

การสร้างพื้นผิวค่าแก้สำหรับแบบจำลองย็อยด์ TGM2017 โดยใช้สถานีร่วมค่าความสูงทรงรีและออร์โธเมตริก
พื้นที่ศึกษา : ปทุมธานี

GENERATING CORRECTION SURFACE FOR TGM2017 GEOID MODEL BY USING CO-STATION OF ELLIPSOIDAL
HEIGHT AND ORTHOMETRIC HEIGHT STUDY CASE: PATHUMTHANI PROVINCE

ฐิติน บัวทอง¹, เฉลิมชนม์ สติระพจน์¹, พุทธิพล ดำรงชัย²

¹ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์, จังหวัดกรุงเทพฯ, ประเทศไทย

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, ประเทศไทย

*Corresponding author address: titin.b96@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการสำรวจรังวัดค่าความสูงของภูมิประเทศ หรือ ความสูงออร์โธเมตริก (Orthometric Height) นอกเหนือการทำการระดับด้วยกล้องระดับ ยังมีการใช้งานที่แพร่หลายของสมการค่าต่างระหว่างค่าความสูงย็อยด์จากแบบจำลองความสูงย็อยด์ และความสูงทรงรีที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบนำทางด้วยดาวเทียม (GNSS) ซึ่งมีความรวดเร็วสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ที่เกิดจากการประมาณค่าความสูงย็อยด์ รวมถึงค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการรังวัดข้อมูลทางตั้งของ GNSS ที่มีมากกว่าการรังวัดข้อมูลทางราบ อยู่ประมาณ 2-3 เท่า การถ่วงระดับสำหรับบริเวณใดๆ (มีเกณฑ์งานขั้นต่ำสุดที่ $12\text{mm}\sqrt{K}$; เมื่อ K คือระยะทาง(กิโลเมตร)) โดยการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณระบบ GNSS แม้จะใช้แบบจำลองย็อยด์ล่าสุด และเป็นแบบจำลองย็อยด์ลูกผสม (Hybrid Geoid Model) TGM2017 ในบริเวณกรุงเทพและปริมณฑล ยังให้ความถูกต้องไม่ผ่านเกณฑ์งานระดับขั้นต่ำสุดในระยะทางของเส้นฐานที่น้อยกว่า 5 กิโลเมตร เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบของแบบจำลอง ย็อยด์

ในการศึกษานี้ จึงมุ่งเน้นในการสร้างแบบจำลองความสูงย็อยด์ที่พอดีที่สุด (Best Fit) ในพื้นที่ใดๆ ด้วยการสร้างพื้นผิวค่าแก้สำหรับแบบจำลองความสูงย็อยด์ TGM2017 จากสถานีร่วมความสูงออร์โธเมตริกและความสูงเหนือทรงรี เพื่อกำจัดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่จากการประมาณค่าแบบจำลองย็อยด์ ในวิธีการรังวัดค่าความสูงภูมิประเทศโดยใช้ระบบ GNSS ให้ข้อมูลมีความถูกต้องทางตั้งผ่านเกณฑ์งานระดับจากการวิจัยนี้พบว่าหลังจากปรับใช้ค่าแก้แล้วส่งผลให้ค่าความถูกต้องตรวจสอบจาก RMSE ลดลงถึงร้อยละ 87 และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงถึงร้อยละ 83 โดยทุกจุดตรวจสอบในพื้นที่ศึกษามีค่าความถูกต้องทางตั้งผ่านมาตรฐานเกณฑ์งานระดับทั้งหมด

คำสำคัญ: แบบจำลองความสูงย็อยด์, ค่าความสูงออร์โธเมตริก, ระบบนำทางด้วยดาวเทียม, การประมาณค่าฟังก์ชันภายใน

Abstract

In modern survey, besides using rod leveling method to obtain topological height or orthometric height, the widely known method is to use geoid undulation equation from geoid model and ellipsoidal height obtaining from GNSS. However, by using this method, there is a significant error from geoid model interpolation and error from measuring elevation by GNSS which is 2-3 times greater than horizontal error. Even though using the latest TGM2017 and hybrid geoid model in Bangkok and vicinity area, the minimum distance satisfying the 3rd order of leveling standard, $12\text{mm}\sqrt{K}$; when K is distance in kilometer, is still greater than 5 kilometers due to geoid model's systematic error.

