# การประเมินความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยในพื้นที่ติดตามการทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

นายวัชโรตม์ พันโยธา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Evaluation of orthometric heights determination by using Thailand high-precision local geoid model in Bangkok and Metropolitan region.

Mr. Wacharot Phunyotha

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2018

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การประเมินความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยในพื้นที่ติดตามการทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพมหานครและปริมณฑล |
| โดย | นายวัชโรตม์ พันโยธา |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมสำรวจ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ดร.ชัยโชค ไวภาษา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์)

..... กรรมการ
(ดร.กรวิก ตนักษรานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(พันโท ดร.สรวิศ สุภเวชย์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัชโรตม์ พันโยธา : การประเมินความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองยีอออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยในพื้นที่ติดตามการทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพมหานครและปริมณฑล . ( Evaluation of orthometric heights determination by using Thailand high-precision local geoid model in Bangkok and Metropolitan region.) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์

การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล (Global Navigation Satellite System-derived orthometric heights: GNSS-derived orthometric heights) เป็นกรรมวิธีในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศ (Orthometric heights) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal height) ที่ได้จาก GNSS (Global Navigation Satellite System) มารวมกับค่าต่างระหว่างความสูงเหนือภูมิประเทศกับความสูงเหนือทรงรี (Geoid undulation) ซึ่งได้มาจากแบบจำลองยีอออยด์ (Geoid Model) ในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศ ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ระยะเวลาที่สั้น และมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าวิธีการระดับแบบดั้งเดิม (Classical leveling) เพื่อให้ได้ค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากลจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกแบบจำลองยีอออยด์ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงมาทำการประมวลผลหาค่า Geoid undulation ซึ่งในปัจจุบันโดยความร่วมมือระหว่างกรมแผนที่ทหารและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองยีอออยด์ความละเอียดสูงสำหรับประเทศไทย (Thai geoid model 2017, TGM2017) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียม GNSS ในพื้นที่ประเทศไทย ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากวิธีการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งจากการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธีการแบบสถิต (Static) แบบจลน์ (Kinematic) และแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP) เพื่อใช้ในการหาค่าความสูงภูมิประเทศ จากการใช้ค่า Geoid Undulation จากแบบจำลองยีอออยด์ท้องถิ่น TGM2017 กับแบบจำลองยีอออยด์สากล (Earth Gravitational Model 2008, EGM2008) ในแต่ละวิธีการประมวลผลจะทำการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ (Absolute) และสัมพัทธ์ (Relative) โดยใช้จุดทดสอบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดปทุมธานีและใช้ค่าระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารในการตรวจสอบความถูกต้อง จากการทดสอบพบว่าวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ให้ค่าความถูกต้องที่ดีที่สุดและแบบจำลองยีอออยด์ท้องถิ่น TGM2017 กับแบบจำลองยีอออยด์สากล EGM2008 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใช้ร่วมกับวิธีการนี้ ส่วนวิธีการแบบสถิตและทำการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์แบบจำลองแบบจำลองยีอออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ให้ค่าความถูกต้องที่ดีกว่าแบบจำลองยีอออยด์สากล EGM2008

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# # 5970312521 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: Global Navigations Satellites System, ellipsoidal heights, orthometric heights, Geoid undulation

Wacharot Phunyotha : Evaluation of orthometric heights determination by using Thailand high-precision local geoid model in Bangkok and Metropolitan region.. Advisor: Prof. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D.

Global Navigations Satellites System-derived orthometric heights (GNSS-derived orthometric heights) is a procedure for estimating orthometric heights from GNSS technique with the relationship of ellipsoidal heights, that were calculated from GNSS, the difference between ellipsoidal heights and orthometric heights (Geoid undulation), that were derived from geoid model, and orthometric heights. This approach could significantly reduce cost and time compared to classical leveling. However, the one of a critical factor in this approach is precision of the geoid model, therefore, the high accuracy geoid model must be provided. Nowadays, with the collaboration between Royal Thai Survey Department (RTSD) and Chiang Mai University, the high precision Thailand geoid model (Thailand geoid model 2017: TGM2017) was established which could be applied for GNSS-derived orthometric heights in Thailand region. This study was compared orthometric heights which were performed by three GNSS processing techniques such as static, kinematic and Precise Point Positioning (PPP) technique. Thus, orthometric heights were derived using TGM2017 and Earth Gravitational Model 2008: EGM2008) for each GNSS processing schemes with absolute and relative derived orthometric heights method and statistically analyzed w.r.t first-order leveling network in Phatum Thani province. The results show that the relative method provided the best solutions in any processing schemes, nevertheless, applying TGM2017 or EGM2008 showed no significance in the relative method. On the other hand, the highest accuracy was performed by apply TGM2017 with static processing scheme.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| | | |
|---|---|---|
| Field of Study: | Survey Engineering | Student's Signature ..... |
| Academic Year: | 2018 | Advisor's Signature ..... |

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องด้วยความอนุเคราะจาก ศ.ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้ความเมตตาแก่ข้าพเจ้า ดร.ชัยโชค ไวภาษา ประธานกรรมการสอบ, ดร.กรวิก ตนักษรานนท์ กรรมการสอบ, และพันโท ดร.สรวิศ สุภเวชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาภายนอก ที่ได้ให้คำชี้แนะตลอดจนข้อคิดเห็นจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณ กรมแผนที่ทหาร สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับงานวิจัย ขอบคุณ ว่าที่ดอกเตอร์ ชัยพร กิจประชา ที่ได้เสียสละเวลามาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อผิดพลาดให้แก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอน้อมรำลึกถึงพระพุทธคุณ พระธรรมคุณ พระสังฆคุณ และบิดามารดา ครู-อุปชาและอาจารย์ ญาติพี่น้องและมิตรสหายทุกท่านนับแต่อดีตถึงปัจจุบัน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณด้วยใจเคารพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คณะกรรมการสอบและอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า ผู้บังคับบัญชาในหน่วยงาน ตลอดจนเพื่อน พี่ และน้องภาควิชาวิศวกรรมสำรวจตั้งแต่ปีการศึกษา 2557- 2562 ทุกท่านที่ได้เสียสละ และให้ความอนุเคราะแก่ข้าพเจ้า ขออภัยที่มิได้แสดงชื่อไว้เนื่องจากหน้ากระดาษไม่เพียงพอที่จะบันทึกชื่อได้หมดทุกท่าน

วัชโรตม์ พันโยธา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญ

**หน้า**


..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2. วัตถุประสงค์ ..... 3

1.3 ขอบเขตการวิจัย ..... 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 5

บทที่ 2 แนวเหตุผลและทฤษฎีสำคัญ ..... 7

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ..... 7

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา ..... 14

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย ..... 17

3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย ..... 18

3.2 ดำเนินการรังวัดข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ..... 19

3.3 การประมวลผล ..... 22

3.4 ประเมินความถูกต้อง ..... 23



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4 ผลการศึกษา ..... 24

4.1 การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากวิธีการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งระหว่าง วิธีการแบบสถิต แบบจลน์ และวิธีการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง โดยใช้ข้อมูลระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารตรวจสอบความถูกต้อง ..... 24

4.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงค่าระดับความสูงภูมิประเทศระหว่างแบบจำลอง ยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ..... 33

บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลวิจัย และข้อเสนอแนะ ..... 35

5.1 อภิปรายผล ..... 35

5.2 สรุปผล ..... 36

5.3 ข้อเสนอแนะ ..... 37

ภาคผนวก ..... 38

ภาคผนวก ก การทดสอบทางสถิติ ..... 39

บรรณานุกรม ..... 42

ประวัติผู้เขียน ..... 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญตาราง

**หน้า**

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลมาตรฐานงานสำรวจระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร (ที่มา: กรมแผนที่ทหาร , 2560)..... 8

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Mean error), ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ของค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงระหว่างค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่ทำการสำรวจได้จากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล ตรวจสอบความถูกต้องกับค่าอ้างอิงค่าระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร โดยใช้วิธีการหาค่าตำแหน่งที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ วิธีการแบบสถิต แบบจลน์ และแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ใช้แบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลอง ยีออยด์สากล EGM2008 ในการประมวลผลหาค่า N และทำการหาค่าความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการแบบสัมบูรณ์และวิธีการแบบสัมพัทธ์ ..... 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญรูปภาพ

**หน้า**

รูปที่ 1.1 แสดงตำแหน่งสถานีฐานหมุดควบคุมพิกัดทางราบและทางดิ่ง (สถานีวัดคูบางหลวงและสถานีวัดศรีสโมสร) โดยใช้ค่าพิกัดอ้างอิงจากสถานีสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ บางเขน (G001)..... 4

รูปที่ 1.2 จุดสีแดงแสดงตำแหน่งที่ตั้งหมุดระดับชั้นที่ 1 ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี และตำแหน่งที่ตั้งสถานีฐานหมุดควบคุมพิกัดทางราบและทางดิ่ง (สถานีวัดคูบางหลวงและสถานีวัดศรีสโมสร)..... 4

รูปที่ 1.3 เครื่องรังวัดสัญญาณ GNSS รุ่น i-80 (ที่มา: http://chcnav.blogfa.com/)..... 6

รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากลโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือพื้นผิวที่ใช้อ้างอิง ได้แก่ พื้นผิวภูมิประเทศ พื้นผิวยีออยด์ พื้นผิวทรงรี (ที่มา: กรมแผนที่ทหาร, 2560) ..... 13

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ ..... 18

รูปที่ 3.2 วงกลมสีแดงตำแหน่งแสดงสถานที่ตั้งหมุดควบคุมค่าพิกัดทางราบ ณ วัดศรีสโมสร ต.บึงบอน อ.หนองเสือ จ.ปทุมธานี ..... 20

รูปที่ 3.3 แสดงสถานที่ตั้งหมุดควบคุมค่าพิกัดทางราบ ณ วัดคูบางหลวงอนุกิจวิธูร ต.คูบางหลวง อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี..... 20

รูปที่ 3.4 จุดสีแดงแสดงตำแหน่งจุดทดสอบจากการรังวัดสัญญาณ GNSS บนหมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ..... 22

รูปที่ 4.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์..... 25

รูปที่ 4.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ ..... 26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.3 แสดงผลการรับสัญญาณด้าวเทียม GNSS ด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ PPP จะพบว่ากราฟมีการแกว่งตัวของข้อมูลสูงในช่วง 60 นาทีแรกของการรังวัด ซึ่งวิธีการแบบ PPP จะใช้ข้อมูลในช่วง 30 นาทีแรกของการรังวัดมาทำการประมวลผล..... 27

รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่ตั้งของจุดทดสอบสถานีที่ S87 และ S88 มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่กลางซอยทำให้มีสิ่งปลูกสร้างบดบังและกีดขวางการรังวัดสัญญาณดาวเทียม..... 28

รูปที่ 4.5 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์..... 29

รูปที่ 4.6 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ ..... 30

รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล ด้วยวิธีการหาค่าตำแหน่งแบบสถิตระหว่างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 แสดงในแผนภูมิโดยใช้เส้นสีฟ้ากับแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 แสดงในแผนภูมิโดยใช้เส้นสีส้มด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ ..... 33

รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศ ที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล โดยใช้วิธีการหาค่าตำแหน่งแบบสถิตระหว่างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 แสดงในแผนภูมิด้วยเส้นสีน้ำเงินกับแบบจำลองยีออยด์สากล และ EGM2008 แสดงในแผนภูมิด้วยเส้นสีส้มโดยใช้วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ ..... 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ค่าระดับความสูงที่ใช้ในงานวิศวกรรมและงานด้านสำรวจกระทำได้โดยวิธีการรังวัดหาค่าความสูงอ้างอิงจากผิวยีออยด์หรือผิวศักย์ความโน้มถ่วง (Geoid Surface) โดยปกติจะอ้างอิงกับค่าระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level, MSL) มายังจุดที่ทำการรังวัดบนพื้นผิวภูมิประเทศ (Terrain Surface) เรียกว่าค่าระดับความสูงภูมิประเทศ (Orthometric height) ค่าระดับความสูงภูมิประเทศนี้โดยทั่วไปหาได้จากวิธีการระดับ (leveling) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้เนื่องจากให้ค่าความถูกต้องสูงแต่ใช้ระยะเวลานานและมีค่าใช้จ่ายมาก ในปัจจุบันการหาพื้นผิวยีออยด์มีการพัฒนาให้มีค่าความถูกต้องสูงด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การสำรวจความโน้มถ่วงพิภพภาคพื้นดินการสำรวจความโน้มถ่วงพิภพทางอากาศ และการสำรวจความโน้มถ่วงพิภพด้วยดาวเทียมเป็นต้น ส่งผลให้การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศมีประสิทธิภาพและความถูกต้องสูงขึ้น การสำรวจโดยเทคโนโลยี GNSS (Global Navigation Satellite System) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพราะสามารถให้ค่าพิกัดได้ทั้ง 3 มิติ แต่ค่าความสูงที่หาได้จาก GNSS ไม่สามารถนำมาใช้งานวิศวกรรมและงานด้านสำรวจเนื่องมาจากความสูงนั้นอ้างอิงกับพื้นผิวทรงรีเรียกว่าค่าความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal height) ซึ่งไม่ใช่ค่าระดับความสูงภูมิประเทศ การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล (Global Navigation Satellite System-derived orthometric heights: GNSS-derived orthometric heights) (Trakolkul, 2012) เป็นวิธีการที่ใช้ระยะเวลาที่สั้น มีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงเหนือทรงรีที่ได้จากวิธีการ GNSS มารวมกับค่า (Geoid Undulation, $N$) ซึ่งได้มาจากแบบจำลองยีออยด์ (Geoid Model) ดังนั้นค่าระดับความสูงภูมิประเทศจากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จำเป็นที่จะต้องเลือกแบบจำลองยีออยด์ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงมาทำการประมวลผลหาค่า $N$ เพื่อให้ได้ค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่มีความถูกต้อง

