจีโอออยด์มากขึ้น กว่าการใช้หมุดควบคุมทางดิ่งจำนวนห้าหมุด

2.2.5 การกำหนดค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนเจ็ดหมุด

ในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่เจ็ดหมุด โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จำนวน 100 ชุด ซึ่งผลจากการใช้วิธีการแบบสุ่มในการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่เจ็ดหมุดในจำนวน 100 ชุด พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ ณ ตำแหน่งหมุด BMP2037, DO5530, DO5551, DO5589, DO5685, DO5856 และ DO5868 ดังแสดงในภาพที่ 41 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 10 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.8374 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.6068 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -2.9543 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.4002 เมตร ซึ่งจากค่าผลต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนเจ็ดหมุด มีผลทำให้พื้นผิวของรูปทรงรีเปลี่ยนไป และแนบสนิทกับพื้นผิวจีโอออยด์มากขึ้น กว่าการใช้หมุดควบคุมทางดิ่งจำนวนหกหมุด

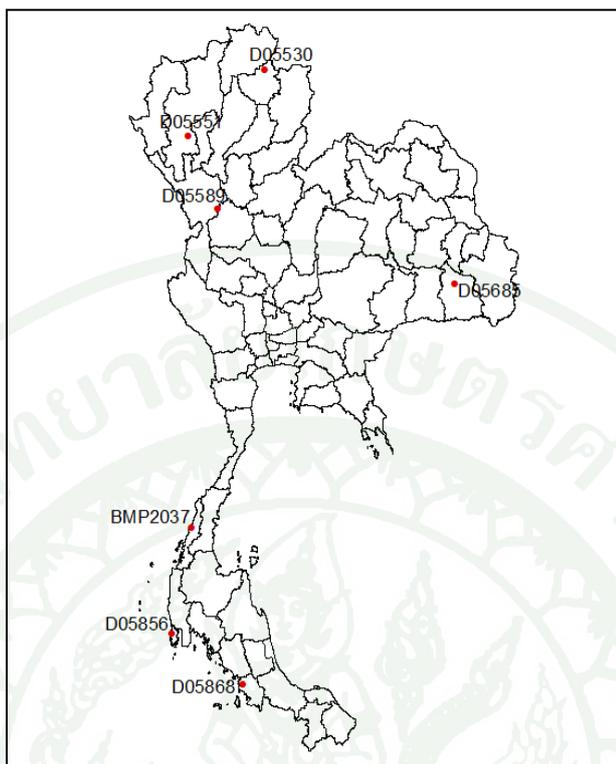


ภาพที่ 40 ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่จำนวนหกหมุด
 ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล
 โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งหกหมุด

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	7.9503	-2.6940	
BMP1562/1	78.5819	77.4267	-1.1552	
BMP1753	20.5243	20.4919	-0.0324	
BMP1763	32.9379	32.6523	-0.2856	
BMP1774	16.3134	18.3713	2.0579	
BMP2037	5.4312	4.5881	-0.8431	
BMP2294	28.0930	26.9409	-1.1521	
BMP432	251.0031	248.6278	-2.3753	
D05530	394.0804	394.0804	–	Fixed
D05534	336.7547	335.6965	-1.0582	

ตารางที่ 9 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05551	264.1554	264.1554	–	Fixed
D05564	170.5221	170.2856	-0.2365	
D05589	100.2822	100.2822	–	Fixed
D05598	36.8585	35.3053	-1.5532	
D05616	164.6141	163.2450	-1.3691	
D05645	145.3796	144.6991	-0.6805	
D05656	142.9118	141.0658	-1.8460	
D05666	152.7892	154.1361	1.3469	
D05685	127.8592	127.8592	–	Fixed
D05695	160.9105	162.4302	1.5197	
D05715	52.9778	54.6094	1.6316	
D05716	191.2045	191.9347	0.7302	
D05731	102.7585	103.7246	0.9661	
D05764	178.1760	175.2328	-2.9432	
D05781	198.0460	196.4549	-1.5911	
D05832	3.8740	3.8740	–	Fixed
D05834	5.8280	7.5139	1.6859	
D05856	6.1690	4.0045	-2.1645	
D05868	11.0050	11.0050	–	Fixed
T_BMP625	48.2740	46.6027	-1.6713	
Max			2.0579	
Min			-2.9432	
Mean			-0.5714	
S.D.			1.5015	



ภาพที่ 41 ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่จำนวนเจ็ดหมุด
 ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล
 โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งเจ็ดหมุด

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	7.8842	-2.7601	
BMP1562/1	78.5819	77.4228	-1.1591	
BMP1753	20.5243	20.3471	-0.1772	
BMP1763	32.9379	32.3548	-0.5831	
BMP1774	16.3134	15.8341	-0.4793	
BMP2037	5.4312	5.4312	–	Fixed
BMP2294	28.0930	26.9302	-1.1628	
BMP432	251.0031	248.6191	-2.3840	
D05530	394.0804	394.0804	–	Fixed
D05534	336.7547	335.6961	-1.0586	

ตารางที่ 10 (ต่อ)

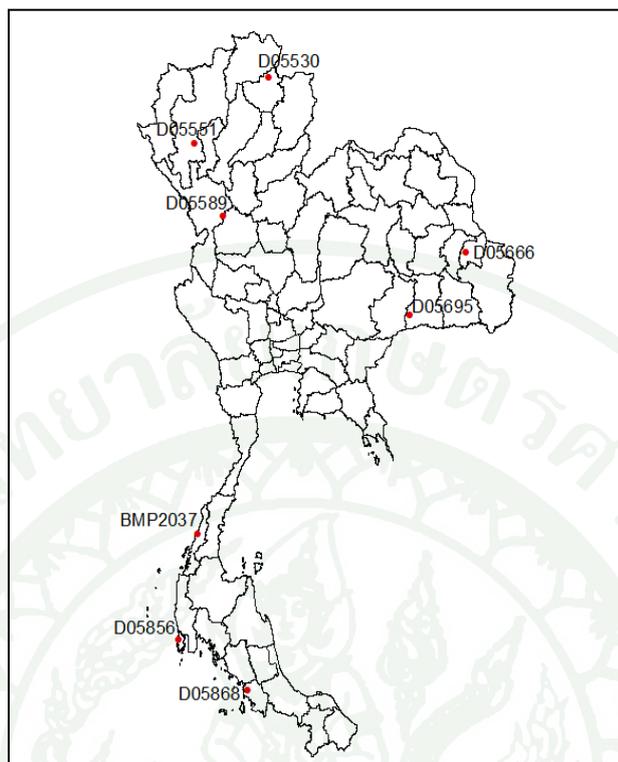
Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05551	264.1554	264.1554	–	Fixed
D05564	170.5221	170.2840	-0.2381	
D05589	100.2822	100.2822	–	Fixed
D05598	36.8585	35.2985	-1.5600	
D05616	164.6141	163.2368	-1.3773	
D05645	145.3796	144.6914	-0.6882	
D05656	142.9118	141.0567	-1.8551	
D05666	152.7892	154.1305	1.3413	
D05685	127.8592	127.8592	–	Fixed
D05695	160.9105	162.4194	1.5089	
D05715	52.9778	54.5846	1.6068	
D05716	191.2045	191.9138	0.7093	
D05731	102.7585	103.6951	0.9366	
D05764	178.1760	175.2212	-2.9548	
D05781	198.0460	196.4377	-1.6083	
D05832	3.8740	0.9228	-2.9512	
D05834	5.8280	5.7342	-0.0938	
D05856	6.1690	6.1690	–	Fixed
D05868	11.0050	11.0050	–	Fixed
T_BMP625	48.2740	46.0013	-2.2727	
Max			1.6068	
Min			-2.9548	
Mean			-0.8374	
S.D.			1.4002	

2.2.6 การกำหนดค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนแปดหมุด

ในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่แปดหมุด โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จำนวน 100 ชุด ซึ่งผลจากการใช้วิธีการแบบสุ่มในการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่แปดหมุดในจำนวน 100 ชุด พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ ณ ตำแหน่งหมุด BMP2037, DO5530, DO5551, DO5589, DO5666, DO5695, DO5856 และ DO5868 ดังแสดงในภาพที่ 42 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 11 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.8671 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 2.4424 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -2.9344 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.3834 เมตร ซึ่งจากค่าผลต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนแปดหมุด มีผลทำให้พื้นผิวของรูปทรงรีเปลี่ยนไป และแนบสนิทกับพื้นผิวจีโออยด์มากขึ้น กว่าการใช้หมุดควบคุมทางดิ่งจำนวนเจ็ดหมุด

2.2.7 การกำหนดค่าพิกัดของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนเก้าหมุด

ในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่เก้าหมุด โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จำนวน 100 ชุด ซึ่งผลจากการใช้วิธีการแบบสุ่มในการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่เก้าหมุดในจำนวน 100 ชุด พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ ณ ตำแหน่งหมุด BMP2037, DO5530, DO5551, DO5589, DO5666, DO5695, DO5834, DO5856 และ DO5868 ดังแสดงในภาพที่ 43 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 12 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.8988 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 2.4426 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -2.8983 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.4048 เมตร ซึ่งจากค่าผลต่างดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มจำนวนการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จากจำนวนแปดหมุดเป็นเก้าหมุด ไม่ได้มีผลทำให้พื้นผิวของรูปทรงรีเปลี่ยนไปแนบสนิทกับพื้นผิวจีโออยด์มากขึ้นกว่าการใช้หมุดควบคุมทางดิ่งจำนวนแปดหมุด

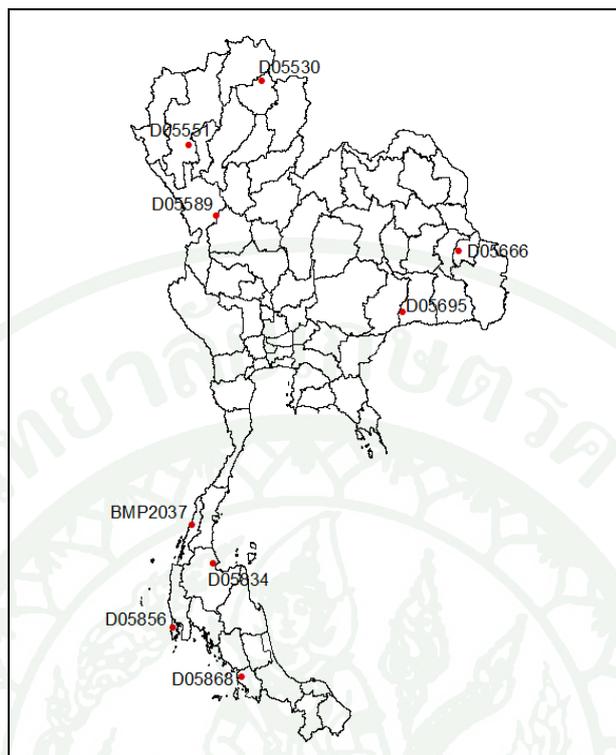


ภาพที่ 42 ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่จำนวนแปดหมุด
 ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล
 โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งแปดหมุด

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	7.8083	-2.8360	
BMP1562/1	78.5819	77.4294	-1.1525	
BMP1753	20.5243	20.2932	-0.2311	
BMP1763	32.9379	32.3429	-0.5950	
BMP1774	16.3134	15.8304	-0.4830	
BMP2037	5.4312	5.4312	–	Fixed
BMP2294	28.0930	26.9273	-1.1657	
BMP432	251.0031	248.6950	-2.3081	
D05530	394.0804	394.0804	–	Fixed
D05534	336.7547	335.6983	-1.0564	

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05551	264.1554	264.1554	-	Fixed
D05564	170.5221	170.2923	-0.2298	
D05589	100.2822	100.2822	-	Fixed
D05598	36.8585	35.3141	-1.5444	
D05616	164.6141	163.3427	-1.2714	
D05645	145.3796	144.8495	-0.5301	
D05656	142.9118	141.2277	-1.6841	
D05666	152.7892	152.7892	-	Fixed
D05685	127.8592	130.3016	2.4424	
D05695	160.9105	160.9105	-	Fixed
D05715	52.9778	54.4482	1.4704	
D05716	191.2045	191.8001	0.5956	
D05731	102.7585	103.5572	0.7987	
D05764	178.1760	175.3052	-2.8708	
D05781	198.0460	196.4109	-1.6351	
D05832	3.8740	0.9396	-2.9344	
D05834	5.8280	5.7309	-0.0971	
D05856	6.1690	6.1690	-	Fixed
D05868	11.0050	11.0050	-	Fixed
T_BMP625	48.2740	46.5165	-1.7575	
Max			2.4424	
Min			-2.9344	
Mean			-0.8671	
S.D.			1.3834	



ภาพที่ 43 ตำแหน่งของหมุดควบคุมทางดิ่งที่ใช้ในการกำหนดค่าพิกัดให้มีค่าคงที่จำนวนเก้าหมุด

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผล โดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งเก้าหมุด

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	7.8115	-2.8328	
BMP1562/1	78.5819	77.4296	-1.1523	
BMP1753	20.5243	20.3003	-0.2240	
BMP1763	32.9379	32.3576	-0.5803	
BMP1774	16.3134	15.8652	-0.4482	
BMP2037	5.4312	5.4312	–	Fixed
BMP2294	28.0930	26.9278	-1.1652	
BMP432	251.0031	248.6953	-2.3078	
D05530	394.0804	394.0804	–	Fixed
D05534	336.7547	335.6983	-1.0564	

ตารางที่ 12 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05551	264.1554	264.1554	–	Fixed
D05564	170.5221	170.2923	-0.2298	
D05589	100.2822	100.2822	–	Fixed
D05598	36.8585	35.3143	-1.5442	
D05616	164.6141	163.3430	-1.2711	
D05645	145.3796	144.8498	-0.5298	
D05656	142.9118	141.2281	-1.6837	
D05666	152.7892	152.7892	–	Fixed
D05685	127.8592	130.3018	2.4426	
D05695	160.9105	160.9105	–	Fixed
D05715	52.9778	54.4493	1.4715	
D05716	191.2045	191.8010	0.5965	
D05731	102.7585	103.5585	0.8000	
D05764	178.1760	175.3056	-2.8704	
D05781	198.0460	196.4116	-1.6344	
D05832	3.8740	0.9757	-2.8983	
D05834	5.8280	5.8280	–	Fixed
D05856	6.1690	6.1690	–	Fixed
D05868	11.0050	11.0050	–	Fixed
T_BMP625	48.2740	46.5175	-1.7565	
Max			2.4426	
Min			-2.8983	
Mean			-0.8988	
S.D.			1.4048	

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าความสูงจากการทำระดับ และความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล

Station	Height from leveling (m.)	Height Diff. (m.)							
		Free Adjust	Fix - 3	Fix - 4	Fix - 5	Fix - 6	Fix - 7	Fix - 8	Fix - 9
526762-RBM6	10.6443	-31.3541	-6.3671	-2.0748	-1.8159	-2.6940	-2.7601	-2.8360	-2.8328
BMP1562/1	78.5819	-35.3919	-8.5295	-0.6852	-0.6705	-1.1552	-1.1591	-1.1525	-1.1523
BMP1753	20.5243	-28.0191	-4.9117	0.0772	0.6347	-0.0324	-0.1772	-0.2311	-0.2240
BMP1763	32.9379	-27.3417	-7.5974	-1.1637	-0.0255	-0.2856	-0.5831	-0.5950	-0.5803
BMP1774	16.3134	-24.7690	-6.6946	0.4005	1.8911	2.0579	-0.4793	-0.4830	-0.4482
BMP2037	5.4312	-27.8543	-8.4201	-1.8559	-0.6227	-0.8431	-	-	-
BMP2294	28.0930	-33.0214	-6.4053	-0.5366	-0.4922	-1.1521	-1.1628	-1.1657	-1.1652
BMP432	251.0031	-30.7033	-4.2212	-1.1312	-1.0918	-2.3753	-2.3840	-2.3081	-2.3078
D05530	394.0804	-36.4559	-4.6607	-1.5237	-1.5105	-	-	-	-
D05534	336.7547	-37.8096	-	-1.8624	-1.8547	-1.0582	-1.0586	-1.0564	-1.0564
D05551	264.1554	-37.8735	-6.3828	-	-	-	-	-	-
D05564	170.5221	-36.0521	-5.7909	-0.6405	-0.6296	-0.2365	-0.2381	-0.2298	-0.2298
D05589	100.2822	-36.1747	-9.2923	-	-	-	-	-	-
D05598	36.8585	-34.0592	-7.2084	-0.9936	-0.9648	-1.5532	-1.5600	-1.5444	-1.5442
D05616	164.6141	-27.9940	-2.0068	-0.0848	-0.0460	-1.3691	-1.3773	-1.2714	-1.2711
D05645	145.3796	-26.4821	-0.4772	0.6686	0.7067	-0.6805	-0.6882	-0.5301	-0.5298
D05656	142.9118	-27.3221	-1.4387	-0.1744	-0.1266	-1.8460	-1.8551	-1.6841	-1.6837