In this study, the main objective is to eliminate significant error from geoid undulation modeling by establishing the best fit geoid model in any specific area for GNSS measurement system to satisfy the vertical accuracy criteria in leveling standard. The new geoid model is generated by interpolating geoid undulation on co-station of Ellipsoidal height and Orthometric height. The result shows that after applied correction surface the accuracy from RMSE and standard deviation is greatly reduced by 87% and 83% respectively. Every checkpoint in study area also satisfied the vertical accuracy in leveling standard.

Keywords: Geoid Model, Orthometric Height, GNSS, Interpolation

1. คำนำ

การสำรวจรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน (GNSS) เป็นที่นิยมมากในการรังวัดค่าพิกัดจุดใดๆ เนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็ว

รวมถึงไม่ต้องการการมองเห็นแนวสายตา (Line of sight) ใดๆก็ตามการรังวัดดังกล่าวมีข้อจำกัดในการรังวัดค่าความสูง เนื่องจากการรังวัดค่าความสูงที่ได้เป็นค่าความสูงทรงรี (Ellipsoidal height) มิใช่ค่าความสูงของภูมิประเทศ หรือ ค่าความสูงออร์โธ

เมตรริก (Orthometric height) ที่ใช้ทั่วไปสำหรับการสำรวจก่อสร้างและงานแผนที่ อีกทั้งการแปลงค่าความสูงทรงรีไปยังค่าความสูงออร์โธเมตริกทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ที่มาจากทั้งแบบจำลองย็อยด์ (Geoid model) โดยล่าสุดมีแบบจำลอง TGM2017 ที่ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในระดับไม่เกิน 10 เซนติเมตร แต่ยังคงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยที่อยู่ในระดับ 5-6 เซนติเมตร [1] ส่งผลให้ในบางพื้นที่อาจมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลในระดับต่ำ และเรขาคณิตดาวเทียมกับเครื่องรับที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งมีมากกว่าทางราบ [2]

ผู้วิจัยมองเห็นปัญหาดังกล่าว และต้องการลดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ดังกล่าวให้มากที่สุด โดยการสร้างพื้นผิวค่าแก้ (Correction Surface) [3] สำหรับแบบจำลองย็อยด์ TGM2017 เพื่อลดทอนค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองให้อยู่ในระดับต่ำสำหรับงานรังวัดความละเอียดสูง อย่างการรังวัดจุดควบคุม (Control point) สำหรับงานควบคุม ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากแก่การจัดทำแผนที่ โดยในปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้ในการสร้างแผนที่มีหลากหลาย เช่น สร้างจากภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial mapping) การสร้างแผนที่ 3มิติ (3D mapping) รวมถึงงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้อุปกรณ์รังวัดด้วยเลเซอร์ทำแผนที่ (Laser scanning) ล้วนแล้วแต่อ้างอิงจากหมุดควบคุมทั้งสิ้น โดยหมุดควบคุมดังกล่าวนิยมใช้การรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน แต่การได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โธเมตริกความละเอียดสูงยังต้องการจากการถ่ายระดับด้วยอุปกรณ์ประเภทกล้องเช่นเดิม หากสามารถใช้เพียงระบบดาวเทียมนำหนสำหรับการรังวัดค่าพิกิตและค่าความสูงออร์โธเมตริก จะส่งผลให้สามารถประหยัดทั้งเวลาและขั้นตอนการดำเนินการไปได้มากอีกด้วย อีกทั้งในปัจจุบันการใช้งานระบบดาวเทียมนำหนแบบโครงข่าย (Network GNSS) [4] เป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากผู้ใช้ไม่ต้องติดตั้งสถานีฐาน (Base station) แต่รับค่าแก้จากสถานีถาวรต่อเนื่อง (CORs) [5] ซึ่งวิธีดังกล่าวสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ค่าถูกต้องของความสูงออร์โธเมตริกที่รังวัดจะขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองย็อยด์ การสร้างพื้นผิวค่าแก้ที่ลดหรือขจัดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่จากแบบจำลองย็อยด์ดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่สามารถเพิ่มความละเอียดถูกต้องของข้อมูลรังวัดได้อย่างมาก

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อสร้างพื้นผิวค่าแก้ให้กับแบบจำลองย็อยด์ TGM2017 ให้การรังวัดด้วยระบบ GNSS มีความถูกต้องผ่านมาตรฐานเกณฑ์งานระดับหมุดควบคุมทางตั้ง สำหรับการรังวัดค่าความสูงออร์โธเมตริกในพื้นที่ศึกษา