แบบจำลองยีออยด์สากล (Earth Gravitational Model 2008, EGM2008) คือ ฮาร์โมนิกเชิงกลม (spherical harmonic) ซึ่งเป็นแบบจำลองยีออยด์สากลที่นิยมนำมาใช้อ้างอิงในการคำนวณหาค่า $N$ แบบจำลอง ยีออยด์สากล EGM2008 พัฒนาจากแบบจำลอง ITG-GRACE03S โดยอาศัยข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพที่รวบรวมได้จากทั่วโลกทั้งข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพภาคพื้นดิน ข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพจากดาวเทียม และข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพจากการสำรวจทางอากาศ

(airborne gravity) ดังนั้นความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์จะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของข้อมูลที่ได้ใน
พื้นที่ที่ทำการสำรวจ ในพื้นที่ที่มีคุณภาพข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพดีแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ±5 ถึง ±10 เซนติเมตร (Pavlis et al., 2012) ในส่วนของประเทศไทย ข้อมูลที่ถูกนำไปใช้ในการคำนวณสร้างแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 มีข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพภาคพื้นดินน้อยข้อมูลส่วนมากถูกประมาณค่าจากข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพจากดาวเทียม (กรมแผนที่ทหาร, 2560)

ปัจจุบันกรมแผนที่ทหารได้ทำการสร้างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่นสำหรับประเทศไทย (Thai geoid model 2017, TGM2017) โดยทำการพัฒนาผิวยีออยด์ (geoid) บริเวณประเทศไทย ซึ่งเป็นผิวระดับอ้างอิงความสูงของภูมิประเทศจากการรังวัดความโน้มถ่วงพิภพภาคพื้นดิน ที่มีความถูกต้องจำนวนมากกว่า 10,000 หมุด กระจายทั่วประเทศไทยควบคู่ไปกับการรังวัดความโน้มถ่วงพิภพทางอากาศ และกระบวนการคำนวณหาความสูงยีออยด์ที่มีประสิทธิภาพเป็นการสร้างผิวยีออยด์ที่มีความถูกต้องสูงอันแรกของประเทศไทย (กรมแผนที่ทหาร, 2560) จึงทำให้แบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 มีปริมาณข้อมูลค่าความโน้มถ่วงพิภพที่ทำการสำรวจในพื้นที่ประเทศไทยมากกว่าแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 หากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 มีความละเอียดถูกต้องสูงจนสามารถคำนวนค่าระดับความสูงภูมิประเทศได้ใกล้เคียงกับการทำระดับวิธีการ การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากลอาจจะถูกนำมาใช้ทดแทนการทำระดับเพื่อหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการใช้งานทางด้านวิศวกรรมและงานด้านสำรวจ ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำงานลงได้อย่างมาก

พื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นศูนย์กลางการบริหารราชการเศรษฐกิจและการศึกษาของประเทศไทย เป็นพื้นที่ที่มีประชากรอยู่อาศัยหนาแน่น แต่เนื่องจากลักษณะที่ตั้งอยู่บนที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา พื้นดินมีความอ่อนตัว ประกอบกับการใช้น้ำบาดาลจำนวนมากทำให้พื้นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเกิดการทรุดตัวลงอย่างมาก กรมแผนที่ทหารได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลระดับชั้นที่ 1 ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นประจำทุกปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2521 จนถึงปัจจุบัน เพื่อทำการตรวจสอบค่าการทรุดตัวของพื้นดิน พบว่าพื้นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีการค่าการทรุดตัวสะสมอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร หรือพื้นดินทรุดตัวเฉลี่ยปีละ 7 เซนติเมตร (กองยีออเดซีและยีออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร, 2555) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าระดับความสูงภูมิประเทศในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การนำข้อมูลค่าระดับความสูงภูมิประเทศไปใช้จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและเป็นปัจจุบันมากที่สุด ทั้งนี้จังหวัดปทุมธานีเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการทรุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวของพื้นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยกรมแผนที่ทหารได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลระดับชั้นที่ 1 อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจังหวัดปทุมธานีจึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการทรุดตัวของพื้นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในงานศึกษาวิจัยได้

งานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่คำนวณได้จากแบบจำลองยีออดย์สากล EGM2008 และแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล และทำการประเมินค่าความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 และแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 โดยใช้ข้อมูลความสูงหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารทำการตรวจสอบค่าความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์นี้ โดยผลการทดสอบจะถูกนำไปใช้ในการพิจารณาในการหาค่าความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการใช้งานทางวิศวกรรมและงานด้านสำรวจ เช่น งานด้านการติดตามการทรุดตัวของพื้นดิน และการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ เป็นต้น

## 1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ค่าความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล ระหว่างวิธีหาตำแหน่งแบบสถิต แบบจลน์ และวิธีการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศโดยใช้ข้อมูลระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารในการตรวจสอบความถูกต้อง

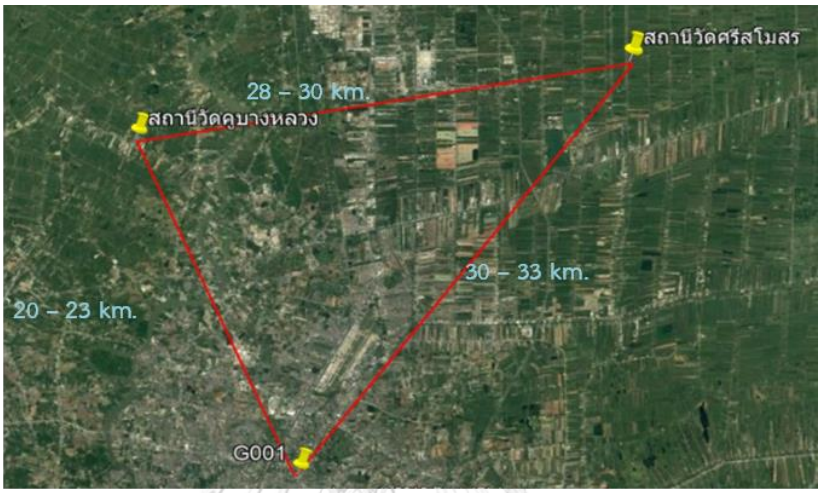
1.2.2 เพื่อศึกษาการประเมินค่าความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์และค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ที่หาได้จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 เทียบกับแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

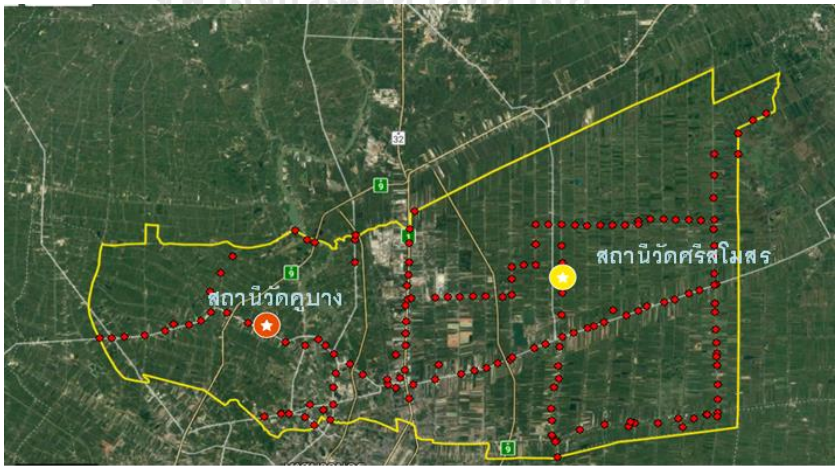
## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาใช้ข้อมูลค่าความสูงที่ได้จากการรังวัดสัญญาณ GNSS และข้อมูลค่าระดับความสูงภูมิประเทศหมุดระดับชั้นที่ 1 ในพื้นที่จังหวัดประทุมธานี




รูปที่ 1.1 แสดงตำแหน่งสถานีฐานหมุดควบคุมพิกัดทางราบและทางดิ่ง (สถานีวัดคูบางหลวงและสถานีวัดศรีสโมสร) โดยใช้ค่าพิกัดอ้างอิงจากสถานีสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ บางเขน (G001)




รูปที่ 1.2 จุดสีแดงแสดงตำแหน่งที่ตั้งหมุดระดับชั้นที่ 1 ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี และตำแหน่งที่ตั้งสถานีฐานหมุดควบคุมพิกัดทางราบและทางดิ่ง (สถานีวัดคูบางหลวงและสถานีวัดศรีสโมสร)

1.3.2 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

- ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS จากหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร โดยใช้วิธีการรังวัดแบบจลน์และแบบสถิต ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี เพื่อนำค่ารังวัดที่ได้ไปใช้ในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศจากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 โดยดำเนินการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วย 2 วิธี คือ วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ จากนั้นทำการประเมินความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศจากแบบจำลองยีออยด์โดยใช้ข้อมูลจากหมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารในการตรวจสอบความถูกต้อง

1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1.3.3.1 ข้อมูล GNSS จากสถานีสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ บางเขน (G001) โดยใช้ข้อมูลระหว่างวันที่ 1 - 10 ธันวาคม 2560

1.3.3.2 ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS จากเครื่องรับสัญญาณ GNSS รุ่น i-80 ณ หมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร ในระหว่างวันที่ 2 – 4 ธันวาคม 2560

1.3.3.3 ข้อมูลแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 และ แบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017

1.3.3.4 ข้อมูลค่าความสูงภูมิประเทศจากหมุดระดับชั้นที่ 1 จากโครงการสำรวจระดับการทรุดของพื้นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559

1.3.3.5 โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลทางตำแหน่ง GNSS

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 1.4 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.4.1 ประเมินความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 และทำการพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล เพื่อใช้ทดแทนการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการระดับซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำงานลงอย่างมาก

1.4.2 สามารถนำข้อมูลไปใช้ในงานวางแผนบริหารทรัพยากรน้ำ และงานอื่นๆที่มีการใช้ข้อมูลความสูงภูมิประเทศในการบริหารจัดการ

รูปที่ 1.3 เครื่องรังวัดสัญญาณ GNSS รุ่น i-80 (ที่มา: http://chcnav.blogfa.com/)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 2
# แนวเหตุผลและทฤษฎีสำคัญ

## 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การสำรวจโครงข่ายระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารในประเทศไทย

การวัดระยะดิ่งบนผิวโลกในงานสำรวจนั้นเป็นการวัดระยะในแนวแรงดึงดูดของโลก และเป็นการวัดเทียบกับพื้นผิวอ้างอิงหนึ่ง ซึ่งการวัดระยะดิ่งนี้ในงานสำรวจเรียกว่าการระดับ (Leveling) กล่าวคือเป็นกรรมวิธีการวัดระยะดิ่งระหว่างจุดบนพื้นผิววัตถุใดที่ต้องการและพื้นผิวอ้างอิงที่เป็นพื้นหลักฐานทางระดับ (Datum) และระยะดิ่งที่วัดได้นี้เรียกว่าค่าระดับ (Elevation) การหาค่าระดับของจุดใดๆใช้วิธีการหาค่าต่างระดับของจุดนั้นเทียบกับจุดที่ทราบค่าระดับอยู่แล้ว (Differential Leveling) (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2557) การระดับที่ต้องการความถูกต้องสูงนิยมใช้การสำรวจด้วยกล้องระดับ