ตารางที่ 13 (ต่อ)

Station	Height from leveling (m.)	Height Diff. (m.)							
		Free Adjust	Fix - 3	Fix - 4	Fix - 5	Fix - 6	Fix - 7	Fix - 8	Fix - 9
D05666	152.7892	-23.1763	2.6646	-	-	1.3469	1.3413	-	-
D05685	127.8592	-22.3573	3.3877	3.7768	3.8144	-	-	2.4424	2.4426
D05695	160.9105	-23.7992	2.0741	3.3510	3.4074	1.5197	1.5089	-	-
D05715	52.9778	-25.8256	0.1383	2.8119	2.9164	1.6316	1.6068	1.4704	1.4715
D05716	191.2045	-26.4589	-0.5471	1.9969	2.0865	0.7302	0.7093	0.5956	0.5965
D05731	102.7585	-26.5997	-	2.0630	2.1845	0.9661	0.9366	0.7987	0.8000
D05764	178.1760	-29.1802	-3.1894	-1.2633	-1.2070	-2.9432	-2.9548	-2.8708	-2.8704
D05781	198.0460	-29.2377	-3.2188	-0.4149	-0.3410	-1.5911	-1.6083	-1.6351	-1.6344
D05832	3.8740	-26.8201	-9.0174	-1.8183	-	-	-2.9512	-2.9344	-2.8983
D05834	5.8280	-23.9831	-6.1593	1.0405	1.7495	1.6859	-0.0938	-0.0971	-
D05856	6.1690	-24.5448	-7.4807	-	-2.2761	-2.1645	-	-	-
D05868	11.0050	-16.1895	-	8.1215	-	-	-	-	-
T_BMP625	48.2740	-29.9593	-4.0097	-0.6282	-0.5386	-1.6713	-2.2727	-1.7575	-1.7565
Max		-16.1895	3.3877	8.1215	3.8144	2.0579	1.6068	2.4424	2.4426
Min		-37.8735	-9.2923	-2.0748	-2.2761	-2.9432	-2.9548	-2.9344	-2.8983
Mean		-28.8937	-4.2875	0.2868	0.2071	-0.5714	-0.8374	-0.8671	-0.8988
S.D.		5.1840	3.6638	2.2891	1.7071	1.5015	1.4002	1.3834	1.4048

ตารางที่ 13 เป็นการสรุปเพื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล โดยในกรณีปราศจากการเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่ง พบว่าค่าความสูงเหนือรูปทรงรีจะมีค่าแตกต่างกับค่าความสูงที่ได้จากการทำระดับโดยเฉลี่ยประมาณ 28 เมตร หรืออาจเรียกค่าผลต่างนี้ว่า ค่าความสูงจีโออยด์ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยตรง จากความสัมพันธ์ของค่าความสูงดั่งสมการ $N = h - H$ และในกรณีการใช้หมุดควบคุมทางดิ่ง การกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ จะเปรียบเสมือนเป็นการให้พื้นผิวของรูปทรงรี WGS84 และพื้นผิวจีโออยด์ แนบสนิทกัน ณ จุดนั้น ดังแสดงในตารางที่ 6 ถึง 12 ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งเพื่อกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จะมีความเหมาะสมอยู่ที่จำนวน 8 หมุด ณ ตำแหน่งหมุด BMP2037, DO5530, DO5551, DO5589, DO5666, DO5695, DO5856 และ DO5868 เพราะจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimum) ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงควรใช้หมุดควบคุมทางดิ่งอย่างเพียงพอ และเหมาะสม ดังในข้อ 2.2.6

3. การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ

ในการวิจัยได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพสองแบบ คือ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 (EGM96) และแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (EGM2008) ซึ่งผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้ดังนี้

3.1 การเปรียบเทียบค่าความสูงจีโออยด์

ค่าความสูงจีโออยด์ ที่ได้จากการประมวลผลโครงข่ายประเทศไทยด้วยโปรแกรม Leica Geo Office (LGO) โดยประยุกต์ใช้เพิ่มข้อมูลแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพในรูปแบบนามสกุลไฟล์ .exe และนามสกุลไฟล์ .gem ได้แสดงไว้ในตารางที่ 14 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าความสูงจีโออยด์ของหมุดควบคุมทางดิ่ง หรือหมุดหลักฐานการระดับ จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพสองแบบ ได้แก่ แบบแรกคือ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ฮาร์มอนิกทรงกลมที่มีระดับชั้น (Degree) และอันดับ (Order) สูงถึง 360 จัดทำโดยองค์การแผนที่และภาพถ่ายแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Imagery and Mapping Agency, NIMA) ศูนย์การบินอวกาศกอดดาร์ด องค์การนาซา (NASA Goddard Space Flight Center, NASA GSFC) และมหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอไฮโอ (Ohio State University, OSU) โดยในการ

วิจัยได้ประยุกต์ใช้เพิ่มข้อมูลแบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 ในรูปแบบนามสกุลไฟล์ .exe (EGM96.exe) และแบบที่สองคือ แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ฮาร์มอนิกทรงกลมที่ขยายเพิ่มขึ้นถึงระดับชั้น (Degree) 2109 และอันดับ (Order) สูงถึง 2159 จัดทำโดยองค์การอัจฉริยะเชิงพื้นที่แห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (U.S. National Geospatial-Intelligence Agency, NGA) โดยในการวิจัยได้ประยุกต์ใช้เพิ่มข้อมูลแบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 ในรูปแบบนามสกุลไฟล์ .gem (EGM96.gem)

ในการเปรียบเทียบค่าความสูงจีออยด์ของหมุดควบคุมทางดิ่ง หรือหมุดหลักฐานการระดับ จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพทั้งสองแบบ พบว่าค่าความสูงจีออยด์มีค่าอยู่ระหว่าง -39 ถึง -17 เมตร โดยค่าความสูงจีออยด์จะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นที่หมุด DO5868 และค่าต่ำสุดจะเกิดขึ้นที่หมุด DO5551

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าความสูงจีออยด์ของหมุดควบคุมทางดิ่ง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ

Station	Latitude (N)			Longitude (N)			Geoid Unduration (m.)	
	°	'	"	°	'	"	EGM1996	EGM2008
526762-RBM6	13	31	17.3490	99	47	24.8685	-32.9675	-32.7237
BMP1562/1	16	23	33.6666	99	31	12.3220	-36.6067	-36.6390
BMP1753	11	34	23.6907	99	38	42.6919	-29.7867	-29.3925
BMP1763	10	31	57.2614	99	6	56.7962	-29.0841	-28.9226
BMP1774	9	36	20.4816	99	7	54.8067	-26.3294	-26.2146
BMP2037	10	10	44.7353	98	42	57.4036	-29.8549	-29.6539
BMP2294	15	43	27.0112	100	12	40.3808	-34.2087	-34.2247
BMP432	17	17	59.0228	101	46	4.3146	-32.0242	-32.1951
D05530	19	30	26.7009	100	17	3.4703	-36.8932	-37.1870
D05534	19	7	9.5505	98	56	30.5074	-39.4301	-39.4870
D05551	18	10	28.5544	98	37	51.8061	-39.8182	-39.5119
D05564	18	0	57.3141	99	42	43.6477	-37.9310	-37.7272

ตารางที่ 14 (ต่อ)

Station	Latitude (N)			Longitude (N)			Geoid Unduration (m.)	
	°	'	"	°	'	"	EGM1996	EGM2008
D05589	16	40	37.8276	99	15	45.6046	-37.4269	-37.4851
D05598	16	13	58.0153	100	7	39.0101	-35.1523	-35.2981
D05616	17	37	50.7165	103	45	10.9226	-29.6831	-29.1838
D05645	16	28	1.4956	103	31	28.1762	-27.9950	-27.7514
D05656	15	37	47.8407	103	14	37.8793	-28.5514	-28.4820
D05666	15	51	49.7542	104	35	1.2820	-24.8601	-24.5341
D05685	15	4	35.6086	104	17	37.6870	-23.9835	-23.6854
D05695	14	36	30.3404	103	19	32.3416	-24.7846	-24.6695
D05715	14	8	7.6598	101	52	33.0351	-26.9908	-27.0612
D05716	14	44	22.4578	102	9	53.4075	-27.7450	-27.8196
D05731	13	9	27.6017	101	17	58.5195	-28.2350	-27.9749
D05764	15	46	50.9519	102	11	54.0051	-30.4544	-30.5281
D05781	15	31	35.8005	101	49	46.7835	-30.5837	-30.6180
D05832	9	27	17.8394	98	29	58.2546	-28.4513	-28.2509
D05834	9	21	56.4277	99	10	29.5691	-25.4371	-25.3471
D05856	7	59	49.8809	98	18	26.1848	-26.2265	-26.2435
D05868	6	57	44.7545	99	46	26.3561	-17.6819	-17.7938
T_BMP625	15	12	18.2010	101	8	11.2054	-31.2265	-31.3199

3.2 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก

การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก เป็นการนำผลของค่าความสูงออร์โทเมตริก ซึ่งได้จากการประมวลผลโครงข่ายประเทศไทย (GPS – derived orthometric height) โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศาสตร์ของพิภพ ดังได้กล่าวไว้ในข้อ 3.1 ร่วมกับการกำหนดค่าพิกัดทางตั้ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางตั้งให้มีค่าคงที่จำนวน 8 หมุด ดังในข้อ 2.2.6

มาเปรียบเทียบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ โดยการเปรียบเทียบผลของค่าความสูงออร์โทเมตริก แบ่งการพิจารณาออกได้ดังนี้

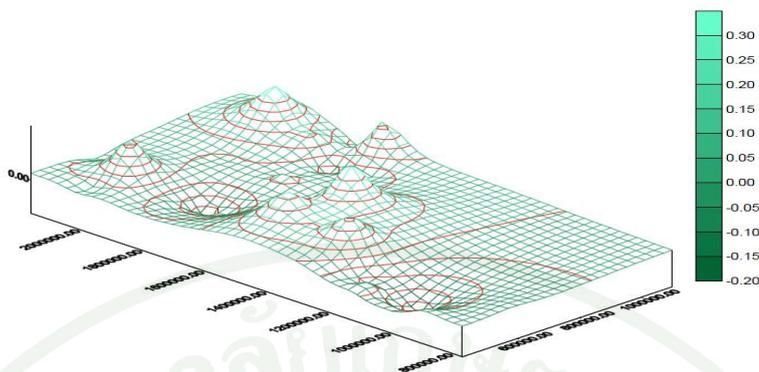
3.2.1 ผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนแปดหมุด ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการประมวลผล แสดงได้ดังตารางที่ 15 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0596 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.3880 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.2626 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.1862 เมตร ภาพที่ 44 แสดงพื้นผิวสามมิติของผลต่างความสูงระหว่างความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และความสูงจากการประมวลผลโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 (EGM96) ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 8 หมุด

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริกซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนแปดหมุด

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	10.9217	0.2774	
BMP1562/1	78.5819	78.5260	-0.0559	
BMP1753	20.5243	20.7980	0.2737	
BMP1763	32.9379	32.8625	-0.0754	
BMP1774	16.3134	16.1858	-0.1276	
BMP2037	5.4312	5.4312	–	Fixed
BMP2294	28.0930	28.0066	-0.0864	
BMP432	251.0031	251.0402	0.0371	
D05530	394.0804	394.0804	–	Fixed
D05534	336.7547	336.8036	0.0489	

ตารางที่ 15 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05551	264.1554	264.1554	–	Fixed
D05564	170.5221	170.8082	0.2861	
D05589	100.2822	100.2822	–	Fixed
D05598	36.8585	36.6728	-0.1857	
D05616	164.6141	164.9939	0.3798	
D05645	145.3796	145.5514	0.1718	
D05656	142.9118	142.8605	-0.0513	
D05666	152.7892	152.7892	–	Fixed
D05685	127.8592	128.1492	0.2900	
D05695	160.9105	160.9105	–	Fixed
D05715	52.9778	52.8995	-0.0783	
D05716	191.2045	191.2503	0.0458	
D05731	102.7585	103.1465	0.3880	
D05764	178.1760	178.1856	0.0096	
D05781	198.0460	198.1331	0.0871	
D05832	3.8740	3.8008	-0.0732	
D05834	5.8280	5.5654	-0.2626	
D05856	6.1690	6.1690	–	Fixed
D05868	11.0050	11.0050	–	Fixed
T_BMP625	48.2740	48.2852	0.0112	
Max			0.3880	
Min			-0.2626	
Mean			0.0596	
S.D.			0.1862	



ภาพที่ 44 พื้นผิวสามมิติแสดงผลต่างความสูงกรณีประยุกต์ใช้แบบจำลอง EGM96 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้คงที่จำนวน 8 หมุด

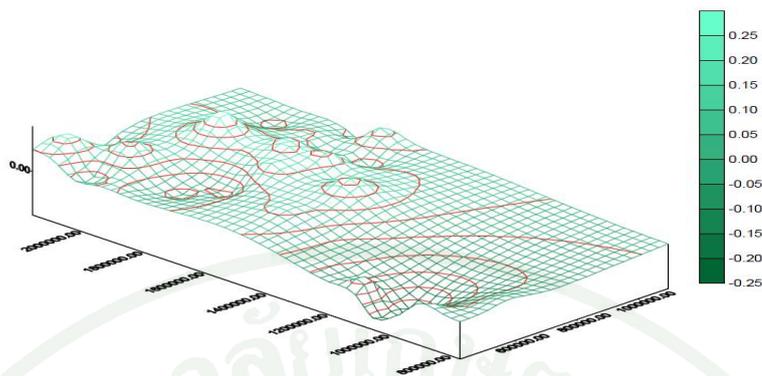
3.2.2 ผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนแปดหมุด ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการประมวลผล แสดงได้ดังตารางที่ 16 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0699 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.3294 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.3240 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.1766 เมตร ภาพที่ 45 แสดงพื้นผิวสามมิติของผลต่างความสูงระหว่างความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และความสูงจากการประมวลผลโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (EGM2008) ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 8 หมุด

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริกซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวนแปดหมุด

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	10.7621	0.1178	
BMP1562/1	78.5819	78.5491	-0.0328	
BMP1753	20.5243	20.5040	-0.0203	
BMP1763	32.9379	32.8326	-0.1053	

ตารางที่ 16 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP1774	16.3134	16.1127	-0.2007	
BMP2037	5.4312	5.4312	-	Fixed
BMP2294	28.0930	28.0627	-0.0303	
BMP432	251.0031	251.3325	0.3294	
D05530	394.0804	394.0804	-	Fixed
D05534	336.7547	336.9941	0.2394	
D05551	264.1554	264.1554	-	Fixed
D05564	170.5221	170.7474	0.2253	
D05589	100.2822	100.2822	-	Fixed
D05598	36.8585	36.8541	-0.0044	
D05616	164.6141	164.6471	0.0330	
D05645	145.3796	145.4835	0.1039	
D05656	142.9118	142.9526	0.0408	
D05666	152.7892	152.7892	-	Fixed
D05685	127.8592	128.0440	0.1848	
D05695	160.9105	160.9105	-	Fixed
D05715	52.9778	53.0768	0.0990	
D05716	191.2045	191.4386	0.2341	
D05731	102.7585	102.9882	0.2297	
D05764	178.1760	178.4047	0.2287	
D05781	198.0460	198.2805	0.2345	
D05832	3.8740	3.6280	-0.2460	
D05834	5.8280	5.5040	-0.3240	
D05856	6.1690	6.1690	-	Fixed
D05868	11.0050	11.0050	-	Fixed
T_BMP625	48.2740	48.4743	0.2003	
Max			0.3294	
Min			-0.3240	
Mean			0.0699	
S.D.			0.1766	