1.2 ขอบเขตของการศึกษา

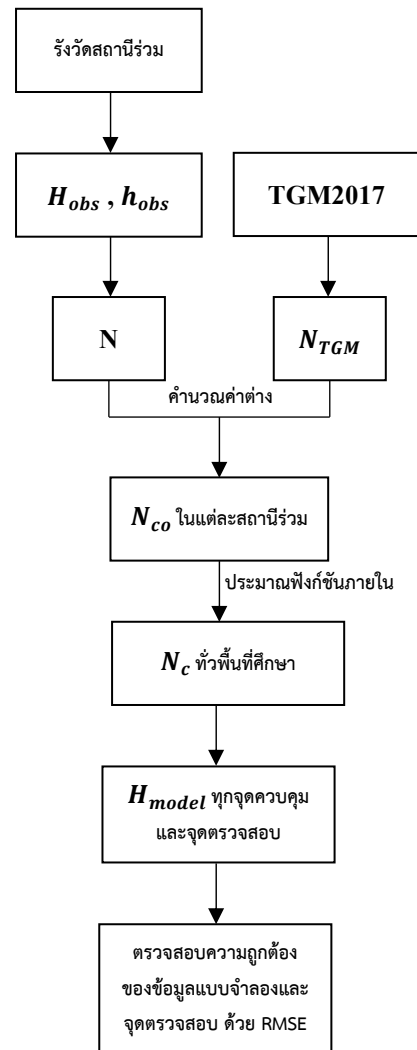
1.2.1 รังวัดค่าความสูงออร์โธเมตริกและค่าความสูงทรงรีบน

สถานีร่วมในพื้นที่ศึกษา เพื่อได้มาซึ่งค่าความสูงย็อยด์ ณ จุดใดๆ

1.2.2 พื้นที่ศึกษาจังหวัดปทุมธานีรอบสถานีรับสัญญาณ GNSS ประเภท continuously operating reference station (CORs) ของสถาบันมาตรวิทยา ในรัศมีประมาณ 6.5 กิโลเมตร

1.2.3 ตรวจสอบเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โธเมตริกที่ได้จากแบบจำลอง และค่าความสูงออร์โธเมตริก บนสถานีตรวจสอบด้วยค่า Root mean square error (RMSE)

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย



2.1. การจัดทำพื้นผิวค่าแก้สำหรับแบบจำลองย็อยด์ TGM2017

การรังวัดข้อมูลสถานีร่วมสำหรับการประมวลผลเพื่อสร้างพื้นผิวค่าแก้ค่าความสูงย็อยด์ (Geoid undulation) ประกอบด้วย การหาค่าต่างระหว่างค่าความสูงทรงรี และค่าความสูงออร์โธเมตริก และสร้างพื้นผิวค่าแก้ด้วยวิธีคำนวณแบบเส้นฐาน [6]

2.2. การรังวัดข้อมูลสถานีร่วม

การรังวัดข้อมูลสถานีร่วมสำหรับการประมวลผลเพื่อสร้างพื้นผิวค่าแก้ค่าความสูงย็อยด์ (Geoid undulation) ประกอบด้วยค่าความสูงทธรัง และค่าความสูงออร์โทเมตริก

2.2.1. การรังวัดค่าความสูงผิวทธรังอ้างอิง

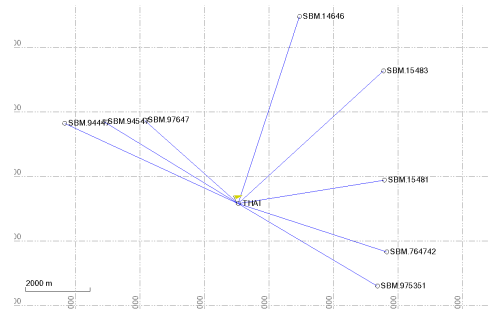
รังวัดโดยใช้เครื่องรับสัญญาณ GNSS ของ CHC รุ่น i80 รับสัญญาณแบบสถิต ทุกๆ 1 วินาที เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 25 นาทีในแต่ละสถานี โดยใช้สถานี CORs ของสถาบันมาตรวิทยาเป็นสถานีฐาน (BASE STATION) จากนั้นประมวลผลไฟล์ RINEX ด้วยซอฟต์แวร์ TBC (Trimble Business Center) ในรูปแบบเส้นฐานเดี่ยว (Single baseline) โดยมีค่าดังตารางที่ (1)

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดและความสูงทธรังอ้างอิง บนสถานีร่วม

