

การสร้างพื้นผิวค่าแก้สำหรับแบบจำลองยี่ห้อ TGM2017 โดยใช้สถานีร่วมค่าความสูงเหนือทรวงรี
และความสูงออร์โทเมตริก พื้นที่ศึกษา : ปทุมธานี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Generating correction surface for TGM2017 geoid model by using co-station of
ellipsoidal height and orthometric height study case : Pathumthani province



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

Department of Survey Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างพื้นผิวค่าแก้สำหรับแบบจำลองยี่ออยด์ TGM2017 โดยใช้สถานีร่วมค่าความสูงเหนือทรวงรีและความสูงออร์โท เมตริก พื้นที่ศึกษา : ปทุมธานี
โดย	นายฐิติน บัวทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา)

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

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีทัต เจริญกาลัญญาตา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พุทธิพล ดำรงชัย)

ฐิติน บัวทอง : การสร้างพื้นผิวค่าแก้สำหรับแบบจำลองย็อยด์ TGM2017 โดยใช้สถานี
ร่วมค่าความสูงเหนือทรวงรีและความสูงออร์โทเมตริก พื้นที่ศึกษา : ปทุมธานี. (
Generating correction surface for TGM2017 geoid model by using co-
station of ellipsoidal height and orthometric height study case :
Pathumthani province) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

ปัจจุบันการสำรวจรังวัดค่าความสูงของภูมิประเทศ หรือ ความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric Height) นอกเหนือการรังวัดด้วยอุปกรณ์ประเภทกล้องสำรวจ ยังมีการใช้งานที่แพร่หลายของสมการค่าต่างระหว่างค่าความสูงย็อยด์จากแบบจำลองความสูงย็อยด์ และความสูงทรวงรีที่ได้จากการรังวัดโดยระบบนำทางด้วยดาวเทียม (GNSS) ซึ่งมีความรวดเร็วสูง และประหยัดงบประมาณกว่าโดยรวม อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวมีความคาดเคลื่อนขนาดใหญ่ที่เกิดจากการประมาณค่าผิวย็อยด์ จึงทำให้การรังวัดค่าระดับออร์โทเมตริกด้วย GNSS จากสถานีฐานรับสัญญาณดาวเทียมถาวร (CORS) ไม่ผ่านเกณฑ์การรังวัดค่าระดับตามมาตรฐานในพื้นที่ขนาดเล็ก เช่น ภายในขอบเขตงานก่อสร้าง

ดังนั้นการศึกษานี้ จึงมุ่งเน้นในการสร้างแบบจำลองความสูงย็อยด์ที่พอดีที่สุด (Best Fit) ในพื้นที่ศึกษา โดยการใช้การประมาณค่าภายใน (Interpolation) ด้วยวิธีคริกกิง (Kriging method) สร้างพื้นผิวค่าแก้สำหรับแบบจำลองความสูงย็อยด์ TGM2017 จากสถานีร่วมความสูงออร์โทเมตริกและความสูงเหนือทรวงรี เพื่อกำจัดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่จากการประมาณค่าแบบจำลองย็อยด์ ส่งผลให้วิธีการรังวัดค่าความสูงภูมิประเทศโดยการใช้ GNSS มีความถูกต้องทางดิ่งผ่านเกณฑ์งานระดับ งานวิจัยนี้พบว่าหลังจากปรับใช้ค่าแก้ความสูงย็อยด์ ส่งผลให้การตรวจสอบความถูกต้องจากค่ารากที่สองของค่าความคาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ลดลงถึงร้อยละ 88.4 และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ลดลงถึงร้อยละ 82.6 โดยทุกจุดตรวจสอบในพื้นที่ศึกษามีค่าความถูกต้องทางดิ่งผ่านมาตรฐานเกณฑ์งานระดับทั้งหมด

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6270379821 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: Geoid model&Orthometric height&Geoid correction surface&Kriging

Titin Buatong : Generating correction surface for TGM2017 geoid model by using co-station of ellipsoidal height and orthometric height study case : Pathumthani province. Advisor: Prof. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D.

In modern survey, Topographic height or Orthometric height can be measured by Global Navigation Satellite System (GNSS) using geoid height equation. GNSS is faster and more economical than using optical survey equipment. However, GNSS has a considerable amount of error from the geoid height interpolation thus the accuracy of an orthometric height derived from Continuously Operating Reference Stations (CORS) does not meet a height measurement standard in a small area such as a construction site.

This study focuses on generating the best-fit geoid model in a local area using the Kriging interpolation method. The interpolation generates a correction surface model, from a co-station of Orthometric height and Ellipsoidal height, for TGM2017 to eliminate a considerable amount of error from a geoid height interpolation. It provides the accurate result of GNSS Topographic height measurement which qualifies the height measurement standards. Regarding the result of this study, it reveals that after correcting the geoid height surface the root-mean-squared error (RMSE) decreases by 88.4 percent and the standard deviation decreases by 82.6 percent. Therefore, all the check points qualify the height measurement standards.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคลากรและองค์กรต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานกรรมการสอบ, ผศ.ดร.ธีทัต เจริญกาลัญญา กรรมการสอบ และ รศ.ดร.พุทธิพล ดำรงชัย อาจารย์ที่ปรึกษากายนอก ที่ได้ให้คำชี้แนะตลอดจนข้อคิดเห็น จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัว และมิตรสหาย ที่สนับสนุนข้าพเจ้าอย่างดีตลอดมา และข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาและพัฒนาการใช้แบบจำลองยี่ออยด์ท้องถิ่นในประเทศไทยกับงานวิศวกรรมศาสตร์ต่อไป

ฐิติณ บัวทอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.3.2 พื้นที่ศึกษา.....	3
1.3.3 เครื่องมือดำเนินงานวิจัย.....	4
1.3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
1.3.3.2 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1.1 สมการค่าความสูงชื่อยอดค์.....	6
2.1.2 ข้อมูลรังวัดสถานีร่วม.....	7
2.1.2.1 การรังวัดและประมวลผลข้อมูลระบบนำทางด้วยดาวเทียมแบบสถิต.....	7

2.1.2.2 การรังวัดค่าระดับออร์โทเมตริกงานระดับชั้นที่1	7
2.1.3 การคำนวณค่าแก้ความสูงยี่ออยด์ของสถานีร่วม	8
2.1.4 การประมาณค่าฟังก์ชันภายในพื้นผิวค่าแก้.....	8
2.1.5 การคำนวณค่าความสูงแบบจำลองหลังปรับใช้ค่าแก้แล้ว.....	8
2.1.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	11
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	11
3.2 การรวบรวมข้อมูล	13
3.2.1 การรวบรวมข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกในบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	14
3.2.2 การรังวัดข้อมูลค่าความสูงเหนือทรงรี.....	15
3.2.3 การคำนวณค่าความสูงยี่ออยด์แบบจำลอง TGM2017.....	16
3.2.4 การคำนวณค่าแก้สถานีร่วม.....	17
3.3 การประมวลผลข้อมูล	18
3.3.1 นำเข้าข้อมูลค่าแก้ความสูงยี่ออยด์.....	18
3.3.2 การประมาณค่าภายใน Kriging	18
3.4 วิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้อง.....	21
บทที่ 4 ผลการวิจัย	22
4.1 การประมวลผลข้อมูลรังวัด.....	22
4.1.1 ข้อมูลค่าความสูงเหนือทรงรี.....	22
4.1.2 ข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริก	23
4.1.3 ข้อมูลค่าความสูงยี่ออยด์ TGM2017.....	24
4.1.4 ข้อมูลค่าความสูงยี่ออยด์จากการรังวัด ณ สถานีร่วม	25
4.1.5 ข้อมูลค่าแก้ความสูงยี่ออยด์ของสถานีร่วม	26

4.2 การประมวลผลแบบจำลองค่าแก้.....	27
4.2.1 ผลลัพธ์แบบจำลองค่าแก้ความสูงยี่ออยด์	27
4.2.2 ข้อมูลค่าแก้ความสูงยี่ออยด์จากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ	28
4.2.3 ผลลัพธ์ค่าความสูงยี่ออยด์จากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ.....	28
4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	29
4.3.1 ข้อมูลค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหาร ณ สถานีตรวจสอบ	29
4.3.2 ข้อมูลค่าระดับออร์โทเมตริกจาก TGM2017 ณ สถานีตรวจสอบ.....	30
4.3.3 ข้อมูลค่าระดับออร์โทเมตริกจากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ	30
4.3.4 ผลต่างค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหารและ TGM 2017 ณ สถานี ตรวจสอบ.....	31
4.3.5 ผลต่างค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหารและแบบจำลอง ณ สถานี ตรวจสอบ.....	31
บทที่ 5 อภิปราย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	32
5.1 สรุปผลการวิจัย	33
5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม.....	36
ประวัติผู้เขียน	60

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 : ข้อมูลการรังวัดด้วยการตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS แบบสถิติ	22
ตารางที่ 2 : ข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกอ้างอิงจากข้อมูลกรมแผนที่ทหาร	23
ตารางที่ 3 : ข้อมูลการคำนวณค่าความสูงยี่ออยด์จากซอฟต์แวร์ TGM2017.....	24
ตารางที่ 4 : ข้อมูลค่าความสูงยี่ออยด์จากการรังวัด ณ สถานีร่วม	25
ตารางที่ 5 : ข้อมูลค่าแก้ความสูงยี่ออยด์ของ สถานีร่วม	26
ตารางที่ 6 : แบบจำลองค่าแก้ความสูงยี่ออยด์ ณ สถานีตรวจสอบ	28
ตารางที่ 7 : ค่าความสูงยี่ออยด์จากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ	28
ตารางที่ 8 : ข้อมูลค่าออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหาร ณ สถานีตรวจสอบ	29
ตารางที่ 9 : ข้อมูลค่าออร์โทเมตริกจาก TGM2017 ณ สถานีตรวจสอบ	30
ตารางที่ 10 : ข้อมูลค่าออร์โทเมตริกจากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ.....	30
ตารางที่ 11 : ผลต่างค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหารและ TGM2017.....	31
ตารางที่ 12 : ผลต่างค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหารและแบบจำลอง.....	31
ตารางที่ 13 : ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องของแบบจำลองที่ศึกษาและ TGM2017	33

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 : พื้นที่การศึกษารอบสถานีฐาน CORS THAI.....	3
ภาพที่ 2 : เครื่องรับสัญญาณ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80.....	4
ภาพที่ 3 : กล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์ ยี่ห้อ TOPCON รุ่น DL-501	4
ภาพที่ 4 : ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือทรวงรีและความสูงออร์โทเมตริก (Zilkoski et al., 2008).....	7
ภาพที่ 5 : สถานี CORS ของสถาบันมาตรวิทยาที่ใช้เป็นสถานีฐาน	13
ภาพที่ 6 : มาตรฐานงานเดินระดับของกรมแผนที่ทหาร (กรมแผนที่ทหาร, 2560).....	14
ภาพที่ 7 : หัวหมุดควบคุมทางดิ่งที่มีค่าความสูงออร์โทเมตริก (ระดับ)	15
ภาพที่ 8 : การตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS แบบสถิตบนหมุดควบคุมทางดิ่ง	15
ภาพที่ 9 : การป้อนข้อมูลนำเข้าสำหรับซอฟต์แวร์ TGM2017	16
ภาพที่ 10 : แผนที่แสดงตำแหน่งหมุดสถานีร่วมและระยะห่างจากสถานีฐาน	17
ภาพที่ 11 : การเข้าถึงการประมาณค่าภายในด้วยวิธี kriging	18
ภาพที่ 12 : การตั้งค่าประมวลผลข้อมูลนำเข้าและวิธีการที่ใช้ประมวลผล kriging	19
ภาพที่ 13 : การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าและนำออก ณ สถานีตรวจสอบ	20
ภาพที่ 14 : แบบจำลองค่าแก้ความสูงย็อยด์	27
ภาพที่ 15 : แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าคาดเคลื่อนออร์โทเมตริก	33
ภาพที่ 16 : แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสถิติ	34

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสำรวจรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน (Global Navigation Satellite Systems ; GNSS) เป็นที่นิยมมากในการรังวัดค่าพิภคจุดใดๆ เนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็ว รวมถึงไม่ต้องการการมองเห็นแนวสายตา (Line of sight) ใดๆก็ตามการรังวัดดังกล่าวมีข้อจำกัดในการรังวัดค่าความสูง เนื่องจากการการรังวัดค่าความสูงที่ได้เป็นค่าความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal height) มิใช่ค่าความสูงของภูมิประเทศ หรือ ค่าความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric height) ที่ใช้ทั่วไปสำหรับการสำรวจก่อสร้าง และงานแผนที่ แต่สามารถคำนวณทางอ้อมโดยการใช้แบบจำลองย็อยด์ (Geoid model) ผ่านสมการความสูงย็อยด์ในการคำนวณค่าความสูงออร์โทเมตริก อย่างไรก็ตาม แบบจำลองดังกล่าวมีค่าคลาดเคลื่อนจากการแปลงความสูงและความโน้มถ่วงโลกในแต่ละพื้นที่ต่างกัน ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ส่งผลให้การคำนวณค่าความสูงออร์โทเมตริกไม่เป็นที่นิยมในงานก่อสร้างหรือการรังวัดที่ต้องการความละเอียดในระดับที่ต่ำกว่าเซนติเมตรขึ้นไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันมีการรังวัดระบบโครงข่ายดาวเทียมนำหน (Network GNSS) (กรมที่ดิน, 2561) ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากเนื่องจากผู้ใช้ไม่ต้องติดตั้งสถานีฐาน (Base station) โดยทำการรับค่าแก้จากสถานีถาวรต่อเนื่อง (Continuously Operating Reference Station ; CORS) (กรมที่ดิน, 2561) ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วอย่างมากต่อผู้ใช้งานทั่วไป แต่กระนั้นค่าถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่รังวัดจะขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองย็อยด์เป็นสำคัญ