ภาพที่ 45 พื้นผิวสามมิติแสดงผลต่างความสูงกรณีประยุกต์ใช้แบบจำลอง EGM2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้คงที่จำนวน 8 หมุด

จากการเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริกดังแสดงในตารางที่ 15 ถึง 16 สามารถสรุปผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก ได้ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก ในกรณีประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ

Station	Height From Leveling (m.)	Orthometric Height Diff., $H_{GPS} - H_{Leveling}$ (m.)	
		Fix-8 and Apply EGM96	Fix-8 and Apply EGM2008
526762-RBM6	10.6443	0.2774	0.1178
BMP1562/1	78.5819	-0.0559	-0.0328
BMP1753	20.5243	0.2737	-0.0203
BMP1763	32.9379	-0.0754	-0.1053
BMP1774	16.3134	-0.1276	-0.2007
BMP2037	5.4312	–	–
BMP2294	28.0930	-0.0864	-0.0303
BMP432	251.0031	0.0371	0.3294
D05530	394.0804	–	–
D05534	336.7547	0.0489	0.2394

ตารางที่ 17 (ต่อ)

Station	Height From Leveling (m.)	Orthometric Height Diff., $H_{GPS} - H_{Leveling}$ (m.)	
		Fix-8 and Apply	Fix-8 and Apply
		EGM96	EGM2008
D05551	264.1554	-	-
D05564	170.5221	0.2861	0.2253
D05589	100.2822	-	-
D05598	36.8585	-0.1857	-0.0044
D05616	164.6141	0.3798	0.0330
D05645	145.3796	0.1718	0.1039
D05656	142.9118	-0.0513	0.0408
D05666	152.7892	-	-
D05685	127.8592	0.2900	0.1848
D05695	160.9105	-	-
D05715	52.9778	-0.0783	0.0990
D05716	191.2045	0.0458	0.2341
D05731	102.7585	0.3880	0.2297
D05764	178.1760	0.0096	0.2287
D05781	198.0460	0.0871	0.2345
D05832	3.8740	-0.0732	-0.2460
D05834	5.8280	-0.2626	-0.3240
D05856	6.1690	-	-
D05868	11.0050	-	-
T_BMP625	48.2740	0.0112	0.2003
Max		0.3880	0.3294
Min		-0.2626	-0.3240
Mean		0.0596	0.0699
S.D.		0.1862	0.1766

4. การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่ง กรณีแบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน

การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่ง ในกรณีแยกการพิจารณาโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วนพื้นที่ สามารถแบ่งการพิจารณาออกได้ดังนี้

4.1 การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งในโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย

สำหรับโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทยมีจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่จำนวน 4 หมุด ดังแสดงในภาพที่ 46 ซึ่งในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จากจำนวน 1 หมุด ถึง 3 หมุด ทั้งหมด 14 ชุด ซึ่งผลจากการวิจัย พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ณ ตำแหน่งหมุด DO5534 และ DO5551 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 18 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.4670 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.7708 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.1632 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.4296 เมตร

4.2 การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งในโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย

สำหรับโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทยมีจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่จำนวน 3 หมุด ดังแสดงในภาพที่ 47 ซึ่งในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จากจำนวน 1 หมุด ถึง 2 หมุด ทั้งหมด 6 ชุด ซึ่งผลจากการวิจัย พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุด ณ ตำแหน่งหมุด DO5589 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 19 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.4032 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 2.0531 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.7533 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.9191 เมตร

4.3 การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งในโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย

สำหรับโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทยมีจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่จำนวน 4 หมุด ดังแสดงในภาพที่ 48 ซึ่งในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จากจำนวน 1 หมุด ถึง 3 หมุด ทั้งหมด 14 ชุด ซึ่งผลจากการวิจัย พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ณ ตำแหน่งหมุด DO5715 และ DO5781 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 20 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.1140 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.2289 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.4570 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.4850 เมตร

4.4 การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งในโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย

สำหรับโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทยมีจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่จำนวน 3 หมุด ดังแสดงในภาพที่ 49 ซึ่งในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จากจำนวน 1 หมุด ถึง 2 หมุด ทั้งหมด 6 ชุด ซึ่งผลจากการวิจัย พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุด ณ ตำแหน่งหมุด DO5616 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 21 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.7914 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.2922 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -2.8750 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.9467 เมตร

4.5 การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งในโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย

สำหรับโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทยมีจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่จำนวน 5 หมุด ดังแสดงในภาพที่ 50 ซึ่งในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จากจำนวน 1 หมุด ถึง

4 หมุด ทั้งหมด 26 ชุด ซึ่งผลจากการวิจัย พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 3 หมุด ณ ตำแหน่งหมุด DO5645, DO5656 และ DO5685 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 22 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.2523 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.4057 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.0988 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.2170 เมตร

4.6 การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งในโครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย

สำหรับโครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทยมีจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่จำนวน 4 หมุด ดังแสดงในภาพที่ 51 ซึ่งในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จากจำนวน 1 หมุด ถึง 3 หมุด ทั้งหมด 14 ชุด ซึ่งผลจากการวิจัย พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ณ ตำแหน่งหมุด BMP2294 และ DO5781 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 23 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.1006 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.4049 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.7963 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.4303 เมตร

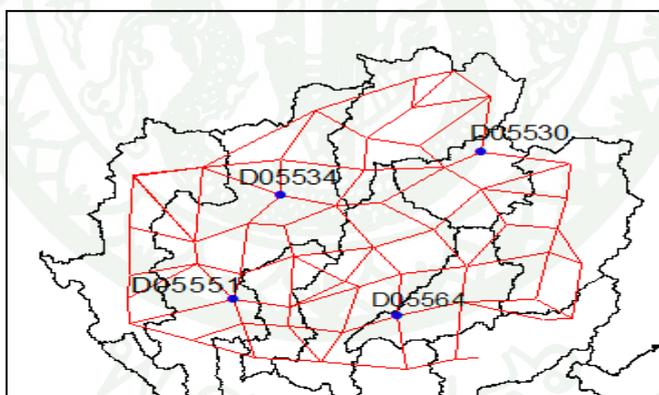
4.7 การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งในโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย

สำหรับโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทยมีจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่จำนวน 7 หมุด ดังแสดงในภาพที่ 52 ซึ่งในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จากจำนวน 1 หมุด ถึง 5 หมุด ทั้งหมด 84 ชุด ซึ่งผลจากการวิจัย พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 4 หมุด ณ ตำแหน่งหมุด 526762-RBM6, BMP1774, BMP2037 และ DO5832 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 24 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่าง

ความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.1070 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.6934 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.2169 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.7837 เมตร

4.8 การเลือกใช้หมุดควบคุมทางดิ่งในโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย

สำหรับโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทยมีจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่จำนวน 4 หมุด ดังแสดงในภาพที่ 53 ซึ่งในการวิจัยได้ทำการกำหนดค่าพิกัดทางดิ่ง หรือค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random Fixed) จากจำนวน 1 หมุด ถึง 3 หมุด ทั้งหมด 14 ชุด ซึ่งผลจากการวิจัย พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ภายหลังจากการประมวลผลโดยกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ณ ตำแหน่งหมุด DO5832 และ DO5868 จะเป็นชุดที่ให้ผลของค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 25 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าต่างความสูงจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับ และค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผล พบว่า ผลของค่าต่างความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.6126 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.1443 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -2.3695 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.4846 เมตร



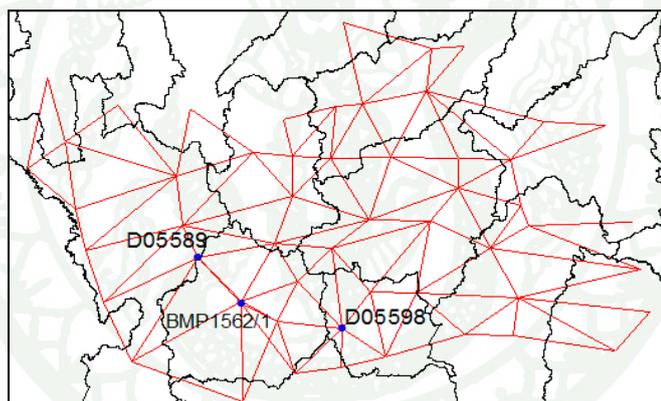
ภาพที่ 46 โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 1 ของประเทศไทย

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผลโดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 2 หมุด ใน โครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05530	394.0804	395.2436	1.1632	

ตารางที่ 18 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05534	336.7547	336.7547	-	fixed
D05551	264.1554	264.1554	-	fixed
D05564	170.5221	172.2929	1.7708	
Max			1.7708	
Min			1.1632	
Mean			1.4670	
S.D.			0.4296	



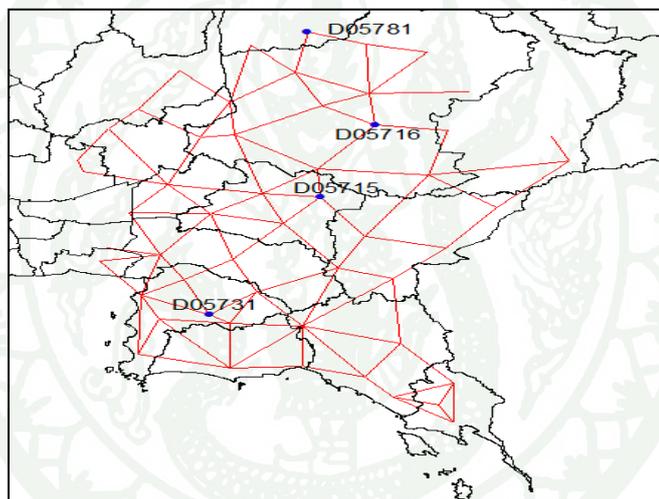
ภาพที่ 47 โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 2 ของประเทศไทย

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผลโดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 1 หมุด ใน โครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP1562/1	78.5819	79.3352	0.7533	
D05589	100.2822	100.2822	-	fixed

ตารางที่ 19 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05598	36.8585	38.9116	2.0531	
Max			2.0531	
Min			0.7533	
Mean			1.4032	
S.D.			0.9191	



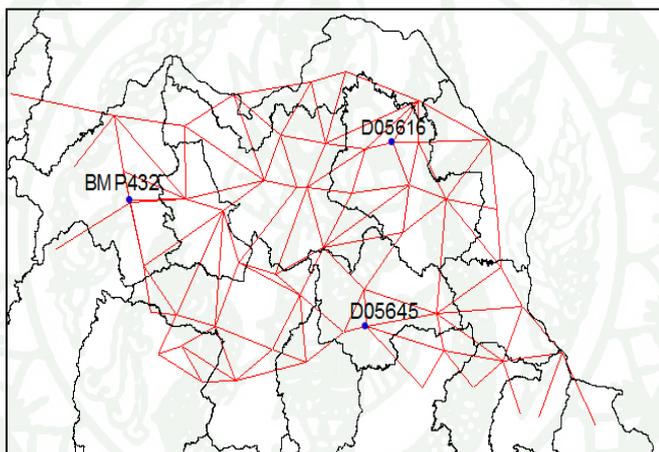
ภาพที่ 48 โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 3 ของประเทศไทย

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผลโดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 2 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05715	52.9778	52.9778	-	fixed
D05716	191.2045	191.4334	0.2289	

ตารางที่ 20 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05731	102.7585	102.3015	-0.4570	
D05781	198.0460	198.0460	-	fixed
Max			0.2289	
Min			-0.4570	
Mean			-0.1140	
S.D.			0.4850	



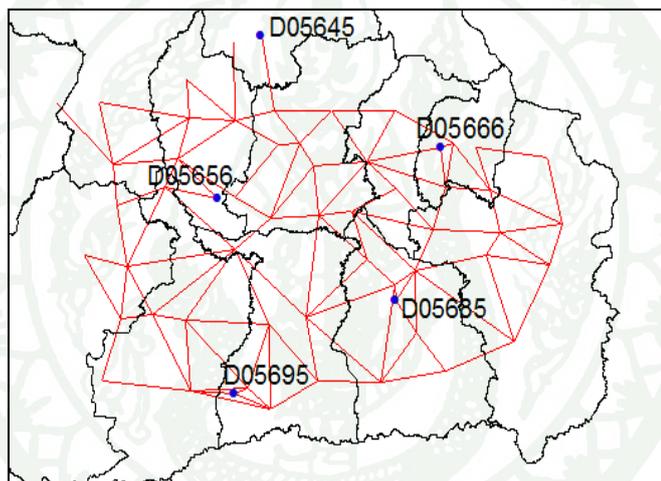
ภาพที่ 49 โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 4 ของประเทศไทย

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผลโดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 1 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP432	251.0031	248.1281	-2.8750	
D05616	164.6141	164.6141	-	fixed

ตารางที่ 21 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05645	145.3796	146.6718	1.2922	
Max			1.2922	
Min			-2.8750	
Mean			-0.7914	
S.D.			2.9467	



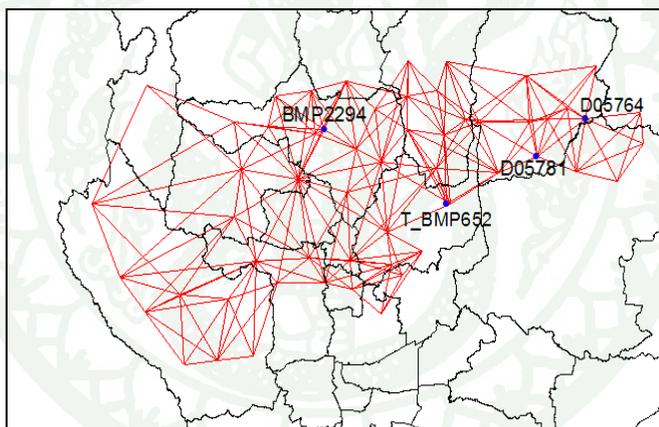
ภาพที่ 50 โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 5 ของประเทศไทย

ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผลโดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 3 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05645	145.3796	145.3796	-	fixed
D05656	142.9118	142.9118	-	fixed

ตารางที่ 22 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05666	152.7892	153.8880	1.0988	
D05685	127.8592	127.8592	-	fixed
D05695	160.9105	162.3162	1.4057	
Max			1.4057	
Min			1.0988	
Mean			1.2523	
S.D.			0.2170	



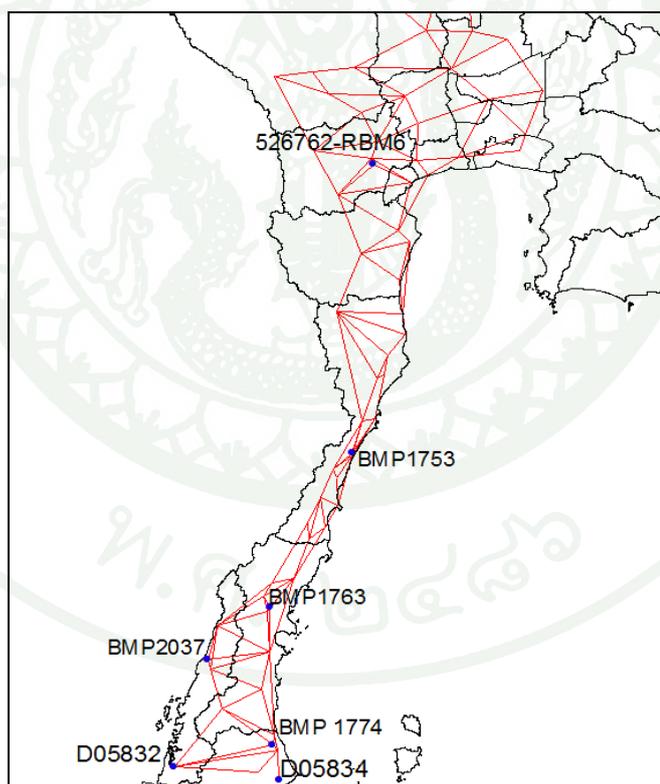
ภาพที่ 51 โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 6 ของประเทศไทย

ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผลโดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 2 หมุด ใน โครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP2294	28.0930	28.0930	-	fixed

ตารางที่ 23 (ต่อ)