Station	Latitude	Longitude	h (Station)
Nimt2	14.043700	100.714053	-25.782
Nimt3	14.043488	100.712693	-25.403
SBM.15481	14.049266	100.755633	-26.835
SBM.15482	14.069270	100.755679	-27.487
SBM.15483	14.079910	100.755615	-26.626
SBM.14646	14.095292	100.731599	-26.540
SBM.9744-47	14.065839	100.663900	-25.515
SBM.9745-47	14.066199	100.675283	-26.661
SBM.9746-47	14.066580	100.686850	-25.111
SBM.7647-42	14.029178	100.756122	-24.815
SBM.9753-51	14.019630	100.753360	-27.142
CP.3004	14.021589	100.754064	-27.806



รูปที่ 1 การรังวัดค่าความสูงผิวทธรังอ้างอิงของสถานีร่วมแบบสถิต ด้วยเครื่องรับสัญญาณ GNSS



รูปที่ 2 การประมวลผลค่าความสูงผิวทธรังอ้างอิงของสถานีร่วม ด้วยซอฟต์แวร์ TBC

2.2.2. การรังวัดค่าความสูงออร์โทเมตริก

ข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกรังวัดจากการใช้มาตรฐานงานสำรวจระดับชั้นที่ 1 [7] โดยนำข้อมูลการทำสายงานระดับมาตรฐานชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร ในสายงานหมายเลขที่ L71, L74 และ L78 จำนวนทั้งหมด 9 หมุด และหมุดเพิ่มเติมอีก 3 หมุด โดยมีค่าดังตารางที่ (2)

ตารางที่ 2 ค่าความสูงออร์โทเมตริกจากงานระดับชั้นที่ 1 บนสถานีร่วม

Station	H (Station)
Nimt2	4.47836
Nimt3	4.87202
SBM.15481	3.24900
SBM.15482	2.61510
SBM.15483	3.49988
SBM.14646	3.81190
SBM.9744-47	5.01790
SBM.9745-47	3.83081
SBM.9746-47	5.34552
SBM.7647-42	5.36828
SBM.9753-51	3.05805
CP.3004	2.39998

2.3. การสร้างพื้นผิวค่าแก้

เมื่อได้รังวัดค่าความสูงย็อยด์จากสถานีร่วม คำนวณค่าต่างความสูงย็อยด์สถานีร่วมและความสูงย็อยด์จาก TGM2017 เพื่อนำค่าต่างดังกล่าวมาสร้างพื้นผิวค่าแก้โดยการประมวลผลด้วยการประมาณค่าฟังก์ชันภายใน

2.3.1. คำนวณค่าความสูงย็อยด์สถานีร่วม

คำนวณค่าความสูงย็อยด์ในแต่ละสถานีร่วมได้ตั้ง สมการที่ (1) [7] จากข้อมูลในตารางที่ (1) และตารางที่ (2)

$$N = h - H \quad (1)$$

h คือ ค่าความสูงทธรังอ้างอิง

H คือ ค่าความสูงออร์โทเมตริก (ความสูงของภูมิประเทศ)
N คือ ค่าความสูงย็อยด์ (ค่าต่างผิวทรงรีถึงภูมิประเทศ)

2.3.2. คำนวณค่าความสูงย็อยด์จาก TGM2017

คำนวณค่าความสูงย็อยด์จาก TGM2017 ได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ TGM2017 โดยการป้อนค่าพิกัดในไฟล์ INPUT ที่มีชื่อสถานี และ พิกัดละติจูด ลองจิจูด ตามรูปแบบของตารางที่ (1) และรับค่า N จาก ไฟล์ OUTPUT มีค่าดังตารางที่ (3)

ตารางที่ 3 ค่าความสูงย็อยด์จาก TGM2017 บนสถานีร่วม

Station	N (TGM)
Nimt2	-30.25548
Nimt3	-30.26029
SBM.15481	-30.09631
SBM.15482	-30.11736
SBM.15483	-30.13106
SBM.14646	-30.24793
SBM.9744-47	-30.44642
SBM.9745-47	-30.41315
SBM.9746-47	-30.37751
SBM.7647-42	-30.07245
SBM.9753-51	-30.07349
CP.3004	-30.07273