การแปลงค่าความสูงเหนือทรงรี ไปยังค่าความสูงออร์โทเมตริก ส่งผลให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง ที่มาจากทั้ง แบบจำลองย็อยด์และเรขาคณิตดาวเทียมกับเครื่องรับที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งมีมากกว่าทางราบอยู่ประมาณ 2-3 เท่า (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) โดยล่าสุดมีการจัดทำแบบจำลอง TGM2017 (Thailand Geoid Model 2017) จัดทำโดยความร่วมมือของกรมแผนที่ทหาร และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในระดับไม่เกิน 10 เซนติเมตรแต่ยังคงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยที่อยู่ในระดับ 5-6 เซนติเมตร (กรมแผนที่ทหาร, 2560) ส่งผลให้ในบางพื้นที่อาจมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลในระดับต่ำการถ่ายระดับ (มีเกณฑ์งานขั้นต่ำสุดที่ $12\text{mm}\sqrt{K}$; เมื่อ K คือระยะทาง(กิโลเมตร)) โดยการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณระบบ GNSS แม้จะใช้แบบจำลองย็อยด์ล่าสุด และเป็นแบบจำลองย็อยด์ลูกผสม (Hybrid Geoid Model) TGM2017 ในบริเวณกรุงเทพและปริมณฑล ยังให้ความถูกต้องไม่ผ่านเกณฑ์งานระดับขั้นต่ำสุดในระยะทางของเส้นฐานที่น้อยกว่า 5 กิโลเมตร เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบของแบบจำลองย็อยด์

ผู้วิจัยมองเห็นปัญหาดังกล่าว และต้องการลดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ดังกล่าวให้มากที่สุด โดยการสร้างพื้นผิวค่าแก้ (Correction Surface) (Li & Ning, 2019) สำหรับแบบจำลองยี่ห้อ TGM2017 เพื่อลดทอนค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองให้อยู่ในระดับต่ำ สำหรับงานรังวัดความละเอียดสูง การรังวัดจุดควบคุม (Control point) สำหรับงานควบคุม ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากแก่การจัดทำแผนที่ โดยในปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้ในการสร้างแผนที่มีหลากหลาย เช่น สร้างจากภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial mapping) การสร้างแผนที่ 3มิติ (3D mapping) รวมถึงงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้อุปกรณ์รังวัดด้วยเลเซอร์ทำแผนที่ (Laser scanning) ล้วนแล้วแต่อ้างอิงจากหมุดควบคุมทั้งสิ้น (Sun et al., 2016) โดยหมุดควบคุมดังกล่าวนิยมใช้การรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน แต่การได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริกความละเอียดสูงยังต้องการจากการถ่ายระดับด้วยอุปกรณ์ประเภทกล้อง หากสามารถใช้เพียงระบบดาวเทียมนำหนสำหรับการรังวัดค่าพิกัดและค่าความสูงออร์โทเมตริก จะส่งผลให้สามารถประหยัดทั้งเวลาและขั้นตอนการดำเนินการไปได้มากอีกด้วย อีกทั้งในปัจจุบันการใช้งานระบบดาวเทียมนำหนแบบโครงข่ายมีอย่างแพร่หลายมากขึ้น การสร้างพื้นผิวค่าแก้ที่ลดหรือขจัดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่จากแบบจำลองยี่ห้อดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่สามารถเพิ่มความละเอียดถูกต้องของข้อมูลรังวัดได้อย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างพื้นผิวค่าแก้ให้กับแบบจำลองยี่ห้อ TGM2017 ให้มีความละเอียดสูงเพียงพอสำหรับการรังวัดค่าความสูงออร์โทเมตริก ด้วยระบบดาวเทียมนำหนได้ ในพื้นที่ศึกษาที่สนใจ ตามความถูกต้องมาตรฐานเกณฑ์งานระดับ
2. เพื่อประเมินความถูกต้องและเปรียบเทียบการใช้งานแบบจำลองยี่ห้อ TGM2017 ปกติ และหลังการปรับใช้ค่าแก้ จากการรังวัดข้อมูล GNSS ด้วยวิธีสถิติ ประเภทเส้นฐานเดียว โดยใช้สถานีฐานเพียงสถานีเดียวตลอดการศึกษา

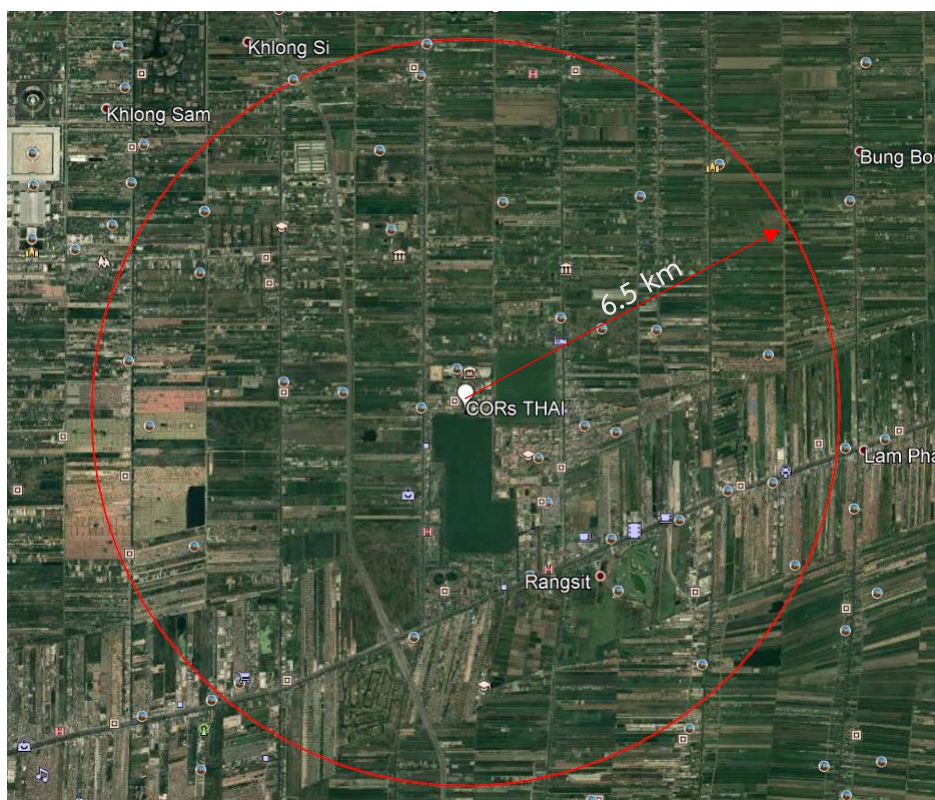
1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

- i. ค่ารังวัดความสูงออร์โทเมตริกด้วยมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 1
- ii. ค่ารังวัดความสูงเหนือทรงรีบนสถานีร่วมในพื้นที่ศึกษา เพื่อได้มาซึ่งค่าความสูงยี่ห้อ ณ จุดใดๆ ด้วยวิธีสถิติ ประเภทเส้นฐานเดียว โดยใช้สถานีฐานเพียงสถานีเดียวตลอดการศึกษา

1.3.2 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดปทุมธานีรอบสถานีรับสัญญาณ GNSS ประเภท CONTINUOUSLY OPERATING REFERENCE STATION (CORS) ของสถาบันมาตรวิทยา ในรัศมี 6.5 กิโลเมตร โดยมีขอบเขตที่ละติจูด 13.98101°N ถึง 14.10189°N ลองจิจูด $100.65901^{\circ}\text{E}$ ถึง $100.77719^{\circ}\text{E}$



ภาพที่ 1 : พื้นที่การศึกษารอบสถานีฐาน CORS THAI

1.3.3 เครื่องมือดำเนินวิจัย

1.3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- i. เครื่องรับสัญญาณ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80



ภาพที่ 2 : เครื่องรับสัญญาณ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80

- ii. กล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์ ยี่ห้อ TOPCON รุ่น DL-501



ภาพที่ 3 : กล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์ ยี่ห้อ TOPCON รุ่น DL-501

1.3.3.2 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

- i. Microsoft Excel 2017 สำหรับการจัดเตรียมข้อมูลนำเข้า และประมวลผลค่าทางสถิติ
- ii. Google Earth Pro สำหรับการวางแผนขอบเขตและสถานีร่วมที่ทำการรังวัด
- iii. Trimble Business Center 5.0 สำหรับประมวลผลข้อมูล GNSS ด้วยวิธีค่าต่างครั้งที่ 2 แบบสถิติ ประเภทเส้นฐานเดียว
- iv. TGM2017 software สำหรับเรียกค่าความสูงฮัยออยด์ บนตำแหน่งพิกัด (lat,lon)
- v. ArcGIS Pro สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันภายในเพื่อสร้างพื้นผิวค่าแก้แบบจำลอง TGM2017

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1) ผู้ใช้งานอุปกรณ์ประเภท GNSS สามารถรังวัดค่าความสูงภูมิประเทศได้ละเอียดถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น จากการลดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่จากแบบจำลองย็อยด์ โดยเฉพาะผู้ใช้งานระบบ Network GNSS ซึ่งไม่มีการเคลื่อนย้ายสถานีฐาน

2) ผู้ใช้งานสามารถใช้เพียงการรังวัดด้วยอุปกรณ์ประเภท GNSS ในการจัดทำหมุดควบคุม เช่น หมุดควบคุมทางพื้นดิน (Ground Control Point ; GCP) สำหรับงานแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ และมีความถูกต้องของข้อมูลผ่านเกณฑ์มาตรฐานงานระดับ

3) ผู้ใช้งานประเภทติดตามปริมาณงานก่อสร้าง งานทาง งานโครงสร้าง สามารถช่วยลดเวลาการทำงานสำรวจโดยรวม และได้ค่าความถูกต้องและค่าความแม่นยำที่ดีขึ้น ในขอบเขตพื้นที่ก่อสร้าง โดยเฉพาะในงานที่หมุดควบคุมอาจสูญหายหรือใช้การไม่ได้ ระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง ส่งผลให้ต้องจัดทำหมุดควบคุมใหม่ การใช้พื้นผิวค่าแก้ช่วยเพิ่มความถูกต้องแม่นยำและลดระยะเวลาในการจัดทำหมุดควบคุมใหม่ได้อย่างมาก



บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะสร้างพื้นผิวค่าแก้สำหรับแบบจำลอง TGM2017 เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องแม่นยำสูง ควบคุมคุณภาพของข้อมูลให้มีค่าเบี่ยงเบนต่ำ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือต่อการใช้งาน โดยทำการขจัดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ที่เกิดจากการประมาณค่าแบบจำลองย็อยด์ที่มีข้อมูลบนตารางกริดทุกๆ 1 ลิปดา ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะทำการสร้างพื้นผิวค่าแก้ในพื้นที่ขนาดเล็กเพื่อศึกษาการกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าว โดยใช้ฟังก์ชันประมาณค่าภายในคำนวณข้อมูลค่าแก้ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา โดยมีทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1.1 สมการค่าความสูงย็อยด์

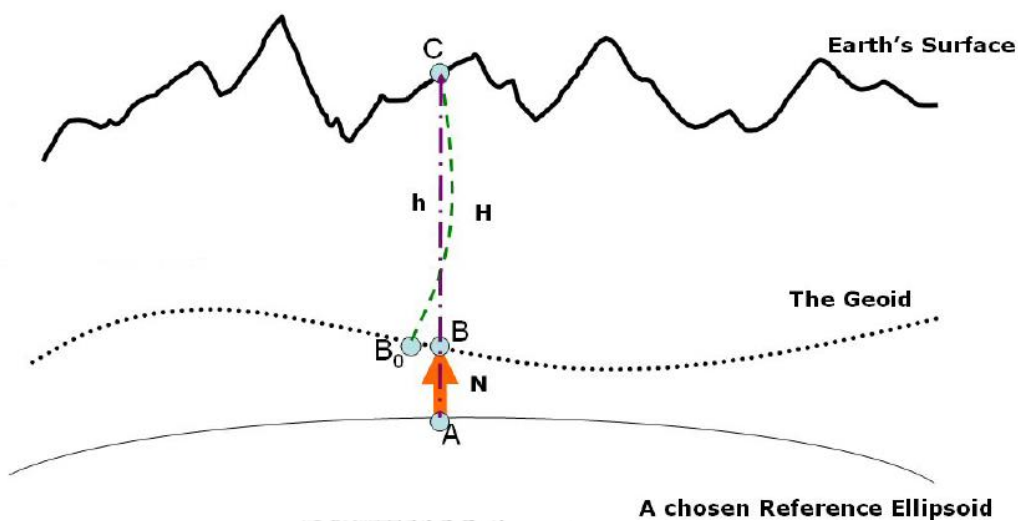
ความสูงออร์โทเมตริก เป็นค่าความสูงอ้างอิงจากระดับพื้นผิวย็อยด์หรือระดับน้ำทะเลกลาง (Mean Sea Level ; MSL) เป็นค่าความสูงที่ใช้ในงานวิศวกรรมทั่วไป แต่การรังวัดจากเครื่องรับสัญญาณระบบ GNSS ให้ค่าความสูงเหนือทรงรีอ้างอิง ในการใช้งานจริงจึงต้องทำการแปลงจากความสูงเหนือทรงรีอ้างอิงไปยังค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยใช้แบบจำลองย็อยด์ที่มีค่าความสูงย็อยด์ (Geoid undulation) (Heiskanen & Moritz, 1967) ซึ่งคุณภาพของแบบจำลองมีผลอย่างมากต่อความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริก

$$N = h - H \quad (2.1)$$

h คือ ค่าความสูงเหนือทรงรีอ้างอิง

H คือ ค่าความสูงออร์โทเมตริก (ความสูงของภูมิประเทศ)

N คือ ค่าความสูงย็อยด์ (ค่าต่างผิวทรงรีถึงภูมิประเทศ)



ภาพที่ 4 : ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือทรวงรีและความสูงออร์โทเมตริก
(Zilkoski et al., 2008)

2.1.2 ข้อมูลรังวัดสถานีร่วม

ดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.1.1 การคำนวณค่าความสูงเยื่อยต์ สามารถคำนวณได้จากค่าผลต่างของค่าความสูงเหนือทรวงรีและค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยทำการรังวัดข้อมูลดังนี้

2.1.2.1 การรังวัดและประมวลผลข้อมูลระบบนำทางด้วยดาวเทียมแบบสถิต

- i. รังวัดโดยใช้เครื่องรับสัญญาณ GNSS ของ CHC รุ่น i80 รับสัญญาณแบบสถิต ทุกๆ 1 วินาที เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 25 นาทีในแต่ละสถานี โดยใช้สถานี CORS ของสถาบันมาตรวิทยา เป็นสถานีฐาน (Base station)
- ii. ประมวลผลไฟล์ RINEX ด้วยซอฟต์แวร์ ด้วยซอฟต์แวร์ TBC (Trimble Business Center) คำนวณด้วยวิธีการหาค่าต่างครั้งที่ 2 แบบสถิต ในรูปแบบเส้นฐานเดี่ยว (Single baseline)