การสำรวจการระดับในประเทศไทย กรมแผนที่ทหาร สังกัดกองบัญชาการกองทัพไทย กระทรวงกลาโหม เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการสำรวจการระดับชั้นที่ 1 เพื่อใช้เป็นโครงข่ายควบคุมทางดิ่งแห่งชาติ (National Vertical Control Networks) ให้กระจายตัวครอบคลุมทั่วประเทศเพื่อเป็นโครงข่ายหลักให้แก่งานสำรวจที่มีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์งานชั้นรองลงไป สำหรับงานโครงข่ายระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร ใช้ค่าระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level, MSL) ของหมุด BMA มีค่าระดับสูง 1.447 เมตร เป็นค่าอ้างอิงของพื้นหลักฐานทางดิ่งของประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การสำรวจระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร ใช้ “ระเบียบกองยีออเดซีและยีออฟิสิกส์ ว่าด้วยการสำรวจหมุดหลักฐานทางราบและทางดิ่ง พ.ศ.2539” ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน FGCC1984 เป็นแนวทางปฏิบัติในการดำเนินงานสำรวจโดยแสดงข้อมูลมาตรฐานงานสำรวจระดับชั้นที่ 1 ประเภทที่ 1 (กรมแผนที่ทหาร, 2560) โดยแสดงข้อมูลมาตรฐานงานสำรวจระดับชั้นที่ 1 ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลมาตรฐานงานสำรวจระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร
(ที่มา: 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<br>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 Parellet plate Micrometer; ใช้ไม้เล็งระดับอินวาร์ | |
| 6. หลักการปฏิบัติในสนาม | รังวัด 2 เที่ยว โดยทำไปและทำกลับในแต่ละตอนการระดับ ต่างทิศทางกัน | |
| 6.1 ความยาวของแต่ละตอนการระดับ | 1 – 2 กม. | |
| 6.2 ระยะจากที่ตั้งกล้องไปไม้เล็งระดับไม่เกิน | 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 | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| รายการ | งานชั้นที่ 1 | |
|---|---|---|
| | ประเภท 1 | ประเภท 2 |
| 7.1 ในแต่ละตอนการระดับ (ทำไปและทำกลับ) | 3 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$ | 4 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$ |
| 7.2 ของบรรจบ (Loop) หรือสายงานการระดับ | 3 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$ | 5 มม. $\sqrt{\text{ระยะทาง กม.}}$ |

2.1.2 สัณฐานของโลก

การศึกษาทางยีออเดซีเป็นวิชาว่าด้วยการหาสัณฐานและสนามความโน้มถ่วงของโลกและ วัตถุลอยฟ้าอื่นๆ โดยสามารถแบ่งสัณฐานโลกออกเป็น 3 ลักษณะคือ

- พื้นผิวภูมิประเทศจริง (Terrain Surface)
- พื้นผิวทรงรี (Ellipsoid)
- พื้นผิวยีออยด์ (Geoid)

สัณฐานโลกมีทั้งทางกายภาพและทางคณิตศาสตร์ สัณฐานของโลกทางกายภาพหมายถึงแนว เขตระหว่างผิวดินหรือผิวน้ำกับบรรยากาศรอบผิวโลก สำหรับสัณฐานโลกทางคณิตศาสตร์ได้จากการจินตนาการว่าพื้นผิวระดับน้ำของมหาสมุทรยื่นต่อเข้าไปในส่วนที่เป็นพื้นดิน ซึ่งพื้นผิวระดับที่ครอบคลุมโลกทั้งหมดนี้มีชื่อเรียกว่า ยีออยด์ (Geoid) ในงานยีออเดซีนั้นถือว่าผิวยีออยด์นี้มีลักษณะใกล้เคียงโลกมากที่สุด และใช้เป็นพื้นหลักฐานในการคำนวนหาค่าความสูงภูมิประเทศ

งานรังวัดต่างๆจะเกี่ยวข้องกับการวัดระยะ ทิศทาง ค่าระดับ และอื่นๆ และนำค่าต่างๆเหล่านี้มาคำนวณหาค่าพิกัดตำแหน่งของจุดต่างๆ ซึ่งในการทำงานรังวัดจะกระทำอยู่บนพื้นผิวที่เป็นสัณฐานโลก เนื่องจากยีออยด์ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิงเพื่อหาตำแหน่ง จึงจำเป็นต้องมีการนำเอารูปทรงรี (Ellipsoid) มาเป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวนแทน

ดังนั้นการกำหนดทรงรีมาใช้จึงจำเป็นต้องมีความใกล้เคียงกับพื้นผิวยีออยด์ในบริเวณที่ต้องการหรือให้เหมาะสมกับทั้งโลกมากที่สุด เพื่อให้การคำนวนปริมาณต่างๆได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.3 แบบจำลองยีออยด์

2.1.3.1 EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008)

แบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 จัดสร้างโดยหน่วยงาน U.S. National Geospatial Intelligence Agency (NGA) นั้นเปนการปรับปรุงและพัฒนามาจากแบบจำลองยีออยด์สากล EGM96 ถูกสร้างโดยอนุกรมพื้นผิวฮาร์โมนิก (spherical harmonic) ที่เป็นตัวแทนค่าศักดิ์โน้มถ่วงพิภพของโลก แบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 สร้างโดยคำนวณข้อมูลค่าความโน้มถ่วงพิภพจากตารางกริดขนาด 5’× 5’ ภายในแต่ละตารางกริดจะถูกบันทึกข้อมูลความความโน้มถ่วงพิภพภาคพื้นดิน ข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพจากการสำรวจทางอากาศและข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพจากดาวเทียม GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) ดาวเทียมดังกลาวเปนขององคการนาซาซึ่งไดทำการปลอยและเก็บข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพตั้งแตป ค.ศ.2002 มีภารกิจหลักในการจัดทำแผนที่การเปลี่ยนแปลงสนามความโนมถวงพิภพของโลกใหมีความถูกตองแบบจำลอง EGM2008 ไดมีการเผยแพรในป ค.ศ.2008 แบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 มีสัมประสิทธิ์อยู่ที่ดีกรี 2190 และออเดอร์ 2159 ได้มีการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ด้วยวิธีการ GNSS leveling ในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศออสเตรเลียพบว่ามีความคลาดเคลื่อนทางดิ่งอยู่ที่ ±5 ถึง ±10 เซนติเมตร (Pavlis et al., 2012) และในประเทศไทยมีค่าความเคลื่อนทางดิ่งอยู่ที่ 0.9780 เมตร (เอื้อมเกียรติ เจริญสม และ ภิญโญ วรเกษตร, 2556)

2.1.3.2 TGM2017 (Thai geoid model 2017)

แบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 จัดสร้างโดยความร่วมมือระหว่างกรมแผนที่ทหารกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สร้างแบบจำลองยีออยด์ชนิดความโน้มถ่วงพิภพ (gravimetric geoid model) โดยคำนวณข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพภาคพื้นดินมากกว่า 10,000 หมุด ครอบคลุมพื้นที่ทุกภูมิภาคของประเทศไทย ร่วมกับข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพจากการสำรวจทางอากาศ และทำการปรับปรุงข้อมูลให้มีความสัมพันธ์กับโครงข่ายค่าพิกัดทางดิ่งกรมแผนที่ทหาร อ้างอิงค่าระดับสูงจากเกาะหลักเพื่อให้แบบจำลองยีออยด์มีความเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย นอกจากนี้ยังทำการผนวกข้อมูลแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 และ แบบจำลองพื้นผิวทะเลสากล DTU13 สำหรับใช้เป็นข้อมูลในพื้นที่พรมแดนประเทศไทยและพื้นที่ทะเลบริเวณอ่าวไทยและอันดามัน แบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ให้ความละเอียดของข้อมูลอยู่ที่ตารางกริดขนาด 1’× 1’

2.1.3.3 ความสูง

ความสูงหรือค่าระดับที่ใช้กันอยู่ในงานรังวัดทั่วไป ค่าระดับที่ได้จะหมายถึงค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง เรียกว่าความสูงยีออยด์หรือค่าระดับความสูงภูมิประเทศ ส่วนความสูงที่ใช้ในงานรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS จะอ้างอิงกับพื้นผิวทรงรี เนื่องจากการหาค่าพิกัดตำแหน่งบนจุดใดๆค่าพิกัดสามมิติทั้งทางราบและทางดิ่งจะต้องอ้างอิงบนพื้นผิวอ้างอิงเดียวกัน

โดยความสูงเหนือทรงรีเป็นระยะที่วัดตามแนวตั้งฉากกับรูปทรงรี ส่วนค่าระดับความสูงภูมิประเทศจะเป็นระยะที่วัดตามแนวดิ่งซึ่งจะตั้งฉากกับพื้นผิวยีออยด์

2.1.4 ระบบดาวเทียมจีเอ็นเอสเอส (Global Navigation Satellite Systems, GNSS)

ระบบดาวเทียมนำทางที่ใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งสามมิติทั่วโลกตลอด 24 ชั่วโมง โดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมเพื่อแสดงพิกัดตำแหน่ง ณ จุดตั้งรับสัญญาณ เรียกรวมกลุ่มระบบดาวเทียมที่มีการทำงานคล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS เช่น ระบบดาวเทียม GLONASS ของประเทศสหพันธรัฐรัสเซีย, ระบบดาวเทียม Galileo ของสหภาพยุโรบ, ระบบดาวเทียม Compass ของประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน, ระบบดาวเทียม QZSS ของประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น ว่าระบบดาวเทียม GNSS

ระบบดาวเทียม GNSS ถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาความถูกต้องทางตำแหน่งที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากเป็นการทำงานระหว่างระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับระบบดาวเทียมอื่นๆ ทำให้มีดาวเทียมที่มีสภาพพร้อมใช้งานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ได้ค่าทางตำแหน่งที่ดีขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ข้อมูลจาก GPS เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้การหาตำแหน่งมีความถูกต้องสูงและลดเวลาในการปฏิบัติงานด้านการรังวัด อีกทั้งยังช่วยลดผลกระทบจากข้อจำกัดเรื่องสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรคในขณะปฏิบัติงานด้านการรังวัดอีกด้วย (Hofmann-Wellenhof et al., 2007)

2.1.5 การประมวลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning, PPP)

การประมวลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าพิกัดบนพื้นโลกที่มีความแม่นยำมากกว่าการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว Single Point Positioning (SPP) เนื่องจากมีการใช้เครื่องรับสัญญาณ GNSS แบบ 2 ความถี่ ซึ่งจะสามารถขจัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากความล่าช้าในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ ใช้ค่าแก้วงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง และค่าแก้เวลานาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง เพื่อให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2.1.6 เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียม

การรังวัดหาตำแหน่งด้วยดาวเทียมสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

2.1.6.1 การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (Single Point Positioning)

การหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว หรือ การหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning) เป็นวิธีการหาตำแหน่งโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพียงเครื่องเดียว ตั้งไว้ ณ จุดที่ต้องการทราบค่า วิธีการนี้ต้องการข้อมูลดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ในการคำนวณหาค่าพิกัด ซึ่งค่าความถูกต้องของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยใช้รหัส C/A อยู่ในเกณฑ์ประมาณ 10 ถึง 25 เมตร

2.1.6.2 การหาตำแหน่งแบบสัมพันธ์ (Relative Positioning)

เป็นวิธีการหาตำแหน่งที่ให้ความถูกต้องสูงกว่าการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ โดยอาศัยการเปรียบเทียบตำแหน่งระหว่างจุดสองจุด โดยใช้ตำแหน่งจากจุดที่ทราบค่าแล้วอย่างน้อย 1 จุด เพื่อทำการคำนวณหาค่าตำแหน่งจุดอื่นๆ วิธีการนี้ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องที่ 1 ไว้ยังตำแหน่งที่ทราบค่าพิกัด เรียกว่า สถานีฐาน (Base Station) ส่วนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องที่ 2 จะถูกนำไปตั้งไว้ยังจุดที่ต้องการทราบค่า เรียกว่า สถานีผู้ใช้ (User Station) หรือ สถานีจร (Roving Station) วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพันธ์เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้ง สถานีฐานและสถานีจรจะต้องรับข้อมูลจากกลุ่มดาวเทียมเดียวกันในช่วงเวลาเดียว

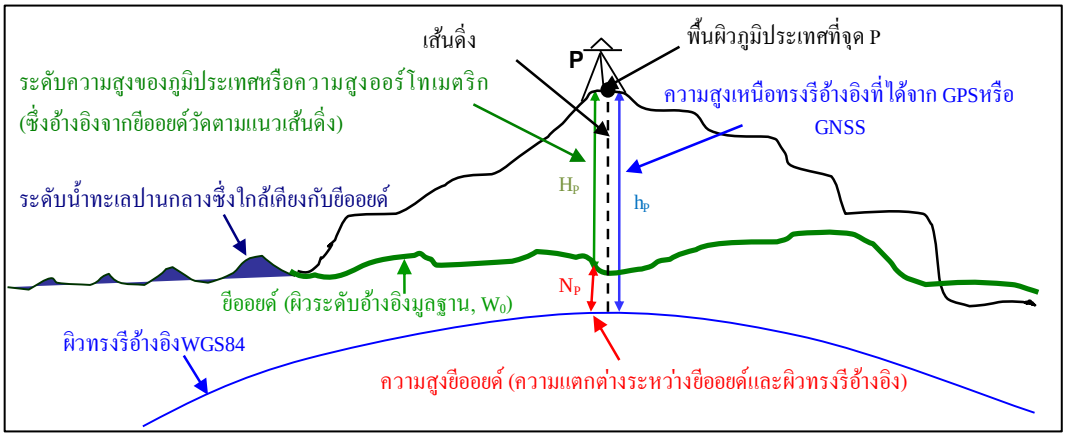
การหาตำแหน่งแบบสัมพันธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase – Based Differential Positioning) เป็นวิธีการวัดข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งมากับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสร้างขึ้น เป็นวิธีการที่ให้ความถูกต้องสูง วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพันธ์ด้วยการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (อัศวินี วงษ์สุวรรณ, 2557)