2.3.3. คำนวณค่าต่างความสูงย็อยด์สถานีร่วมและ TGM2017

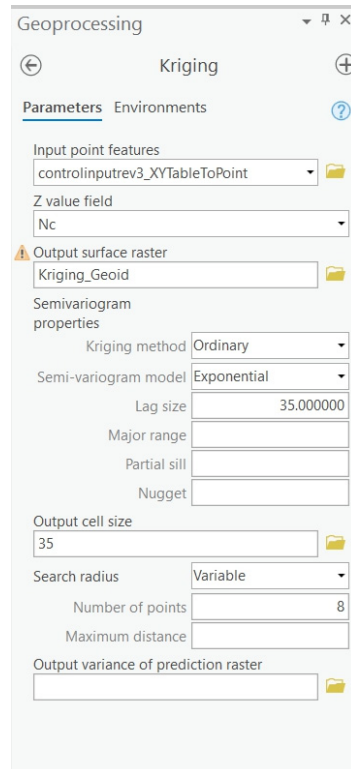
คำนวณค่าต่างความสูงจากการหาผลต่างระหว่างหัวข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 คือค่าต่างความสูงย็อยด์ของสถานีร่วมใดๆ ดังตารางที่ (4)

ตารางที่ 4 ค่าต่างความสูงย็อยด์ของสถานีร่วม และ TGM2017

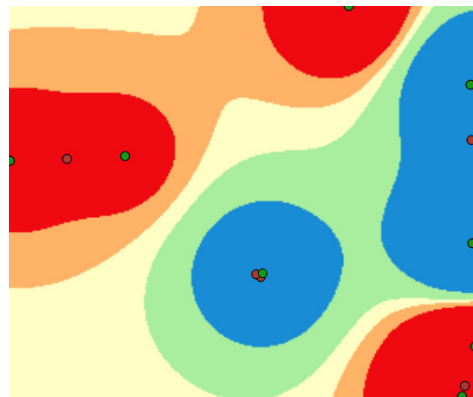
Station	N (TGM)	N (Station)	N(co)
Nimt2	-30.25548	-30.26036	-0.00488
SBM.15481	-30.09631	-30.08400	0.01231
SBM.15483	-30.13106	-30.12588	0.00518
SBM.14646	-30.24793	-30.35190	-0.10397
SBM.9744-47	-30.44642	-30.53290	-0.08648
SBM.9746-47	-30.37751	-30.45652	-0.07866
SBM.7647-42	-30.07245	-30.18338	-0.11083
SBM.9753-51	-30.07349	-30.20015	-0.12656

2.3.4. การประมาณค่าฟังก์ชันภายใน

นำค่าต่างความสูงย็อยด์เข้าสู่ซอฟต์แวร์ประมวลผล ArcGIS ทำการประมาณค่าฟังก์ชันภายในโดยใช้วิธีการ Kriging โดยทำการ กำหนดค่าสำหรับประมาณ ดังรูปที่ (3) และได้ผลลัพธ์ ดังรูปที่ (4)



รูปที่ 3 การกำหนดตั้งค่าสำหรับ Kriging



รูปที่ 4 ผลจากการประมาณค่าภายในสถานีร่วมสำหรับ พื้นที่ค่าแก้ในพื้นที่ศึกษา

$$N_{model} = N_{TGM} + N_c \quad (2)$$

N_{model} คือ ค่าความสูงย็อยด์หลังปรับใช้ค่าแก้แล้ว

N_{TGM} คือ ค่าความสูงย็อยด์จากตารางที่ (3)

N_c คือ ค่าแก้ความสูงย็อยด์

เมื่อได้พื้นผิวค่าแก้ N_c นำไปคำนวณค่า N_{model} ในแต่ละ สถานีร่วมสำหรับทั้งค่าสถานีควบคุมและตรวจสอบ ดังสมการที่ (2) และได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกจากงานระดับชั้นที่ 1 และ ความสูงออร์โทเมตริกที่คำนวณได้จาก TGM2017

Station	N(TGM)	N(c)	N(Model)
Nimt2	-30.25548	-0.00615	-30.262
Nimt3	-30.26029	-0.01495	-30.275
SBM.15481	-30.09631	0.01203	-30.084
SBM.15482	-30.11736	0.00711	-30.110
SBM.15483	-30.13106	0.00476	-30.126
SBM.14646	-30.24793	-0.10378	-30.352
SBM.9744-47	-30.44642	-0.08646	-30.533
SBM.9745-47	-30.41315	-0.08081	-30.494
SBM.9746-47	-30.37751	-0.07884	-30.456
SBM.7647-42	-30.07245	-0.11083	-30.183
SBM.9753-51	-30.07349	-0.12648	-30.200
CP.3004	-30.07273	-0.11548	-30.188