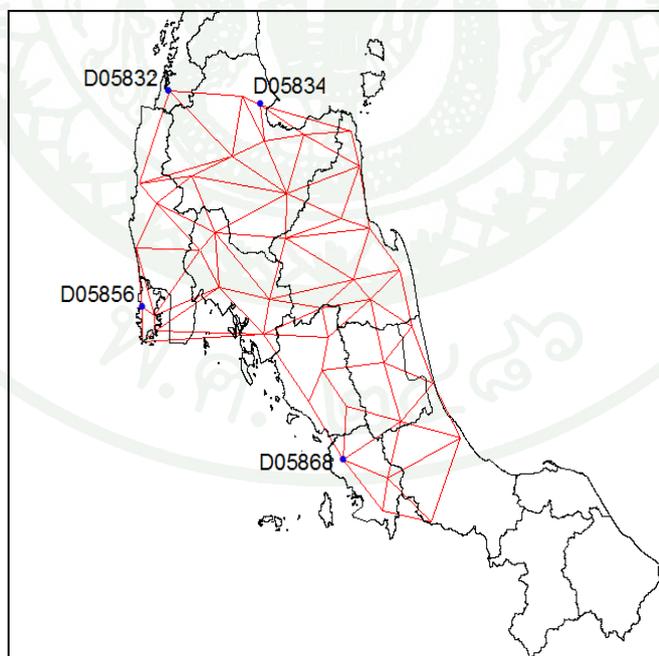
Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05764	178.1760	178.9723	0.7963	
D05781	198.0460	198.0460	-	fixed
T_BMP625	48.2740	49.6789	1.4049	
Max			1.4049	
Min			0.7963	
Mean			1.1006	
S.D.			0.4303	



ภาพที่ 52 โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 7 ของประเทศไทย

ตารางที่ 24 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผลโดย
กำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 4 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	10.6443	-	fixed
BMP1753	20.5243	21.9351	1.4108	
BMP1763	32.9379	33.1548	0.2169	
BMP1774	16.3134	16.3134	-	fixed
BMP2037	5.4312	5.4312	-	fixed
D05832	3.8740	3.8740	-	fixed
D05834	5.8280	7.5214	1.6934	
Max			1.6934	
Min			0.2169	
Mean			1.1070	
S.D.			0.7837	



ภาพที่ 53 โครงข่าย และตำแหน่งหมุดควบคุมทางดิ่งบริเวณพื้นที่ส่วนที่ 8 ของประเทศไทย

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ และจากการประมวลผลโดยกำหนดให้มีหมุดควบคุมทางดิ่ง 2 หมุด ในโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05832	3.8740	3.8740	-	fixed
D05834	5.8280	6.9723	1.1443	
D05856	6.1690	3.7995	-2.3695	
D05868	11.0050	11.0050	-	fixed
Max			1.1443	
Min			-2.3695	
Mean			-0.6126	
S.D.			2.4846	

5. การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ กรณีแบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ กรณีแยกการพิจารณาโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วนพื้นที่ ได้ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพสองแบบ เช่นเดียวกับกรณีโครงข่ายประเทศไทย ในข้อ 4.3 คือ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 (EGM96) และแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (EGM2008) ซึ่งผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ในกรณีแยกการพิจารณาโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วนพื้นที่ สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้ดังนี้

5.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ในโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ดังในข้อ 4.4.1 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่

26 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.7478 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0342 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -1.5298 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.1059 เมตร

5.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ในโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ดังในข้อ 4.4.1 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 27 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.5091 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0626 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -1.0809 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.8086 เมตร

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05530	394.0804	392.5506	-1.5298	
D05534	336.7547	336.7547	-	fixed
D05551	264.1554	264.1554	-	fixed
D05564	170.5221	170.5563	0.0342	
Max			0.0342	
Min			-1.5298	
Mean			-0.7478	
S.D.			1.1059	

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 1 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05530	394.0804	392.9995	-1.0809	
D05534	336.7547	336.7547	-	fixed
D05551	264.1554	264.1554	-	fixed
D05564	170.5221	170.5847	0.0626	
Max			0.0626	
Min			-1.0809	
Mean			-0.5091	
S.D.			0.8086	

5.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ในโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุด ดังในข้อ 4.4.2 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 28 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.0597 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ -0.0113 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.1081 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0684 เมตร

5.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ในโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้

มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุด ดังในข้อ 4.4.2 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 29 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.0288 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ -0.0204 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.0371 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0118 เมตร

ตารางที่ 28 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP1562/1	78.5819	78.5706	-0.0113	
D05589	100.2822	100.2822	-	fixed
D05598	36.8585	36.7504	-0.1081	
Max			-0.0113	
Min			-0.1081	
Mean			-0.0597	
S.D.			0.0684	

ตารางที่ 29 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 2 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP1562/1	78.5819	78.5448	-0.0371	
D05589	100.2822	100.2822	-	fixed
D05598	36.8585	36.8381	-0.0204	
Max			-0.0204	
Min			-0.0371	
Mean			-0.0288	
S.D.			0.0118	

5.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ในโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ดังในข้อ 4.4.3 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 30 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2612 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.4465 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.0760 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.2620 เมตร

5.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ในโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ดังในข้อ 4.4.3 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 31 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1045 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.1196 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.0894 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0214 เมตร

ตารางที่ 30 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05715	52.9778	52.9778	-	fixed
D05716	191.2045	191.2805	0.0760	

ตารางที่ 30 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05731	102.7585	103.2050	0.4465	
D05781	198.0460	198.0460	-	fixed
Max			0.4465	
Min			0.0760	
Mean			0.2612	
S.D.			0.2620	

ตารางที่ 31 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 3 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05715	52.9778	52.9778	-	fixed
D05716	191.2045	191.2939	0.0894	
D05731	102.7585	102.8781	0.1196	
D05781	198.0460	198.046	-	fixed
Max			0.1196	
Min			0.0894	
Mean			0.1045	
S.D.			0.0214	

5.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ในโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้

มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุด ดังในข้อ 4.4.4 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 32 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.2210 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ -0.0835 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.3585 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.1945 เมตร

5.8 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ในโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุด ดังในข้อ 4.4.4 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 33 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3087 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0686 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.1887 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.1698 เมตร

ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP432	251.0031	250.6446	-0.3585	
D05616	164.6141	164.6141	-	fixed
D05645	145.3796	145.2961	-0.0835	
Max			-0.0835	
Min			-0.3585	
Mean			-0.2210	
S.D.			0.1945	

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 1 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 4 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP432	251.0031	251.3118	0.3087	
D05616	164.6141	164.6141	-	fixed
D05645	145.3796	145.4482	0.0686	
Max			0.3087	
Min			0.0686	
Mean			0.1887	
S.D.			0.1698	

5.9 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ในโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 3 หมุด ดังในข้อ 4.4.5 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 34 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.0663 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.2563 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.3889 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.4562 เมตร

5.10 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ในโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 3 หมุด ดังในข้อ 4.4.5 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 35 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.1393 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0924 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.3709 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.3276 เมตร

ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศาสตร์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 3 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05645	145.3796	145.3796	-	fixed
D05656	142.9118	142.9118	-	fixed
D05666	152.7892	153.0455	0.2563	
D05685	127.8592	127.8592	-	fixed
D05695	160.9105	160.5216	-0.3889	
Max			0.2563	
Min			-0.3889	
Mean			-0.0663	
S.D.			0.4562	

ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศาสตร์ภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 3 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 5 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05645	145.3796	145.3796	-	fixed
D05656	142.9118	142.9118	-	fixed

ตารางที่ 35 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05666	152.7892	152.8816	0.0924	
D05685	127.8592	127.8592	-	fixed
D05695	160.9105	160.5396	-0.3709	
Max			0.0924	
Min			-0.3709	
Mean			-0.1393	
S.D.			0.3276	

5.11 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ใน โครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ดังในข้อ 4.4.6 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 36 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.0131 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0415 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.0678 เมตร และมีค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0773 เมตร

5.12 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ใน โครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ดังในข้อ 4.4.6 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 37 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0236 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0712 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.0241 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0674 เมตร

ตารางที่ 36 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP2294	28.0930	28.0930	-	fixed
D05764	178.1760	178.1082	-0.0678	
D05781	198.0460	198.0460	-	fixed
T_BMP625	48.2740	48.3155	0.0415	
Max			0.0415	
Min			-0.0678	
Mean			-0.0131	
S.D.			0.0773	

ตารางที่ 37 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 6 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
BMP2294	28.0930	28.0930	-	fixed
D05764	178.1760	178.1519	-0.0241	
D05781	198.0460	198.0460	-	fixed
T_BMP625	48.2740	48.3452	0.0712	
Max			0.0712	
Min			-0.0241	
Mean			0.0236	
S.D.			0.0674	

5.13 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ในโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 4 หมุด ดังในข้อ 4.4.7 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 38 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.0476 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0530 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.1242 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0910 เมตร

5.14 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ในโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 4 หมุด ดังในข้อ 4.4.7 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 39 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.0774 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ -0.0428 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.1228 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0412 เมตร

ตารางที่ 38 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 4 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	10.6443	-	fixed
BMP1753	20.5243	20.5773	0.0530	
BMP1763	32.9379	32.8663	-0.0716	
BMP1774	16.3134	16.3134	-	fixed
BMP2037	5.4312	5.4312	-	fixed

ตารางที่ 38 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05832	3.8740	3.8740	-	fixed
D05834	5.8280	5.7038	-0.1242	
Max			0.0530	
Min			-0.1242	
Mean			-0.0476	
S.D.			0.0910	

ตารางที่ 39 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 4 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 7 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
526762-RBM6	10.6443	10.6443	-	fixed
BMP1753	20.5243	20.4015	-0.1228	
BMP1763	32.9379	32.8956	-0.0423	
BMP1774	16.3134	16.3134	-	fixed
BMP2037	5.4312	5.4312	-	fixed
D05832	3.8740	3.8740	-	fixed
D05834	5.8280	5.7610	-0.0670	
Max			-0.0423	
Min			-0.1228	
Mean			-0.0774	
S.D.			0.0412	

5.15 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ในโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ดังในข้อ 4.4.8 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 40 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0320 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.2099 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.1460 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.2517 เมตร

5.16 การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ในโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากการประมวลผลโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้ มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุด ดังในข้อ 4.4.8 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก แสดงได้ดังตารางที่ 41 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ จะพบว่าผลต่างของค่าความสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.0538 เมตร ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.1929 เมตร ค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.0853 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.1967 เมตร

ตารางที่ 40 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05832	3.8740	3.8740	-	fixed
D05834	5.8280	5.6820	-0.1460	
D05856	6.1690	6.3789	0.2099	

ตารางที่ 40 (ต่อ)

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05868	11.0050	11.005	-	fixed
Max			0.2099	
Min			-0.1460	
Mean			0.0320	
S.D.			0.2517	

ตารางที่ 41 การเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักราชของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 2 หมุดในโครงข่ายส่วนที่ 8 ของพื้นที่ประเทศไทย

Station	Height (m.)		Diff. (m.)	Control Status
	From Leveling	From Processing		
D05832	3.8740	3.8740	-	fixed
D05834	5.8280	5.7427	-0.0853	
D05856	6.1690	6.3619	0.1929	
D05868	11.0050	11.005	-	fixed
Max			0.1929	
Min			-0.0853	
Mean			0.0538	
S.D.			0.1967	

6. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความสูงจีโออยด์

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความสูงจีโออยด์ มีผลกระทบอย่างมากต่อการคำนวณหาค่าความสูงออร์โทเมตริกด้วยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาทิศทางการเปลี่ยนแปลงของความสูงจีโออยด์ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาแนวทางในการสร้างหมุดควบคุม

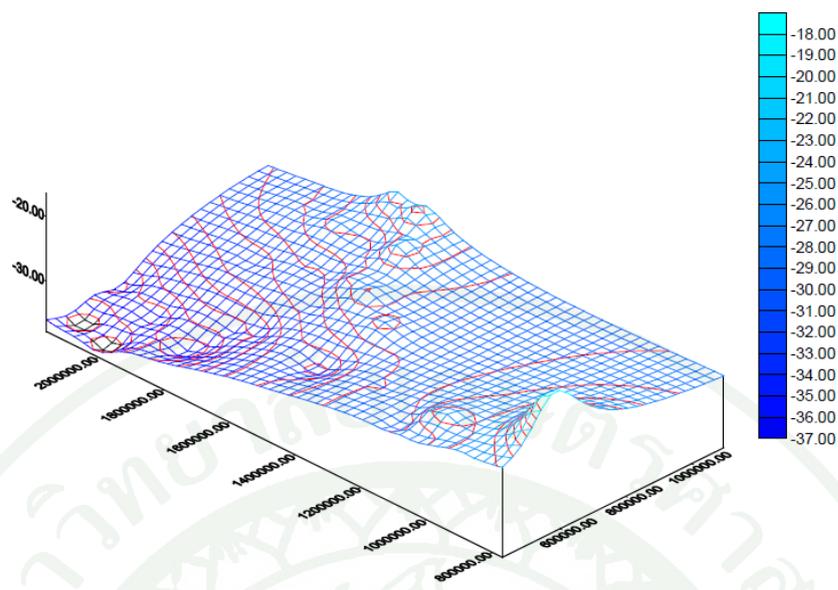
ทางดิ่งเพิ่มเติมอย่างเพียงพอ และเหมาะสม โดยในการวิจัยได้ทำการคำนวณหาค่าความสูงจีโออยด์ (N) โดยวิธีการเปรียบเทียบผลของค่าความสูง ระหว่างผลของค่าความสูงซึ่งได้จากการประมวลผลในงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส โดยปราศจากการกำหนดค่าพิคต์ของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ (h) และผลของค่าความสูงซึ่งได้จากการทำระดับ (H) ด้วยสมการ $N = h - H$ ซึ่งเมื่อนำผลของค่าความสูงจีโออยด์ที่ได้จากการคำนวณ และค่าความสูงจีโออยด์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008 มาเปรียบเทียบกัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 42 และสามารถแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสูงจีโออยด์ได้ด้วยพื้นผิวสามมิติดังภาพที่ 52 ถึง 54 ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าความสูงจีโออยด์มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะของความลาดชันเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ลาดชันตามแนวทิศใต้ไปทิศเหนือ ดังนั้นจึงควรให้มีหมุดควบคุมทางดิ่งกระจายอยู่ตามแนวดังกล่าวอย่างเพียงพอ เพื่อประโยชน์ในการแปลงค่าความสูงจากการรังวัดดาวเทียม ซึ่งเป็นความสูงเหนือรูปทรงรี ไปสู่ความสูงออร์โทเมตริก ซึ่งเป็นความสูงเหนือจีโออยด์ ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้จำเป็นจะต้องใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ร่วมกับหมุดควบคุมทางดิ่งที่มีจำนวนอย่างเพียงพอและเหมาะสม

ตารางที่ 42 การเปรียบเทียบค่าความสูงจีโออยด์จากการคำนวณ และจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008

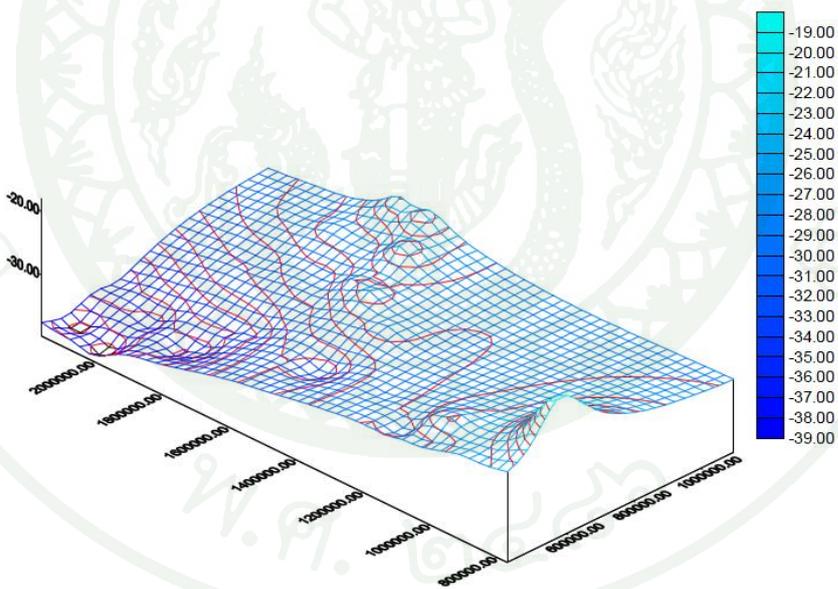
Station	Geoidal Height (m.)		
	h - H	EGM96	EGM2008
526762-RBM6	-31.3541	-32.9675	-32.7237
BMP1562/1	-35.3919	-36.6067	-36.6390
BMP1753	-28.0191	-29.7867	-29.3925
BMP1763	-27.3417	-29.0841	-28.9226
BMP1774	-24.7690	-26.3294	-26.2146
BMP2037	-27.8543	-29.8549	-29.6539
BMP2294	-33.0214	-34.2087	-34.2247
BMP432	-30.7033	-32.0242	-32.1951
D05530	-36.4559	-36.8932	-37.1870
D05534	-37.8096	-39.4301	-39.4870
D05551	-37.8735	-39.8182	-39.5119