1. วิธีการรังวัดแบบสถิต (Static) เป็นวิธีการหาตำแหน่งสัมพันธ์โดยวิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง อาศัยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องที่ 1 หรือสถานีฐาน จะถูกตั้งไว้บนจุดที่ทราบค่าพิกัด เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องที่ 2 หรือสถานีจร จะถูกตั้งไว้บนจุดที่ต้องการทราบค่า เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสถานีฐานและสถานีจรจะต้องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง จากกลุ่มดาวเทียมเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกันและต้องตั้งอยู่กับที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยปกติอยู่ที่ประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้มีข้อมูลเพียงพอสำหรับการคำนวณหาจำนวนคลื่นเต็มรอบที่ไม่สามารถวัดได้ (ธีทัต เจริญกาลัญญตา, 2555)

2. วิธีการรังวัดแบบจลน์ (Kinematic survey) เป็นวิธีการหาตำแหน่งในขณะที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสถานีจรเคลื่อนที่ เป็นวิธีการหาตำแหน่งของจุดต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วถึงระดับเซนติเมตร โดยการตั้งเสาอากาศบนจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ 1-2 นาที แล้วทำการเคลื่อนย้ายไปยังจุดต่อไป วิธีการนี้จะทำการ (Initialization) เพื่อหาค่าเลขปริศนาก่อนเริ่มต้นสัญญาณ (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2549)

2.1.7 หลักการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศจากงานรังวัดดาวเทียม GNSS การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล

ในงานสำรวจและทำแผนที่ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยี GNSS มาประยุกต์ใช้มากขึ้น โดยค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จาก GNSS นั้น จะอ้างอิงอยู่กับพื้นผิวทรงรีอ้างอิง แต่ค่าพิกัดทางดิ่งที่ใช้กันโดยทั่วไปในงานทางด้านวิศวกรรมต่างๆจะอ้างอิงอยู่กับยีออยด์ หรือค่าความสูงภูมิประเทศ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือทรงรีกับความสูงยีออยด์ได้ดังรูปที่ 4




รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากลโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือพื้นผิวที่ใช้อ้างอิง ได้แก่ พื้นผิวภูมิประเทศ พื้นผิวยีออยด์ พื้นผิวทรงรี (ที่มา: กรมแผนที่ทหาร, 2560)

จากรูปที่ 2.1 การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศจะสามารถทำได้เมื่อทราบความต่างระหว่างผิว ยีออยด์กับพื้นผิวทรงรีอ้างอิง ($N$) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงภูมิประเทศ ความสูงเหนือทรงรีอ้างอิงและค่า N ได้ตามสมการ (Heiskanen & Moritz, 1967)

$$h = H + N \tag{1}$$

$h$ คือ ค่าความสูงเหนือทรงรี

$H$ คือ ค่าความสูงภูมิประเทศ

$N$ คือ ค่าความต่างระหว่างพื้นผิวยีออยด์ และพื้นผิวทรงรีอ้างอิง

จากสมการที่ 1 จะพบว่าค่า $N$ ที่คำนวณได้จากแบบจำลองยีออยด์และค่าความสูงเหนือทรงรีที่หาได้จากวิธีการรังวัดดาวเทียม GNSS จะเป็นตัวกำหนดค่าความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศ ดังนั้นแบบจำลองยีออยด์ที่มีความถูกละเอียดถูกต้องสูงจึงมีความสำคัญในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล เรียกวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศรูปแบบนี้ว่าวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์

2.1.8 การคำนวณหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์

เป็นวิธีการที่อาศัยค่าพิกัดจากหมุดอ้างอิงกับค่าพิกัดจากหมุดที่ต้องการทราบค่ามาทำการคำนวณ โดยวิธีการนี้จะทำการขจัดค่าคลาดเคลื่อนเชิงระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีการ

หาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล (เขียนอธิบายได้ด้วยสมการ (Li & Ning, 2017)

$$\Delta H_{AB}^{GNSS} = \Delta h_{AB}^{GNSS} - \Delta N_{AB}^{model} \quad (2)$$

โดย A และ B คือ ตำแหน่งของจุดอ้างอิงและตำแหน่งของจุดที่รังวัด ตามลำดับ

$\Delta \mathrm{H}_{\mathrm{AB}}^{\mathrm{GNSS}}$ คือ ค่าต่างของค่าระดับความสูงภูมิประเทศระหว่างจุด A และ B ที่หาได้โดยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล

$\Delta h_{AB}^{GNSS}$ คือ ค่าความสูงเหนือทรงรีระหว่างจุด A และ B ที่หาได้จากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล

$\Delta N_{AB}^{model}$ คือ ค่า Geoid Undulation ระหว่างจุด A และ B จากแบบจำลองยีออยด์

จากสมการที่ 2 พบว่าในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศ $H_B$ จำเป็นต้องใช้ค่าระดับความสูงภูมิประเทศ ณ จุด A หรือ $H_A$ มาทำการคำนวณร่วมกับค่าความสูงเหนือทรงรีอ้างอิง $h_A$ , $h_b$ ซึ่งวิธีการนี้ค่า $H_A$ ที่ใช้จะเป็นค่าที่หาได้จากวิธีการระดับซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ใช้หาค่าความสูงทางวิศวกรรมและเป็นวิธีการที่มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด ดังนั้นเมื่อนำมาใช้คำนวณร่วมในสมการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่ได้จะมีค่าความถูกต้องที่สูงเนื่องมาจากค่าที่ได้จากวิธีการระดับของ $H_A$ บวกกับค่าคลาดเคลื่อนเชิงระบบที่ถูกขจัดออกในระหว่างกระบวนการหาค่าต่างของแบบจำลองยีออยด์

$$\Delta N_{AB}^{model} = (N_A^{model} + error_{model}) - (N_B^{model} - error_{model})$$

ส่งผลให้ค่า $H_B$ ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 2.2 **เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา**

Mårtensson (2002) ได้ศึกษาการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์ด้วยวิธีการ GPS levelling (การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล) และตรวจสอบค่าความถูกต้องเทียบกับค่าระดับความสูงภูมิประเทศ ที่ได้จากวิธีการระดับจำนวน 91 หมุดในพื้นที่ภาคกลางของประเทศสวีเดน ในงานวิจัยใช้แบบจำลองยีออยด์สากล EGM98 แบบจำลองยีออยด์ NKG96 (Nordic geoid model) และแบบจำลองยีออยด์

SWEN98L (Swedish geoid model) วิธีการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์ทดสอบด้วยวิธีการ 2 รูปแบบ วิธีการแรกคือใช้วิธีการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ 4 ค่าในขั้นตอนการประมาณหาค่า N ส่งผลให้ได้ค่าความสูงภูมิประเทศที่คำนวณแบบสัมบูรณ์มีค่าความถูกต้องอยู่ที่ ±12.8 เซนติเมตร, ±2.6 เซนติเมตร และ ±2.6 เซนติเมตร จากแบบจำลองยีออยด์ EGM96, NKG96 และ SWEN98L ตามลำดับ ค่าความสูงภูมิประเทศที่คำนวณแบบสัมบูรณ์จากแบบจำลองยีออยด์ที่ไม่ได้ใช้วิธีการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ 4 ค่าในขั้นตอนการประมาณค่า N มีค่าความถูกต้องอยู่ที่ ±14.7 เซนติเมตร, ±6.4 เซนติเมตร และ ±3.7 เซนติเมตร จากแบบจำลองยีออยด์ EGM96, NKG96 และ SWEN98L ตามลำดับ วิธีการทดสอบรูปแบบที่สองคือดำเนินการหาค่าความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ซึ่งมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ ±4 เซนติเมตร, ±1.2 เซนติเมตร และ ±1.1 เซนติเมตร จากแบบจำลองยีออยด์ EGM96, NKG96 และ SWEN98L ตามลำดับ ที่ระยะทาง 10 กิโลเมตร แสดงให้เห็นว่าวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล ( แบบสัมพัทธ์สามารถให้ค่าความถูกต้องในระดับเซนติเมตรได้โดยค่าความถูกต้องขึ้นอยู่กับการเลือกใช้แบบจำลองยีออยด์

ต่อมาในประเทศไทย เฉลิมชนม สถิระพจน์และคณะ 2547 ได้ดำเนินงานวิจัยหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศของสถานีวัดน้ำในอ่าวไทยด้วยวิธีการ GPS levelling (การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล) โดยทำการเลือกหมุดอ้างอิงบริเวณอ่าวไทยที่มีค่าระดับความสูงภูมิประเทศจำนวน 2 หมุด ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียมเป็นระยะเวลา 3.5 ชั่วโมง โดยจุดที่ต้องการทราบค่าระดับความสูงภูมิประเทศ คือสถานีวัดน้ำตั้งอยู่ในทะเลอ่าวไทย เนื่องจากในอดีตประเทศไทยยังไม่มีแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้แบบจำลองยีออยด์สากล EGM96 มาทำการคำนวณหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการแบบสัมพัทธ์ ผลที่ได้คือ ค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่ได้มีค่าต่างจากค่าระดับความสูงภูมิประเทศจากหมุดอ้างอิงอยู่ที่ 4 เซนติเมตร จากผลการทดสอบผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล ลักษณะพื้นที่มีผลต่อความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่รังวัดได้ ดังเช่นงานวิจัยนี้เป็นพื้นที่ศึกษาที่มีความราบเรียบจึงให้ผลการทดสอบดีกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชัน

Lee et al. (2017) ได้ทำการทดสอบค่าความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์สากลและแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่นในประเทศเกาหลีใต้ โดยใช้แบบจำลองยีออยด์ 4 แบบได้แก่ EGM2008, EiGEN-6C4, KNGeoid13 และ KNGeoid14 และได้ทำการสร้างแบบจำลองยีออยด์ geometric โดยหาค่า N จากวิธีการ Network-RTK แบบ VRS (Virtual Reference Station) สร้างขึ้นเพื่อเป็นแบบจำลองที่ใช้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้ง 4 แบบ โดยใช้สถานีตรวจสอบจำนวน 96 สถานี มีผลการตรวจสอบค่าความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่า

ระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล แบบสัมบูรณ์อยู่ที่ 6.9 เซนติเมตร, 7 เซนติเมตร, 5.6 เซนติเมตร, และ 5.2 เซนติเมตร จากแบบจำลอง EGM2008, EiGEN-6C4, KNGeoid13 และ KNGeoid14 ตามลำดับ จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น KNGeoid13 และ KNGeoid14 ให้ค่าความถูกต้องดีกว่าแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 และ EiGEN-6C4

และในปีเดียวกัน Li and Ning (2017) ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศโดยอาศัยข้อมูลจากสถานี Continuously Operating Reference Stations (CORS) จำนวน 150 สถานี และข้อมูลระดับหมุดระดับชั้นที่ 1 จำนวน 1735 หมุด ครอบคลุมพื้นที่ประเทศใต้หวัน โดยทำการทดสอบกับแบบจำลองยีออยด์ 3 แบบคือ Gravimetric, Hybrid และ Geometric ทำการศึกษาใน 2 กรณี คือ กรณีแรกทำการศึกษาหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล แบบสัมบูรณ์ โดยมีค่าความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์อยู่ที่ 22.25 เซนติเมตร, 7.45 เซนติเมตร และ 4.55 เซนติเมตร จากแบบจำลองยีออยด์ Gravimetric, Hybrid และ Geometric ตามลำดับ กรณีที่สองผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างค่าแก้ N จากสถานี CORS แล้วดำเนินการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล แบบสัมพัทธ์โดยทำการใช้สถานีอ้างอิงที่ต่างกัน 2 สถานี สถานีแรกมีค่าเฉลี่ยของเส้นฐานอยู่ที่ 95.2 กิโลเมตร มีค่าความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์อยู่ที่ 7.49 เซนติเมตร, 10.07 เซนติเมตร และ 5.11 เซนติเมตร จากแบบจำลองยีออยด์ Gravimetric, Hybrid และ Geometric ตามลำดับ สถานีที่สองมีค่าเฉลี่ยของเส้นฐานอยู่ที่ 212.1 กิโลเมตร มีค่าความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์อยู่ที่ 7.49 เซนติเมตร, 7.26 เซนติเมตร และ 4.64 เซนติเมตร จากแบบจำลองยีออยด์ Gravimetric, Hybrid และ Geometric ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการใช้ค่าแก้ N จากสถานี CORS ระยะทางของเส้นฐานไม่มีผลต่อความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่คำนวณได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล

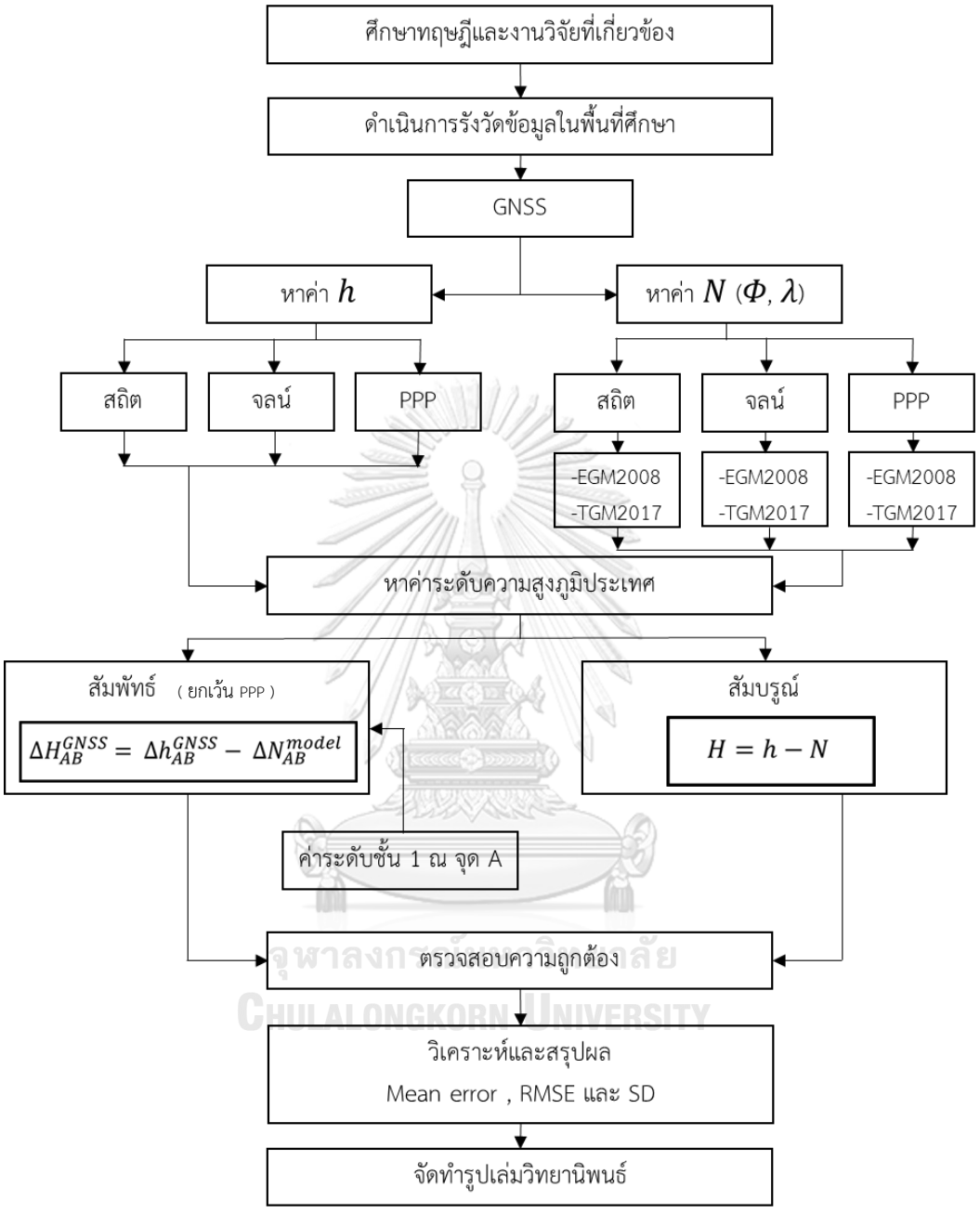
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล โดยใช้ข้อมูลหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งจำเป็นจะต้องทำการหาตำแหน่งของจุดทดสอบด้วยการรังวัดสัญญาณ GNSS โดยทำการรังวัดหาตำแหน่ง 2 วิธีคือ การรังวัดแบบสถิตและการรังวัดแบบจลน์ สำหรับการรังวัดแบบสถิตจะทำการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของจุดทดสอบด้วยวิธีการแบบปกติและวิธีการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง เพื่อนำค่าตำแหน่งของจุดทดสอบที่ได้ไปทำการประมวลผลเพื่อหา $N$ จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 จากนั้นทำการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์และวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ ซึ่งจะทำให้ทราบค่าความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากวิธีวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล เว้นแต่วิธีการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงจะทำการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสมบรูณ์เพียงกรณีเดียว ตามวัตถุประสงค์ในหัวข้อ 1.2.1 และสามารถเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้ระหว่างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ตามวัตถุประสงค์ในหัวข้อ 1.2.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย




รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

จากรูปที่ 3.1 พบว่าการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากลจะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การหาค่า $h$ ที่รังวัดได้ด้วยวิธีการ GNSS และการหาค่า $N$ ที่ทำการคำนวณได้จากแบบจำลองยีออยด์ ซึ่งพบว่าในการรังวัด

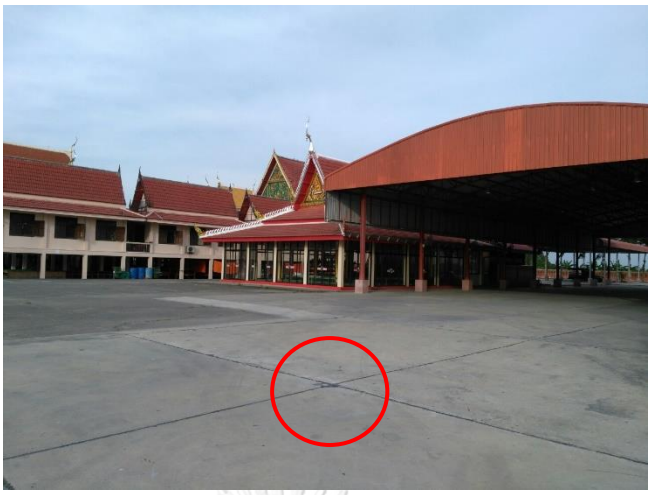
สัญญาณดาวเทียม GNSS โดยปกติค่าพิกัดทางดิ่งหรือค่า $h$ มักจะมีความถูกต้องที่น้อยกว่าค่าพิกัดทางราบหรือ ($\Phi$,$\lambda$) (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ และคณะ, 2547) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่า $N$ จากแบบจำลอง และค่าระดับความสูงภูมิประเทศเป็นค่าอ้างอิงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางซึ่งถือเป็นค่าพิกัดทางดิ่งที่ใช้ในทางวิศวกรรม จึงอาจกล่าวได้ว่าค่าความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศจะมีผลมาจากค่า $h$ หากค่า $h$ ที่หาได้มีความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่คำนวณได้ก็จะมีความถูกต้องตามไปด้วย

## 3.2 ดำเนินการรังวัดข้อมูลในพื้นที่ศึกษา

เนื่องจากตำแหน่งของจุดทดสอบตั้งอยู่บนหมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร ซึ่งโดยปกติจะฝังอยู่บริเวณพื้นที่ที่มีความมั่นคงแข็งแรง เช่น เสาคอนกรีตคอสะพาน ทำให้บางหมุดมีสิ่งบดบังอยู่เหนือจุดที่เก็บข้อมูล ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพที่ได้จากการรังวัดสัญญาณ GNSS สำหรับการเก็บข้อมูลจุดทดสอบในงานวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกหมุดที่มีความเหมาะสมต่อการรังวัดสัญญาณ GNSS โดยเหนือจุดทดสอบมีสภาพเปิดโล่งสามารถรับข้อมูลดาวเทียมจากการรังวัดสัญญาณ GNSS ได้ดี แสดงตำแหน่งที่ตั้งจุดทดสอบตามรูปที่ 3.4

3.2.1 ดำเนินสร้างและทำการรังวัดสัญญาณ GNSS หมุดควบคุมพิกัดทางราบ หมุดแรกตั้งอยู่บริเวณ วัดศรีสโมสร พิกัด ละติจูดที่ 14°4'49″ เหนือ ลองติจูดที่ 100°45'23″ ตะวันออก แสดงตามรูปที่ 3.2 และหมุดที่สองตั้งอยู่บริเวณ วัดคูบางหลวงอนุกิจวิธูร พิกัด ละติจูดที่ 14°2'11″ เหนือ ลองติจูดที่ 100°29'29″ ตะวันออก แสดงตามรูปที่ 3.3 โดยค่าพิกัดหมุดควบคุมทางราบจะทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต อ้างอิงค่าพิกัดจากสถานีสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศบางเขน (G001) แสดงตามรูปที่ 1 และดำเนินการหาค่าพิกัดทางดิ่งด้วยวิธีการระดับตามมาตรฐานเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 1 ประเภทที่ 1 กรมแผนที่ทหาร แสดงตามตารางที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.2 วงกลมสีแดงตำแหน่งแสดงสถานที่ตั้งหมุดควบคุมค่าพิกัดทางราบ ณ วัดศรีสโมสร ต.บึงบอน อ.หนองเสือ จ.ปทุมธานี

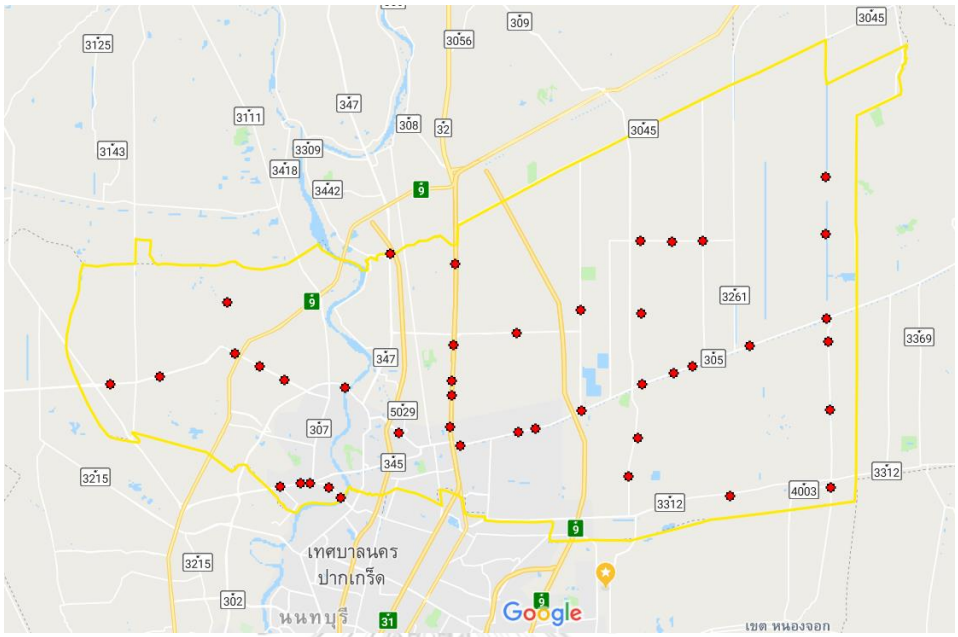
รูปที่ 3.3 แสดงสถานที่ตั้งหมุดควบคุมค่าพิกัดทางราบ ณ วัดคูบางหลวงอนุกิจวิธูร ต.คูบางหลวง อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี

3.2.2 ทำการหาตำแหน่งจุดทดสอบจากการรังวัดสัญญาณ GNSS บนหมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารโดยใช้วิธีการรังวัดแบบสถิต ทำการบันทึกค่าทุก 1 วินาที จัดเก็บข้อมูลไม่น้อยกว่า 30 นาที และจำกัดเส้นฐานจากสถานีฐานไม่ให้เกิน 20 กิโลเมตร โดยนำค่าตำแหน่งที่ได้ไปทำการประมวลผลเพื่อหาค่า $N$ จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 โดยดำเนินการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วย 2 วิธี คือ วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ และวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์

3.2.3 ทำการหาตำแหน่งจุดทดสอบจากการรังวัดสัญญาณ GNSS บนหมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารโดยใช้วิธีการรังวัดแบบแบบจลน์ ทำการบันทึกค่าทุก 1 วินาที จัดเก็บข้อมูลไม่น้อยกว่า 600 ข้อมูล และทำการ Fixed Ambiguity จำกัดเส้นฐานจากสถานีฐานไม่ให้เกิน 20 กิโลเมตร โดยนำค่าตำแหน่งที่ได้ไปทำการประมวลผลเพื่อหาค่า $N$ จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 โดยดำเนินการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วย 2 วิธี คือ วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ และวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์

3.2.4 ทำการหาตำแหน่งจุดทดสอบจากการรังวัดสัญญาณ GNSS บนหมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารโดยใช้เทคนิคการรังวัดแบบสถิตและทำการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของจุดทดสอบด้วยวิธีการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง โดยนำค่าตำแหน่งที่ได้ไปทำการประมวลผลเพื่อหาค่า $N$ จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 โดยดำเนินการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วย 2 วิธี คือ วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ และวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




รูปที่ 3.4 จุดสีแดงแสดงตำแหน่งจุดทดสอบจากการรังวัดสัญญาณ GNSS บนหมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี

## 3.3 การประมวลผล

3.3.1 การประมวลผลหาค่า N จากแบบจำลองยีออยด์ โดยใช้ค่าตำแหน่งละติดจูด (Latitude, $\Phi$) และลองติจูด (Longitude, $\lambda$) ที่ได้จากการรังวัดสัญญาณ GNSS ณ จุดทดสอบ มาทำการคำนวณหาค่า $N$ จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ทั้งนี้ใน 1 จุดทดสอบจะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าตำแหน่งทั้งสิ้น 3 วิธี ได้แก่ วิธีการแบบสถิต แบบจลน์ และการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงซึ่งการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงนี้จะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าตำแหน่งผ่านบริการแบบออนไลน์จากหน่วยงาน CSRS ประเทศแคนาดา (https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/documentation.php) ซึ่งจะทำให้ได้ค่า $N$ จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และค่า N จากแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 อย่างละ 1 ค่า ต่อ 1 วิธีการประมวลผลซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 3.1