โดยใช้สถานีควบคุมในการสร้างพื้นผิวค่าแก้จำนวน 8 หมดคือ หมด Nimt2, SBM.15481, SBM.15483, SBM.14646, SBM.9745-47, SBM.9746-47, SBM.7647-42 และ SBM.9753-51 โดยมีสถานี ตรวจสอบจำนวน 4 หมดคือ หมด NIMT3, SBM.15482 , SBM.9745-47 และ CP.3004

2.4. การตรวจสอบความถูกต้อง

รากที่สองของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Squared Error : RMSE) คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเศษ เหลือ (การคาดเดาค่าคลาดเคลื่อน) หรือการวัดความแตกต่าง ระหว่างค่าที่คาดหวังและค่าจริง มักใช้ในการพยากรณ์ โดยค่า คาดหวังที่ใกล้กับค่าจริง จะให้ค่า RMSE ที่ต่ำ โดยมีสมการสำหรับ งานวิจัยนี้เป็นไปดังสมการที่ (3) [9]

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_{obs} - H_{model})^2}{n}} \quad (3)$$

H_{obs} คือ ค่าความสูงออร์โทเมตริกจากงานระดับชั้นที่ 1

H_{model} คือ ค่าความสูงออร์โทเมตริกหลังปรับใช้ค่าแก้แล้ว

n คือ จำนวนข้อมูล

ทำการตรวจสอบข้อมูลโดยการนำข้อมูลของสถานีตรวจสอบ

คำนวณค่าต่างระหว่าง ค่าความสูงออร์โทเมตริกงานระดับชั้นที่ 1 และค่าความสูงออร์โทเมตริกจาก TGM2017 ดังตารางที่ (6) และ คำนวณต่างระหว่าง ค่าความสูงออร์โทเมตริกงานระดับชั้นที่ 1 และ ค่าความสูงออร์โทเมตริกจาก TGM2017 หลังปรับใช้ค่าแก้แล้ว ดัง ตารางที่ (7)

ตารางที่ 6 ค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกจากงานระดับชั้นที่ 1 และ ความสูงออร์โทเมตริกที่คำนวณได้จาก TGM2017

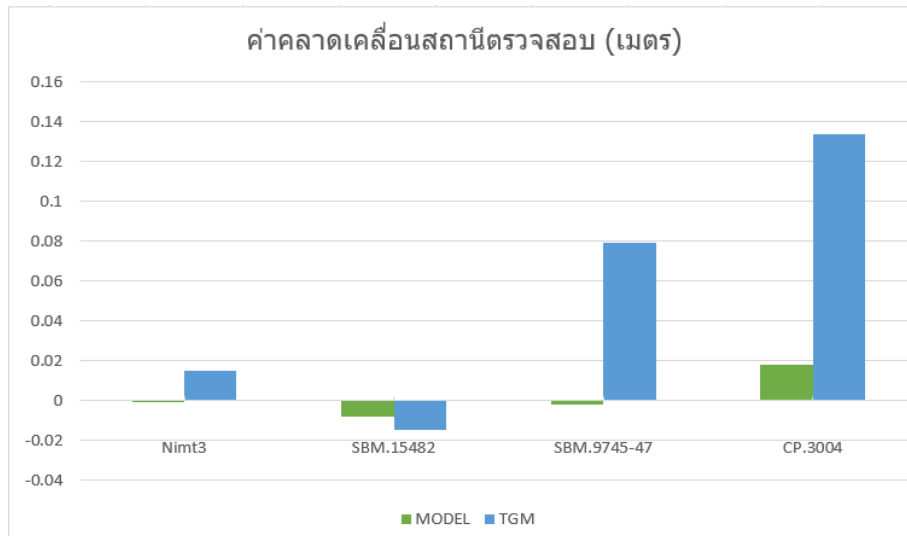
Station	H (Station)	H (TGM)	diff
Nimt3	4.87202	4.85729	0.01473
SBM.15482	2.61510	2.63036	-0.01526
SBM.9745-47	3.83081	3.75215	0.07866
CP.3004	2.39998	2.26673	0.13325
		MEAN (m)	0.053
		S.D. (m)	0.066
		RMSE (m)	0.078

ตารางที่ 7 ค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกจากงานระดับชั้นที่ 1 และ ความสูงออร์โทเมตริกที่คำนวณได้จาก TGM2017 หลัง ปรับใช้ค่าแก้แล้ว