2.1.2.2 การรังวัดค่าระดับออร์โทเมตริกงานระดับชั้นที่ 1

การรังวัดค่าความสูงออร์โทเมตริกทำได้ทั่วไปโดยการใช้กล้องระดับ และไม่ระดับ

หาค่าต่างความสูงจากจุด 2 จุด มีมาตรฐาน ข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกรังวัดจากการใช้มาตรฐานงานสำรวจระดับชั้นที่ 1 (กรมแผนที่ทหาร, 2560) โดยนำข้อมูลการทำสายงานระดับมาตรฐานชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารในสายงานหมายเลขที่ L71, L74 และ L78 จำนวนทั้งหมด 9 หมุด และหมุดเพิ่มเติมอีก 6 หมุด

2.1.3 การคำนวณค่าแก้ความสูงย้อยของสถานีร่วม

ค่าแก้ความสูงย้อยคือค่าต่างระหว่างค่าความสูงย้อยตามทฤษฎีตั้งสมการที่ (2.1) ที่ทำการรังวัดมาแล้วและค่าความสูงย้อยจากแบบจำลอง TGM2017 สามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ (2.2) (Li & Ning, 2019)

$$N_{cor} = N_{obs} - N_{TGM} \quad (2.2)$$

N_{cor} คือ ค่าแก้ความสูงย้อยของสถานีร่วมควบคุม

N_{TGM} คือ ค่าความสูงย้อยจากแบบจำลอง TGM2017

N_{obs} คือ ค่าความสูงย้อยของสถานีร่วมที่ได้จากการรังวัด

2.1.4 การประมาณค่าฟังก์ชันภายในพื้นผิวค่าแก้

การประมาณค่าฟังก์ชันภายในวิธี Kriging คือวิธีทางด้านสถิติภูมิศาสตร์ ที่มีพื้นฐานในเรื่องแบบจำลองทางสถิติและความสัมพันธ์ ของชุดข้อมูลนำเข้า โดยวิเคราะห์แบบถ่วงน้ำหนักตามระยะทางซึ่งอ้างอิงจากรูปแบบการจัดเรียงของชุดข้อมูลโดยรอบ จากการอธิบายด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ชื่อ semi-variogram ในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชัน Kriging Interpolation จากซอฟต์แวร์ ArcGIS pro

2.1.5 การคำนวณค่าความสูงแบบจำลองหลังปรับใช้ค่าแก้แล้ว

$$N_{model} = N_{TGM} + N_c \quad (2.3)$$

N_{model} คือ ค่าความสูงย้อยหลังปรับใช้ค่าแก้แล้ว

N_{TGM} คือ ค่าความสูงย้อยจากแบบจำลอง TGM2017

N_c คือ ค่าแก้ความสูงย้อย ณ จุดตรวจสอบ

เมื่อได้ค่าความสูงย้อยหลังปรับใช้ค่าแก้แล้ว นำไปแทนค่ากลับในสมการที่ (2.1) ในแต่ละสถานี จะได้ค่าความสูงออร์โทเมตริกของตำแหน่งสถานีดังกล่าว

2.1.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

รากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเศษเหลือ (การคาดเดาค่าคลาดเคลื่อน) หรือการวัดความแตกต่างระหว่างค่าที่คาดหวังและค่าจริง มักใช้ในการพยากรณ์ โดยค่าคาดหวังที่ใกล้กับค่าจริง จะให้ค่า RMSE ที่ต่ำ โดยมีสมการสำหรับงานวิจัยนี้เป็นไปดังสมการที่ (2.4) (Federal Geographic Data Committee, 1998)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_{obs} - H_{model})^2}{n}} \quad (2.4)$$

คำนวณค่าความสูงออร์โทเมตริกบนสถานีตรวจสอบที่ได้จากการใช้แบบจำลองค่าแก้ท้องถิ่น จากนั้นนำไปตรวจสอบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการรังวัดสถานีร่วมด้วยเกณฑ์งานชั้นที่ 1

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) การรังวัดค่าความสูงโดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS ให้ความถูกต้องของพิกัดทางตั้งได้ในระดับประมาณ 1-2 ppm แต่ค่าความสูงที่ได้เป็นค่าความสูงเหนือทรวงรี มิใช่ความสูงที่ใช้กันในงานวิศวกรรมหรือความสูงออร์โทเมตริก ซึ่งจะมีค่าที่ใช้แปลงความสัมพันธ์คือค่า N (Geoid-Ellipsoid separation) และเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียม โดยค่า N สามารถหาได้โดยใช้สถานีที่มีทั้งค่าความสูงออร์โทเมตริกและค่าความสูงเหนือทรวงรีและใช้การประมาณค่าภายใน (Interpolation method) สำหรับคำนวณค่า N ของจุดอื่นๆในพื้นที่ โดยค่าความถูกต้องของ N ที่ได้ขึ้นอยู่กับคุณภาพและลักษณะการกระจายตัวของสถานีที่มีค่าความสูงทั้ง 2 ระบบในพื้นที่ และความราบเรียบของพื้นผิวย่อยๆ

(ดาร์รี่ ประุ้งแต่งกิจ, 2555) การคำนวณหาอีลอยด์โดยวิธีการประมาณค่าภายใน บริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย จากการเปรียบเทียบความถูกต้องการประมาณค่าความสูงอีลอยด์โดยทดสอบวิธีประมาณค่าฟังก์ชันภายใน 4 วิธี ได้แก่ IDW (Inverse Distance Weighted) , TIN (Triangulated Irregular Network) , Spline และ Kriging ผลการศึกษางานวิจัยระบุว่าวิธี Kriging ให้ค่าความถูกต้องดีที่สุดในการประมาณค่าฟังก์ชันภายใน

(Zilkoski et al., 2008) ในปีค.ศ.1997 NGS ได้จัดทำแนวทางสำหรับการรังวัดระบบ GPS ด้วยความถูกต้องทางดิ่งสำหรับค่าความสูงเหนือทรวงรีท้องถิ่นที่ 2 – 5 เซนติเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐาน FGCS และได้ทำการทดสอบการรังวัดค่าความสูงออร์โทเมตริกบนแบบจำลองย็อยด์ลูกผสมความละเอียดสูง เพื่อให้ได้มาซึ่งความถูกต้องทางดิ่งของค่าความสูงออร์โทเมตริกท้องถิ่น ที่ 2 – 5 เซนติเมตร โดยมีหลักการสำคัญคือการใช้ระบบของ CORS เพื่อระบุตำแหน่งที่อ้างอิงกับห้วงเวลา เนื่องจากค่าโน้มถ่วงของโลกมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้แบบจำลองย็อยด์แบบเก่าไม่เกิดการปรับเปลี่ยนตามไปด้วย และการใช้สมการค่าต่างส่งผลให้ความถูกต้องสูงเนื่องจากแหล่งกำเนิดของค่าคลาดเคลื่อนเป็นแหล่งเดียวกัน ทำให้เกิดการหักล้างในสมการค่าต่าง ซึ่งหากดำเนินการด้วยวิธีดังกล่าวส่งผลให้การเก็บข้อมูล GPS 15 นาที ก็ถือว่าเพียงพอต่อการใช้งานแล้ว

(Li & Ning, 2019) ทำการทดสอบระบบ e-GNSS ที่ประเทศไต้หวัน บนหมุดอ้างอิงระดับชั้นที่ 1 จำนวน 1,735 หมุด โดยใช้ค่าความสูงเหนือทรวงรีและความสูงย็อยด์ของแบบจำลอง ได้ระบุว่าการใช้แบบจำลองโน้มถ่วง TWGEOID2014 หลังจากปรับใช้พื้นผิวค่าแก้ในการคำนวณค่าความสูงออร์โทเมตริก ให้ความถูกต้องสูงขึ้น ร้อยละ 80 และ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงระบบลดลง ร้อยละ 99.9 โดยระยะห่างของหมุดทดสอบไม่ส่งผลต่อความถูกต้อง

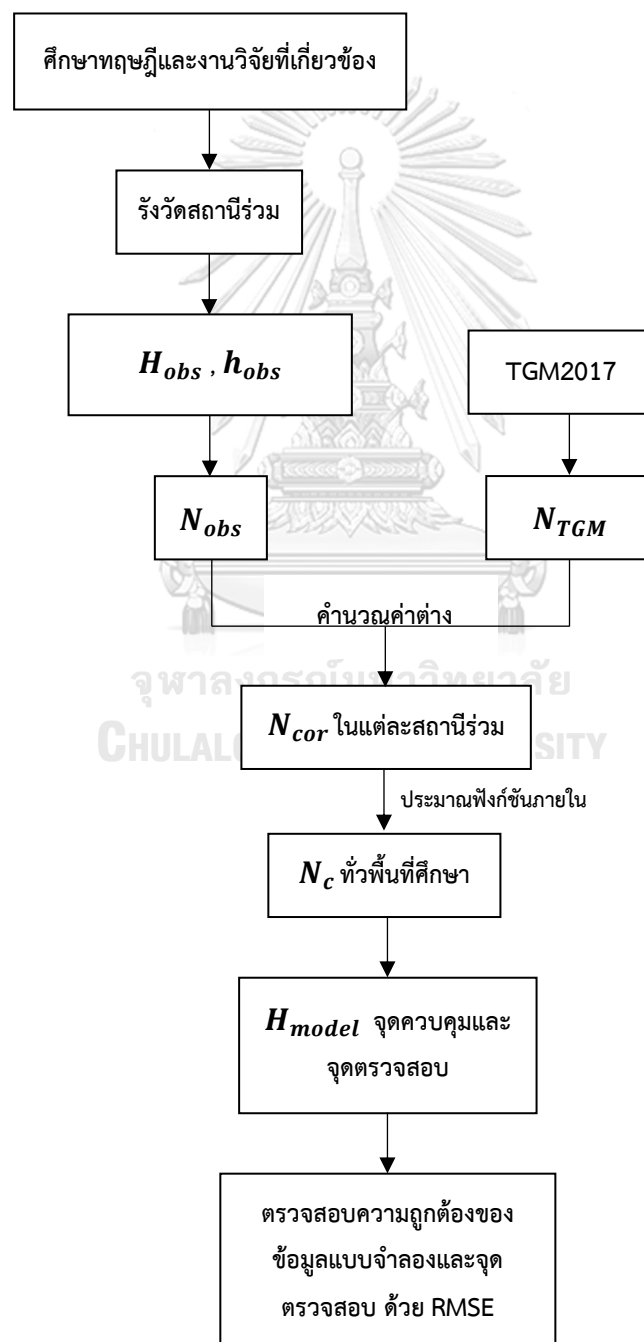
(Dumrongchai & Duangdee, 2019) ทำการประเมินและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองย็อยด์ EGM2008(360), EGM2008(2190), THAI17G และ TGM2017 ด้วยข้อมูลหมุดทดสอบสถานีร่วมความสูงจากระบบ GNSS และระบบความสูงค่างานระดับชั้นที่ 1 พบว่าแบบจำลอง TGM2017 ให้ค่าความถูกต้องแม่นยำสูงที่สุด โดยมีค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (RMS) เท่ากับ 0.049 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.048 เมตร จากจำนวนสถานีตรวจสอบจำนวน 100 สถานี จากการพัฒนาร่วมกันระหว่างกรมแผนที่ทหารและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลแบบจำลองค่าแรงโน้มถ่วง THAI17G และข้อมูลหมุดสถานีร่วมที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริกและค่าความสูงเหนือทรวงรี จำนวน 299 สถานีร่วม อีกทั้งมีการปรับแก้ทิศทางของข้อมูลจากการเลื่อนสัญญาณและการเอียง ของข้อมูลระดับน้ำทะเลปานกลางสากลสู่ระดับน้ำทะเลปานกลางของประเทศไทย ณ เกาะหลัก (Kolak 1915) ส่งผลให้ได้มาซึ่งแบบจำลองลูกผสม TGM2017 จำแนกเป็นข้อมูลตารางกริดทุกๆ 1 x 1 ลิปดา ที่อ้างอิงจากสัญญาณความสูงค่าระดับน้ำทะเลปานกลางประเทศไทย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย จากการศึกษาทฤษฎีถึงการสร้างและตรวจสอบข้อมูลพื้นผิวค่า
แก้แบบจำลอง แสดงในผังงานดังต่อไปนี้



ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยตามผังงานข้างต้น เริ่มดำเนินการศึกษาทฤษฎีและอุปกรณ์สำรวจ เมื่อแล้วเสร็จให้ดำเนินงานภาคสนามโดยเริ่มจากการรังวัดสถานีร่วม เพื่อให้ได้มาซึ่งค่า ความสูงออร์โทเมตริก (H_{obs}) และค่าความสูงเหนือทรวงรี (h_{obs}) โดยทำการกำหนดให้สถานีร่วมมีการกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาเพื่อลดความโน้มเอียงและการตรวจหาค่าคาดเคลื่อนที่เป็นระบบ จากนั้นใช้สมการค่าความสูงย็อยด์ สมการที่ (2.1) คำนวณความสูงย็อยด์จากการรังวัด ณ สถานีร่วม (N_{obs}) และนำค่า N_{obs} คำนวณค่าต่างกับความสูงย็อยด์ของแบบจำลอง TGM2017 (N_{TGM}) ดังสมการที่ (2.2) จะได้มาซึ่งค่าแก้ความสูงย็อยด์ของสถานีร่วม (N_{cor}) ถือเป็นเสร็จสิ้นงานภาคสนาม