3.3.2 การประมวลผลเพื่อหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศ เมื่อคำนวณได้ค่า $N$ จากแต่ละแบบจำลองแล้วจะนำค่า $N$ ที่ได้ไปทำการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์และวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ ซึ่งการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์จำเป็นที่จะต้องอาศัยค่าระดับความสูงภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งอ้างอิงที่มีความถูกต้องแม่นยำเพื่อให้ค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่คำนวณได้ ณ จุดที่ทำการรังวัดมีค่าละเอียดถูกต้องสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่าระดับความสูง ณ จุดอ้างอิงจะใช้ค่าระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร เว้นแต่วิธีการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงจะทำการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์เพียงกรณีเดียว

## 3.4 ประเมินความถูกต้อง

ทำการประเมินความถูกต้องด้วยวิธีการเปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่คำนวณได้จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ และวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ โดยเทียบกับข้อมูลความสูงภูมิประเทศหมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารมาในการตรวจสอบความถูกต้อง ใช้ค่าเฉลี่ยความต่าง (Mean Error) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviations, SD) และ ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) มาทำการประเมินผลข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 4
# ผลการศึกษา

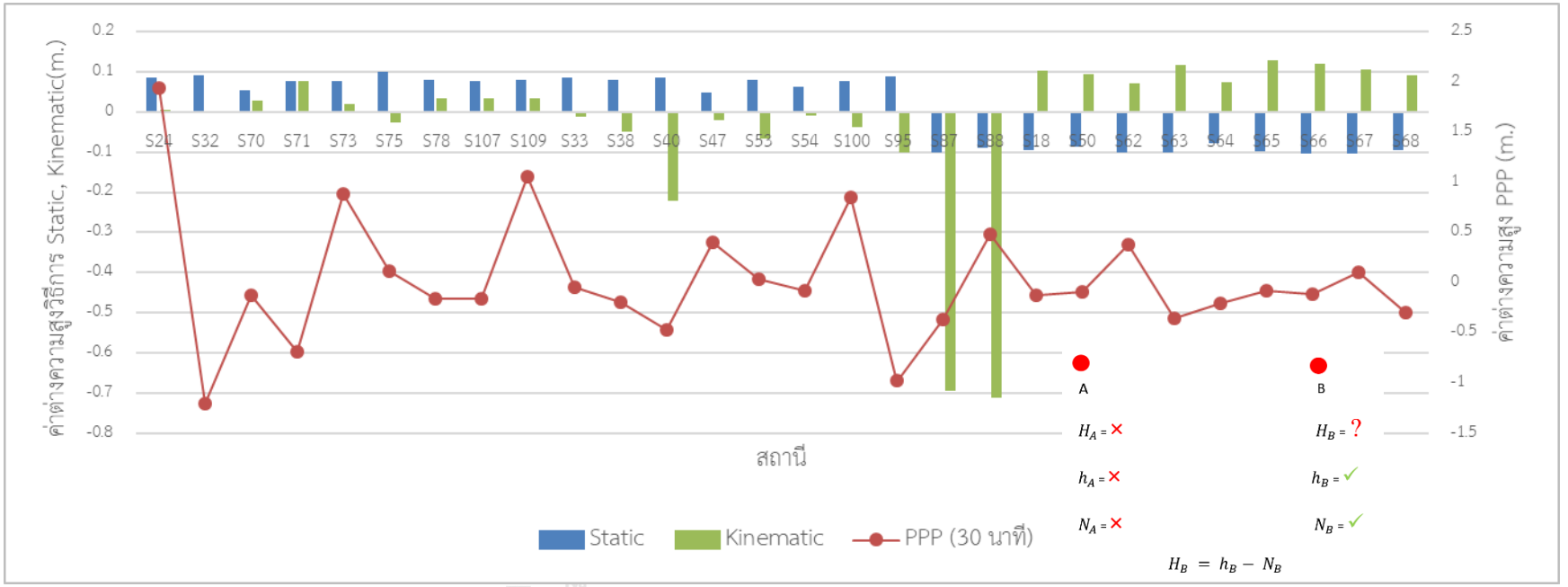
## 4.1 การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากวิธีการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งระหว่าง วิธีการแบบสถิต แบบจลน์ และวิธีการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง โดยใช้ข้อมูลระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารตรวจสอบความถูกต้อง

ทำการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากจุดทดสอบในพื้นที่ศึกษาจังหวัดปทุมธานี จากการประมวลผลเพื่อหาค่าตำแหน่งของจุดทดสอบ 1 จุดทดสอบด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่วิธีการแบบสถิต แบบจลน์ และแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง จะส่งผลให้ค่า $N$ ที่คำนวณได้จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 มีค่าแตกต่างกัน จากนั้นนำค่า $N$ ที่คำนวณได้ไปทำการการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการแบบสัมบูรณ์และแบบสัมพัทธ์ เว้นแต่วิธีการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงจะทำการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์เพียงกรณีเดียว

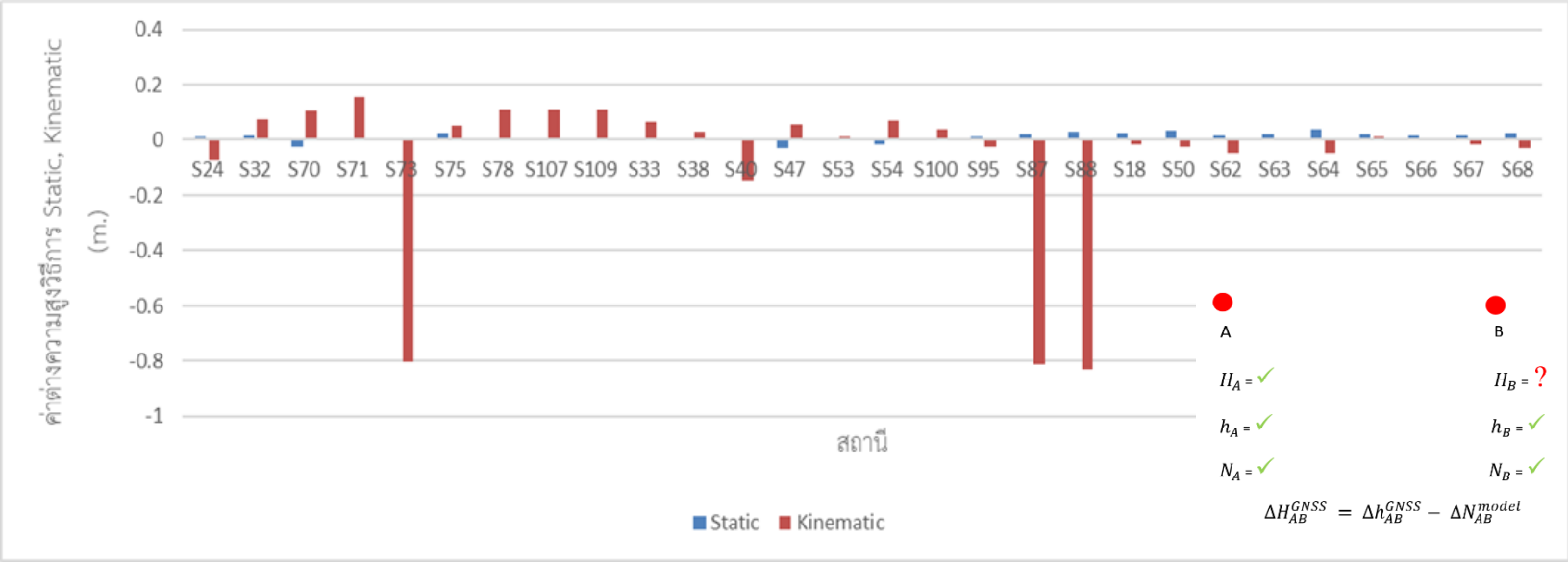
โดยค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่คำนวณได้ในแต่ละวิธีจะถูกนำไปใช้ตรวจสอบกับค่าระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารเพื่อหาต่างความสูงหรือค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงซึ่งค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงนี้จะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบและประเมินความถูกต้องด้วยวิธีการทางสถิติ ในการศึกษานี้จะทำการแยกประเภทการทดสอบเป็น 2 ประเภท แยกตามชนิดของแบบจำลองยีออยด์ ได้แก่ ประเภทการทดสอบค่าระดับความความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และประเภทการทดสอบค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 แสดงผลได้ดังนี้

4.1.1 หาค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงระหว่างค่าความสูงภูมิประเทศที่ทำการสำรวจได้จากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล โดยใช้แบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ตรวจสอบความถูกต้องกับค่าอ้างอิงค่าระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร

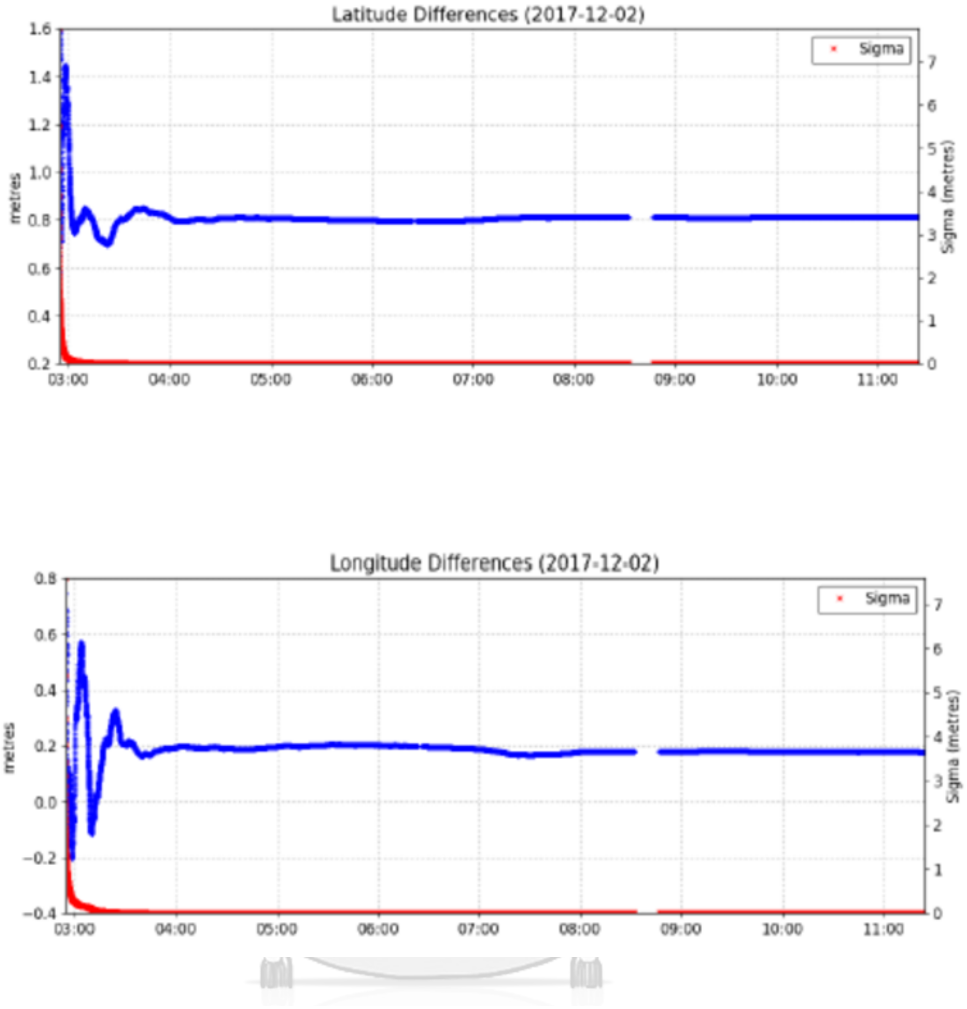
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