ตารางที่ 42 (ต่อ)

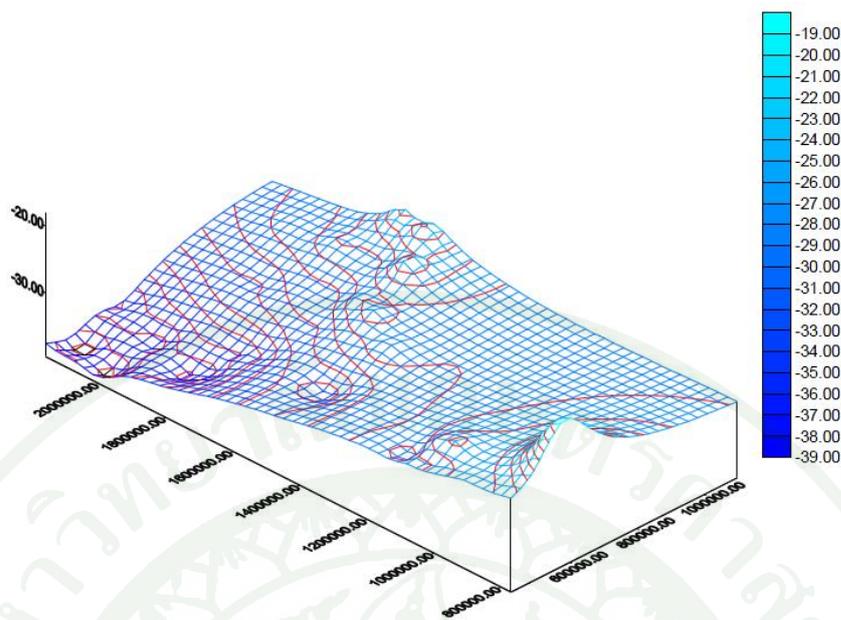
Station	Geoidal Height (m.)		
	h - H	EGM96	EGM2008
D05564	-36.0521	-37.9310	-37.7272
D05589	-36.1747	-37.4269	-37.4851
D05598	-34.0592	-35.1523	-35.2981
D05616	-27.9940	-29.6831	-29.1838
D05645	-26.4821	-27.9950	-27.7514
D05656	-27.3221	-28.5514	-28.4820
D05666	-23.1763	-24.8601	-24.5341
D05685	-22.3573	-23.9835	-23.6854
D05695	-23.7992	-24.7846	-24.6695
D05715	-25.8256	-26.9908	-27.0612
D05716	-26.4589	-27.7450	-27.8196
D05731	-26.5997	-28.2350	-27.9749
D05764	-29.1802	-30.4544	-30.5281
D05781	-29.2377	-30.5837	-30.6180
D05832	-26.8201	-28.4513	-28.2509
D05834	-23.9831	-25.4371	-25.3471
D05856	-24.5448	-26.2265	-26.2435
D05868	-16.1895	-17.6819	-17.7938
T_BMP625	-29.9593	-31.2265	-31.3199
Max	-16.1895	-17.6819	-17.7938
Min	-37.8735	-39.8182	-39.5119
Mean	-28.8937	-30.3468	-30.2642



ภาพที่ 54 พื้นผิวสามมิติของความสูงจีโออยด์บริเวณพื้นที่ประเทศไทยซึ่งได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 55 พื้นผิวสามมิติของความสูงจีโออยด์บริเวณพื้นที่ประเทศไทยจากแบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996



ภาพที่ 56 พื้นผิวสามมิติของค่าความสูงจีโออยด์บริเวณพื้นที่ประเทศไทยจากแบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 2008

วิจารณ์

ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประมวลผลโดยการประยุกต์แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพทั้ง 2 แบบ (แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008) ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกซึ่งได้จากการทำระดับ จะให้ผลลัพธ์คือ ผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก ซึ่งค่าผลต่างดังกล่าว จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ รวมถึงความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 การประมวลผลโดยใช้โครงข่ายประเทศไทย แสดงค่าทางสถิติของผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก ได้ดังตารางที่ 43 และกรณีที่ 2 คือ การประมวลผลโดยแยกโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน แสดงค่าทางสถิติของผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก ได้ดังตารางที่ 44

ตารางที่ 43 ค่าทางสถิติของผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ทั้ง 2 แบบ ร่วมกับการกำหนดหมวดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 8 หมวด กรณีประมวลผลโดยใช้โครงข่ายประเทศไทย

Orthometric Height Diff. (m.)	Model	
	EGM96	EGM2008
Max.	0.3880	0.3294
Min.	-0.2626	-0.3240
Mean	0.0596	0.0699
S.D.	0.1862	0.1766
RMS.	0.1955	0.1899

ตารางที่ 44 ค่าทางสถิติของผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ทั้ง 2 แบบ ร่วมกับการกำหนดหมวดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ในจำนวนที่เหมาะสมของแต่ละพื้นที่ กรณีประมวลผลโดยแยกโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน

Area	Model	Orthometric Height Diff. (m.)				
		Max.	Min.	Mean	S.D.	RMS.
Area 1	EGM96	0.0342	-1.5298	-0.7478	1.1059	1.3350
	EGM2008	0.0626	-1.0809	-0.5091	0.8086	0.9555
Area 2	EGM96	-0.0113	-0.1081	-0.0597	0.0684	0.0908
	EGM2008	-0.0204	-0.0371	-0.0288	0.0118	0.0311
Area 3	EGM96	0.4465	0.0760	0.2612	0.2620	0.3700
	EGM2008	0.1196	0.0894	0.1045	0.0214	0.1067
Area 4	EGM96	-0.0835	-0.3585	-0.2210	0.1945	0.2944
	EGM2008	0.3087	0.0686	0.1887	0.1698	0.2538
Area 5	EGM96	0.2563	-0.3889	-0.0663	0.4562	0.4610
	EGM2008	0.0924	-0.3709	-0.1393	0.3276	0.3560
Area 6	EGM96	0.0415	-0.0678	-0.0131	0.0773	0.0784
	EGM2008	0.0712	-0.0241	0.0236	0.0674	0.0714

ตารางที่ 44 (ต่อ)

Area	Model	Orthometric Height Diff. (m.)				
		Max.	Min.	Mean	S.D.	RMS.
Area 7	EGM96	0.0530	-0.1242	-0.0476	0.0910	0.1027
	EGM2008	-0.0423	-0.1228	-0.0774	0.0412	-0.0423
Area 8	EGM96	0.2099	-0.1460	0.0320	0.2517	0.2537
	EGM2008	0.1929	-0.0853	0.0538	0.1967	0.2039

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถแบ่งการวิเคราะห์และสรุปผลได้ดังนี้

1. กรณีการประมวลผลโดยใช้โครงข่ายประเทศไทย

1.1 การประมวลผลโดยใช้โครงข่ายประเทศไทย ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทั้งประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย คือแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 เนื่องจากผลลัพธ์ของค่าผลต่างความสูงออร์โทเมตริกจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 8 หมุด จะให้ค่าทางสถิติที่ดีกว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ด้วยค่าผลต่างความสูงออร์โทเมตริกเฉลี่ย 0.0699 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.1766 เมตร และค่า RMS. 0.1899 เมตร

1.2 แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 มีความคงเส้นคงวา (Consistency) ที่ดีกว่าแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ประมาณ 0.010 เมตร สำหรับพื้นที่ทั้งประเทศไทย

1.3 ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก ที่ได้รับจากการวิจัยเพียงพอที่จะนำไปใช้ในเกณฑ์ของงานระดับที่ไม่ต้องการความละเอียด หรือความถูกต้องสูง

2. กรณีการประมวลผลโดยแยกโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน

2.1 การประมวลผลโดยแยกโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน เป็นการศึกษาคความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ โดยแบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน ซึ่งผล

จากการวิจัยพบว่า แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทยทั้ง 8 ส่วนพื้นที่ คือ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 เนื่องจากผลลัพธ์ของค่าผลต่างความสูง ออร์โทเมตริกจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่า ระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ ในจำนวนที่เหมาะสมของแต่ละพื้นที่ จะให้ค่าทางสถิติที่ดีกว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ในทุกส่วนพื้นที่ ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับ กรณีการประมวลผลโดยใช้โครงข่ายประเทศไทย

2.2 แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 จะมีความคงเส้นคงวา (Consistency) ที่ดีกว่าแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 อยู่ในระดับเดซิเมตร สำหรับพื้นที่ส่วนที่ 1, 3, 5 และอยู่ในระดับเซนติเมตร สำหรับพื้นที่ 2, 4, 6, 7 และ 8

จากผลการวิจัยในกรณีการประมวลผลโดยใช้โครงข่ายประเทศไทย และกรณีการประมวลผลโดยแยกโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน แสดงผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน จึงอาจสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่ ในจำนวนที่เหมาะสม จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ดังนั้นแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพที่มีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ทำการวิจัย คือ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพสำหรับประเทศไทย จากผลการวิจัยพบว่า ผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริกกรณีประมวลผลโดยใช้โครงข่ายประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008 จะให้ค่าเฉลี่ยที่มีความใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าต่างความสูง จะพบว่าแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 อยู่ที่ประมาณ 0.010 เมตร และสำหรับกรณีการประมวลผลโดยแยกโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน พบว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีประมวลผล โดยใช้โครงข่ายประเทศไทย โดยแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 ในทุกส่วนพื้นที่ ด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ดีกว่า อยู่ในระดับเดซิเมตร สำหรับพื้นที่ส่วนที่ 1 ส่วนที่ 3 และส่วนที่ 5 และอยู่ในระดับเซนติเมตร สำหรับพื้นที่ส่วนที่ 2 ส่วนที่ 4 ส่วนที่ 6 ส่วนที่ 7 และส่วนที่ 8 ซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 มีความคงเส้นคงวา (Consistency) และมีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ประเทศไทยมากกว่าแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996

2. การเปลี่ยนแปลงของค่าความสูงจีโออยด์ มีผลกระทบต่อค่าความสูงออร์โทเมตริก ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า ความสูงจีโออยด์ของพื้นที่ประเทศไทย มีค่าอยู่ระหว่าง -39 ถึง -17 เมตร โดยค่าสูงสุดและต่ำสุดจะเกิดขึ้นที่หมุด D05868 และ D05551 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสูงจีโออยด์มีการเปลี่ยนแปลงความลาดชันตามแนวทิศใต้ไปยังทิศเหนือ จึงมีผลทำให้ความคลาดเคลื่อนทางความสูงเกิดขึ้นมากในทิศทางดังกล่าว ดังนั้นจึงควรมีจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งหรือหมุดหลักฐานการระดับที่กระจายตัวอย่างเพียงพอ และเหมาะสม จากการวิจัยพบว่าจำนวนของหมุดควบคุมทางดิ่งที่เพียงพอ และเหมาะสม คือ 8 หมุด

3. ความเหมาะสมของค่าความสูงออร์โทเมตริก ผลจากการวิจัยพบว่า ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับจากการประมวลผลโดยใช้โครงข่ายประเทศไทย ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย (แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008) ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่ง หรือหมุดหลักฐานการระดับให้มีค่าคงที่ในจำนวนที่เหมาะสม (8หมุด) จะให้ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริกแตกต่างจากค่า

อ้างอิง หรือค่าระดับความสูงที่ได้จากการทำระดับ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0699 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.1766 เมตร ซึ่งผลของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับจากการวิจัย เพียงพอที่จะนำไปใช้ในเกณฑ์ของงานระดับที่ไม่ต้องการความละเอียด หรือความถูกต้องสูง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า งานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ได้ถูกนำมาแทนที่การทำระดับด้วยกล้องระดับ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริก ทั้งยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพในการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก ควรพิจารณาเลือกใช้แบบจำลองที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ความถูกต้อง ซึ่งจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพที่มีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ประเทศไทย คือ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008

2. ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย คือ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ร่วมกับการกำหนดค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่งให้มีค่าคงที่จำนวน 8 หมุด ที่มีตำแหน่งกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยให้ผลความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าความสูงออร์โทเมตริก เท่ากับ 0.1766 เมตร ซึ่งผลดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโครงการสร้างหมุดควบคุมทางดิ่งที่ต้องการความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์เดียวกับผลการวิจัยได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานระดับที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูง เช่น งานสร้างหมุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น

3. การศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ในกรณีกรณีประมวลผล โดยแยกโครงข่ายประเทศไทยออกเป็น 8 ส่วน แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 จะให้ผลลัพธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ดีกว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 มากที่สุดถึงระดับเดซิเมตร เนื่องจากจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในแต่ละส่วนของพื้นที่ยังไม่เพียงพอ ดังนั้นในการศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพในพื้นที่แต่ละส่วนของประเทศไทย ควรจะมีการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติม โดยการเพิ่มจำนวนหมุดควบคุมทางดิ่งในแต่ละส่วนของพื้นที่ให้มีปริมาณมากขึ้น แล้วทำการปรับปรุงค่าความสูงจีโออยด์ใหม่ ซึ่งควรจะทำให้ได้ผลของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ดีขึ้น และ

จะทำให้สามารถศึกษาและวิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพสำหรับพื้นที่แต่ละส่วนของประเทศไทยได้ดียิ่งขึ้น

4. ควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อสร้าง และพัฒนาแบบจำลองความสูงจีออยด์สำหรับพื้นที่ประเทศไทยขึ้นมาโดยเฉพาะ หรือที่เรียกว่าแบบจำลองความสูงจีออยด์ท้องถิ่น (Local Geoid) เพื่อประโยชน์ในงานด้านวิศวกรรมสำรวจ ในโอกาสต่อไป



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชัยวัฒน์ พรหมทอง, ศรายุทธ อยู่สำราญ, เกรียงไกร บุญเติม, และ กาญจนะดิษฐ์ ไยเกตุ. 2540. ค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS ในประเทศไทย. งานวิจัยทางวิชาการกรมแผนที่ทหาร. กรมแผนที่ทหาร, กรุงเทพฯ.

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. 2537. ยีออเดซี. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ชนัช สุขวิมลเสรี. 2540. การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของค่าความสูงออร์โทเมตริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชนัช สุขวิมลเสรี. 2547. ความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสร่วมกับแบบจำลองความสูงชีออย, น. SIE-1 to SIE-6. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, เพชรบุรี.

ชนัช สุขวิมลเสรี. 2548. การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ชลบุรี.

ชนัช สุขวิมลเสรี. 2553. เอกสารประกอบการสอนวิชา การสำรวจเพื่อการทำแผนที่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนัช สุขวิมลเสรี, อรรถวุฒิ ศรีกมลศิริศักดิ์, ณัฐกิตต์ ดำรงอุตสาหกรรมกิจ. 2553. การศึกษาเปรียบเทียบความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

ประจวบ เรียบร้อย. 2553. แบบจำลองภูมิศักย์ภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008. แหล่งที่มา:

<http://priabroy.wordpress.com/2010/01/24/การคำนวณความสูง-geoid-โดยใช้-egm>,

25 พฤษภาคม 2555.

ศรายุทธ อยู่สำราญ. 2543. การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นหลักฐานประเทศไทย: **WGS84 กับอินเดีย 1975**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สวัสดิ์ชัย เกียรติเพชร. 2535. เส้นโครงแผนที่. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุรพงษ์ รั้งนิสมบัติศิริ. 2537. การประยุกต์ใช้งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสสำหรับหมุดควบคุมทางดิ่งในโครงการสร้างอ่างเก็บน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิชาติ แสงรุ่งเรือง. 2527. การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างพื้นหลักฐานอินเดีย 2581 กับพื้นหลักฐานอินเดีย 2497. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Collins, J. 1989. Fundamentals of GPS baseline and height determinations. **Journal of Surveying Engineering** 24 (115): 223-235.