ขั้นตอนการประมวลผล ใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าภายใน kriging ในการคำนวณพื้นผิวค่าแก้ โดยใช้ค่า N_{cor} เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับสร้างพื้นผิวค่าแก้ เริ่มต้นโดยการนำเข้าข้อมูลพิกัดและค่า N_{cor} ของสถานีร่วมทั้งหมดที่ใช้เป็นสถานีควบคุม ใช้ซอฟต์แวร์ ArcGIS pro เลือกฟังก์ชัน kriging เพื่อประมาณค่าพื้นผิวค่าแก้ เมื่อเสร็จสิ้นจะได้มาซึ่งค่าแก้ความสูงย็อยด์ (N_c) ซึ่งเป็นค่าแก้ความสูงย็อยด์ ณ ตำแหน่งใดๆ ใช้สมการที่ (2.3) คำนวณค่าความสูงย็อยด์ที่ปรับแก้แล้ว (N_{model}) สามารถคำนวณค่าความสูงออร์โทเมตริก ณ ตำแหน่งนั้น (H_{model}) ได้จากสมการที่ (2.1)

ขั้นตอนสุดท้ายคือการทดสอบความถูกต้องบนสถานีร่วมตรวจสอบ โดยเป็นสถานีร่วมที่ไม่ใช่สถานีร่วมอ้างอิง ดำเนินการโดยคำนวณผลต่างของข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ทราบคือ H_{obs} และ H_{model} ของแต่ละสถานี จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าเศษเหลือ ให้นำไปคำนวณค่าทางสถิติและค่าความถูกต้อง RMSE ต่อไปดังสมการที่ (2.4)

3.2 การรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพื้นผิวค่าแก้แบบจำลองย็อยด์ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความสูงออร์โทเมตริก ค่าความสูงเหนือทรวงรี ค่าความสูงย็อยด์ของแบบจำลองTGM2017 และค่าแก้สถานีร่วมของสถานีใดๆ

โดยในการรังวัดข้อมูลค่าความสูงเหนือทรวงรี (ด้วยระบบนำทางด้วยดาวเทียมแบบสถิต) กำหนดสถานีฐาน โดยใช้สถานี CORS ของสถาบันมาตรวิทยาเป็นสถานีฐาน (Base station) เพียงสถานีเดียวตลอดงานวิจัยนี้



ภาพที่ 5 : สถานี CORS ของสถาบันมาตรวิทยาที่ใช้เป็นสถานีฐาน

3.2.1 การรวบรวมข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกในบริเวณพื้นที่ศึกษา

โดยขอความอนุเคราะห์ข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งงานชั้นที่ 1 จากกรมแผนที่ทหาร และทำการรังวัดเพิ่มเติมด้วยกล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์ ยี่ห้อ TOPCON รุ่น DL-501 เพื่อให้มีการกระจายตัวของข้อมูลทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา โดยอ้างอิงค่าระดับจากหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรมแผนที่ทหารซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน FGCC1984 (กรมแผนที่ทหาร, 2560)

รายการ	งานชั้นที่ 1	
	ประเภท 1	ประเภท 2
1. ความละเอียดถูกต้องสัมพัทธ์ระหว่างหมุด 2 หมุดที่โยงยึดกันโดยตรง (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	0.5 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$	0.5 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$
2. ระยะห่างของโครงข่ายมาตรฐาน		
2.1 โครงข่ายควบคุมหลักแห่งชาติ	100 - 300 กม.	50 - 100 กม.
2.2 งานควบคุมในเขตมหานคร	2 - 8 กม.	
3 ระยะระหว่างหมุดตามสายงาน	1 - 3 กม.	
4. ความต้องการค่าความถ่วงพิภพ	0.2 x 10 ³ gpu	
5. มาตรฐานของเครื่องมือ	กล้องระดับแบบอัตโนมัติ หรือแบบ Tilting ซึ่งมี Parallel plate Micrometer; ไข้ไม้เส็งระดับอินวาร์	
6. หลักการปฏิบัติในสนาม	รังวัด 2 เที้ยว โดยทำไปและทำกลับในแต่ละตอน การระดับ ต่างทิศทางกัน	
6.1 ความยาวของแต่ละตอนการระดับ	1 - 2 กม.	
6.2 ระยะจากที่ตั้งกล้องไปไม้เส็งระดับไม่เกิน	50 ม.	60 ม.
6.3 ความต่างระยะสูงสุดระหว่างระยะไม้หน้ากับไม้หลังแต่ละตั้งกล้องไม่เกิน	2 ม.	5 ม.
6.4 ความต่างระยะสะสมระหว่างระยะไม้หน้ากับไม้หลังในแต่ละตอนการระดับไม่เกิน	4 ม.	10 ม.
6.5 ความยาวของสายการระดับไม่เกิน	300 กม.	400 กม.
7. ความคลาดเคลื่อนบรรจบ		
7.1 ในแต่ละตอนการระดับ (ทำไปและทำกลับ)		
7.2 ของบรรจบ (Loop) หรือสายงานการระดับ	3 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$ 4 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$	4 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$ 5 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$

ภาพที่ 6 : มาตรฐานงานเดินระดับของกรมแผนที่ทหาร (กรมแผนที่ทหาร, 2560)

3.2.2 การรังวัดข้อมูลค่าความสูงเหนือทรางรี

ตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS แบบสถิตบนหมุดควบคุมทางดิ่งที่มีค่าความสูงออร์โทเมตริก จากข้อ 3.2.1 โดยประมวลผลด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง แบบการหาค่าต่างครั้งที่ 2 ซึ่งมีความถูกต้องของข้อมูลในระดับมิลลิเมตรถึงเซนติเมตร โดยใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผล Trimble Business Center ในการประมวลผลแบบ Static post-processing



ภาพที่ 7 : หัวหมุดควบคุมทางดิ่งที่มีค่าความสูงออร์โทเมตริก (ระดับ)

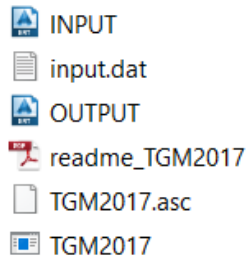


ภาพที่ 8 : การตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS แบบสถิตบนหมุดควบคุมทางดิ่ง

3.2.3 การคำนวณค่าความสูงยี่ออยด์แบบจำลอง TGM2017

ค่าความสูงยี่ออยด์จากแบบจำลอง TGM2017 บนหมดควบคุมทางดิ่งในข้อ 3.2.1 คำนวณได้ โดยการป้อนไฟล์พิกัดละติจูดและลองจิจูด ที่ได้จากการรังวัดในข้อ 3.2.2 ซึ่งเป็นตำแหน่งของหมดควบคุมทางดิ่ง นำเข้าในซอฟต์แวร์ TGM2017 สำหรับคำนวณความสูงยี่ออยด์จากค่าตำแหน่งพิกัดเป็นชุดข้อมูล (station name, decimal latitude, decimal longitude)

1	THAI	14.043006	100.713615
2	Nimt2	14.043700	100.714053
3	Nimt3	14.043488	100.712693
4	SBM15481	14.049266	100.755633
5	SBM15482	14.06927	100.755679
6	SBM15483	14.07991	100.755615
7	SBM14646	14.095292	100.731599
8	SBM974447	14.065839	100.66639
9	SBM974547	14.066199	100.675283
10	SBM974647	14.06658	100.68685
11	SBM764742	14.029178	100.756122
12	SBM975351	14.01963	100.75336
13	CP3004	14.021589	100.754064
14	SPOT1	14.053348	100.687205
15	SPOT2	14.046089	100.687328
16	CP5354	14.050502	100.687518



ภาพที่ 9 : การป้อนข้อมูลนำเข้าสำหรับซอฟต์แวร์ TGM2017

3.2.4 การคำนวณค่าแก้สถานีร่วม

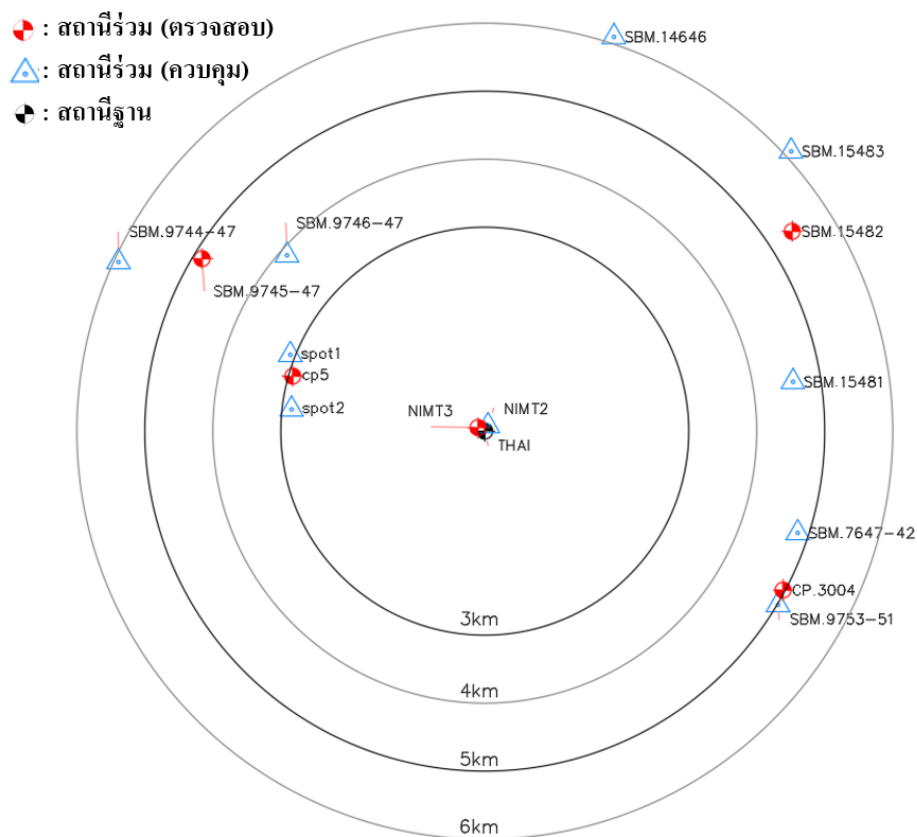
ค่าแก้สถานีร่วมคำนวณได้จากงานผลต่างของค่าความสูงย็อยด์จากสถานีร่วมและจากแบบจำลอง TGM2017 คำนวณได้โดยใช้ 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- i. คำนวณค่าความสูงย็อยด์จากการรังวัด ณ สถานีร่วม ได้จากการคำนวณผลต่างข้อมูลความสูงเหนือทงรี (ข้อ 3.2.2) และความสูงออร์โทเมตริก (ข้อ 3.2.1) ดังสมการที่ (2.1)

$$N_{obs} = h_{obs} - H_{obs} \quad (2.1)$$

- ii. คำนวณค่าแก้ความสูงย็อยด์ของสถานีร่วม โดยนำค่าความสูงย็อยด์ของสถานีร่วมที่ได้จากการรังวัด(ข้อ 3.2.4 i.) ลบด้วย ค่าความสูงย็อยด์จากแบบจำลอง TGM2017 (ข้อ 3.2.3) ดังสมการที่ (2.2)

$$N_{cor} = N_{obs} - N_{TGM} \quad (2.2)$$



ภาพที่ 10 : แผนที่แสดงตำแหน่งหมดสถานีร่วมและระยะห่างจากสถานีฐาน

3.3 การประมวลผลข้อมูล

คำนวณค่าข้อมูลค่าแก้ความสูงย้อยได้จากข้อมูลสถานีร่วมเพื่อเป็นตัวแทนสำหรับพิกัดจุด ส่วนที่เหลือที่ไม่มีข้อมูลทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา โดยใช้การประมาณค่าภายใน Kriging

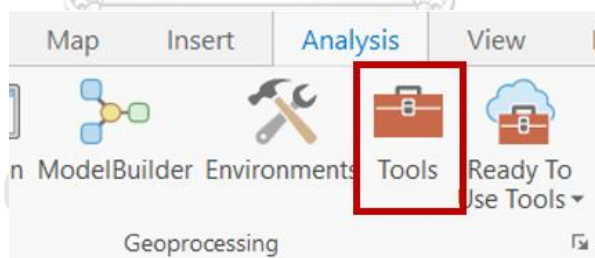
3.3.1 นำเข้าข้อมูลค่าแก้ความสูงย้อย

นำเข้าไฟล์ข้อมูลพิกัดทางราบและค่าแก้ความสูงย้อยของแต่ละสถานีร่วม (N_{cor}) ในรูปแบบไฟล์ comma-separated values (csv) โดยจัดทำหัวข้อ column ดังนี้ lat, lon, N_{cor}

3.3.2 การประมาณค่าภายใน Kriging

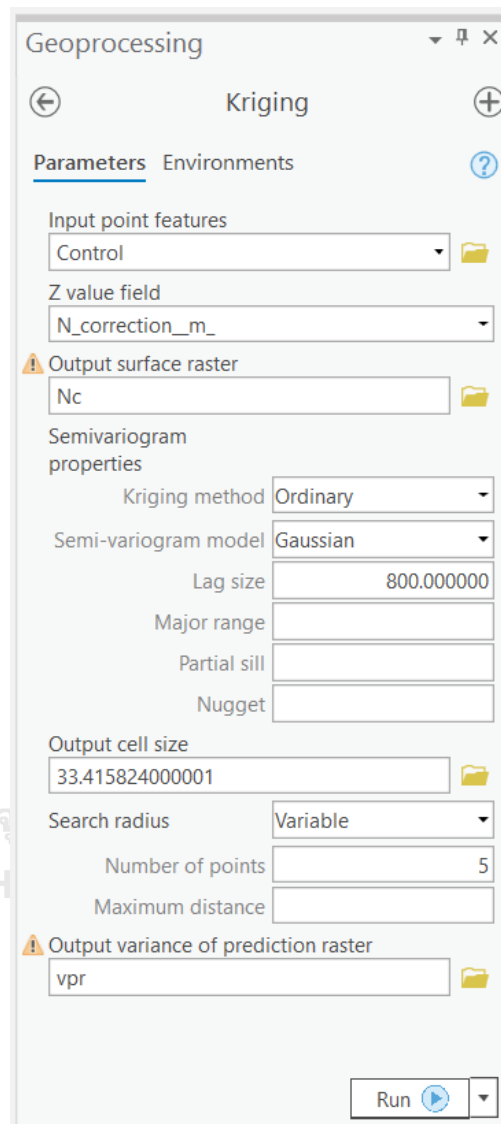
ใช้ฟังก์ชัน Kriging Interpolation ของซอฟต์แวร์ ArcGIS pro ในการคำนวณพื้นผิวค่าแก้ สำหรับพิกัดอื่นๆ ในบริเวณพื้นที่ศึกษา และนำออกข้อมูลค่าแก้ ณ สถานีตรวจสอบ โดยดำเนินการ ดังนี้