Station	H (Station)	H (Model)	diff
Nimt3	4.87202	4.87224	-0.00022
SBM.15482	2.61510	2.62325	-0.00815
SBM.9745-47	3.83081	3.83296	-0.00215
CP.3004	2.39998	2.38221	0.01777
		MEAN (m)	0.002
		S.D. (m)	0.011
		RMSE (m)	0.010

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า ความถูกต้อง ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนจาก TGM2017 และหลังจากการปรับใช้ค่าแก้แล้ว บนสถานีตรวจสอบ จำนวน 4 หมด

ค่าสถิติ	TGM2017	Model	ลดลง (%)
MEAN (m)	0.053	0.002	95%
S.D. (m)	0.066	0.011	83%
RMSE (m)	0.078	0.010	87%



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนแต่ละสถานีตรวจสอบคำนวณจาก TGM2017 และแบบจำลอง

3. ผลการวิจัย

3.1. ผลลัพธ์จากการศึกษา

ผลการศึกษาจากการเปรียบเทียบผลการศึกษาจากการเปรียบเทียบการปรับใช้ค่าแก้สร้างโดยสถานีควบคุมจำนวน 8 หมุด และตรวจสอบโดยสถานีตรวจสอบจำนวน 4 หมุด พบว่าสถานีตรวจสอบมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจาก 0.053 เมตร ลดเหลือ 0.002 เมตร ลดลงเชิงปริมาณร้อยละ 95 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 0.066 เมตร ลดเหลือ 0.011 ลดลงร้อยละ 83 และค่าความถูกต้องตรวจสอบโดย RMSE จาก 0.078 เมตร ลดเหลือ 0.010 เมตร ลดลงร้อยละ 87 ดังตารางที่ (8)

ค่าสถิติทั้งหมดคำนวณจากค่าเฉลี่ย (ส่วนต่าง) ระหว่างการแปลงข้อมูลทดสอบบนสถานีร่วมไปยังค่าความสูงออร์โทเมตริก (ประกอบด้วยการแปลงจาก TGM2017 และค่าแปลงหลังจากปรับใช้ค่าแก้แล้ว) และเปรียบเทียบกับข้อมูลความสูงออร์โทเมตริกจากงานระดับมาตรฐานงานชั้นที่ 1

3.2. สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาที่ใช้สถานีควบคุมในการสร้างพื้นผิวค่าแก้คือ สถานี Nimt2, SBM.15481, SBM.15483, SBM.14646, SBM.9744-47, SBM.9746-47, SBM.7647-42 และ SBM.9753-51 โดยมีสถานีตรวจสอบคือสถานี Nimt3, SBM.15482 และ SBM.9745-47 พบว่าจากการใช้งานคำนวณความสูงออร์โทเมตริกโดยใช้แบบจำลอง TGM2017 แบบปกติ ค่าความถูกต้องทางตั้งไม่ผ่านมาตรฐานเกณฑ์ระดับ ถึง 3 ใน 4 ของจำนวนหมุดตรวจสอบ

หลังปรับใช้พื้นผิวค่าแก้พบว่าค่าคลาดเคลื่อนลดลงอย่างมาก ความถูกต้องทางตั้งทุกจุดตรวจสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานงานระดับ

ชั้นต่ำ และ 3 ใน 4 ของจำนวนหมุดตรวจสอบ มีค่าความถูกต้องผ่านเกณฑ์งานระดับชั้นที่ดีที่สุด ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำ ส่งผลให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นในการนำไปใช้งานต่อสำหรับงานควบคุมที่ต้องการความละเอียดและการเปลี่ยนแปลงที่น้อย

งานวิจัยนี้เป็นการคำนวณค่าความสูงของภูมิประเทศโดยใช้การรังวัดจากระบบดาวเทียมนำแบบสถิต เส้นฐานเดี่ยว สถานีฐานเป็นสถานี CORs ซึ่งใช้สถานีเดียวกันตลอดการศึกษา วิธีการดังกล่าวช่วยให้สะดวกรวดเร็วเนื่องจากผู้ใช้งานไม่ต้องติดตั้งสถานีฐาน คล้ายคลึงกับการทำงานในระบบดาวเทียมนำแบบโครงข่าย ซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบัน จากข้อมูล ตารางที่ (6) พบว่าการทำงานปกติโดยใช้สถานีฐาน CORs เพียงสถานีเดียว อาจมีค่าคลาดเคลื่อนเชิงปริมาณจากแบบจำลองที่ย่อยต่างกันในแต่ละพื้นที่ ส่งผลให้ค่ารังวัดมีการคลาดเคลื่อนต่างกันแต่ละพื้นที่ และหลังจากการปรับใช้ค่าแก้แบบจำลองแล้ว ส่งผลให้ค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวลดลงอย่างมาก ดังตารางที่ (7) การสร้างพื้นผิวค่าแก้จึงเหมาะแก่การใช้งานประเภทรังวัดที่ดิน (Cadastral survey) และงานก่อสร้างที่หมุดควบคุมอาจมีการสูญหายหรือใช้การไม่ได้ ส่งผลให้ต้องจัดทำหมุดควบคุมใหม่ การใช้พื้นผิวค่าแก้ส่งผลให้สามารถจัดทำหมุดควบคุมที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงได้อย่างรวดเร็ว