Wikipedia Organization. 2012. **Earth Gravitational Model**. Available Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Geoid>, May 25, 2012.

IERS Organization. 2003. **History of International Terrestrial Reference Frame Product**. Available Source: <http://www.ltas-vis.ulg.ac.be/cmsms/uploads/File/ITRS.pdf>, November 23, 2012.

Kavanagh, B.F. and S.J. Glenn Bird. 1989. **Surveying Principles and Application**. 5th ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

Leick, A. 1990. **GPS satellite survey**. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Milbert, D.G. 1991. Computing GPS-derived orthometric height with the GEOID90 geoid height Model, pp. A46-55. **Technical Papers of the 1991 ASCM-ASPRS Fall Convention.** 28 October to 1 November 1991, American Congress on Surveying and Mapping, Washington.

Schofield, W. 1993. **Engineering Surveying: theory and examination problems for students.** 4th ed. Copyright Licensing Agency Ltd., London.

Smith, J. R. 1935. **Introduction to geodesy: the history and concepts of modern geodesy.** John Wiley and Sons, Inc., New York.

Wolf, P.R. and C.D. Ghilani. 2006. **Elementary Surveying An Introduction To Geomatics.** 11st ed. Pearson Prentice Hall, Inc., New Jersey.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบระหว่างค่าพิกัดซึ่งได้จากการวิจัย และค่าพิกัดที่กรมที่ดินประกาศใช้

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05501	Control	2,239,130.4998	615,890.5079	2,239,130.4998	615,890.5079	0.0000	0.0000
D05502	Control	2,133,057.2153	391,166.3029	2,133,057.2153	391,166.3029	0.0000	0.0000
D05503	Control	2,027,326.8804	539,222.9459	2,027,326.8804	539,222.9459	0.0000	0.0000
D05504	Control	1,848,765.5644	456,073.6138	1,848,765.5644	456,073.6138	0.0000	0.0000
D05505	Control	1,911,802.4832	728,075.7656	1,911,802.4832	728,075.7656	0.0000	0.0000
D05506	Control	1,923,914.1296	936,410.3620	1,923,914.1296	936,410.3620	0.0000	0.0000
D05507	Control	1,957,971.8681	1,082,293.0210	1,957,971.8681	1,082,293.0210	0.0000	0.0000
D05508	Control	1,701,027.2675	608,735.7179	1,701,027.2675	608,735.7179	0.0000	0.0000
D05509	Control	1,755,144.5567	828,526.0105	1,755,144.5567	828,526.0105	0.0000	0.0000
D05510	Control	1,654,494.7786	1,083,280.1847	1,654,494.7786	1,083,280.1847	0.0000	0.0000
D05511	Control	1,547,731.9097	554,289.5077	1,547,731.9097	554,289.5077	0.0000	0.0000
D05512	Control	1,451,362.7472	721,666.3233	1,451,362.7472	721,666.3233	0.0000	0.0000
D05513	Control	1,378,995.0840	850,249.0188	1,378,995.0840	850,249.0188	0.0000	0.0000
D05514	Control	1,383,861.9774	605,962.2684	1,383,861.9774	605,962.2684	0.0000	0.0000
D05515	Control	1,172,807.4027	508,270.7591	1,172,807.4027	508,270.7591	0.0000	0.0000
D05516	Control	1,015,479.4433	592,690.7389	1,015,479.4433	592,690.7389	0.0000	0.0000
D05517	Control	857,725.3913	423,210.3691	857,725.3913	423,210.3691	0.0000	0.0000

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05518	Control	750,650.7382	736,919.5880	750,650.7382	736,919.5880	0.0000	0.0000
D05519	Adjusted	2,230,570.6819	589,255.4341	2,230,570.6723	589,255.4182	0.0096	0.0159
D05520	Adjusted	2,199,233.1408	518,072.6857	2,199,233.1436	518,072.6813	0.0028	0.0044
D05521	Adjusted	2,201,665.3847	586,323.8232	2,201,665.3830	586,323.8198	0.0017	0.0034
D05522	Adjusted	2,213,114.7799	641,274.7611	2,213,114.7741	641,274.7503	0.0058	0.0108
D05523	Adjusted	2,134,223.8276	390,626.7463	2,134,223.8304	390,626.7471	0.0028	0.0008
D05524	Adjusted	2,142,444.6047	440,011.0481	2,142,444.6090	440,011.0401	0.0043	0.0080
D05525	Adjusted	2,149,732.7501	494,838.7688	2,149,732.7526	494,838.7657	0.0025	0.0031
D05526	Adjusted	2,139,542.5938	553,521.7483	2,139,542.5933	553,521.7439	0.0005	0.0044
D05527	Adjusted	2,171,497.0613	554,363.6736	2,171,497.0616	554,363.6702	0.0003	0.0034
D05528	Adjusted	2,163,089.3803	590,950.7771	2,163,089.3855	590,950.7718	0.0052	0.0053
D05529	Adjusted	2,142,173.3913	609,348.2627	2,142,173.3920	609,348.2585	0.0007	0.0042
D05530	Adjusted	2,157,477.9666	634,765.9988	2,157,477.9904	634,765.9805	0.0238	0.0183
D05531	Adjusted	2,082,454.6881	387,998.5560	2,082,454.6889	387,998.5474	0.0008	0.0086
D05532	Adjusted	2,066,373.9720	434,230.0078	2,066,373.9838	434,229.9994	0.0118	0.0084
D05533	Adjusted	2,085,072.4081	471,754.3781	2,085,072.4159	471,754.3752	0.0078	0.0029
D05534	Adjusted	2,114,031.0055	493,879.6405	2,114,031.0047	493,879.6366	0.0008	0.0039

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05535	Adjusted	2,083,313.7848	497,039.0934	2,083,313.7896	497,039.0966	0.0048	0.0032
D05536	Adjusted	2,103,181.2455	532,571.6072	2,103,181.2477	532,571.6028	0.0022	0.0044
D05537	Adjusted	2,105,909.1278	564,127.1603	2,105,909.1287	564,127.1549	0.0009	0.0054
D05538	Adjusted	2,120,116.3541	634,301.3266	2,120,116.3643	634,301.3169	0.0102	0.0097
D05539	Adjusted	2,111,415.4349	694,377.7466	2,111,415.4397	694,377.7239	0.0048	0.0227
D05540	Adjusted	2,145,167.8040	697,393.7175	2,145,167.8056	697,393.7192	0.0016	0.0017
D05541	Adjusted	2,032,997.4770	388,690.2468	2,032,997.4824	388,690.2618	0.0054	0.0150
D05542	Adjusted	2,044,599.3463	435,342.1813	2,044,599.3467	435,342.1825	0.0004	0.0012
D05543	Adjusted	2,034,153.1366	466,234.7569	2,034,153.1369	466,234.7599	0.0003	0.0030
D05544	Adjusted	2,052,615.6433	503,442.4997	2,052,615.6433	503,442.5043	0.0000	0.0046
D05545	Adjusted	2,061,669.7541	559,270.0332	2,061,669.7581	559,270.0252	0.0040	0.0080
D05546	Adjusted	2,079,792.9932	601,041.7756	2,079,792.9998	601,041.7565	0.0066	0.0191
D05547	Adjusted	2,084,409.6518	652,441.2046	2,084,409.6596	652,441.1966	0.0078	0.0080
D05548	Adjusted	2,080,926.4574	688,451.2874	2,080,926.4648	688,451.2802	0.0074	0.0072
D05549	Adjusted	2,010,251.0363	386,899.4051	2,010,251.0363	386,899.4137	0.0000	0.0086
D05550	Adjusted	1,984,733.8050	387,930.0333	1,984,733.8094	387,930.0396	0.0044	0.0063
D05551	Adjusted	2,009,541.7888	460,981.1485	2,009,541.7933	460,981.1541	0.0045	0.0056

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05552	Adjusted	2,002,038.0119	501,180.9063	2,002,038.0146	501,180.9068	0.0027	0.0005
D05553	Adjusted	2,021,844.3458	548,807.1534	2,021,844.3507	548,807.1517	0.0049	0.0017
D05554	Adjusted	2,034,316.8367	579,067.5851	2,034,316.8413	579,067.5783	0.0046	0.0068
D05555	Adjusted	2,042,659.8934	624,896.1463	2,042,659.8916	624,896.1390	0.0018	0.0073
D05556	Adjusted	2,056,122.7214	681,364.2369	2,056,122.7151	681,364.2316	0.0063	0.0053
D05557	Adjusted	2,044,628.1767	704,924.8867	2,044,628.1719	704,924.8764	0.0048	0.0103
D05558	Adjusted	1,968,121.3920	431,864.1277	1,968,121.3845	431,864.1404	0.0075	0.0127
D05559	Adjusted	1,984,344.6645	468,085.3731	1,984,344.6565	468,085.3793	0.0080	0.0062
D05560	Adjusted	1,949,841.3753	476,329.9694	1,949,841.3627	476,329.9730	0.0126	0.0036
D05561	Adjusted	1,982,381.5582	499,501.1341	1,982,381.5514	499,501.1327	0.0068	0.0014
D05562	Adjusted	1,947,182.6853	522,906.2545	1,947,182.6764	522,906.2523	0.0089	0.0022
D05563	Adjusted	1,976,468.8991	537,621.8227	1,976,468.8946	537,621.8272	0.0045	0.0045
D05564	Adjusted	1,992,091.8248	575,382.1717	1,992,091.8241	575,382.1632	0.0007	0.0085
D05565	Adjusted	2,006,536.2729	620,658.3521	2,006,536.2640	620,658.3408	0.0089	0.0113
D05566	Adjusted	2,009,437.3344	673,390.2420	2,009,437.3273	673,390.2339	0.0071	0.0081
D05567	Adjusted	1,989,074.6045	677,490.3536	1,989,074.5902	677,490.3444	0.0143	0.0092
D05568	Adjusted	1,990,593.3808	698,121.2478	1,990,593.3721	698,121.2285	0.0087	0.0193

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05569	Adjusted	1,939,574.9773	582,773.0961	1,939,574.9707	582,773.0985	0.0066	0.0024
D05570	Adjusted	1,948,780.6645	616,272.9844	1,948,780.6565	616,272.9856	0.0080	0.0012
D05571	Adjusted	1,950,645.4154	633,042.8986	1,950,645.4074	633,042.8994	0.0080	0.0008
D05572	Adjusted	1,959,134.6760	673,737.6444	1,959,134.6676	673,737.6389	0.0084	0.0055
D05573	Adjusted	1,905,469.1467	418,094.4513	1,905,469.1402	418,094.4717	0.0065	0.0204
D05574	Adjusted	1,924,602.7601	442,946.7066	1,924,602.7531	442,946.7153	0.0070	0.0087
D05575	Adjusted	1,900,799.2267	513,975.2873	1,900,799.2230	513,975.2884	0.0037	0.0011
D05576	Adjusted	1,916,898.7186	562,702.2176	1,916,898.7111	562,702.2201	0.0075	0.0025
D05577	Adjusted	1,914,744.3256	588,356.1175	1,914,744.3169	588,356.1234	0.0087	0.0059
D05578	Adjusted	1,912,565.6257	613,146.0552	1,912,565.6152	613,146.0630	0.0105	0.0078
D05579	Adjusted	1,913,335.7207	651,071.9743	1,913,335.7208	651,071.9746	0.0001	0.0003
D05580	Adjusted	1,912,700.5810	694,088.7870	1,912,700.5761	694,088.7826	0.0049	0.0044
D05581	Adjusted	1,892,482.7693	694,329.5338	1,892,482.7699	694,329.5371	0.0006	0.0033
D05582	Adjusted	1,938,008.4865	748,980.0525	1,938,008.4776	748,980.0433	0.0089	0.0092
D05583	Adjusted	1,877,675.5226	449,759.9667	1,877,675.5222	449,759.9714	0.0004	0.0047
D05584	Adjusted	1,866,603.8116	517,919.6637	1,866,603.8079	517,919.6692	0.0037	0.0055
D05585	Adjusted	1,886,301.3836	588,351.5606	1,886,301.3784	588,351.5603	0.0052	0.0003

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05586	Adjusted	1,870,480.6988	636,882.8560	1,870,480.6966	636,882.8521	0.0022	0.0039
D05587	Adjusted	1,869,366.7501	676,672.0814	1,869,366.7480	676,672.0809	0.0021	0.0005
D05588	Adjusted	1,880,337.4428	734,322.3150	1,880,337.4354	734,322.3113	0.0074	0.0037
D05589	Adjusted	1,843,861.4527	528,006.7212	1,843,861.4353	528,006.7332	0.0174	0.0120
D05590	Adjusted	1,853,907.0421	576,873.8683	1,853,907.0373	576,873.8671	0.0048	0.0012
D05591	Adjusted	1,850,712.6929	613,781.6457	1,850,712.6917	613,781.6440	0.0012	0.0017
D05592	Adjusted	1,850,725.7249	714,849.7655	1,850,725.7261	714,849.7672	0.0012	0.0017
D05593	Adjusted	1,866,327.3011	739,297.3884	1,866,327.3089	739,297.3913	0.0078	0.0029
D05594	Adjusted	1,812,821.1505	467,318.1283	1,812,821.1462	467,318.1424	0.0043	0.0141
D05595	Adjusted	1,813,710.3969	555,629.7724	1,813,710.3988	555,629.7757	0.0019	0.0033
D05596	Adjusted	1,799,903.7469	578,303.6287	1,799,903.7433	578,303.6350	0.0036	0.0063
D05597	Adjusted	1,828,155.4874	591,428.2616	1,828,155.4850	591,428.2628	0.0024	0.0012
D05598	Adjusted	1,795,016.1736	620,499.2460	1,795,016.1675	620,499.2451	0.0061	0.0009
D05599	Adjusted	1,820,237.4914	638,193.4475	1,820,237.4901	638,193.4455	0.0013	0.0020
D05600	Adjusted	1,819,525.5858	667,569.6003	1,819,525.5761	667,569.6034	0.0097	0.0031
D05601	Adjusted	1,816,698.5542	732,527.9013	1,816,698.5496	732,527.9087	0.0046	0.0074
D05602	Adjusted	1,772,509.0050	485,043.8235	1,772,508.9991	485,043.8479	0.0059	0.0244

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05603	Adjusted	1,764,443.7040	590,062.0696	1,764,443.7027	590,062.0709	0.0013	0.0013
D05604	Adjusted	1,768,102.0794	619,402.5180	1,768,102.0735	619,402.5213	0.0059	0.0033
D05605	Adjusted	1,775,891.8288	647,577.2114	1,775,891.8260	647,577.2081	0.0028	0.0033
D05606	Adjusted	1,791,129.7933	698,193.0132	1,791,129.7881	698,193.0200	0.0052	0.0068
D05607	Adjusted	1,989,164.3957	877,042.6024	1,989,164.3817	877,042.5933	0.0140	0.0091
D05608	Adjusted	1,998,506.0686	939,125.8573	1,998,506.0615	939,125.8465	0.0071	0.0108
D05609	Adjusted	2,005,942.0769	966,827.8031	2,005,942.0720	966,827.8037	0.0049	0.0006
D05610	Adjusted	1,985,382.2155	1,025,102.1065	1,985,382.2102	1,025,102.1063	0.0053	0.0002
D05611	Adjusted	1,974,949.9019	781,987.7093	1,974,949.8899	781,987.7042	0.0120	0.0051
D05612	Adjusted	1,967,471.8286	838,246.7841	1,967,471.8175	838,246.7742	0.0111	0.0099
D05613	Adjusted	1,960,890.4361	914,699.8416	1,960,890.4304	914,699.8322	0.0057	0.0094
D05614	Adjusted	1,955,178.4452	950,578.4963	1,955,178.4393	950,578.5003	0.0059	0.0040
D05615	Adjusted	1,951,131.8373	982,986.7702	1,951,131.8328	982,986.7653	0.0045	0.0049
D05616	Adjusted	1,955,685.1271	1,004,681.4006	1,955,685.1182	1,004,681.4051	0.0089	0.0045
D05617	Adjusted	1,955,944.8654	1,025,446.0357	1,955,944.8637	1,025,446.0374	0.0017	0.0017
D05618	Adjusted	1,935,398.4301	788,816.6256	1,935,398.4260	788,816.6330	0.0041	0.0074
D05619	Adjusted	1,913,748.1198	795,015.3379	1,913,748.1269	795,015.3499	0.0071	0.0120