- i. เข้าโปรแกรม ArcGIS pro ในแถบ Analysis ในหมวดย่อย Geoprocessing และเลือกไอคอน Tools



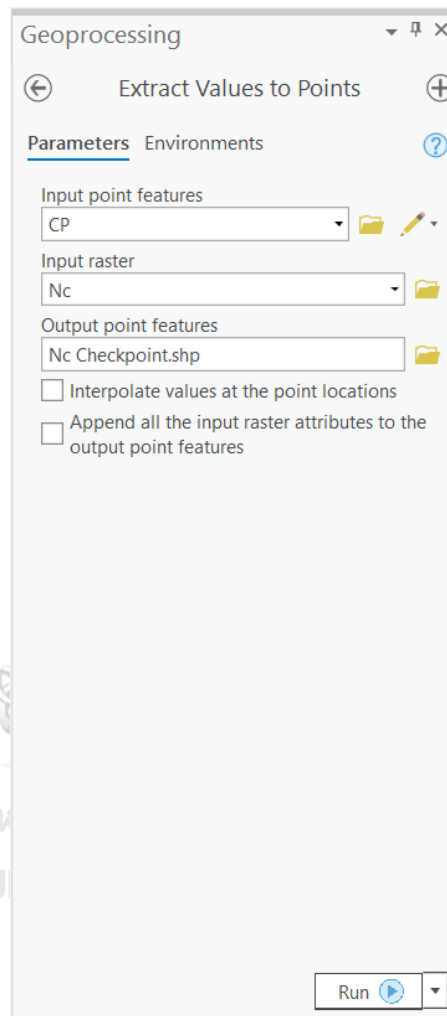
ภาพที่ 11 : การเข้าถึงการประมาณค่าภายในด้วยวิธี kriging

ii. เลือกเครื่องมือที่ใช้เป็นวิธีการ kriging ตั้งค่าการประมวลผลข้อมูลนำเข้าและวิธีการที่ใช้ประมวลผลตั้ง (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 : การตั้งค่าประมวลผลข้อมูลนำเข้าและวิธีการที่ใช้ประมวลผล kriging

iii. เมื่อทำการสร้างแบบจำลองค่าแก้เสร็จสิ้น การนำออกข้อมูลค่าแก้ ณ สถานที่ตรวจสอบ สามารถดำเนินการดังนี้ โดยเข้าโปรแกรม ArcGIS pro ในแถบ Analysis ในหมวดย่อย Geoprocessing และ เลือกไอคอน Tools (ตามขั้นตอน 3.3.2 i.) จากนั้นเลือกเครื่องมือ Extract Values to Points และทำการตั้งค่าข้อมูลนำเข้าและนำออก ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 : การตั้งค่าข้อมูลนำเข้าและนำออก ณ สถานที่ตรวจสอบ

3.4 วิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้อง

เมื่อได้พื้นผิวค่าแก้ N_c จาก (ข้อ 3.3.2) นำไปคำนวณค่า N_{model} ในแต่ละสถานีร่วมสำหรับ ทั้งค่าสถานีควบคุมและตรวจสอบ ดังสมการที่ (2.3)

$$N_{model} = N_{TGM} + N_c \quad (2.3)$$

จากนั้นทำการแปลงค่าความสูงเหนือทรวงรี ณ สถานีตรวจสอบ ไปยังค่าความสูงออร์โทเมตริก ด้วย สมการที่ (2.1) เพื่อได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริกหลังจากปรับใช้ค่าแก้แล้ว (H_{model})

$$N = h - H \quad (2.1)$$

คำนวณความถูกต้องของแบบจำลองโดยเทียบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกจากงานระดับมาตรฐาน ขั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร (H_{obs}) โดยใช้ RMSE ดังสมการที่ (2.4)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_{obs} - H_{model})^2}{n}} \quad (2.4)$$

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การประมวลผลข้อมูลรังวัด

หลังจากทำการรังวัด ณ หมดสถานีร่วมค่าความสูงออร์โทเมตริก ทำการประมวลผลค่าความสูงเหนือทรวงรี เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความสูงย้อยออกจากกรังวัด และค่าความสูงย้อยจาก TGM 2017 จากนั้นหาค่าต่างความสูงย้อยทั้งสอง จะได้มาซึ่งค่าแก้ความสูงย้อยของสถานี โดยมีผลลัพธ์ดังนี้

4.1.1 ข้อมูลค่าความสูงเหนือทรวงรี

ประมวลผลข้อมูลการรังวัดตำแหน่ง (ละติจูด ลองจิจูด) และความสูงเหนือทรวงรี (h_{obs}) ที่ได้จากการตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS แบบสถิตบนหมุดควบคุมทางดิ่งที่มีค่าระดับออร์โทเมตริก

Station	Latitude	Longitude	Ellipsoidal Height (m)
THAI	14.043006	100.713615	-7.264
Nimt2	14.043700	100.714053	-25.782
Nimt3	14.043488	100.712693	-25.403
SBM15481	14.049266	100.755633	-26.835
SBM15482	14.069270	100.755679	-27.487
SBM15483	14.079910	100.755615	-26.626
SBM14646	14.095292	100.731599	-26.540
SBM974447	14.065839	100.663900	-25.515
SBM974547	14.066199	100.675283	-26.661
SBM974647	14.066580	100.686850	-25.111
SBM764742	14.029178	100.756122	-24.815
SBM975351	14.019630	100.753360	-27.145
CP3004	14.021589	100.754064	-27.806
SPOT1	14.053348	100.687205	-26.201
SPOT2	14.046089	100.687328	-27.933
CP5	14.050502	100.687518	-27.449

ตารางที่ 1 : ข้อมูลการรังวัดด้วยการตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS แบบสถิต

4.1.2 ข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริก

ค่าความสูงออร์โทเมตริก (H_{obs}) ; ใช้ข้อมูลหมุดหลักฐานทางดิ่งงานชั้นที่ 1 จากกรมแผนที่ทหาร และทำการรังวัดเพิ่มเติมด้วยกล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์ ยี่ห้อ TOPCON รุ่น DL-501 เพื่อให้มีการกระจายตัวของข้อมูลทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา โดยอ้างอิงค่าระดับจากหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน FGCC1984 (กรมแผนที่ทหาร, 2560)

Station	Easting (m)	Northing (m)	Orthometric Height (m) 1 st order Leveling
THAI	685,044.675	1,553,154.201	22.91132
Nimt2	685,091.417	1,553,231.341	4.47836
Nimt3	684,944.658	1,553,206.823	4.87202
SBM15481	689,578.013	1,553,880.174	3.24900
SBM15482	689,566.563	1,556,093.454	2.61510
SBM15483	689,550.862	1,557,270.633	3.49988
SBM14646	686,944.674	1,558,953.312	3.81190
SBM974447	679,657.004	1,555,641.977	5.01790
SBM974547	680,886.064	1,555,690.451	3.83081
SBM974647	682,135.088	1,555,741.475	5.34552
SBM764742	689,647.445	1,551,657.917	5.36828
SBM975351	689,356.907	1,550,599.355	3.05805
CP3004	689,431.387	1,550,816.613	2.39998
SPOT1	682,183.875	1,554,277.860	4.26387
SPOT2	682,202.879	1,553,474.821	2.53845
CP5	682,219.922	1,553,963.216	3.03467

ตารางที่ 2 : ข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกอ้างอิงจากข้อมูลกรมแผนที่ทหาร

4.1.3 ข้อมูลค่าความสูงย็อยด์ TGM2017

นำข้อมูลการประมวลตำแหน่ง (ละติจูด ลองจิจูด) ที่ได้จากการตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS แบบสถิตบนหมุดควบคุมทางดิ่งที่มีค่าระดับออร์โทเมตริก เข้าในซอฟต์แวร์ TGM2017 เพื่อประมาณค่าความสูงย็อยด์ (N_{TGM}) ณ ตำแหน่งสถานีร่วม

Station	Latitude	Longitude	N TGM2017 (m)
THAI	14.043006	100.713615	-30.25627
Nimt2	14.043700	100.714053	-30.25548
Nimt3	14.043488	100.712693	-30.26029
SBM15481	14.049266	100.755633	-30.09631
SBM15482	14.069270	100.755679	-30.11736
SBM15483	14.079910	100.755615	-30.13106
SBM14646	14.095292	100.731599	-30.24793
SBM974447	14.065839	100.663900	-30.44642
SBM974547	14.066199	100.675283	-30.41315
SBM974647	14.066580	100.686850	-30.37751
SBM764742	14.029178	100.756122	-30.07245
SBM975351	14.019630	100.753360	-30.07349
CP3004	14.021589	100.754064	-30.07273
SPOT1	14.053348	100.687205	-30.36037
SPOT2	14.046089	100.687328	-30.35120
CP5	14.050502	100.687518	-30.35582

ตารางที่ 3 : ข้อมูลการคำนวณค่าความสูงย็อยด์จากซอฟต์แวร์ TGM2017

4.1.4 ข้อมูลค่าความสูงยี่ออยด์จากการรังวัด ณ สถานีร่วม

คำนวณโดยใช้สมการ $N_{obs} = h_{obs} - H_{obs}$ (ตามขั้นตอนข้อ 3.2.4.i.) โดยใช้ข้อมูล h_{obs} (ข้อ 4.1.1) และ H_{obs} (ข้อ 4.1.2) จะได้มาซึ่งค่าความสูงยี่ออยด์จากการรังวัด ณ สถานีร่วม

Station	Easting (m)	Northing (m)	N co-station (m)
THAI	685,044.675	1,553,154.201	-30.17532
Nimt2	685,091.417	1,553,231.341	-30.26036
Nimt3	684,944.658	1,553,206.823	-30.27502
SBM15481	689,578.013	1,553,880.174	-30.08400
SBM15482	689,566.563	1,556,093.454	-30.10210
SBM15483	689,550.862	1,557,270.633	-30.12588
SBM14646	686,944.674	1,558,953.312	-30.35190
SBM974447	679,657.004	1,555,641.977	-30.53290
SBM974547	680,886.064	1,555,690.451	-30.49181
SBM974647	682,135.088	1,555,741.475	-30.45652
SBM764742	689,647.445	1,551,657.917	-30.18328
SBM975351	689,356.907	1,550,599.355	-30.20305
CP3004	689,431.387	1,550,816.613	-30.20598
SPOT1	682,183.875	1,554,277.860	-30.46487
SPOT2	682,202.879	1,553,474.821	-30.47145
CP5	682,219.922	1,553,963.216	-30.48367

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4 : ข้อมูลค่าความสูงยี่ออยด์จากการรังวัด ณ สถานีร่วม

4.1.5 ข้อมูลค่าแก้ความสูงยี่ออยด์ของสถานีร่วม

คำนวณโดยใช้สมการ $N_{cor} = N_{obs} - N_{TGM}$ (ตามขั้นตอนข้อ 3.2.4.ii.) โดยใช้ข้อมูล N_{obs} (ข้อ 4.1.4) และ N_{TGM} (ข้อ 4.1.3) จะได้มาซึ่งค่าแก้ความสูงยี่ออยด์ของสถานีร่วม

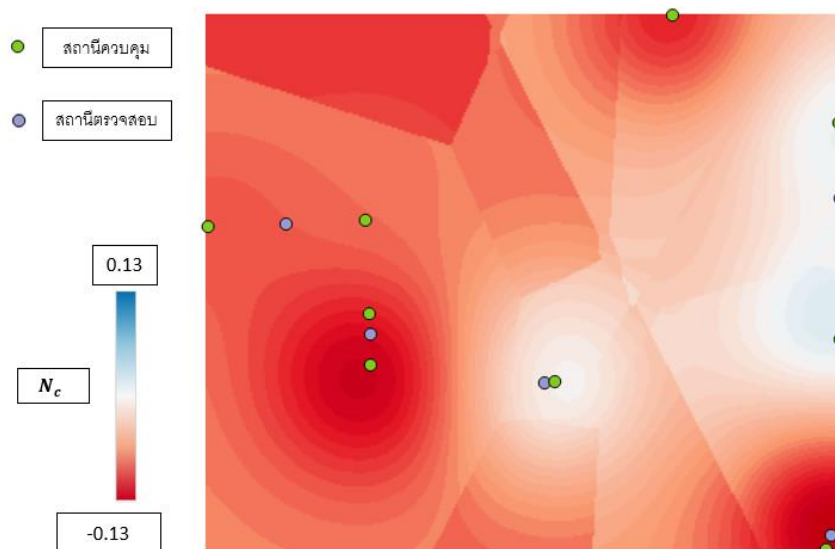
Station	Easting (m)	Northing (m)	N correction (m)
Nimt2	685,091.417	1,553,231.341	-0.00488
Nimt3	684,944.658	1,553,206.823	-0.01473
SBM15481	689,578.013	1,553,880.174	0.01231
SBM15482	689,566.563	1,556,093.454	0.01526
SBM15483	689,550.862	1,557,270.633	0.00518
SBM14646	686,944.674	1,558,953.312	-0.10397
SBM974447	679,657.004	1,555,641.977	-0.08648
SBM974547	680,886.064	1,555,690.451	-0.07866
SBM974647	682,135.088	1,555,741.475	-0.07901
SBM764742	689,647.445	1,551,657.917	-0.11083
SBM975351	689,356.907	1,550,599.355	-0.12956
CP3004	689,431.387	1,550,816.613	-0.13325
SPOT1	682,183.875	1,554,277.860	-0.10450
SPOT2	682,202.879	1,553,474.821	-0.12025
CP5	682,219.922	1,553,963.216	-0.12785

ตารางที่ 5 : ข้อมูลค่าแก้ความสูงยี่ออยด์ของ สถานีร่วม

4.2 การประมวลผลแบบจำลองค่าแก้

ดำเนินการนำข้อมูลค่าแก้ความสูงย้อยต์ของสถานีร่วม (N_{cor}) โดยทำการนำเข้าเฉพาะข้อมูล N_{cor} ของสถานีร่วมควบคุม เข้าโปรแกรม ArcGIS pro ตามพิกัดของแต่ละสถานีควบคุม เพื่อสร้างแบบจำลองค่าแก้ความสูงย้อยต์ (N_c) ณ จุดใดๆทั่วทั้งขอบเขตการศึกษา และนำออกข้อมูลค่าแก้ความสูงย้อยต์ ณ สถานีตรวจสอบ เพื่อคำนวณค่าความสูงย้อยต์ (N_{model}) ณ สถานีตรวจสอบ และค่าความสูงออร์โทเมตริกจากแบบจำลอง (H_{model}) ณ สถานีตรวจสอบสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองต่อไป