รูปที่ 4.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์




รูปที่ 4.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์



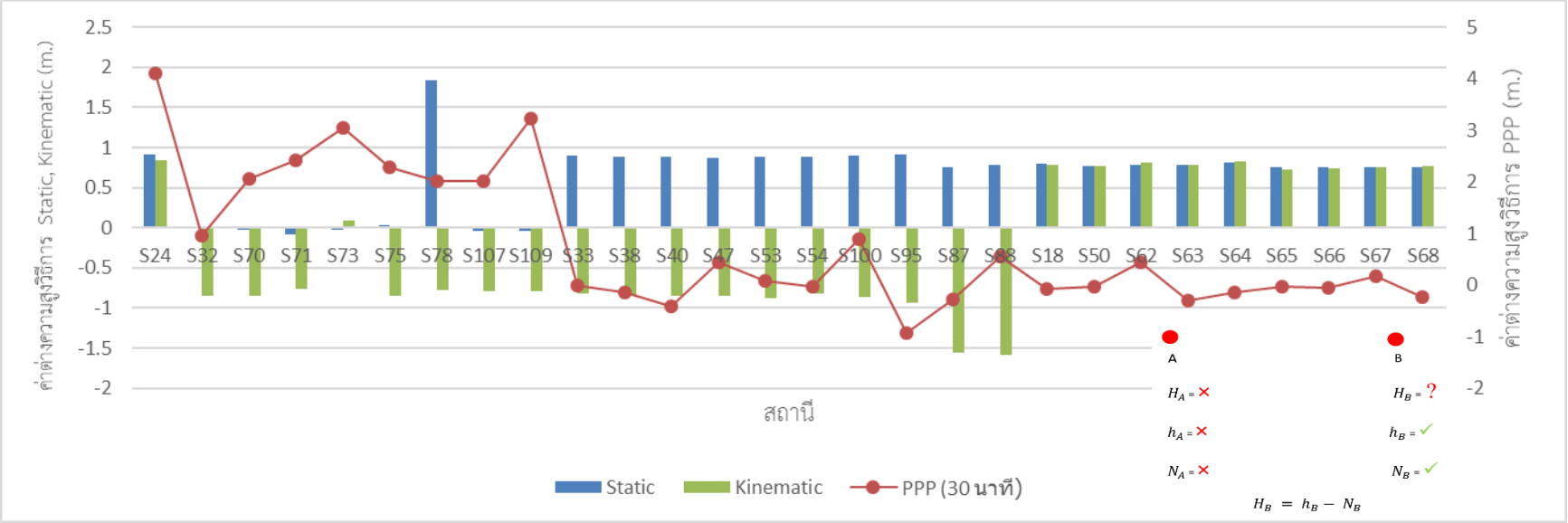

รูปที่ 4.3 แสดงผลการรับสัญญาณด้าวเทียม GNSS ด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ PPP จะพบว่ากราฟมีการแกว่งตัวของข้อมูลสูงในช่วง 60 นาทีแรกของการรังวัด ซึ่งวิธีการแบบ PPP จะใช้ข้อมูลในช่วง 30 นาทีแรกของการรังวัดมาทำการประมวลผล

จากรูป 4.1-4.2 อธิบายลักษณะของข้อมูลที่ทำการรังวัดและประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งด้วยวิธีการแบบ PPP กราฟจะแสดงให้เห็นถึงการแกว่งตัวของข้อมูลที่สูงมากในช่วง 60 นาทีแรกของการรังวัดสัญญาณทำให้ค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่คำนวณได้จากวิธีการ PPP ที่ใช้ระยะเวลาเก็บข้อมูล 30 นาทีแรกของการรังวัด มีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงที่สูงกว่าวิธีการอื่น

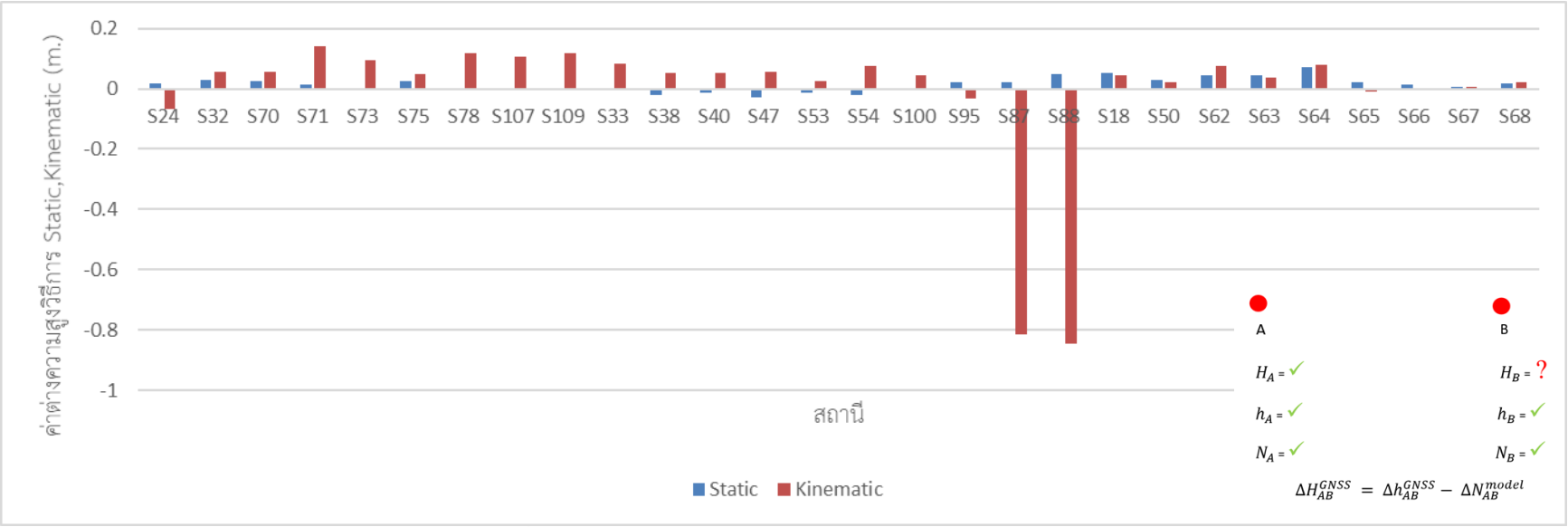
จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงวิธีการ PPP ซึ่งแสดงค่าในรูปด้วยเส้นสีแดงมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงมากที่สุด ส่วนค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงวิธีการจลน์ซึ่งแสดงค่าในรูปด้วยกราฟแท่งสีเขียวจะมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงที่ดีกว่าวิธีการ PPP และค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงลดลงเมื่อใช้วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ สำหรับค่าคลาดเคลื่อนจากวิธีการสถิตซึ่งแสดงในรูปด้วยกราฟแท่งสีฟ้าจะมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงมีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับวิธีการจลน์ในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ และมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงดีกว่าวิธีการจลน์เมื่อใช้วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ จะสังเกตุได้ว่าสถานี S87 และ S88 มีความผิดปกติเนื่องจากอยู่ในภูมิประเทศที่มีสิ่งบดบังการรับสัญญาณดาวเทียมแสดงในรูปที่ 4.4 ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลที่รังวัดจากสถานี S87 และ S88 มาทำการคำนวณค่าทางสถิติได้

รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่ตั้งของจุดทดสอบสถานีที่ S87 และ S88 มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่กลางซอยทำให้มีสิ่งปลูกสร้างบดบังและกีดขวางการรังวัดสัญญาณดาวเทียม

4.1.2 หาค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงระหว่างค่าความสูงภูมิประเทศที่ทำการสำรวจได้จากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล โดยใช้แบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ตรวจสอบความถูกต้องกับค่าอ้างอิงค่าระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร




รูปที่ 4.5 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์




รูปที่ 4.6 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล จากแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์

จากรูปที่ 4.5-4.6 พบว่าค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงวิธีการ PPP ซึ่งแสดงค่าในรูปด้วยเส้นสีแดงมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงมากที่สุด ส่วนค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงวิธีการจลน์ซึ่งแสดงค่าในรูปด้วยกราฟแท่งสีเขียวจะมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงที่ดีกว่าวิธีการ PPP และค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงลดลงเมื่อใช้วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ สำหรับค่าคลาดเคลื่อนจากวิธีการสถิตซึ่งแสดงในรูปด้วยกราฟแท่งสีฟ้าจะมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงมีขนาดใกล้เคียงกันแต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับวิธีการจลน์ในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ และมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงดีกว่าวิธีการจลน์เมื่อใช้วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ในช่วงสถานีที่ S24 ถึง S95 และมีค่าคลาเคลื่อนจากค่าอ้างอิงสูงกว่าวิธีการแบบจลน์ในช่วงสถานีที่ S50 ถึง S68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Mean error), ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ของค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงระหว่างค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่ทำการสำรวจได้จากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล ตรวจสอบความถูกต้องกับค่าอ้างอิงค่าระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร โดยใช้วิธีการหาค่าตำแหน่งที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ วิธีการแบบสถิต แบบจลน์ และแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ใช้แบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลอง ยีออยด์สากล EGM2008 ในการประมวลผลหาค่า N และทำการหาค่าความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการแบบสัมบูรณ์และวิธีการแบบสัมพัทธ์

| | Static | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Absolute (m.) | | Relative (m.) | |
| | TGM2017 | EGM2008 | TGM2017 | EGM2008 |
| Mean error | 0.017 | 0.642 | 0.008 | 0.012 |
| RMSE | 0.085 | 0.794 | 0.017 | 0.027 |
| SD | 0.083 | 0.450 | 0.015 | 0.024 |
| | Kinematic | | | |
| | Absolute (m.) | | Relative (m.) | |
| | TGM2017 | EGM2008 | TGM2017 | EGM2008 |
| Mean error | 0.022 | -0.179 | -0.009 | 0.05 |
| RMSE | 0.081 | 0.799 | 0.172 | 0.069 |
| SD | 0.078 | 0.778 | 0.172 | 0.047 |
| | PPP | | | |
| | Absolute (m.) | | | |
| | TGM2017 | | EGM2008 | |
| Mean error | 0.013 | | 0.839 | |
| RMSE | 0.626 | | 1.571 | |
| SD | 0.626 | | 1.318 | |

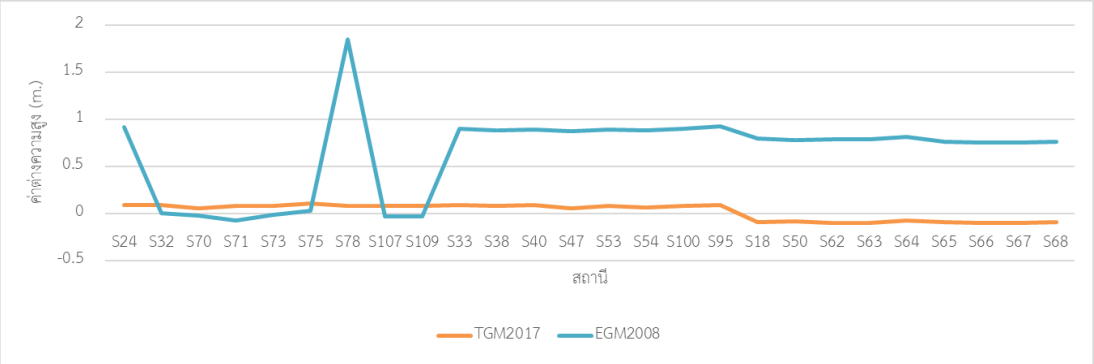
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงจากวิธีการหาตำแหน่งด้วยวิธีการ แบบสถิต มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการแบบจลน์และแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงตามลำดับ โดยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์มีค่าทางสถิติที่ดีกว่าวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ สำหรับวิธีการหาค่าตำแหน่งแบบสถิตด้วยวิธีการหาค่าความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่ได้จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด

## 4.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงค่าระดับความสูงภูมิประเทศระหว่างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008

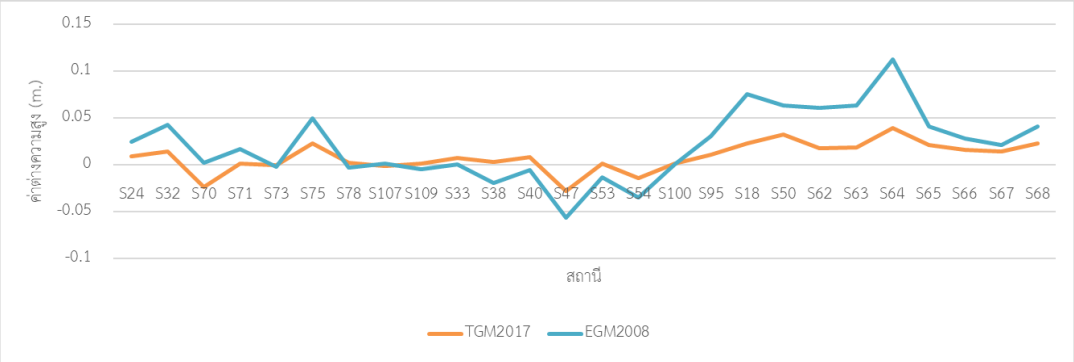
เนื่องจากค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Mean error) ที่หาได้จากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบสถิตมีค่าดีที่สุดจากการทดสอบ ซึ่งค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Mean error) ที่ได้นี้เมื่อพิจารณาแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 จะมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Mean error) ใกล้เคียงกับแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008

เพื่อแสดงค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงให้ชัดเจนจึงทำการแสดงความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงระหว่างแบบจำลองยีออยด์ที่ใช้ทำการศึกษาคือแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 กับแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น EGM2008 ในรูปแบบแผนภูมิเชิงเส้น ตามรูปที่ 4.7 และ 4.8




รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล ด้วยวิธีการหาค่าตำแหน่งแบบสถิตระหว่างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 แสดงในแผนภูมิโดยใช้เส้นสีฟ้ากับแบบจำลอง

ยีออยด์สากล EGM2008 แสดงในแผนภูมิโดยใช้เส้นสีส้มด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์




รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าความสูงระดับภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล โดยใช้วิธีการหาค่าตำแหน่งแบบสถิตระหว่างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 แสดงในแผนภูมิด้วยเส้นสีน้ำเงินกับแบบจำลองยีออยด์สากล และ EGM2008 แสดงในแผนภูมิด้วยเส้นสีส้มโดยใช้วิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์

แผนภูมิแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากการหาตำแหน่งแบบสถิตระหว่างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 กับแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 แผนภูมิในรูปที่ 4.7 จะมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงระหว่างแบบจำลองยีออยด์ใกล้เคียงกันเนื่องจากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์นี้ในขั้นตอนการประมวลผลเพื่อหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศจะมีการขจัดค่าคลาดเคลื่อนของค่า $N$ ที่คำนวณได้จากแบบจำลองยีออยด์ออกไปทำให้ค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่ได้จะแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 และแบบจำลอง ยีออยด์สากล EGM2008 มีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงแตกต่างกับวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 4.8 ซึ่งค่า $N$ ที่คำนวณได้จากแบบจำลองยีออยด์จะถูกนำมาใช้โดยไม่ขจัดค่าความคลาดเคลื่อนออก ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017

# บทที่ 5
# อภิปรายผล สรุปผลวิจัย และข้อเสนอแนะ

## 5.1 อภิปรายผล

จากการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล กับค่าระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง พบว่าในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศนั้นอาศัยค่าที่ได้จากการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1.ค่าความสูงเหนือทรงรี $h$

2.ค่า $N$ ที่หาได้จากแบบจำลองยีออยด์ $(\Phi, \lambda) \longrightarrow N$

เนื่องจากค่าระดับความสูงภูมิประเทศเป็นค่าพิกัดทางดิ่งที่ใช้ในทางวิศวกรรมปกติจะหาค่าด้วยวิธีการระดับ ส่วนค่า $h$ ที่หาได้จากการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ถือเป็นค่าความสูงเหนือทรงรีซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศมากกว่าค่า $N$ ซึ่งคำนวณได้จากแบบจำลองยีออยด์จากค่าพิกัดทางราบ $(\Phi, \lambda)$ ค่า $h$ ที่ได้จะมีค่าความถูกต้องแตกต่างกันไปตามวิธีการในการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยปกติค่า $h$ ที่ได้จะมีความถูกต้องที่น้อยกว่าค่าพิกัดทางราบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบโดยใช้วิธีการแบบสถิต แบบจลน์ และแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง

พบว่าค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่ได้ด้วยวิธีการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบสถิต (จำนวนข้อมูล 30 นาที) มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงน้อยที่สุด ส่วนวิธีการแบบจลน์มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงที่สูงกว่าวิธีการแบบสถิต เนื่องมาจากการประมวลผลด้วยวิธีการแบบจลน์ (จำนวนข้อมูล 10 นาที) ค่าตำแหน่งที่ได้จะถูกคำนวณเป็นวินาทีทำให้ข้อมูลมีการแกว่งตัวที่สูง และวิธีการแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (จำนวนข้อมูล 30 นาที) มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงมากที่สุดในการทดสอบ เนื่องมาจากข้อมูลที่ทำการรังวัดมีปริมาณช่วงเวลาที่สั้นเกินไปซึ่งวิธีการแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงต้องใช้ข้อมูลที่มีปริมาณความยาวอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ข้อมูลจึงจะอยู่ในช่วงที่ลู่เข้าหาค่าที่แท้จริงแสดงตามรูปที่ 4.3

จากตารางแสดงผลทางสถิติในตารางที่ 4.1 วิธีการแบบสถิตให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงน้อยที่สุดหรือมีค่าความถูกต้องดีที่สุด เมื่อทำการพิจารณาการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ (TGM2017, EGM2008) และแบบสัมพัทธ์ (TGM2017, EGM2008) พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงใกล้เคียงกัน เมื่อทำการแสดงผลด้วยกราฟเส้นตามรูปที่ 4.7 และ 4.8 เพื่อตรวจสอบค่าความถูกต้องระหว่างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 กับแบบจำลองยีออยด์สากล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

EGM2008 พบว่าวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์แบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ให้ค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงที่น้อยกว่าแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 เมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธีการ T-test พบว่าแบบจำลองยีออยด์ทั้ง 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องมาจากค่า $N$ ที่คำนวณได้จากแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 ถูกสร้างให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ของประเทศไทยมากกว่าแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 เมื่อทำการคำนวณหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศจึงได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงหรือค่าระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร

สำหรับวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์พบว่ามีความถูกต้องสูงที่สุดในวิธีการทดสอบทั้งหมด จากกราฟในรูปที่ 4.7 ค่าต่างความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงระหว่างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 กับแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธีการ T-test พบว่าแบบจำลองยีออยด์ทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ต้องอาศัยค่าระดับความสูงภูมิประเทศ $H_A$ ที่หาได้ด้วยวิธีการระดับซึ่งเป็นวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่มีความถูกต้องสูงที่สุด ประกอบกับในการหาค่าต่าง $\Delta N_{AB}$ ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจะถูกขจัดออก และค่าที่ได้จะเป็นเพียงค่าต่าง $N$ ของแบบจำลองยีออยด์ระหว่างจุด A และ B ซึ่งในกราฟจากรูป 4.7 จะแสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงจากแบบจำลองยีออยด์ทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกัน

## 5.2 สรุปผล

ในการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากล เมื่อทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบสถิตแบบจลน์ และแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศขึ้นอยู่การคุณภาพของข้อมูลที่ทำการรังวัดสัญญาณ ณ จุดทดสอบ หากข้อมูลที่รังวัดได้มีคุณภาพไม่ดีจะส่งผลต่อค่าความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่คำนวณได้จากแบบจำลองยีออยด์ จากรูปที่ 4.1, 4.2, 4.5 และ 4.6 พบว่าสถานีที่ S87-88 ข้อมูลมีความผิดปกติ เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งมีสิ่งบดบังการรับสัญญาณดาวเทียม แสดงในรูปที่ 4.4 ทำให้ค่า $h$ และ $N$ ที่คำนวณได้มีความแปรปรวน และค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่คำนวณได้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงมากกว่าสถานีอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบสถิตมีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงน้อยที่สุดเมื่อใช้ประกอบกับวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์โดยสามารถใช้แบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 หรือแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 มาทำการประมวลผลได้ทั้ง 2 แบบจำลอง ซึ่งวิธีการนี้จะมีความเหมาะสมเมื่อมีเครื่องรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS อย่างน้อย 2 เครื่อง และทราบค่าระดับความสูงภูมิประเทศของสถานีฐานหรือ $H_A$ ในกรณีที่ค่า $H_A$ ได้จากกรรมวิธีการระดับในชั้นงานที่มีความละเอียดถูกต้องสูง เช่น งานระดับชั้นที่ 1 สามารถประยุกต์ใช้การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศด้วยระบบดาวเทียมนำหนสากลมาทำการตรวจสอบค่าระดับความสูงภูมิประเทศของหมุดระดับในงานที่มีความถูกต้องชั้นรองลงมาได้ เช่น งานระดับชั้น 3

ค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบสถิตเมื่อใช้ประกอบกับวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงรองลงมาจากวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ โดยแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 จะให้ค่าความถูกต้องที่ดีกว่าแบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานเมื่อมีเครื่องรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS อย่างน้อย 2 เครื่อง และไม่ทราบค่าระดับความสูงภูมิประเทศของสถานีฐานหรือ $H_A$

สำหรับค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้ด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงเมื่อใช้ประกอบกับวิธีการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ จะมีความเหมาะสมในการใช้งานเมื่อมีเครื่องรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS เพียง 1 เครื่อง และใช้ระยะเวลาในการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ที่มีความต่อเนื่องอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบ ซึ่งทำให้ไม่สามารถเห็นผลกระทบของภูมิประเทศต่อแบบจำลองยีออยด์ที่ทำการทดสอบ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในภูมิประเทศที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น พื้นที่เขา หรือ พื้นที่ติดชายทะเล

5.3.2 เนื่องจากวิธีการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS เพื่อหาตำแหน่งด้วยวิธีการแบบ PPP มีระยะเวลาเก็บข้อมูลที่ไม่เหมาะสม จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ระยะเวลาในการรังวัดสัญญาณที่ยาวนานขึ้นเพื่อเพิ่มความถูกต้องให้ค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่หาได้จากวิธีการแบบ PPP

# ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ก การทดสอบทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางการทดสอบค่าทางสถิติ T-test ค่าต่างความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าระดับความสูงภูมิประเทศจากการหาตำแหน่งด้วยวิธีการสถิตประกอบกับการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ ที่ความเชื่อมั่น 95%

| | *TGM2017* | *EGM2008* |
|---|---|---|
| Mean | 0.017671 | 0.6421514 |
| Variance | 0.007241 | 0.2107361 |
| Observations | 26 | 26 |
| Pooled Variance | 0.108989 | |
| Hypothesized Mean Difference | 0 | |
| df | 50 | |
| t Stat | -6.82025 | |
| P(T<=t) one-tail | 5.73E-09 | |
| t Critical one-tail | 1.675905 | |
| P(T<=t) two-tail | 1.15E-08 | |
| t Critical two-tail | 2.008559 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางการทดสอบค่าทางสถิติ T-test ค่าต่างความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงของค่าระดับความสูงภูมิประเทศจากการหาตำแหน่งด้วยวิธีการสถิตประกอบกับการหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศแบบสัมพัทธ์ ที่ความเชื่อมั่น 95%

| | *TGM2017* | *EGM2008* |
|---|---|---|
| Mean | 0.00881 | 0.012082 |
| Variance | 0.000239 | 0.000618 |
| Observations | 26 | 26 |
| Pooled Variance | 0.000429 | |
| Hypothesized Mean Difference | 0 | |
| df | 50 | |
| t Stat | -0.56961 | |
| P(T<=t) one-tail | 0.285746 | |
| t Critical one-tail | 1.675905 | |
| P(T<=t) two-tail | 0.571492 | |
| t Critical two-tail | 2.008559 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บรรณานุกรม


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

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). *GNSS–global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*: Springer Science & Business Media.

Lee, S. B., Auh, S. C., & Seo, D. Y. (2017). Evaluation of global and regional geoid models in South Korea by using terrestrial and GNSS data. *KSCE Journal of Civil Engineering, 21*(5), 1905-1911.

Li, Y.-S., & Ning, F.-S. (2017). Research into GNSS levelling using network RTK in Taiwan. *Survey Review*, 1-9.

Mårtensson, S.-G. (2002). *Height determination by GPS: Accuracy with respect to different geoid models in Sweden.* Paper presented at the XXII FIG International Congress, April 19-26 2002, Washington, DC, USA.

Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., & Factor, J. K. (2012). The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of geophysical research: solid earth, 117*(B4).

Trakolkul, C. (2012). *Accuracy assessment of orthometric height from mobile mapping using GNSS.* (Master), Chulalongkorn, Chulalongkorn University.

เฉลิมชนม์ สถิระพจน์. (2549). เอกสารคำสอนวิชา *2108631 Advanced GPS Satellite Surveying* งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง ((อัดสำเนา) ed.). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, บรรเจิด พละการ, วิชัย เยี่ยงวีรชน และ อิทธิ ตริสัตยวงศ์,. (2547). การหาค่าระดับเหนือน้ำทะเลปานกลางของสถานีวัดน้ำในอ่าวไทยด้วยจีพีเอส. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ *9*.

เอื้อมเกียรติ เจริญสม และ ภิญโญ วรเกษตร. (2556). การศึกษาความเหมาะสมในการนำไปใช้งานระหว่างแบบจำลองยีออยด์สากล *EGM96* กับ *EGM2008* Retrieved from กองยีออเดซี่และยีออฟิสกส์ กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย:

กรมแผนที่ทหาร. (2560). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย. Retrieved from กองยีออเดซีและยีออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการ


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กองทัพไทย:

กองยีออเดซีและยีออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร. (2555). สามทศวรรษกับการรังวัดตรวจสอบการทรุดตัวของพื้นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. Retrieved from กองยีออเดซีและยีออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย

ธีทัต เจริญกาลัญญูตา. (2555). ผลกระทบของค่าคลาดเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ต่อประสิทธิภาพ จากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอส *86* ในประเทศไทย สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญา ดุษฎีบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

วิชัย เยี่ยงวีรชน. (2557). การสำรวจทางวิศวกรรม *1*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัศวินี วงษ์สุวรรณ. (2557). การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ *GNSS* ดวงที่เหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล *GPS GLONASS* และ *COMPASS* สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | ร้อยโท วัชโรตม์ พันโยธา |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 29 ธันวาคม 2533 |
| **สถานที่เกิด** | กรุงเทพมหานคร |
| **วุฒิการศึกษา** | พ.ศ.2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี |
| **ผลงานตีพิมพ์** | วัชโรตม์ พันโยธา และเฉลิมชนม์ สถิระพจน์ (2561) "การประเมินความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยเทียบกับแบบจำลองยีออยด์สากลโดยวิธีรังวัดดาวเทียมนำหนสากล" การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23, 18-20 กรกฎาคม 2561 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University