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05620	Adjusted	1,916,247.6771	838,986.3358	1,916,247.6805	838,986.3207	0.0034	0.0151
D05621	Adjusted	1,908,196.8216	869,387.0757	1,908,196.8234	869,387.0685	0.0018	0.0072
D05622	Adjusted	1,929,086.0836	901,757.7321	1,929,086.0809	901,757.7174	0.0027	0.0147
D05623	Adjusted	1,924,564.9446	927,601.8043	1,924,564.9453	927,601.8005	0.0007	0.0038
D05624	Adjusted	1,920,330.4279	972,311.6459	1,920,330.4268	972,311.6423	0.0011	0.0036
D05625	Adjusted	1,925,501.3982	1,017,670.9965	1,925,501.3947	1,017,670.9910	0.0035	0.0055
D05626	Adjusted	1,915,983.5603	1,047,395.0578	1,915,983.5617	1,047,395.0527	0.0014	0.0051
D05627	Adjusted	1,908,455.1051	1,088,289.6854	1,908,455.1099	1,088,289.6788	0.0048	0.0066
D05628	Adjusted	1,868,404.3608	805,591.3153	1,868,404.3679	805,591.3171	0.0071	0.0018
D05629	Adjusted	1,871,311.5094	881,487.2065	1,871,311.5147	881,487.2050	0.0053	0.0015
D05630	Adjusted	1,863,163.2322	910,566.6677	1,863,163.2362	910,566.6677	0.0040	0.0000
D05631	Adjusted	1,848,535.2296	930,789.1338	1,848,535.2379	930,789.1347	0.0083	0.0009
D05632	Adjusted	1,881,684.7033	949,368.9868	1,881,684.7053	949,368.9905	0.0020	0.0037
D05633	Adjusted	1,852,323.8709	982,093.5527	1,852,323.8781	982,093.5563	0.0072	0.0036
D05634	Adjusted	1,892,067.7564	1,012,558.4708	1,892,067.7585	1,012,558.4672	0.0021	0.0036
D05635	Adjusted	1,868,097.6151	1,090,977.7255	1,868,097.6264	1,090,977.7095	0.0113	0.0160
D05636	Adjusted	1,836,037.6512	811,515.1653	1,836,037.6563	811,515.1572	0.0051	0.0081

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05637	Adjusted	1,806,263.5281	816,733.7517	1,806,263.5317	816,733.7503	0.0036	0.0014
D05638	Adjusted	1,834,410.0891	831,818.8008	1,834,410.0994	831,818.7985	0.0103	0.0023
D05639	Adjusted	1,812,366.8788	835,452.1316	1,812,366.8844	835,452.1258	0.0056	0.0058
D05640	Adjusted	1,825,991.8953	862,613.4862	1,825,991.9023	862,613.4816	0.0070	0.0046
D05641	Adjusted	1,788,193.5137	879,099.0039	1,788,193.5204	879,098.9960	0.0067	0.0079
D05642	Adjusted	1,810,161.7195	908,608.1317	1,810,161.7304	908,608.1318	0.0109	0.0001
D05643	Adjusted	1,800,814.1052	934,894.9753	1,800,814.1150	934,894.9776	0.0098	0.0023
D05644	Adjusted	1,822,314.4172	965,393.9599	1,822,314.4246	965,393.9584	0.0074	0.0015
D05645	Adjusted	1,826,020.5722	983,366.6640	1,826,020.5796	983,366.6658	0.0074	0.0018
D05646	Adjusted	1,835,183.6657	1,039,886.3897	1,835,183.6804	1,039,886.3855	0.0147	0.0042
D05647	Adjusted	1,809,287.4739	1,045,638.7586	1,809,287.4815	1,045,638.7568	0.0076	0.0018
D05648	Adjusted	1,801,897.8070	1,092,856.2506	1,801,897.8215	1,092,856.2382	0.0145	0.0124
D05649	Adjusted	1,840,285.4430	1,108,515.5312	1,840,285.4560	1,108,515.5123	0.0130	0.0189
D05650	Adjusted	1,807,553.3410	1,140,527.3327	1,807,553.3583	1,140,527.3121	0.0173	0.0206
D05651	Adjusted	1,751,987.4564	887,606.1192	1,751,987.4620	887,606.1137	0.0056	0.0055
D05652	Adjusted	1,728,554.0685	890,600.5959	1,728,554.0662	890,600.5899	0.0023	0.0060
D05653	Adjusted	1,739,088.9459	921,578.3240	1,739,088.9438	921,578.3198	0.0021	0.0042

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05654	Adjusted	1,754,814.6870	929,387.4023	1,754,814.6899	929,387.3936	0.0029	0.0087
D05655	Adjusted	1,778,841.4568	937,319.9414	1,778,841.4644	937,319.9331	0.0076	0.0083
D05656	Adjusted	1,732,552.2601	955,241.3310	1,732,552.2597	955,241.3258	0.0004	0.0052
D05657	Adjusted	1,733,317.2740	965,936.3458	1,733,317.2769	965,936.3440	0.0029	0.0018
D05658	Adjusted	1,777,207.6534	966,156.4021	1,777,207.6610	966,156.3963	0.0076	0.0058
D05659	Adjusted	1,782,789.6678	991,240.9987	1,782,789.6729	991,241.0008	0.0051	0.0021
D05660	Adjusted	1,763,178.9776	994,454.6330	1,763,178.9807	994,454.6273	0.0031	0.0057
D05661	Adjusted	1,764,313.7130	1,007,610.8369	1,764,313.7207	1,007,610.8309	0.0077	0.0060
D05662	Adjusted	1,751,491.9513	1,016,676.7612	1,751,491.9518	1,016,676.7545	0.0005	0.0067
D05663	Adjusted	1,783,168.8512	1,028,273.1198	1,783,168.8600	1,028,273.1154	0.0088	0.0044
D05664	Adjusted	1,753,856.8156	1,051,009.3138	1,753,856.8260	1,051,009.3095	0.0104	0.0043
D05665	Adjusted	1,782,676.2737	1,069,009.6863	1,782,676.2827	1,069,009.6772	0.0090	0.0091
D05666	Adjusted	1,761,863.7513	1,098,622.3725	1,761,863.7664	1,098,622.3582	0.0151	0.0143
D05667	Adjusted	1,764,206.3164	1,107,036.3030	1,764,206.3354	1,107,036.2871	0.0190	0.0159
D05668	Adjusted	1,761,498.3842	1,121,175.1165	1,761,498.4051	1,121,175.1012	0.0209	0.0153
D05669	Adjusted	1,755,773.0828	1,167,529.4007	1,755,773.1018	1,167,529.3792	0.0190	0.0215
D05670	Adjusted	1,693,364.0910	896,617.1575	1,693,364.0904	896,617.1552	0.0006	0.0023

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05671	Adjusted	1,703,236.6588	965,934.2904	1,703,236.6524	965,934.2901	0.0064	0.0003
D05672	Adjusted	1,720,664.4518	989,457.3732	1,720,664.4588	989,457.3721	0.0070	0.0011
D05673	Adjusted	1,722,417.4152	1,019,985.4539	1,722,417.4219	1,019,985.4529	0.0067	0.0010
D05674	Adjusted	1,724,858.4661	1,041,619.3857	1,724,858.4695	1,041,619.3835	0.0034	0.0022
D05675	Adjusted	1,737,666.2397	1,069,715.5471	1,737,666.2446	1,069,715.5414	0.0049	0.0057
D05676	Adjusted	1,738,583.7649	1,102,061.5202	1,738,583.7787	1,102,061.5057	0.0138	0.0145
D05677	Adjusted	1,737,471.4247	1,130,340.3138	1,737,471.4397	1,130,340.2937	0.0150	0.0201
D05678	Adjusted	1,662,551.5639	893,222.4351	1,662,551.5627	893,222.4263	0.0012	0.0088
D05679	Adjusted	1,664,951.6136	913,494.8993	1,664,951.6099	913,494.8985	0.0037	0.0008
D05680	Adjusted	1,661,724.9809	934,757.0945	1,661,724.9749	934,757.0991	0.0060	0.0046
D05681	Adjusted	1,659,745.4253	988,432.8973	1,659,745.4103	988,432.8894	0.0150	0.0079
D05682	Adjusted	1,663,754.1091	1,012,389.7201	1,663,754.1128	1,012,389.7216	0.0037	0.0015
D05683	Adjusted	1,697,504.0794	1,051,046.5704	1,697,504.0848	1,051,046.5681	0.0054	0.0023
D05684	Adjusted	1,682,265.3883	1,068,842.1146	1,682,265.3873	1,068,842.1145	0.0010	0.0001
D05685	Adjusted	1,673,652.6603	1,069,626.0438	1,673,652.6640	1,069,626.0433	0.0037	0.0005
D05686	Adjusted	1,690,501.7763	1,082,127.3723	1,690,501.7797	1,082,127.3689	0.0034	0.0034
D05687	Adjusted	1,714,493.4097	1,093,893.9112	1,714,493.4159	1,093,893.9002	0.0062	0.0110

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05688	Adjusted	1,699,546.0237	1,127,743.6991	1,699,546.0249	1,127,743.6831	0.0012	0.0160
D05689	Adjusted	1,713,084.7539	1,137,053.5386	1,713,084.7610	1,137,053.5223	0.0071	0.0163
D05690	Adjusted	1,694,331.5023	1,168,479.4452	1,694,331.5009	1,168,479.4497	0.0014	0.0045
D05691	Adjusted	1,717,493.7098	1,176,859.9022	1,717,493.7042	1,176,859.8995	0.0056	0.0027
D05692	Adjusted	1,626,727.2703	880,638.8711	1,626,727.2732	880,638.8655	0.0029	0.0056
D05693	Adjusted	1,621,166.0459	937,454.5605	1,621,166.0520	937,454.5588	0.0061	0.0017
D05694	Adjusted	1,598,463.5843	947,713.3862	1,598,463.5837	947,713.3757	0.0006	0.0105
D05695	Adjusted	1,619,462.3824	966,264.4930	1,619,462.3895	966,264.4882	0.0071	0.0048
D05696	Adjusted	1,623,214.7886	974,750.6789	1,623,214.7840	974,750.6766	0.0046	0.0023
D05697	Adjusted	1,610,888.6670	988,969.9167	1,610,888.6817	988,969.9150	0.0147	0.0017
D05698	Adjusted	1,627,058.9660	1,019,583.3470	1,627,058.9711	1,019,583.3429	0.0051	0.0041
D05699	Adjusted	1,625,991.7288	1,059,870.0090	1,625,991.7338	1,059,870.0073	0.0050	0.0017
D05700	Adjusted	1,632,522.9704	1,101,552.8433	1,632,522.9766	1,101,552.8402	0.0062	0.0031
D05701	Adjusted	1,649,703.3248	1,145,935.0222	1,649,703.3335	1,145,935.0027	0.0087	0.0195
D05702	Adjusted	1,652,710.7000	760,647.2918	1,652,710.7058	760,647.2908	0.0058	0.0010
D05703	Adjusted	1,681,209.3389	796,655.4340	1,681,209.3436	796,655.4314	0.0047	0.0026
D05704	Adjusted	1,650,104.9968	811,044.3614	1,650,104.9982	811,044.3586	0.0014	0.0028

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05705	Adjusted	1,706,924.7330	835,887.9053	1,706,924.7324	835,887.8970	0.0006	0.0083
D05706	Adjusted	1,661,068.0285	837,366.0748	1,661,068.0316	837,366.0660	0.0031	0.0088
D05707	Adjusted	1,699,442.2593	869,188.1919	1,699,442.2588	869,188.1827	0.0005	0.0092
D05708	Adjusted	1,599,093.7430	676,401.9170	1,599,093.7329	676,401.9116	0.0101	0.0054
D05709	Adjusted	1,628,602.8354	693,446.7890	1,628,602.8307	693,446.7900	0.0047	0.0010
D05710	Adjusted	1,576,718.8657	725,991.7771	1,576,718.8664	725,991.7726	0.0007	0.0045
D05711	Adjusted	1,620,768.8407	744,535.7871	1,620,768.8436	744,535.7834	0.0029	0.0037
D05712	Adjusted	1,623,080.7731	762,793.3955	1,623,080.7747	762,793.3949	0.0016	0.0006
D05713	Adjusted	1,568,005.9833	778,690.3372	1,568,005.9866	778,690.3307	0.0033	0.0065
D05714	Adjusted	1,591,034.4800	809,051.0690	1,591,034.4845	809,051.0632	0.0045	0.0058
D05715	Adjusted	1,564,611.9026	810,497.3710	1,564,611.8999	810,497.3674	0.0027	0.0036
D05716	Adjusted	1,631,918.3332	840,803.6596	1,631,918.3317	840,803.6541	0.0015	0.0055
D05717	Adjusted	1,585,550.9893	869,806.5159	1,585,550.9914	869,806.5076	0.0021	0.0083
D05718	Adjusted	1,555,371.5638	907,578.7761	1,555,371.5661	907,578.7641	0.0023	0.0120
D05719	Adjusted	1,550,067.6384	704,726.4330	1,550,067.6373	704,726.4313	0.0011	0.0017
D05720	Adjusted	1,549,025.6441	749,718.9201	1,549,025.6403	749,718.9167	0.0038	0.0034
D05721	Adjusted	1,540,453.6742	789,653.9120	1,540,453.6710	789,653.9082	0.0032	0.0038

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05722	Adjusted	1,528,462.5243	834,838.4587	1,528,462.5263	834,838.4511	0.0020	0.0076
D05723	Adjusted	1,517,415.0619	879,870.4211	1,517,415.0658	879,870.4062	0.0039	0.0149
D05724	Adjusted	1,473,188.2343	711,237.1008	1,473,188.2349	711,237.1068	0.0006	0.0060
D05725	Adjusted	1,511,304.8774	722,442.0420	1,511,304.8777	722,442.0353	0.0003	0.0067
D05726	Adjusted	1,487,845.2649	735,181.1235	1,487,845.2664	735,181.1190	0.0015	0.0045
D05727	Adjusted	1,506,906.1487	762,368.4097	1,506,906.1513	762,368.4038	0.0026	0.0059
D05728	Adjusted	1,476,487.0965	775,580.3846	1,476,487.1004	775,580.3740	0.0039	0.0106
D05729	Adjusted	1,498,514.8827	819,774.7942	1,498,514.8800	819,774.7921	0.0027	0.0021
D05730	Adjusted	1,489,156.8686	850,196.5065	1,489,156.8696	850,196.5011	0.0010	0.0054
D05731	Adjusted	1,455,710.7762	749,272.5945	1,455,710.7795	749,272.5759	0.0033	0.0186
D05732	Adjusted	1,447,046.9787	760,725.8229	1,447,046.9819	760,725.8176	0.0032	0.0053
D05733	Adjusted	1,444,658.4100	800,891.9187	1,444,658.4098	800,891.9137	0.0002	0.0050
D05734	Adjusted	1,428,955.1553	854,214.6257	1,428,955.1480	854,214.6295	0.0073	0.0038
D05735	Adjusted	1,418,992.8651	709,555.2412	1,418,992.8655	709,555.2459	0.0004	0.0047
D05736	Adjusted	1,405,523.1972	760,914.4202	1,405,523.1996	760,914.4201	0.0024	0.0001
D05737	Adjusted	1,407,277.1095	800,876.1380	1,407,277.1087	800,876.1377	0.0008	0.0003
D05738	Adjusted	1,397,156.3283	834,720.3752	1,397,156.3204	834,720.3919	0.0079	0.0167