4.2.1 ผลลัพธ์แบบจำลองค่าแก้ความสูงย้อยต์



ภาพที่ 14 : แบบจำลองค่าแก้ความสูงย้อยต์

4.2.2 ข้อมูลค่าแก้ความสูงย็อยด์จากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ

Station	Easting (m)	Northing (m)	N_c (m)
Nimt2	685,091.417	1,553,231.341	-0.006669
SBM15482	689,566.563	1,556,093.454	0.000568
SBM974547	680,886.064	1,555,690.451	-0.083696
CP3004	689,431.387	1,550,816.613	-0.129687
CP5	682,219.922	1,553,963.216	-0.111744

ตารางที่ 6 : แบบจำลองค่าแก้ความสูงย็อยด์ ณ สถานีตรวจสอบ

4.2.3 ผลลัพธ์ค่าความสูงย็อยด์จากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ

คำนวณโดยใช้สมการ $N_{model} = N_{TGM} + N_c$

Station	Easting (m)	Northing (m)	N_{model} (m)
Nimt2	685,091.417	1,553,231.341	-30.26215
SBM15482	689,566.563	1,556,093.454	-30.11679
SBM974547	680,886.064	1,555,690.451	-30.49685
CP3004	689,431.387	1,550,816.613	-30.20242
CP5	682,219.922	1,553,963.216	-30.46756

ตารางที่ 7 : ค่าความสูงย็อยด์จากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เมื่อได้มาค่าความสูงยี่อียดจากแบบจำลอง (N_{model}) ณ สถานีตรวจสอบ โดยใช้สมการ $N_{model} = N_{TGM} + N_c$ เพื่อคำนวณค่าความสูงออร์โทเมตริกจากแบบจำลอง (H_{model}) โดยใช้สมการ $H_{model} = h_{obs} - N_{model}$

จากนั้นจึงนำค่า H_{TGM} และ H_{model} เทียบกับค่าความสูงออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหาร (H_{obs}) เพื่อคำนวณค่า RMSE เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้สถานีตรวจสอบ ด้วยสมการดังนี้ $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{obs} - H_{model})^2}{n}}$

4.3.1 ข้อมูลค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหาร ณ สถานีตรวจสอบ

Station	Easting (m)	Northing (m)	H leveling (m)
Nimt2	685,091.417	1,553,231.341	4.47836
SBM15482	689,566.563	1,556,093.454	2.61510
SBM974547	680,886.064	1,555,690.451	3.83081
CP3004	689,431.387	1,550,816.613	2.39998
CP5	682,219.922	1,553,963.216	3.03467

ตารางที่ 8 : ข้อมูลค่าออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหาร ณ สถานีตรวจสอบ

4.3.2 ข้อมูลค่าระดับออร์โทเมตริกจาก TGM2017 ณ สถานีตรวจสอบ

Station	Easting (m)	Northing (m)	H TGM2017 (m)
Nimt2	685,091.417	1,553,231.341	4.46548
SBM15482	689,566.563	1,556,093.454	2.63036
SBM974547	680,886.064	1,555,690.451	3.75215
CP3004	689,431.387	1,550,816.613	2.26673
CP5	682,219.922	1,553,963.216	2.90682

ตารางที่ 9 : ข้อมูลค่าออร์โทเมตริกจาก TGM2017 ณ สถานีตรวจสอบ

4.3.3 ข้อมูลค่าระดับออร์โทเมตริกจากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ

Station	Easting (m)	Northing (m)	H model (m)
Nimt2	685,091.417	1,553,231.341	4.47215
SBM15482	689,566.563	1,556,093.454	2.62979
SBM974547	680,886.064	1,555,690.451	3.83585
CP3004	689,431.387	1,550,816.613	2.39642
CP5	682,219.922	1,553,963.216	3.01856

ตารางที่ 10 : ข้อมูลค่าออร์โทเมตริกจากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจสอบ

4.3.4 ผลต่างค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหารและ TGM 2017 ณ สถานี

ตรวจสอบ

Station	dH TGM2017 (m)
Nimt2	0.01288
SBM15482	-0.01526
SBM974547	0.07866
CP3004	0.13325
CP5	0.12785
RMSE (m)	0.09021

ตารางที่ 11 : ผลต่างค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหารและ TGM2017

4.3.5 ผลต่างค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหารและแบบจำลอง ณ สถานี

ตรวจสอบ

Station	dH model (m)
Nimt2	0.00621
SBM15482	-0.01469
SBM974547	-0.00504
CP3004	0.00356
CP5	0.01611
RMSE (m)	0.01051

ตารางที่ 12 : ผลต่างค่าระดับออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหารและแบบจำลอง

บทที่ 5

อภิปราย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่องการสร้างพื้นผิวค่าแก้สำหรับแบบจำลอง TGM2017 นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาค่าความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณระบบ GNSS โดยใช้สถานี CORS เป็นสถานีฐานเพียงสถานีเดียว เนื่องจากแบบจำลอง TGM2017 จัดทำให้มีค่าข้อมูลความสูงย็อยด์ทุก 1 ลิปตา ในการใช้งานสำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก ข้อมูลแต่ละจุดบนพื้นผิวจะทำการคำนวณจากการประมาณค่าภายใน ส่งผลให้ข้อมูลค่าความสูงย็อยด์ในบางพื้นขนาดเล็กน้อยมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ เหตุนี้ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบการสร้างแบบจำลองจากสถานีร่วมค่าความสูงออร์โทเมตริกอ้างอิงจากกรมแผนที่ทหาร เพื่อลดขนาดค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าว และเมื่อรวมกับค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณระบบ GNSS จะสามารถผ่านเกณฑ์การใช้งานค่าระดับได้

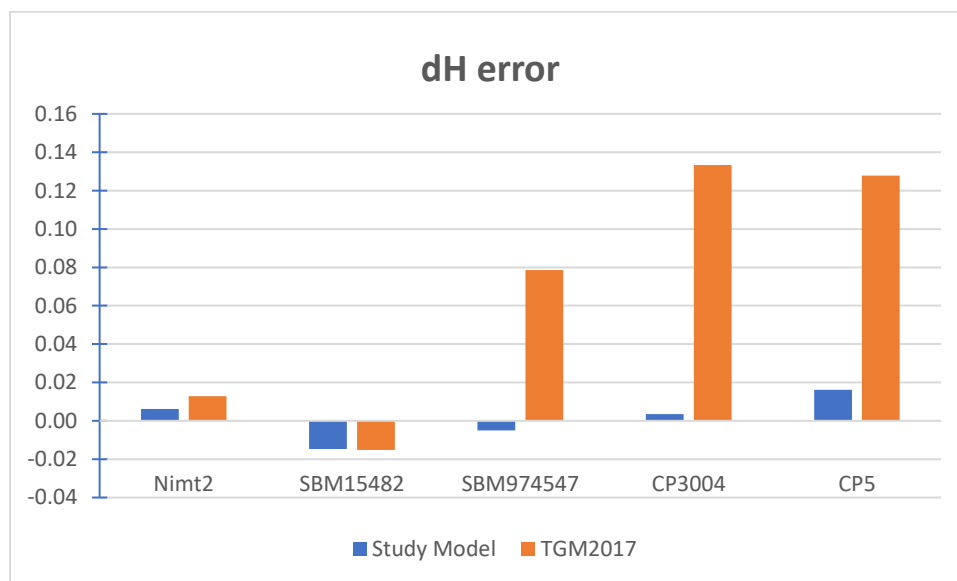
ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการประมาณค่าภายใน Kriging เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้งานได้โดยซอฟต์แวร์ประมวลผล GIS ทั่วไป และมีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามความถูกต้องของข้อมูลขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและจำนวนสถานีร่วมด้วย ผู้วิจัยจึงเลือกใช้พื้นที่ศึกษาเป็นภูมิประเทศในลักษณะที่ราบ มีการเปลี่ยนแปลงความชันน้อย ท้องฟ้าโปร่ง และมีรับสัญญาณดาวเทียมได้จำนวนมาก เพื่อควบคุมค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียม เช่น การเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) อย่างไรก็ตามข้อมูลจาก TGM2017 อยู่บนกรอบอ้างอิง ITRF2008 epoch 2013.81 และข้อมูลจากการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมทั้งหมด จาก CORS THAI อยู่ในกรอบอ้างอิง ITRF2014 epoch 2013.84 ซึ่งอยู่บนกรอบอ้างอิงที่ต่างกัน อาจส่งผลต่อผลการแปลงค่าระดับออร์โทเมตริกได้

ผลการวิจัยการพัฒนาพื้นผิวค่าแก้แบบจำลองย็อยด์ ดังตารางที่ 11 และ ตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้พื้นผิวค่าแก้ด้วยวิธี kriging ประสบความสำเร็จในการลดค่าคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองย็อยด์ จากการตรวจสอบความถูกต้องของ TGM2017 อยู่ที่ 9 เซนติเมตร ลดลงเหลือ 1 เซนติเมตรหลังการปรับใช้ค่าแก้พื้นผิวย็อยด์ หรือลดลงถึงร้อยละ 88.4

เนื่องจาก TGM2017 เป็นพื้นผิวย็อยด์ที่ใช้งานในระดับประเทศ ความหนาแน่นของข้อมูลจึงไม่ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงของค่าโน้มถ่วง ดังนั้นการประยุกต์ใช้ค่าแก้พื้นผิวย็อยด์ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเพิ่มความถูกต้องของการรังวัดค่าความสูงออร์โทเมตริกด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม สำหรับงานก่อสร้าง งานทางวิศวกรรม รวมถึงการสร้างหมุดควบคุมที่จำเป็นสำหรับงานแผนที่ 3 มิติ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาจากการเปรียบเทียบการปรับใช้ค่าแก้ความสูงยี่ห้อกับแบบจำลอง TGM2017 ก่อนปรับใช้และหลังปรับใช้ ณ สถานีตรวจสอบจำนวน 5 สถานี คือ Nimt2, SBM15482, SBM974547, CP3004 และ CP5 มีผลดังตารางที่ 11 และตารางที่ 12



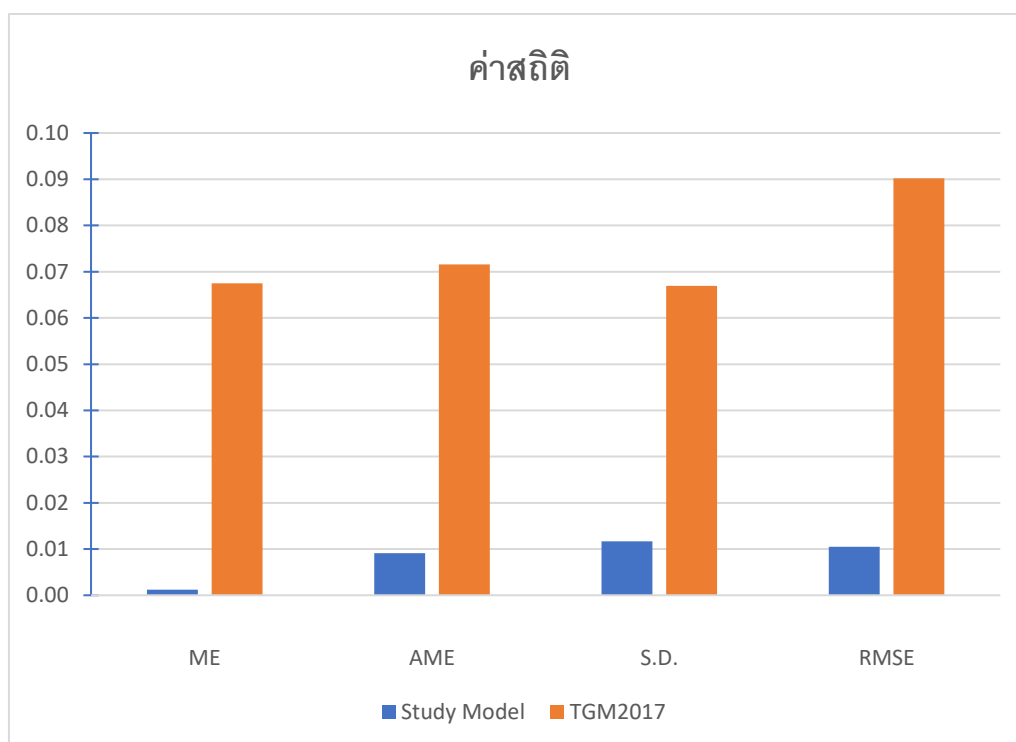
ภาพที่ 15 : แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าความคลื่อนออร์โทเมตริก

ข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกจาก TGM2017 จำนวน 3 ใน 5 หมุดทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์การรังวัดค่าระดับตามมาตรฐาน คือหมุด SBM974547, CP3004 และ CP5 แต่หลังการปรับใช้ค่าแก้แบบจำลอง TGM2017 ค่ารังวัดออร์โทเมตริกผ่านเกณฑ์การรังวัดค่าระดับตามมาตรฐานทั้งหมด

ค่าสถิติทั้งหมดคำนวณจากค่าเศษเหลือ (ส่วนต่าง) ระหว่างค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการรังวัดด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS บนสถานีร่วม ก่อนปรับใช้และหลังปรับใช้แบบจำลองค่าแก้ และเปรียบเทียบกับข้อมูลความสูงออร์โทเมตริกอ้างอิงกรมแผนที่ทหาร

ค่าสถิติ	TGM2017	หลังปรับใช้ค่าแก้	ลดลง (%)
Mean error (m)	0.06748	0.00123	98.2 %
Abs. mean error (m)	0.07156	0.00912	87.3 %
S.D. (m)	0.06694	0.01167	82.6 %
RMSE (m)	0.09021	0.01051	88.4 %

ตารางที่ 13 : ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องของแบบจำลองที่ศึกษาและ TGM2017