เนื่องจากปัญหาอุปสรรคจากสถานการณ์การระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้การวางแผนรังวัดข้อมูลหมุดตรวจสอบของคณะผู้จัดทำต้องเลื่อนออกไปส่งผลให้มีข้อมูลตรวจสอบในจำนวนที่น้อยกว่าความเหมาะสมที่คณะผู้จัดทำมุ่งหวังไว้

3.3. ข้อเสนอแนะ

เพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลควรจัดทำข้อมูลหมุดตรวจสอบที่มีปริมาณมากและมีการกระจายตัวที่ทั่วพื้นที่ศึกษา งานวิจัยนี้จัดทำ

ในบริเวณที่ราบ ในงานวิจัยต่อไปอาจเพิ่มกลุ่มตัวอย่างการใช้ค่าแก้พื้นผิวสำหรับที่เชิงเขาหรือพื้นที่ที่มีความชันสูง ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องของแบบจำลอง TGM2017 เพื่อทดสอบวิธีการดังกล่าวในพื้นที่ศึกษาอื่นๆ ของประเทศ เช่น ภาคเหนือของประเทศไทย เพื่อให้การใช้งานระบบดาวเทียมนำหนในการหาค่าความสูงของภูมิประเทศหรือค่าความสูงออร์โทเมตริกสามารถใช้งานได้กว้างขวาง เพื่อความสะดวกรวดเร็วของผู้ใช้งานต่อไป

4. การอ้างอิง

- [1] ชัยวัฒน์ พรหมทอง, พุทธิพล ดำรงชัย (2560). การพัฒนาแบบจำลองย้อยอดความละเอียดสูงของประเทศไทย. รายงานโครงการพัฒนาแบบจำลองย้อยอดความละเอียดสูงของประเทศไทย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, กรมแผนที่ทหาร หน้า 170-200
- [2] เฉลิมชนม์ สติระพจน์, บรรเจิด พละการ, วิชัย เยี่ยงวีรชน และ อธิติ ตรีสัตยวงศ์,. (2547). การหาค่าระดับเหนือน้ำทะเลปานกลางของสถานีวัดน้ำในอ่าวไทยด้วยจีพีเอส. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9.
- [3] Yi-Shan Li & Fang-Shii Ning (2019) Research into GNSS levelling using network RTK in Taiwan, Survey Review, 51:364, 17-25, DOI: 10.1080/00396265.2017.1340130
- [4] ประทีป กิริติเรขา, วิเชียร โกวิทพงศ์ขจร (2561). คู่มือการรังวัดเฉพาะรายโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์, กรมที่ดิน หน้า 12-56
- [5] ประทีป กิริติเรขา, วิเชียร โกวิทพงศ์ขจร (2561). คู่มือการรังวัดเฉพาะรายโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์, กรมที่ดิน หน้า 6-22
- [6] เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2549). เอกสารการสอนวิชา 2108631 Advanced GPS Satellite Surveying งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง ((อัดสำเนา) ed.). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 119-128
- [7] ชัยวัฒน์ พรหมทอง, พุทธิพล ดำรงชัย (2560). การพัฒนาแบบจำลองย้อยอดความละเอียดสูงของประเทศไทย. รายงานโครงการพัฒนาแบบจำลองย้อยอดความละเอียดสูงของประเทศไทย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, กรมแผนที่ทหาร หน้า 12
- [8] Heiskanen, W. A., & Moritz, H. (1967). Physical geodesy. Bulletin Géodésique (1946-1975), 86(1), 491-492.
- [9] Federal Geographic Data Committee. (1998). Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Geospatial Positioning Accuracy Standards, 7-25