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05739	Adjusted	1,371,765.2637	875,594.6805	1,371,765.2621	875,594.6844	0.0016	0.0039
D05740	Adjusted	1,355,257.7176	883,591.6807	1,355,257.7150	883,591.6849	0.0026	0.0042
D05741	Adjusted	1,391,701.2851	883,493.2714	1,391,701.2854	883,493.2740	0.0003	0.0026
D05742	Adjusted	1,744,512.7354	556,151.6442	1,744,512.7360	556,151.6551	0.0006	0.0109
D05743	Adjusted	1,741,396.8925	584,514.8954	1,741,396.8940	584,514.8984	0.0015	0.0030
D05744	Adjusted	1,735,972.3509	622,745.3756	1,735,972.3458	622,745.3734	0.0051	0.0022
D05745	Adjusted	1,754,647.4385	671,253.3828	1,754,647.4367	671,253.3858	0.0018	0.0030
D05746	Adjusted	1,763,793.9417	697,486.3012	1,763,793.9378	697,486.3062	0.0039	0.0050
D05747	Adjusted	1,768,026.5735	721,934.9970	1,768,026.5707	721,935.0032	0.0028	0.0062
D05748	Adjusted	1,790,003.1922	729,644.5929	1,790,003.1884	729,644.5972	0.0038	0.0043
D05749	Adjusted	1,779,617.0680	794,928.4362	1,779,617.0650	794,928.4345	0.0030	0.0017
D05750	Adjusted	1,787,336.7868	852,210.4363	1,787,336.7870	852,210.4317	0.0002	0.0046
D05751	Adjusted	1,682,840.7206	440,602.0788	1,682,840.7201	440,602.1050	0.0005	0.0262
D05752	Adjusted	1,672,353.6267	556,814.6149	1,672,353.6236	556,814.6226	0.0031	0.0077
D05753	Adjusted	1,708,461.5654	561,796.4102	1,708,461.5662	561,796.4200	0.0008	0.0098
D05754	Adjusted	1,691,412.7865	648,975.5720	1,691,412.7888	648,975.5690	0.0023	0.0030
D05755	Adjusted	1,724,443.3644	655,729.2646	1,724,443.3635	655,729.2664	0.0009	0.0018

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05756	Adjusted	1,714,030.0595	676,692.1089	1,714,030.0625	676,692.1131	0.0030	0.0042
D05757	Adjusted	1,738,825.8833	697,742.1851	1,738,825.8833	697,742.1844	0.0000	0.0007
D05758	Adjusted	1,709,503.3410	721,717.3901	1,709,503.3400	721,717.3914	0.0010	0.0013
D05759	Adjusted	1,734,937.2835	727,840.0515	1,734,937.2858	727,840.0527	0.0023	0.0012
D05760	Adjusted	1,745,898.7956	745,336.3955	1,745,898.8003	745,336.4033	0.0047	0.0078
D05761	Adjusted	1,744,739.9806	756,709.3820	1,744,739.9788	756,709.3808	0.0018	0.0012
D05762	Adjusted	1,744,320.9790	797,125.9981	1,744,320.9764	797,125.9951	0.0026	0.0030
D05763	Adjusted	1,746,645.6288	811,727.4304	1,746,645.6300	811,727.4257	0.0012	0.0047
D05764	Adjusted	1,747,294.5226	842,718.1160	1,747,294.5230	842,718.1118	0.0004	0.0042
D05765	Adjusted	1,627,063.0036	463,311.8220	1,627,063.0077	463,311.8482	0.0041	0.0262
D05766	Adjusted	1,600,906.3395	483,558.9971	1,600,906.3444	483,559.0188	0.0049	0.0217
D05767	Adjusted	1,614,038.2724	512,280.9920	1,614,038.2766	512,281.0090	0.0042	0.0170
D05768	Adjusted	1,610,569.7465	551,161.2636	1,610,569.7475	551,161.2751	0.0010	0.0115
D05769	Adjusted	1,639,184.5284	574,266.8204	1,639,184.5282	574,266.8300	0.0002	0.0096
D05770	Adjusted	1,622,797.4724	591,519.2602	1,622,797.4713	591,519.2649	0.0011	0.0047
D05771	Adjusted	1,641,799.7983	617,978.7565	1,641,799.8006	617,978.7523	0.0023	0.0042
D05772	Adjusted	1,622,722.5562	630,508.0044	1,622,722.5528	630,508.0022	0.0034	0.0022

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05774	Adjusted	1,640,006.5822	651,363.7289	1,640,006.5834	651,363.7235	0.0012	0.0054
D05775	Adjusted	1,618,031.4070	653,104.6925	1,618,031.4028	653,104.6884	0.0042	0.0041
D05776	Adjusted	1,661,345.7016	681,027.2797	1,661,345.7012	681,027.2816	0.0004	0.0019
D05777	Adjusted	1,636,481.1738	684,307.6801	1,636,481.1747	684,307.6738	0.0009	0.0063
D05778	Adjusted	1,646,677.7866	709,569.2576	1,646,677.7879	709,569.2598	0.0013	0.0022
D05779	Adjusted	1,682,318.0449	733,001.3365	1,682,318.0452	733,001.3374	0.0003	0.0009
D05780	Adjusted	1,706,173.0365	771,630.8980	1,706,173.0366	771,630.8984	0.0001	0.0004
D05781	Adjusted	1,718,580.6286	803,558.9635	1,718,580.6265	803,558.9641	0.0021	0.0006
D05782	Adjusted	1,560,763.7384	515,402.7993	1,560,763.7422	515,402.8087	0.0038	0.0094
D05783	Adjusted	1,564,012.4350	542,304.5081	1,564,012.4420	542,304.5198	0.0070	0.0117
D05784	Adjusted	1,567,250.6530	572,058.4818	1,567,250.6560	572,058.4911	0.0030	0.0093
D05785	Adjusted	1,595,375.1049	622,657.5594	1,595,375.1024	622,657.5594	0.0025	0.0000
D05786	Adjusted	1,566,364.8864	640,632.9111	1,566,364.8851	640,632.9032	0.0013	0.0079
D05787	Adjusted	1,594,008.9636	655,228.6416	1,594,008.9616	655,228.6336	0.0020	0.0080
D05788	Adjusted	1,588,502.7993	680,056.5963	1,588,502.7971	680,056.5920	0.0022	0.0043
D05789	Adjusted	1,533,703.7071	576,737.7677	1,533,703.7068	576,737.7759	0.0003	0.0082
D05790	Adjusted	1,546,044.2310	607,496.2007	1,546,044.2329	607,496.2004	0.0019	0.0003

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05791	Adjusted	1,525,534.2189	616,917.4115	1,525,534.2237	616,917.4171	0.0048	0.0056
D05792	Adjusted	1,544,050.4957	666,447.5861	1,544,050.4936	666,447.5818	0.0021	0.0043
D05793	Adjusted	1,505,516.5242	543,701.5527	1,505,516.5265	543,701.5645	0.0023	0.0118
D05794	Adjusted	1,472,623.6850	560,391.8581	1,472,623.6890	560,391.8626	0.0040	0.0045
D05795	Adjusted	1,499,543.5002	584,068.7429	1,499,543.4988	584,068.7419	0.0014	0.0010
D05796	Adjusted	1,511,947.6598	587,987.6475	1,511,947.6620	587,987.6464	0.0022	0.0011
D05797	Adjusted	1,481,538.1370	611,986.7540	1,481,538.1403	611,986.7439	0.0033	0.0101
D05798	Adjusted	1,497,686.0701	616,042.5169	1,497,686.0680	616,042.5094	0.0021	0.0075
D05799	Adjusted	1,487,205.1674	624,536.8227	1,487,205.1635	624,536.8142	0.0039	0.0085
D05800	Adjusted	1,500,490.7697	645,242.1181	1,500,490.7715	645,242.1138	0.0018	0.0043
D05801	Adjusted	1,505,686.3981	688,510.3995	1,505,686.4012	688,510.3982	0.0031	0.0013
D05802	Adjusted	1,517,593.0131	692,560.2042	1,517,593.0149	692,560.2021	0.0018	0.0021
D05803	Adjusted	1,445,652.6218	603,358.8353	1,445,652.6264	603,358.8230	0.0046	0.0123
D05804	Adjusted	1,437,239.2423	611,273.8970	1,437,239.2430	611,273.8950	0.0007	0.0020
D05805	Adjusted	1,428,655.7305	576,929.8557	1,428,655.7330	576,929.8556	0.0025	0.0001
D05806	Adjusted	1,409,109.8440	604,031.6229	1,409,109.8441	604,031.6214	0.0001	0.0015
D05807	Adjusted	1,385,209.7476	559,543.3297	1,385,209.7435	559,543.3315	0.0041	0.0018

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05808	Adjusted	1,367,998.6771	607,720.4457	1,367,998.6728	607,720.4483	0.0043	0.0026
D05809	Adjusted	1,352,515.1797	595,630.1503	1,352,515.1798	595,630.1432	0.0001	0.0071
D05810	Adjusted	1,337,576.1836	592,948.0564	1,337,576.1816	592,948.0500	0.0020	0.0064
D05811	Adjusted	1,335,395.5329	587,852.3069	1,335,395.5323	587,852.2982	0.0006	0.0087
D05812	Adjusted	1,305,273.7115	586,837.6947	1,305,273.7145	586,837.6915	0.0030	0.0032
D05813	Adjusted	1,303,501.9383	577,820.8047	1,303,501.9424	577,820.7989	0.0041	0.0058
D05814	Adjusted	1,277,676.9919	570,002.4138	1,277,676.9976	570,002.4072	0.0057	0.0066
D05815	Adjusted	1,267,465.5461	557,107.6754	1,267,465.5514	557,107.6742	0.0053	0.0012
D05816	Adjusted	1,261,193.3273	559,702.6945	1,261,193.3360	559,702.6912	0.0087	0.0033
D05817	Adjusted	1,246,517.8454	547,914.3605	1,246,517.8471	547,914.3550	0.0017	0.0055
D05818	Adjusted	1,240,821.3637	560,413.9292	1,240,821.3670	560,413.9325	0.0033	0.0033
D05819	Adjusted	1,228,073.4922	539,580.9370	1,228,073.4839	539,580.9322	0.0083	0.0048
D05820	Adjusted	1,224,712.5103	551,640.3519	1,224,712.5096	551,640.3491	0.0007	0.0028
D05821	Adjusted	1,215,425.8722	539,718.9949	1,215,425.8696	539,718.9904	0.0026	0.0045
D05822	Adjusted	1,185,674.7308	529,107.7755	1,185,674.7296	529,107.7674	0.0012	0.0081
D05823	Adjusted	1,182,582.6955	513,943.2132	1,182,582.6910	513,943.2076	0.0045	0.0056
D05824	Adjusted	1,161,636.7155	510,902.5923	1,161,636.7233	510,902.5890	0.0078	0.0033

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05825	Adjusted	1,150,809.6849	475,933.9798	1,150,809.6949	475,933.9816	0.0100	0.0018
D05826	Adjusted	1,131,565.1261	512,067.5768	1,131,565.1337	512,067.5734	0.0076	0.0034
D05827	Adjusted	1,118,396.7397	470,794.0530	1,118,396.7483	470,794.0581	0.0086	0.0051
D05828	Adjusted	1,103,959.2782	506,591.7727	1,103,959.2895	506,591.7681	0.0113	0.0046
D05829	Adjusted	1,088,736.9343	478,469.1569	1,088,736.9464	478,469.1608	0.0121	0.0039
D05830	Adjusted	1,068,920.5068	515,904.8981	1,068,920.5284	515,904.8986	0.0216	0.0005
D05831	Adjusted	1,058,048.3763	518,141.6324	1,058,048.3877	518,141.6339	0.0114	0.0015
D05832	Adjusted	1,045,190.8120	445,059.4963	1,045,190.8251	445,059.5057	0.0131	0.0094
D05833	Adjusted	1,041,666.5214	504,097.2126	1,041,666.5253	504,097.2177	0.0039	0.0051
D05834	Adjusted	1,035,285.2798	519,202.1241	1,035,285.2896	519,202.1278	0.0098	0.0037
D05835	Adjusted	1,008,302.8425	522,475.1465	1,008,302.8529	522,475.1532	0.0104	0.0067
D05836	Adjusted	1,012,708.2157	554,104.5666	1,012,708.2240	554,104.5778	0.0083	0.0112
D05837	Adjusted	989,326.7537	598,623.7772	989,326.7493	598,623.7842	0.0044	0.0070
D05838	Adjusted	976,414.6920	421,013.6418	976,414.6956	421,013.6470	0.0036	0.0052
D05839	Adjusted	961,432.7609	435,068.0530	961,432.7683	435,068.0532	0.0074	0.0002
D05840	Adjusted	981,963.3301	463,529.5734	981,963.3397	463,529.5804	0.0096	0.0070
D05841	Adjusted	996,607.8242	496,216.9882	996,607.8280	496,216.9933	0.0038	0.0051

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05842	Adjusted	968,658.2687	539,840.2666	968,658.2778	539,840.2753	0.0091	0.0087
D05843	Adjusted	949,921.7571	584,103.2530	949,921.7640	584,103.2591	0.0069	0.0061
D05844	Adjusted	942,497.3149	607,088.8232	942,497.3128	607,088.8355	0.0021	0.0123
D05845	Adjusted	927,965.6131	418,498.8528	927,965.6236	418,498.8639	0.0105	0.0111
D05846	Adjusted	926,219.4422	469,577.8019	926,219.4396	469,577.8152	0.0026	0.0133
D05847	Adjusted	939,200.1656	481,801.4656	939,200.1607	481,801.4721	0.0049	0.0065
D05848	Adjusted	898,406.6831	485,181.4550	898,406.6842	485,181.4661	0.0011	0.0111
D05849	Adjusted	889,769.8899	526,429.1247	889,769.8982	526,429.1416	0.0083	0.0169
D05850	Adjusted	935,574.3396	539,378.6819	935,574.3348	539,378.6849	0.0048	0.0030
D05851	Adjusted	883,096.2680	568,572.3143	883,096.2645	568,572.3158	0.0165	0.0015
D05852	Adjusted	904,162.5013	594,155.6630	904,162.5019	594,155.6682	0.0006	0.0052
D05853	Adjusted	890,005.4108	607,887.6932	890,005.4134	607,887.7094	0.0026	0.0162
D05854	Adjusted	911,531.8734	631,581.7143	911,531.8764	631,581.7257	0.0030	0.0114
D05855	Adjusted	869,604.2469	641,533.1899	869,604.2479	641,533.1997	0.0010	0.0098
D05856	Adjusted	884,051.3142	423,659.7749	884,051.3134	423,659.7862	0.0008	0.0113
D05857	Adjusted	877,588.5769	433,304.9418	877,588.5781	433,304.9526	0.0012	0.0108
D05858	Adjusted	865,762.7648	433,889.1886	865,762.7645	433,889.1956	0.0003	0.0070

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Point ID	Point Class	Coordinates Zone 47 (m.)				Different of Horizontal Coordinate (m.)	
		Coordinates from Department of Land		Coordinates from Research		Diff. N	Diff. E
		N	E	N	E		
D05859	Adjusted	863,710.1148	521,173.9819	863,710.1287	521,173.9894	0.0139	0.0075
D05860	Adjusted	836,915.3019	568,884.5540	836,915.3071	568,884.5541	0.0052	0.0001
D05861	Adjusted	860,825.3171	573,614.1923	860,825.3289	573,614.2001	0.0118	0.0078
D05862	Adjusted	841,900.0975	618,240.3488	841,900.1034	618,240.3645	0.0059	0.0157
D05863	Adjusted	826,707.2815	658,682.1218	826,707.2849	658,682.1301	0.0034	0.0083
D05864	Adjusted	813,190.7127	557,889.2528	813,190.7212	557,889.2519	0.0085	0.0009
D05865	Adjusted	809,789.6758	588,310.0509	809,789.6833	588,310.0731	0.0075	0.0222
D05866	Adjusted	798,039.5465	632,320.3079	798,039.5531	632,320.3207	0.0066	0.0128
D05867	Adjusted	785,868.3065	680,303.6846	785,868.3132	680,303.6895	0.0067	0.0049
D05868	Adjusted	769,665.8298	585,497.0973	769,665.8390	585,497.1065	0.0092	0.0092
D05869	Adjusted	731,577.3097	617,872.4588	731,577.3222	617,872.4680	0.0125	0.0092
D05870	Adjusted	755,400.1795	621,447.3574	755,400.1859	621,447.3714	0.0064	0.0140
D05871	Adjusted	722,728.2431	656,632.0702	722,728.2561	656,632.0793	0.0130	0.0091
MAX.						0.0238	0.0262
MIN.						0.0000	0.0000
MEAN						0.0050	0.0062
S.D.						0.0042	0.0051

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายสิวะ เทียมภัก
เกิดวันที่	9 เมษายน 2532
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสำรวจ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-