ภาพที่ 16 : แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสถิติ

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ดำเนินโดยใช้ข้อมูลอ้างอิงหมวดค่าระดับความสูงภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งมีการวางตัวของหมุดสถานีตามแนวการวางตัวของถนน โดยเป็นหมุดฝังคอสะพาน จากการดำเนินการสำรวจข้อมูลผู้วิจัยพบว่าการก่อสร้างเส้นทางกัลปพฤกษ์ได้สะพานหลายแห่ง ส่งผลให้หมุดค่าระดับความสูงภูมิประเทศ บริเวณทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของสถาบันฯ จำนวนหลายหมุด ถูกทำลาย ส่งผลให้ข้อมูลการกระจายตัวบริเวณดังกล่าวขาดหายไป

ตำแหน่งหมุดค่าระดับความสูงภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร บางสถานีมีการวางตัวในบริเวณที่ไม่เหมาะสมต่อการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณ GNSS ส่งผลให้ผู้วิจัยต้องทำการใช้กล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์ในการรังวัดข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกในบริเวณข้างเคียงที่มีความเหมาะสม สำหรับการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณ GNSS เพื่อป้องกันการเกิดค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัด

เนื่องจากปัญหาอุปสรรคจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ส่งผลให้การดำเนินการและการเข้าถึงข้อมูลเป็นไปได้อย่างยากลำบาก ผู้วิจัยมีข้อมูลน้อยกว่าแผนการวิจัยที่ตั้งไว้ใน การตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนสถานีร่วมที่ควรจะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาและขาดการตรวจสอบทางสถิติ

ผู้วิจัยเสนอแนะให้มีการศึกษาความถูกต้องของแบบจำลองในพื้นที่ลักษณะภูมิประเทศที่มีการเปลี่ยนแปลงกระทันหัน เช่น พื้นที่ภูเขา และพื้นที่ลาดชัน เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการจัดทำสถานีร่วมค่าความสูงออร์โทเมตริกและค่าความสูงเหนือทรวงรี รวมถึงการเพิ่มข้อมูลค่าระดับตามมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 1 ในรูปแบบของข้อมูลเปิด (open source) เพื่อลดการใช้ทรัพยากรจากการทำงานที่เหมือนกันจากแต่ละหน่วยงาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรมแผนที่ทหาร. (2560). การพัฒนาแบบจำลองย็อยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาแบบจำลองย็อยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, กรมแผนที่ทหาร

กรมที่ดิน. (2561). คู่มือการรังวัดเฉพาะรายโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์, กรมที่ดิน หน้า 6-56

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2549). เอกสารคำสอนวิชา 2108631 Advanced GPS Satellite Surveying งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง ((อัดสำเนา) ed.). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 119-128

Dumrongchai, P., & Duangdee, N. (2019). Evaluation of Tgm2017 for Height System Using Gns/Leveling Data in Thailand. International Transaction Journal of Engineering Management & Applied Sciences & Technologies, 10(10). <https://doi.org/Artn 10a10n10.14456/ltjemast.2019.135>

Federal Geographic Data Committee. (1998). Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Geospatial Positioning Accuracy Standards, 7-25

Heiskanen, W. A., & Moritz, H. (1967). Physical geodesy. Bulletin Géodésique (1946-1975), 86(1), 491-492.

Li, Y. S., & Ning, F. S. (2019). Research into GNSS levelling using network RTK in Taiwan. Survey Review, 51(364), 17-25. <https://doi.org/10.1080/00396265.2017.1340130>

Sun, H. X., Li, L. L., Ding, X. W., & Guo, B. X. (2016). The precise multimode GNSS positioning for UAV and its application in large scale photogrammetry. GeoSpatial Information Science, 19(3), 188-194. <https://doi.org/10.1080/10095020.2016.1234705>

Zilkoski, D. B., Carlson, E. E., and Smith, C. L. (2008). "Guidelines for establishing GPS-derived orthometric heights." NOAA Tech. Memorandum NOS NGS 59, 5-11. http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/NGS592008069FINAL2.pdf





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



1. Point Results

Point-ID	Solution Type	Occupations / Baselines	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ellip. Height [m]	SD Latitude	SD Longitude	SD Height
THAI	Phase Fixed	4/20	14° 02' 34.8227" N	100° 42' 49.0146" E	-7.2642 m	0.0021 m	0.0062 m	0.0157 m

Point-ID	Solution Type	Occupations / Baselines	WGS84 Cartesian X	WGS84 Cartesian Y	WGS84 Cartesian Z	SD X	SD Y	SD Z
THAI	Phase Fixed	4/20	-1150485.9272 m	6080853.9312 m	1537596.4908 m	0.0067 m	0.0150 m	0.0043 m

2.1. THAI - 2020-05-11 07:18:12

Point Occupation Results

Marker Name: THAI
 Receiver Type / SN: TPS NET-G5 / W036E9MWDGO
 Antenna Type / SN: TPSCR.G5 TPSH / 762-12296
 Occupation Start: 2020-05-11 07:18:12
 Occupation End: 2020-05-12 05:48:41

Averaged Point Summary: THAI

Weighted Average: Yes

WGS84 Latitude: 14° 02' 34.8224" N SD Latitude: 0.0056 m
 WGS84 Longitude: 100° 42' 49.0143" E SD Longitude: 0.0083 m
 WGS84 Ellip. Height: -7.2766 m SD Height: 0.0254 m

WGS84 Cartesian X: -1150485.9166 m SD X: 0.0094 m
 WGS84 Cartesian Y: 6080853.9233 m SD Y: 0.0243 m
 WGS84 Cartesian Z: 1537596.4790 m SD Z: 0.0082 m

Easting: - SD Easting: -
 Northing: - SD Northing: -
 Ellip. Height: - SD Height: -
 Ortho. Height: -

Baseline Summary THAI

Point-ID	Reference	Baseline Length [m]	3D CQ [m]	ΔX	ΔY	ΔZ	X	Y	Z
THAI							-1150485.9166 m	6080853.9233 m	1537596.4790 m
	MRBR	108447.1256 m	0.0049 m	0.0407 m	-0.0905 m	-0.0178 m	-1150485.9574 m	6080854.0138 m	1537596.4968 m
	SBKK	30424.4405 m	0.0026 m	-0.0112 m	-0.0360 m	-0.0152 m	-1150485.9054 m	6080853.9592 m	1537596.4942 m
	TNPT	83709.0567 m	0.0031 m	0.0109 m	0.0526 m	0.0122 m	-1150485.9276 m	6080853.8707 m	1537596.4668 m
	TPRI	108441.6372 m	0.0032 m	-0.0157 m	0.0424 m	0.0082 m	-1150485.9010 m	6080853.8809 m	1537596.4708 m
	TSRI	82505.1204 m	0.0065 m	0.0067 m	-0.0124 m	0.0390 m	-1150485.9233 m	6080853.9356 m	1537596.4400 m

Baseline Results

2.1.1. Baseline: MRBR - THAI

Used Processing Parameters

Cut-Off Angle: 10°
 Frequency: L1, L2, L5, E5b, E5ab
 Sampling Rate: 30 sec
 Satellite System: GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS
 Disabled Satellites:
 Solution Type: Phase Fixed
 Solution Optimization: Iono minimized
 Frequency to use in Iono Minimized: L1, L2, L5
 Tropospheric Model: VMF
 Ionospheric Model: Computed
 Ephemeris type: Broadcast
 Allow WideLan Fix: Yes
 Min. Distance for Iono Minimized: 15 km
 Possible Ambiguities Fix up to: 300 km
 Min. Duration for Float Solution (static): 5 min

Antennas and Receivers

	Reference - MRBR	Rover - THAI
Receiver Type / SN:	LEICA GR50 / -	TPS NET-G5 / W036E9MWDGO
Antenna Type / SN:	LEIAR20 LEIM / -	TPSCR.G5 TPSH / 762-12296

Coordinates

	Reference - MRBR	Rover - THAI
WGS84 Latitude:	13° 33' 37.6863" N	14° 02' 34.8222" N
WGS84 Longitude:	99° 50' 26.0706" E	100° 42' 49.0151" E
WGS84 Ellip. Height:	-21.790 m	-7.1786 m
WGS84 Cartesian X:	-1059873.687 m	-1150485.9574 m
WGS84 Cartesian Y:	6110212.542 m	6080854.0138 m
WGS84 Cartesian Z:	1485747.945 m	1537596.4968 m

Baseline Vector and Quality

ΔLatitude:	0° 28' 57.1359" N	SD ΔLatitude:	0.0013 m	M0: 1.33568668		
ΔLongitude:	0° 52' 22.9445" E	SD ΔLongitude:	0.0019 m	Q11: 0.00000094	Q12: -0.00000012	Q13: 0.00000027
ΔHeight:	14.6112 m	SD ΔHeight:	0.0043 m	Q22: 0.00000193	Q23: -0.00000015	
				Q33: 0.00001040		
ΔX:	-90612.2704 m	SD ΔX:	0.0020 m	M0: 1.33568668		
ΔY:	-29358.5282 m	SD ΔY:	0.0041 m	Q11: 0.00000216	Q12: -0.00000131	Q13: -0.00000031
ΔZ:	51848.5518 m	SD ΔZ:	0.0017 m	Q22: 0.00000949	Q23: 0.00000245	
Baseline Length:	108447.1256 m	SD Baseline Length:	0.0049 m	Q33: 0.00000163		
		CQ 1D:	0.0017 m			
		CQ 2D:	0.0046 m			
		CQ 3D:	0.0049 m			
GDOP:			7.5 - 1.7			
PDOP:			5.6 - 1.0			
HDOP:			3.1 - 0.5			
VDOP:			4.7 - 0.5			

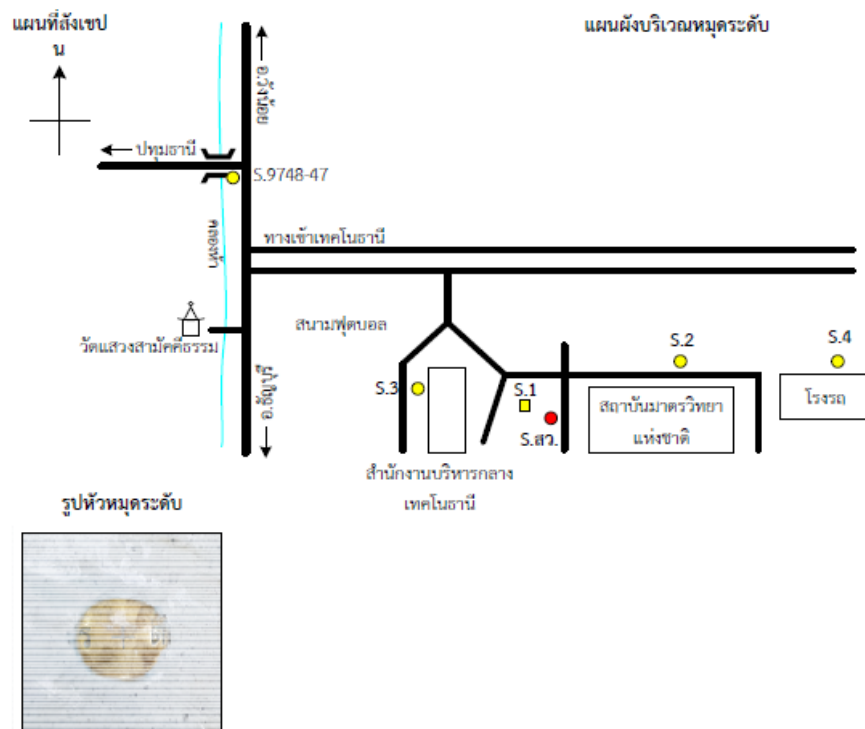
แบบบันทึกข้อมูลหมุดระดับ (Bench Mark : BM)
(Description of BM)

ชื่อ/หมายเลขหมุดระดับ SBM.สว. งานระดับชั้นที่ 1 สักรางปี พ.ศ. 2561
 เส้นทาง/สายงานระดับ ที่ 71 จาก S.14649 (สะพานคลองเจ็ด ทล.ชบ. ปท.4001) ถึง S.2256-57 (สะพานคลองบางขันธุ์ ทล.1)
 สถานที่ตั้ง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ อำเภอ คลองหลวง จังหวัด ปทุมธานี
 ค่าพิกัดทางราบในแผนที่ L7018 หมายเลขระวาง 5137 - III N: 1553193 เมตร ϕ : 14° 02' 36.1"
 UTM ZONE 47P E: 684955 เมตร λ : 100° 42' 46.0"
 ค่าระดับสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (Elevation) H: 3.66971 เมตร \pm มม.
MSL

คำบรรยายประกอบหมุดระดับ

เส้นทาง ทางหลวงชนบท ปท.3010

ลักษณะหมุด กรมแผนที่ทหาร (แบบ ข) เป็นหมุดทองเหลืองหัวกลม ขนาด ϕ 2.5 ซม. สลัก รหัส บนหัวหมุด
 สลักฝังไว้บนฐานดีเซลสายสัญญาณโทรศัพท์ ภายในสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ



ผู้จัดทำ จ.ส.อ.ปิยะ สิงห์เงิน วันที่ 28 ต.ค.61 ผู้ปรับปรุง วันที่
 ผู้ตรวจสอบ จ.ส.อ.วิฑูร ทองดี วันที่ 28 ต.ค.61

SBM.สว. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ อ.คลองหลวง จว.ปทุมธานี



ทิศเหนือ



ทิศใต้



ทิศตะวันออก



ทิศตะวันตก



STATION : Nimt2

Vector Components (Mark to Mark)

From: THAI					
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To: nimt_2					
Grid		Local		Global	
Easting	685091.417 m	Latitude	N14°02'37.32148"	Latitude	N14°02'37.32148"
Northing	1553231.341 m	Longitude	E100°42'50.59107"	Longitude	E100°42'50.59107"
Elevation	4.473 m	Height	-25.782 m	Height	-25.782 m

Vector					
Δ Easting	46.741 m	NS Fwd Azimuth	31°37'45"	Δ X	-39.670 m
Δ Northing	77.139 m	Ellipsoid Dist.	90.193 m	Δ Y	-44.755 m
Δ Elevation	-18.519 m	Δ Height	-18.518 m	Δ Z	70.007 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.001 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'03"	σ Δ X	0.001 m
σ Δ Northing	0.001 m	σ Ellipsoid Dist.	0.001 m	σ Δ Y	0.003 m
σ Δ Elevation	0.003 m	σ Δ Height	0.003 m	σ Δ Z	0.001 m



STATION : Nimt3

Vector Components (Mark to Mark)

From: THAI					
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To: nimt_3					
Grid		Local		Global	
Easting	684944.658 m	Latitude	N14°02'36.55842"	Latitude	N14°02'36.55842"
Northing	1553206.823 m	Longitude	E100°42'45.69404"	Longitude	E100°42'45.69404"
Elevation	4.857 m	Height	-25.403 m	Height	-25.403 m

Vector					
Δ Easting	-100.017 m	NS Fwd Azimuth	298°09'57"	Δ X	103.571 m
Δ Northing	52.622 m	Ellipsoid Dist.	113.013 m	Δ Y	-11.488 m
Δ Elevation	-18.134 m	Δ Height	-18.138 m	Δ Z	47.349 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.001 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'03"	σ Δ X	0.001 m
σ Δ Northing	0.001 m	σ Ellipsoid Dist.	0.001 m	σ Δ Y	0.003 m
σ Δ Elevation	0.003 m	σ Δ Height	0.003 m	σ Δ Z	0.002 m



STATION : SBM.15481

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		SBM.15481			
Grid		Local		Global	
Easting	689578.013 m	Latitude	N14°02'57.35884"	Latitude	N14°02'57.35884"
Northing	1553880.174 m	Longitude	E100°45'20.27714"	Longitude	E100°45'20.27714"
Elevation	3.261 m	Height	-26.835 m	Height	-26.835 m

Vector					
Δ Easting	4533.337 m	NS Fwd Azimuth	81°19'04"	Δ X	-4424.118 m
Δ Northing	725.972 m	Ellipsoid Dist.	4590.942 m	Δ Y	-1029.131 m
Δ Elevation	-19.730 m	Δ Height	-19.571 m	Δ Z	667.149 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.003 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.003 m
σ Δ Northing	0.002 m	σ Ellipsoid Dist.	0.003 m	σ Δ Y	0.007 m
σ Δ Elevation	0.007 m	σ Δ Height	0.007 m	σ Δ Z	0.003 m



STATION : SBM.15482

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		sbm15482			
Grid		Local		Global	
Easting	689566.563 m	Latitude	N14°04'09.37216"	Latitude	N14°04'09.37216"
Northing	1556093.454 m	Longitude	E100°45'20.44481"	Longitude	E100°45'20.44481"
Elevation	2.631 m	Height	-27.487 m	Height	-27.487 m

Vector					
Δ Easting	4521.888 m	NS Fwd Azimuth	57°23'32"	Δ X	-4328.607 m
Δ Northing	2939.253 m	Ellipsoid Dist.	5393.023 m	Δ Y	-1558.888 m
Δ Elevation	-20.361 m	Δ Height	-20.223 m	Δ Z	2813.891 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.003 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.003 m
σ Δ Northing	0.003 m	σ Ellipsoid Dist.	0.003 m	σ Δ Y	0.007 m
σ Δ Elevation	0.007 m	σ Δ Height	0.007 m	σ Δ Z	0.003 m



STATION : SBM.15483

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		SBM.15483			
Grid		Local		Global	
Easting	689550.862 m	Latitude	N14°04'47.67620"	Latitude	N14°04'47.67620"
Northing	1557270.633 m	Longitude	E100°45'20.21394"	Longitude	E100°45'20.21394"
Elevation	3.506 m	Height	-26.626 m	Height	-26.626 m

Vector					
Δ Easting	4506.187 m	NS Fwd Azimuth	48°00'16"	Δ X	-4268.533 m
Δ Northing	4116.431 m	Ellipsoid Dist.	6103.130 m	Δ Y	-1838.024 m
Δ Elevation	-19.486 m	Δ Height	-19.362 m	Δ Z	3955.966 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.007 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.007 m
σ Δ Northing	0.005 m	σ Ellipsoid Dist.	0.007 m	σ Δ Y	0.014 m
σ Δ Elevation	0.015 m	σ Δ Height	0.015 m	σ Δ Z	0.007 m



STATION : SBM.146-46

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		SBM.14646			
Grid		Local		Global	
Easting	686944.674 m	Latitude	N14°05'43.05180"	Latitude	N14°05'43.05180"
Northing	1558953.312 m	Longitude	E100°43'53.75665"	Longitude	E100°43'53.75665"
Elevation	3.708 m	Height	-26.540 m	Height	-26.540 m

Vector					
Δ Easting	1899.999 m	NS Fwd Azimuth	18°33'26"	Δ X	-1643.250 m
Δ Northing	5799.111 m	Ellipsoid Dist.	6102.262 m	Δ Y	-1761.452 m
Δ Elevation	-19.283 m	Δ Height	-19.276 m	Δ Z	5606.674 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.005 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.006 m
σ Δ Northing	0.003 m	σ Ellipsoid Dist.	0.004 m	σ Δ Y	0.011 m
σ Δ Elevation	0.012 m	σ Δ Height	0.012 m	σ Δ Z	0.005 m



STATION : SBM.9744-47

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		SBM.94447			
Grid		Local		Global	
Easting	679657.004 m	Latitude	N14°03'57.02209"	Latitude	N14°03'57.02209"
Northing	1555641.977 m	Longitude	E100°39'50.04006"	Longitude	E100°39'50.04006"
Elevation	4.931 m	Height	-25.515 m	Height	-25.515 m

Vector					
Δ Easting	-5387.671 m	NS Fwd Azimuth	295°12'06"	Δ X	5393.548 m
Δ Northing	2487.776 m	Ellipsoid Dist.	5934.242 m	Δ Y	375.693 m
Δ Elevation	-18.060 m	Δ Height	-18.251 m	Δ Z	2446.196 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.004 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.004 m
σ Δ Northing	0.005 m	σ Ellipsoid Dist.	0.004 m	σ Δ Y	0.009 m
σ Δ Elevation	0.010 m	σ Δ Height	0.010 m	σ Δ Z	0.006 m



STATION : SBM.9745-47

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		SBM.94547			
Grid		Local		Global	
Easting	680886.064 m	Latitude	N14°03'58.31598"	Latitude	N14°03'58.31598"
Northing	1555690.451 m	Longitude	E100°40'31.01788"	Longitude	E100°40'31.01788"
Elevation	3.752 m	Height	-26.661 m	Height	-26.661 m

Vector					
Δ Easting	-4158.612 m	NS Fwd Azimuth	301°47'40"	Δ X	4187.433 m
Δ Northing	2536.250 m	Ellipsoid Dist.	4870.928 m	Δ Y	137.492 m
Δ Elevation	-19.240 m	Δ Height	-19.397 m	Δ Z	2484.491 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.005 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.005 m
σ Δ Northing	0.005 m	σ Ellipsoid Dist.	0.005 m	σ Δ Y	0.009 m
σ Δ Elevation	0.010 m	σ Δ Height	0.010 m	σ Δ Z	0.005 m



STATION : SBM.9746-47

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		SBM.97647			
Grid		Local		Global	
Easting	682135.088 m	Latitude	N14°03'59.68628"	Latitude	N14°03'59.68628"
Northing	1555741.475 m	Longitude	E100°41'12.66167"	Longitude	E100°41'12.66167"
Elevation	5.266 m	Height	-25.111 m	Height	-25.111 m

Vector					
Δ Easting	-2909.587 m	NS Fwd Azimuth	312°03'38"	Δ X	2961.355 m
Δ Northing	2587.274 m	Ellipsoid Dist.	3893.478 m	Δ Y	-102.644 m
Δ Elevation	-17.725 m	Δ Height	-17.847 m	Δ Z	2525.718 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.005 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.005 m
σ Δ Northing	0.004 m	σ Ellipsoid Dist.	0.005 m	σ Δ Y	0.010 m
σ Δ Elevation	0.011 m	σ Δ Height	0.011 m	σ Δ Z	0.005 m



STATION : SBM.7647-42

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		SBM.764742			
Grid		Local		Global	
Easting	689647.445 m	Latitude	N14°01'45.03934"	Latitude	N14°01'45.03934"
Northing	1551657.917 m	Longitude	E100°45'22.04030"	Longitude	E100°45'22.04030"
Elevation	5.258 m	Height	-24.815 m	Height	-24.815 m

Vector					
Δ Easting	4602.770 m	NS Fwd Azimuth	108°25'27"	Δ X	-4577.080 m
Δ Northing	-1496.285 m	Ellipsoid Dist.	4839.706 m	Δ Y	-507.378 m
Δ Elevation	-17.734 m	Δ Height	-17.550 m	Δ Z	-1488.575 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.005 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.006 m
σ Δ Northing	0.005 m	σ Ellipsoid Dist.	0.005 m	σ Δ Y	0.010 m
σ Δ Elevation	0.011 m	σ Δ Height	0.011 m	σ Δ Z	0.006 m



STATION : SBM.9753-51

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		SBM.975351			
Grid		Local		Global	
Easting	689356.907 m	Latitude	N14°01'10.66841"	Latitude	N14°01'10.66841"
Northing	1550599.355 m	Longitude	E100°45'12.09655"	Longitude	E100°45'12.09655"
Elevation	2.929 m	Height	-27.145 m	Height	-27.145 m

Vector					
Δ Easting	4312.232 m	NS Fwd Azimuth	121°03'39"	Δ X	-4331.293 m
Δ Northing	-2554.846 m	Ellipsoid Dist.	5012.076 m	Δ Y	-202.433 m
Δ Elevation	-20.063 m	Δ Height	-19.880 m	Δ Z	-2513.977 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.005 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.005 m
σ Δ Northing	0.004 m	σ Ellipsoid Dist.	0.005 m	σ Δ Y	0.012 m
σ Δ Elevation	0.012 m	σ Δ Height	0.012 m	σ Δ Z	0.005 m



STATION : CP.3004

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		cp3004			
Grid		Local		Global	
Easting	689431.387 m	Latitude	N14°01'17.71910"	Latitude	N14°01'17.71910"
Northing	1550816.613 m	Longitude	E100°45'14.63215"	Longitude	E100°45'14.63215"
Elevation	2.266 m	Height	-27.806 m	Height	-27.806 m

Vector					
Δ Easting	4386.711 m	NS Fwd Azimuth	118°28'04"	Δ X	-4396.127 m
Δ Northing	-2337.588 m	Ellipsoid Dist.	4970.502 m	Δ Y	-268.835 m
Δ Elevation	-20.725 m	Δ Height	-20.542 m	Δ Z	-2303.904 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.003 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.003 m
σ Δ Northing	0.003 m	σ Ellipsoid Dist.	0.003 m	σ Δ Y	0.008 m
σ Δ Elevation	0.008 m	σ Δ Height	0.008 m	σ Δ Z	0.003 m



STATION : SPOT 1

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		spot1			
Grid		Local		Global	
Easting	682183.875 m	Latitude	N14°03'12.05350"	Latitude	N14°03'12.05350"
Northing	1554277.860 m	Longitude	E100°41'13.93869"	Longitude	E100°41'13.93869"
Elevation	4.159 m	Height	-26.201 m	Height	-26.201 m

Vector					
Δ Easting	-2860.800 m	NS Fwd Azimuth	291°51'36"	Δ X	2857.952 m
Δ Northing	1123.658 m	Ellipsoid Dist.	3073.510 m	Δ Y	238.681 m
Δ Elevation	-18.832 m	Δ Height	-18.937 m	Δ Z	1105.403 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.003 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.003 m
σ Δ Northing	0.003 m	σ Ellipsoid Dist.	0.002 m	σ Δ Y	0.007 m
σ Δ Elevation	0.007 m	σ Δ Height	0.007 m	σ Δ Z	0.003 m



STATION : SPOT 2

Vector Components (Mark to Mark)

From: THAI					
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To: spot2					
Grid		Local		Global	
Easting	682202.879 m	Latitude	N14°02'45.92073"	Latitude	N14°02'45.92073"
Northing	1553474.821 m	Longitude	E100°41'14.38068"	Longitude	E100°41'14.38068"
Elevation	2.418 m	Height	-27.933 m	Height	-27.933 m

Vector					
Δ Easting	-2841.797 m	NS Fwd Azimuth	276°51'11"	Δ X	2809.075 m
Δ Northing	320.620 m	Ellipsoid Dist.	2859.777 m	Δ Y	426.162 m
Δ Elevation	-20.573 m	Δ Height	-20.669 m	Δ Z	325.866 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.002 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.002 m
σ Δ Northing	0.002 m	σ Ellipsoid Dist.	0.002 m	σ Δ Y	0.002 m
σ Δ Elevation	0.002 m	σ Δ Height	0.002 m	σ Δ Z	0.002 m



STATION : CP.5

Vector Components (Mark to Mark)

From:		THAI			
Grid		Local		Global	
Easting	685044.675 m	Latitude	N14°02'34.82269"	Latitude	N14°02'34.82269"
Northing	1553154.201 m	Longitude	E100°42'49.01464"	Longitude	E100°42'49.01464"
Elevation	22.992 m	Height	-7.264 m	Height	-7.264 m

To:		cp5			
Grid		Local		Global	
Easting	682219.922 m	Latitude	N14°03'01.80759"	Latitude	N14°03'01.80759"
Northing	1553963.216 m	Longitude	E100°41'15.06511"	Longitude	E100°41'15.06511"
Elevation	2.906 m	Height	-27.449 m	Height	-27.449 m

Vector					
Δ Easting	-2824.753 m	NS Fwd Azimuth	286°23'52"	Δ X	2810.789 m
Δ Northing	809.015 m	Ellipsoid Dist.	2938.272 m	Δ Y	306.353 m
Δ Elevation	-20.085 m	Δ Height	-20.185 m	Δ Z	799.634 m

Standard Errors

Vector errors:					
σ Δ Easting	0.002 m	σ NS fwd Azimuth	0°00'00"	σ Δ X	0.002 m
σ Δ Northing	0.002 m	σ Ellipsoid Dist.	0.002 m	σ Δ Y	0.002 m
σ Δ Elevation	0.002 m	σ Δ Height	0.002 m	σ Δ Z	0.002 m



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ฐิติน บัวทอง
วัน เดือน ปี เกิด	9 ตุลาคม 2539
สถานที่เกิด	กรุงเทพ
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	21 ซอยรามคำแหง118 แยก41 ถนนรามคำแหง118 เขตสะพานสูง แขวง สะพานสูง กรุงเทพมหานคร



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY