

2022

## การประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ทโฟนที่มีจีเอ็นเอสเอสแบบสองความถี่ ในการคำนวณงานดินด้วยวิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบจลน์ในทันที

ณัฏพงษ์ ตันตระกูล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>



Part of the [Engineering Commons](#)

---

### Recommended Citation

ตันตระกูล, ณัฏพงษ์, "การประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ทโฟนที่มีจีเอ็นเอสเอสแบบสองความถี่ในการคำนวณงานดินด้วยวิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบจลน์ในทันที" (2022). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 6587.

<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/6587>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact [ChulaDC@car.chula.ac.th](mailto:ChulaDC@car.chula.ac.th).

การประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ทโฟนที่มีจีเอ็นเอสเอสแบบสองความถี่ในการคำนวณงาน  
ดินด้วยวิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบจลน์ในทันที



นายนันทพงศ์ ตันตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Performance evaluation of dual-frequency GNSS smartphone used for earthwork  
calculation in real-time kinematic positioning



Mr. Nantapong Tantrakul

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 2022  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ตโฟนที่มีจีเอ็นเอสเอสแบบสองความถี่ในการคำนวณงานดินด้วยวิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบจลน์ในทันที
โดย	นายณัฏพพงศ์ ตันตระกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ทยาทิพย์ ทองตัน)



นันทพงศ์ ตันตระกูล : การประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ทโฟนที่มีจีเอ็นเอสเอส  
 แบบสองความถี่ในการคำนวณงานดินด้วยวิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบจลน์ในทันที. (   
 Performance evaluation of dual-frequency GNSS smartphone used for   
 earthwork calculation in real-time kinematic positioning) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ.  
 ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

ในปัจจุบันการหาปริมาณดินที่ใช้ในการถมที่ดินว่างเปล่ามีค่าใช้จ่ายสูงต้องมีทีมสำรวจ  
 อย่างน้อย 4 คนผู้แต่งจึงต้องการนำสมาร์ทโฟนแบบสองความถี่ที่จะสามารถหาตำแหน่งด้วยวิธีการ  
 หาตำแหน่งแบบจลน์ในทันทีด้วยวิธีตำแหน่งอ้างอิงเสมือนมาช่วยในการหาปริมาณดินโดยการ  
 ทดสอบบนพื้นที่ขนาด 11,145 ตารางเมตรโดยจะนำไปเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้กล้องสำรวจ  
 โดยทำการลงพื้นที่สำรวจปักหมุดทดสอบ 21 หมุดแล้วนำสมาร์ทโฟนพร้อมอุปกรณ์ลือคตำแหน่ง  
 และค่าระดับไปรังวัดด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบจลน์ในทันทีด้วยวิธีตำแหน่งอ้างอิงเสมือนโดย  
 เชื่อมต่อกับข้อมูลสถานีค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องของกรมที่ดินในจุดทดสอบโดยรังวัดในเวลา  
 กลางคืนเก็บข้อมูลทุก 1 วินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 21 หมุดแล้วนำข้อมูลมาประมวลผลร่วมกับข้อ  
 มูลค่าแก่นาฬิกาดาวเทียม, วงโคจรดาวเทียม, ค่าแก้ชั้นบรรยากาศและค่าแก้เสาอากาศแล้วนำค่า  
 พิกัดที่ได้ไปคำนวณปริมาณดินที่ใช้ในการถมโดยผลลัพธ์จากสมาร์ทโฟนแบบสองความถี่ได้ความ  
 ถูกต้องที่ดีที่สุดทางราบ 4 cm ทางตั้ง 8 cm โดยใช้เวลาในการรูดเข้ามากที่สุด 40 นาทีซึ่งเมื่อนำไป  
 คำนวณปริมาณดินเปรียบเทียบกับวิธีเดิม ในทางสถิติจะมีปริมาณดินต่างกันไม่เกิน  $\pm 10\%$  ทำให้  
 สามารถสรุปได้ว่าการใช้สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่สามารถนำมาใช้ในงานคำนวณปริมาณงานดิน  
 แทนวิธีการใช้กล้องสำรวจได้และมีค่าใช้จ่ายในการทำงานน้อยกว่าวิธีเดิมกว่า 5 เท่า

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ  
 ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต .....  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6270381021 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: GPS, GNSS, Smartphone, Earthwork, Global Navigation Satellite System, Real Time Kinematic, RTK, Continuously Operating Reference Stations (CORS), Virtual Reference Station (VRS)

Nantapong Tantrakul : Performance evaluation of dual-frequency GNSS smartphone used for earthwork calculation in real-time kinematic positioning. Advisor: Prof. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D.

At present, earthwork on vacant land is costly, requiring a survey team of at least four people, so the author wants to use a dual-frequency smartphone that can be positioned using the VRS RTK positioning method to help with earthwork by surveying an area of 11,145 square meters. It is compared with the traditional method of using a survey camera. The survey was conducted on 21 pins, and then a smartphone with location and level locks was measured using the RTK VRS positioning method, connected to the Land Department's CORs station data at the test point. At night, the data is collected every 1 second for 1 hour and 21 pins and then processed together with satellite clock, satellite orbit, atmospheric correction, and antenna correction data. Then take the coordinates to determine the amount of soil used. The results from the dual-frequency smartphone achieved optimal accuracy of 4 cm horizontal and 8 cm vertical, with a maximum convergence time of 40 minutes. When calculating the amount of soil compared to the traditional method, the statistical difference in soil content does not exceed 10%. As a result, it can be concluded that the use of a dual-frequency smartphone can be used in earthwork instead of survey camera methods and costs more than five times less to work than the traditional method.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2022

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ศ.ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และคณะกรรมการทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่าแก่ผู้วิจัยเพื่อให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่งจนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดีผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้จากใจจริง

ขอขอบคุณ กรมที่ดินที่ได้ช่วยอนุเคราะห์ใช้ระบบการสำรวจรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์

ขอขอบคุณ สำนักงานที่ดินจังหวัดน่านที่ได้ช่วยอนุเคราะห์ข้อมูลหมุดหลักเขตในรูปแบบของพิกัดศูนย์กำเนิด

ขอขอบคุณ โครงการจุฑาศิณี วิลเลจ ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้วิจัย ตลอดจนผู้ซึ่งสนับสนุนในทุกๆด้านและ กำลังใจจากมิตรแท้ทุกท่าน

นันทพงศ์ ตันตระกูล



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

### หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	2
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	2
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.3.1 พื้นที่การศึกษา.....	4
1.3.2 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา.....	4
1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	5
1.3.4 การเปรียบเทียบผลการศึกษา.....	5
1.3.5 เครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัย.....	5
1.3.6 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....	8
1.3.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1.1 งานดิน.....	9
2.1.2 การหาปริมาณดินที่ใช้ในการถมที่ดิน.....	9

2.1.3	คู่มือปฏิบัติงานระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK Network) ในงานรังวัดเฉพาะราย (กรมที่ดิน, 2561).....	12
2.1.4	เทคนิคการหาตำแหน่งด้วย GPS .....	14
2.1.5	การแปลงความสูงเป็นความสูงระดับน้ำทะเลปานกลาง .....	16
2.1.6	การแปลงค่าพิกัดระหว่างสองระบบพิกัด .....	17
2.1.7	การเลือกขนาดกลุ่มตัวอย่าง .....	17
2.1.8	การเลือกใช้ตัวทดสอบสถิติ .....	18
2.2	เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา.....	18
2.2.1	การประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ตโฟนสำหรับการประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง.....	18
2.2.2	การประเมินผลความถูกต้องทางตำแหน่งของการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวรสำหรับงานรังวัดแปลงที่ดินในประเทศไทย.....	19
2.2.3	การใช้สมาร์ตโฟนให้ได้ข้อมูลรังวัดที่มีความถูกต้อง 1-2 เซนติเมตร .....	19
2.2.4	การประเมินความแม่นยำของตำแหน่งแบบ static โดยใช้ GPS ของสมาร์ตโฟนต้นทุนต่ำ .....	21
2.2.5	ใช้สมาร์ตโฟน Xiaomi Mi 8 ในการหาตำแหน่งแบบ RTK.....	22
2.2.6	การใช้สมาร์ตโฟน Huawei P30 ในการสำรวจรังวัดตำแหน่งให้ได้ความถูกต้องระดับเซนติเมตร .....	22
บทที่ 3	ระเบียบวิธีวิจัย .....	24
3.1	เตรียมข้อมูลและอุปกรณ์ .....	25
3.1.1	หาข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของพื้นที่การศึกษา .....	25
3.1.2	ทำการรวบรวมข้อมูลที่ต้องใช้ .....	26
3.1.3	เตรียมอุปกรณ์ .....	29
3.2	การสำรวจพื้นที่แบบสังเขป (Reconnaissance).....	29

3.3 การสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 .....	33
3.4 การสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้ สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30.....	34
3.5 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล .....	38
3.5.1 ประมวลผลข้อมูลจากกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107.....	38
3.5.2 ประมวลผลข้อมูลจาก สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30.....	39
3.6 สร้างแบบจำลองเพื่อหาปริมาณดิน .....	43
3.7 เลือกขนาดกลุ่มตัวอย่างและแบ่งข้อมูล .....	43
3.8 การทดสอบสมมุติฐาน(Hypothesis Testing).....	43
3.9 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลการทดสอบ.....	43
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย .....	45
4.1 ผลจากปฏิกิริยาควบคุมชั่วคราวและหมดทดสอบ .....	45
4.2 ผลจากการสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 .....	46
4.3 ผลการสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้ สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 .....	49
4.4 สร้างแบบจำลองเพื่อหาปริมาณดิน .....	56
4.5 การหาปริมาณดิน .....	59
4.6 ผลการเลือกขนาดกลุ่มตัวอย่างและแบ่งข้อมูล .....	60
4.7 การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing) .....	63
4.8 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลการทดสอบ .....	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	67
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย.....	67
5.1.1 สรุปการเตรียมการก่อนลงพื้นที่.....	67
5.1.2 สรุปการสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 .....	67
5.1.3 สรุปการสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้ สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 .....	68

5.1.4	สรุปการแปลงพิกัดของหมุดหลักเขต.....	70
5.1.5	สรุปการหาปริมาณดิน .....	70
5.1.6	สรุปการทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing).....	71
5.1.7	สรุปการเปรียบเทียบค่าพิกัดจากการสำรวจโดยใช้สมาร์ตโฟนเทียบกับการใช้กล้อง Electronic Theodolite .....	71
5.1.8	สรุปการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลลัพธ์การสำรวจโดยใช้สมาร์ตโฟนเทียบกับการใช้ กล้อง Electronic Theodolite .....	72
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	72
บรรณานุกรม.....		75
ภาคผนวก.....		80
ภาคผนวก ก	มาตรฐานงานที่เกี่ยวข้อง .....	81
ภาคผนวก ข	ตารางแสดงข้อมูล.....	89
ภาคผนวก ค	กราฟแสดงข้อมูลของจุดรับสัญญาณแต่ละจุดและคำอธิบายกราฟ .....	94
ภาคผนวก ง	รูปภาพแสดงข้อมูล .....	122
ภาคผนวก จ	แสดงโค้ดที่ใช้ในงานวิจัย.....	133
ประวัติผู้เขียน .....		136

## สารบัญตาราง

### หน้า

ตารางที่ 1 แสดงความถูกต้องของการรังวัดหาตำแหน่ง (Uradzinski & Bakula, 2020).....	22
ตารางที่ 2 แสดงพิกัดหมุดหลักเขตในระบบค่าพิกัดศูนย์กำเนิด .....	28
ตารางที่ 3 แสดงหมุดหลักเขตที่แปลงค่าอยู่ในระบบพิกัดฉากหน่วยเมตร .....	28
ตารางที่ 4 แสดงวันและเวลาในการรับสัญญาณโดยใช้สมาร์ตโฟน .....	35
ตารางที่ 5 แสดงพิกัดหมุดหลักเขต.....	47
ตารางที่ 6 แสดงพิกัดหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบ .....	48
ตารางที่ 7 แสดงพิกัดและความสูงของหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดหลักเขต .....	48
ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลของหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดหลักเขตโดยจะมีค่าพิกัด ความสูง ความถูกต้องทางราบ เวลาที่ใช้ในการลู่เข้า เวลาที่ใช้ในการประมวลผล และเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในการประมวลผล.....	50
ตารางที่ 9 แสดงปริมาณดินที่แตกต่างกันโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ และแสดงการผ่าน(1)และไม่ผ่าน (0)ข้อกำหนดที่ยอมรับได้.....	61
ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าพิกัดและความสูงของจุดทดสอบ .....	65



## สารบัญรูปภาพ

### หน้า

รูปที่ 1 แสดงเครื่องสมาร์ทโฟน Huawei P30 สำหรับรับสัญญาณสองความถี่ (Huawei, 2019) .....	6
รูปที่ 2 แสดงกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 .....	6
รูปที่ 3 แสดงการถ่ายค่าระดับ.....	11
รูปที่ 4 แสดงการสร้างพื้นผิวโดยใช้ Triangular Irregular Network TIN .....	12
รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (CORS) ของกรมที่ดินทั้ง 188 สถานี (กรมที่ดิน, 2564).....	13
รูปที่ 6 แสดงสัณฐานของพื้นโลก (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2561) .....	16
รูปที่ 7 แสดงสมาร์ทโฟนและ choke ring platform ที่ถูกติดตั้งพร้อมรับสัญญาณ (Sharma et al., 2020).....	20
รูปที่ 8 แสดงการพล็อตผลลัพธ์ของการรังวัดตำแหน่ง (Sharma et al., 2020) .....	21
รูปที่ 9 แสดงความถูกต้องของการรังวัดตำแหน่ง (Wanninger & Hesselbarth, 2020) .....	23
รูปที่ 10 แสดงแผนผังแสดงขั้นตอนการทำวิจัย .....	25
รูปที่ 11 แสดงพื้นที่การศึกษาบริเวณบ้านสมุน ตำบลคูใต้ อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน(แหล่งที่มา: Google Earth).....	26
รูปที่ 12 แสดงตำแหน่งหมุดควบคุมทางระดับและพิกัดในแผนที่.....	26
รูปที่ 13 แสดงหมุดควบคุมทางระดับและพิกัด .....	27
รูปที่ 14 แสดงตำแหน่งของ antenna phase center ของ Huawei P30 (Uradzinski & Bakula, 2020).....	29
รูปที่ 15.1-15.3 แสดงสภาพแวดล้อมของบริเวณพื้นที่การศึกษา.....	30
รูปที่ 16 แสดงตำแหน่งหมุดควบคุมชั่วคราวทั้ง 2 หมุด.....	31
รูปที่ 17 แสดงตำแหน่งหมุดทดสอบและหมุดควบคุมชั่วคราวบนแผนที่กระดาษ.....	32
รูปที่ 18 แสดงการถ่ายระดับจากหมุดควบคุมทางระดับจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ. 33	

รูปที่ 19 แสดงการถ่ายพิกัดทางราบจากหมุดหลักเขตของกรมที่ดิน .....	34
รูปที่ 20 แสดงการเตรียมอุปกรณ์ก่อนลงสำรวจโดยใช้สมาร์ทโฟน.....	35
รูปที่ 21 แสดงการเตรียมอุปกรณ์ก่อนลงสำรวจโดยใช้สมาร์ทโฟน.....	36
รูปที่ 22 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าและการเก็บข้อมูลตำแหน่งจากแอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger.....	37
รูปที่ 23 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าและการเก็บข้อมูลค่าแก้จากสถานี CORS จากแอปพลิเคชัน Lefebure NTRIP Client.....	38
รูปที่ 24 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าและการแปลงไฟล์โดยใช้ RTKCONV.....	39
รูปที่ 25 แสดงตัวอย่างการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม TBC.....	41
รูปที่ 26 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าและการประมวลผลโดยใช้ RTKPOST.....	42
รูปที่ 27 แสดงตำแหน่งหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบบน google earth.....	45
รูปที่ 28 แสดงผลจากการถ่ายระดับจากหมุดควบคุมทางระดับจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทางตั้ง แห่งชาติมายังหมุดควบคุมชั่วคราว .....	46
รูปที่ 29 แสดงการแจกแจงค่า Horizontal Precision, Vertical Precision.....	51
รูปที่ 30 แสดงกราฟความถูกต้องทางตำแหน่งและ Convergence Time ของการรับสัญญาณด้วย สมาร์ทโฟนที่ตัดข้อมูลจุดที่มีค่าคลาดเคลื่อนสูง .....	52
รูปที่ 31 การแจกแจงค่า SolutionRatio, TimeUse, PercenUse, Convergence Time .....	53
รูปที่ 32 แสดงผลจากประมวลผลข้อมูลทั้งสองความถี่ด้วย RTKLIB .....	54
รูปที่ 33 แสดง SNR, Miltipath, Elevation ของการรับสัญญาณความถี่ L1 และ L5 .....	55
รูปที่ 34 แสดง TIN surface จากพิกัดที่มาจาก Electronic Theodolite และสมาร์ทโฟน .....	56
รูปที่ 35 แสดงแบบจำลอง contour ด้วยผลจากการใช้กล้อง Electronic Theodolite.....	57
รูปที่ 36 แสดงแบบจำลอง contour ด้วยผลจากการใช้สมาร์ทโฟน.....	57
รูปที่ 37 แสดงแบบจำลอง surface slicer ด้วยผลจากการใช้กล้อง Electronic Theodolite .....	58
รูปที่ 38 แสดงแบบจำลอง surface slicer ด้วยผลจากสมาร์ทโฟน.....	58
รูปที่ 39 แสดงปริมาณดินจากวิธีใช้กล้อง Electronic Theodolite .....	59

รูปที่ 40 แสดงปริมาณดินจากวิธีใช้สมาร์ทโฟน.....	59
รูปที่ 41 แสดงการวิเคราะห์ค่า Percentage Difference.....	62
รูปที่ 42 แสดงการคำนวณค่า p-value และกราฟที่ได้จากการคำนวณตามลำดับ.....	63
รูปที่ 43 แสดงการคำนวณพื้นที่โดยวิธีพิกัดฉาก (กรมทางหลวง, 2550) .....	84
รูปที่ 44 แสดงวิธีการจำลองพื้นที่เพื่อคำนวณปริมาตรด้วยวิธีเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด(กรมทางหลวง, 2550) .....	85
รูปที่ 45 แสดงตำแหน่งศูนย์กำเนิด (Local Origin) และพื้นที่ใช้งานแต่ละศูนย์กำเนิด .....	87
รูปที่ 46 รูปแสดงการถ่ายค่าระดับจากหมุดควบคุมทางดิ่งแห่งชาติ.....	90





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

งานดิน (earthwork) เป็นหนึ่งในงานที่สำคัญของการก่อสร้างโดยส่วนมากก่อนที่จะทำการก่อสร้างต่างๆได้แก่ถนน อาคาร จะต้องทำงานดินก่อนโดยงานดินจะมีหลายหลายรูปแบบได้แก่ งานถมดิน งานดินถมคันทาง งานดินของอาคารซึ่งก่อนที่จะเริ่มทำงานดินได้จะต้องมีการประเมินปริมาณดินขุดดินถมของในแต่ละงานโดย โดยในอดีตการประเมินปริมาณดินขุดดินถมนี้สามารถทำได้โดยจ้างทีมสำรวจที่มีเครื่องมือพร้อมใช้งานเช่นกล้อง Total Station และกล้อง Electronic Theodolite และต้องใช้คนในการปฏิบัติงาน 3-4 คนเพื่อหาปริมาณดินซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูงและใช้ระยะเวลานานโดยจะใช้ถึงสัปดาห์ในการหาปริมาณดินที่ใช้ในการถมที่ดินว่างเปล่า (กรมที่ดิน, 2562, หน้า. 8-24) โดยในการสำรวจต้องเป็นไปตามมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3 (กรมชลประทาน, 2560)

ในอดีตปี 2551 กรมที่ดินได้เริ่มนำเทคโนโลยีระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) มาใช้งานโดยได้ติดตั้งสถานีอ้างอิงรับสัญญาณดาวเทียม (Continuous Operating Reference Stations หรือ CORS) (กรมที่ดิน, 2561) ซึ่งเป็นสถานีรับสัญญาณ GNSS แบบต่อเนื่องโดยในปัจจุบันสถานี CORS ของกรมที่ดินมีทั้งหมด 188 สถานี ครอบคลุมทั่วประเทศ (กรมที่ดิน, 2564) เพื่อนำมาใช้ในการงานรังวัดแผนที่ชั้นหนึ่งเฉพาะรายของสำนักงานที่ดินในพื้นที่ที่สถานีอ้างอิงรับสัญญาณดาวเทียมครอบคลุมทางผู้วิจัยจึงสนใจในการนำเทคโนโลยี RTK GNSS Network นี้มาใช้ในงานดิน ซึ่งต้องการให้เป็นไปตามมาตรฐานของงานระดับชั้นที่ 3

ประกอบกับในปัจจุบันชิป (chip) ของระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite Systems: GNSS) ในสมาร์ทโฟนมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยตั้งแต่เดือนพฤษภาคมปี 2559 ระบบ Android 7.0 ได้ถูกเผยแพร่ออกมาทำให้ผู้พัฒนาระบบแอนดรอยด์ (Android) สามารถเข้าถึงข้อมูลดิบ (raw observation) ของข้อมูล GNSS และบันทึกออกมาเป็นไฟล์ได้ 2 รูปแบบคือ ไฟล์ เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase) และไฟล์ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้นำประมวลผลภายหลัง (post-processing) ได้ (Uradzinski & Bakula, 2020) ต่อมาในเดือนกันยายนปี 2560 บริษัท Broadcom สร้างชิป BCM47755 ซึ่งเป็นชิปรุ่นแรกที่สามารถรับสัญญาณแบบสองความถี่ (L1/E1, L5/E5) สำหรับสมาร์ทโฟนได้ (EUSPA, 2017) โดยชิปนี้ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง 30 เซนติเมตร (Murfin, 2017) จากนั้นในเดือนเมษายนปี 2563 Lambert W. and Anja H. ใช้สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 หาตำแหน่งด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematic: RTK) ด้วยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station: VRS) ในบริเวณคาตฟ้าของอาคารโดยคลุมสมาร์ทโฟนด้วยผ้าเพื่อป้องกันความร้อนโดยผลที่ได้จะได้

ค่าความถูกต้อง 10 เซนติเมตรเมื่อใช้ข้อมูลทั้งสองความถี่แต่เมื่อใช้เพียงข้อมูลจากดาวเทียม GPS L1 จะทำให้ได้ค่าความถูกต้องในระดับเซนติเมตรได้โดยต้องใช้เวลารับอย่างน้อย 1 ชั่วโมง (Wanninger & Hesselbarth, 2020) ทำให้ผู้วิจัยสนใจในการนำสมาร์ตโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 นี้มาใช้ในการหาปริมาณดินในงานดิน เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่อ่อนไหวต่อค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเกิดคลื่นสะท้อนที่เรียกว่ามัลติพาร์ท (multipath) ทำให้เมื่อรับสัญญาณใกล้ต้นไม้หรืออาคารที่สูงกว่าเครื่องรับสัญญาณจะได้ค่าความถูกต้องลดลง (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2561) ทำให้ผู้วิจัยเลือกนำสมาร์ตโฟนไปใช้ในงานดินปรับระดับในงานถมดินในบริเวณที่โล่งเพื่อให้ได้ปริมาณดินเพื่อนำไปใช้ในการประเมินปริมาณดินชุดดินถมในงานดินต่อไป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ตโฟนในการหาปริมาณดินเพื่อนำไปประเมินปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินที่เป็นส่วนหนึ่งของงานดิน โดยเลือกศึกษาจากสมาร์ตโฟนชนิดสอง ความถี่รุ่น Huawei P30 ในพื้นที่โล่งในจังหวัดน่านประเทศไทย ด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ VRS RTK โดยเชื่อมต่อกับสถานี CORS ของกรมที่ดินโดยใช้แอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger 2.1.6 (GEO++, 2020) ในการรับสัญญาณ GNSS โดยจะได้ในรูปแบบไฟล์ The Receiver Independent Exchange Format (RINEX) เวอร์ชัน 3.03 (IGS, 2015) ซึ่งเป็นไฟล์ที่ใช้ในการบันทึกสัญญาณตำแหน่งโดยเก็บข้อมูลได้ทั้งสองความถี่ และแอปพลิเคชัน Lefebure NTRIP Client เวอร์ชัน 2021.12.03 ((Lefebure Design, 2021) สำหรับการรับข้อมูลค่าแก้จากสถานี CORS ของกรมที่ดินในรูปแบบ Network VRS โดยจะได้มาในรูปแบบไฟล์ Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) เวอร์ชัน 3.2 (RTCM, 2021) ซึ่งจะสามารถรับข้อมูลค่าแก้จาก Global Positioning System (GPS), Global Navigation Satellite System (GLONASS, GLO), BeiDou Navigation Satellite System (BeiDou, BDS), Galileo, (Galileo, GAL) แบบหลายความถี่ได้ โดยจะกำหนดจุดรับสัญญาณ สถานีจร (Rover station) ทุกๆ 25 เมตรทั่วทั้งพื้นที่ตามข้อกำหนดของการทำระดับตามขวาง (Cross section) (กรมทางหลวง, 2550) สถานีละ 1 ชั่วโมงในเวลากลางคืน (19.30 – 7.30) จากนั้นนำข้อมูลมาประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ (Commercial software) Trimble Business Center (TBC) เวอร์ชัน 5.20.7258.16224 GNSS 2.20.2.18137 (Trimble, 2021) และซอฟต์แวร์ RTKLIB เวอร์ชัน 2.4.3 b31 (Takasu, 2013) เพื่อให้ได้ค่าพิกัดของทุกสถานีจากนั้นนำค่าพิกัดที่ได้ไปคำนวณปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินในซอฟต์แวร์ TBC โดยนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบความถูกต้องและความคุ้มค่าของการหาของปริมาณดินปรับระดับในงานถมดิน ณ พื้นที่การศึกษาเดียวกัน โดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 (ASAHI PRECISION, 1998) ซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิม

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาวิธีการหาปริมาณดินเพื่อนำไปประเมินปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินที่เป็นส่วนหนึ่งของงานดินโดยใช้สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30
- 2) เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการหาปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินที่เป็นส่วนหนึ่งของงานดินโดยใช้สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 กับกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107
- 3) เพื่อประเมินความคุ้มค่าระหว่างการใช้สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 กับกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

### 1.3.1 พื้นที่การศึกษา

พื้นที่บ้านสมุน ตำบลคูใต้ อำเภอนาโพธิ์ จังหวัดน่าน อยู่พิกัดที่ 18.754145, 100.753769 มีขนาด 11,145 ตร.ม. หรือเท่ากับ 6 ไร่ 3 งาน 86.25 ตร.วา

### 1.3.2 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

- 1) ใช้สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 รับสัญญาณแบบจลน์ (kinematic) จากแอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger 2.1.6 (GEO++, 2020) และรับข้อมูลค่าแก้จากสถานี CORS ของกรมที่ดินในรูปแบบ Network VRS จากแอปพลิเคชัน Lefebure NTRIP Client เวอร์ชัน 2021.12.03 (Lefebure Design, 2021)
- 2) ประมวลผลข้อมูลโดยใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ (Commercial software) Trimble Business Center (TBC) เวอร์ชัน 5.20.7258.16224 GNSS 2.20.2.18137 (Trimble, 2021) และซอฟต์แวร์ RTKLIB เวอร์ชัน 2.4.3 b31 (Takasu, 2013) ร่วมกับข้อมูลค่าแก้ทางฟิสิกส์ดาวเทียม, วงโคจรดาวเทียม, ค่าแก้ชั้นบรรยากาศและค่าแก้เสาอากาศ จาก The International GNSS Service (IGS) (IGS, 2018) และแบบจำลองยิอออยด์ (geoid) TGM2017 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560)
- 3) นำข้อมูลค่าแก้ทางฟิสิกส์ดาวเทียม (Clock error), วงโคจรดาวเทียม, ค่าแก้ชั้นบรรยากาศและค่าแก้เสาอากาศ จาก The International GNSS Service (IGS) (IGS, 2022)
- 4) ปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินโดยใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ (Commercial software) Trimble Business Center (TBC) เวอร์ชัน 5.20.7258.16224 GNSS 2.20.2.18137 (Trimble, 2021)

- 5) เปรียบเทียบผลลัพธ์ความถูกต้องและความคุ้มค่าของการหาของปริมาณดินปรับระดับในงานถมดิน ณ พื้นที่การศึกษาเดียวกัน โดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 (ASAHI PRECISION, 1998)

### 1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

- 1) ข้อมูล Network VRS จากสถานี CORS ของกรมที่ดินโดยจะได้อมาในรูปแบบไฟล์ RTCM 3.2 โดยจะรับข้อมูลทุกๆ 1 วินาทีโดยใช้แอปพลิเคชัน Lefebure NTRIP Client เวอร์ชัน 2021.12.03 (Lefebure Design, 2021)
- 2) ข้อมูลรับสัญญาณโดยใช้สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 โดยใช้ซอฟต์แวร์ RTKLIB เวอร์ชัน 2.4.3 b31 (Takasu, 2013)
- 3) ข้อมูลค่าแก่นาฬิกาดาวเทียม, วงโคจรดาวเทียม, ค่าแก้ไขบรรยากาศและค่าแก้ไขอากาศจาก The International GNSS Service (IGS) (IGS, 2018)
- 4) ข้อมูลจากกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 (ASAHI PRECISION, 1998)
- 5) ค่าพิกัดและความสูงของหมุดอ้างอิงที่ใช้ในการถ่ายระดับและค่าพิกัดในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่วิจัย
- 6) ข้อมูลแบบจำลองยิอออยด์ TGM2017 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560) สำหรับการแปลง ellipsoidal height เป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง MSL

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 1.3.4 การเปรียบเทียบผลการศึกษา

- 1) เปรียบเทียบปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินที่คำนวณมาจากการรังวัดโดยสมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 กับกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107
- 2) เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย เวลา แรงงานและความคุ้มค่าของการรังวัดโดยสมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 กับการรังวัดโดยกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107

### 1.3.5 เครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัย

- 1) สมาร์ทโฟน Huawei P30 สำหรับรับสัญญาณสองความถี่ (Huawei, 2019)



- หน่วยประมวลผล (Hardware) chip Kirin 980
- GPS (L1 + L5 Dual Band) / AGPS / Glonass / BeiDou / Galileo (E1 + E5a Dual Band) / QZSS (L1 + L5 Dual Band)



รูปที่ 1 แสดงเครื่องสมาร์ทโฟน Huawei P30 สำหรับรับสัญญาณสองความถี่ (Huawei, 2019)

- 2) กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 สำหรับการวัดมุม ระยะทางและค่าระดับ (ASAHI PRECISION, 1998)



รูปที่ 2 แสดงกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107

### Specifications

1. กล้องเป็นระบบเห็นภาพตั้งตรง
2. กำลังขยาย 30 เท่า
3. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเลนส์ปากกล้อง 45 มม.
4. ขนาดความกว้างของภาพที่เห็นในระยะ 100 เมตร ไม่น้อยกว่า 2.6 เมตรหรือ 1 องศา 30 ลิปดา
5. ระยะมองเห็นภาพชัดใกล้สุดไม่เกิน 0.85 เมตร
6. ค่าตัวคูณคงที่ 100
7. ค่าตัวบวกคงที่ 0
8. ระบบอัตโนมัติโดยใช้ COMPENSATOR มีช่วงการทำงาน  $\pm 3$  ลิปดา
9. เป็นกล้องแบบอิเล็กทรอนิกส์แสดงหน่วยวัดเป็น องศา ลิปดา ฟลิปดา เป็นตัวเลขอ่านได้บนจอ LCD ( Liquid Crystal Display ) ทั้ง 2 หน้าของตัวกล้อง
10. แสดงค่ามุมที่วัดได้ละเอียดโดยตรง ไม่เกิน 5 ฟลิปดา
11. ค่าความถูกต้องในการอ่านมุม ( Accuracy ) ไม่เกิน 7 ฟลิปดา
12. ความไวของระดับพองกลม 8 ลิปดา / 2 มิลลิเมตร หรือดีกว่า
13. ความไวของระดับพองยาว 40 ฟลิปดา / 2 มิลลิเมตร หรือดีกว่า
14. สามารถแสดงผลทั้งเป็นมุมราบ และเป็นมุมตั้ง
15. มีแบตเตอรี่ติดตั้งภายในและสามารถบอกระดับแบตเตอรี่ได้ใช้งานได้สูงสุด 10 ชั่วโมง

### 3) อุปกรณ์อื่นๆ

1. ไม้สตัฟ 2 อัน
2. ตลับเมตร
3. หมุดไม้ชั่วคราว
4. ค้อน
5. ลูกดิ่ง
6. สมุดสนามพร้อมปากกา
7. ทีมทำงานอย่างน้อย 4 คน
8. แม่เหล็กและแผ่นแม่เหล็กสำหรับยึดตำแหน่งสมาร์ตโฟน

### 1.3.6 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

#### 1) แอปพลิเคชัน ของระบบปฏิบัติการ android ในสมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30

- Geo++ RINEX Logger 2.1.6 (GEO++, 2020) สำหรับการรังวัดตำแหน่งของสมาร์ทโฟน
- Lefebure NTRIP Client 2021.12.03 (Lefebure Design, 2021) สำหรับการรับข้อมูลจากสถานี CORS ของกรมที่ดินในรูปแบบ Network VRS โดยจะได้อมาในรูปแบบไฟล์ RTCM 3.2 (RTCM, 2021)

#### 2) โปรแกรมซอฟต์แวร์ในคอมพิวเตอร์

- RTKLIB 2.4.3 b31 (Takasu, 2013) สำหรับการประมวลผล
- Microsoft Excel for Microsoft 365 MSO (Version 2206 Build 16.0.15330.20144) (Microsoft, 2011) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล
- Google Earth Pro 7.3.4.8642 (Google, 2019) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล
- Trimble Business Center (TBC) Version 5.20 (5.20.7258.16224) GNSS 2.20.2.18137 (Trimble, 2021) สำหรับประมวลผลข้อมูล
- Matlab 2018a (9.4.0.813654) (MathWorks, 2018) สำหรับคำนวณข้อมูล

### 1.3.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อสามารถนำ GNSS จาก สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่มาใช้ทดแทนอุปกรณ์แบบเดิมในการหาปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินที่เป็นส่วนหนึ่งของงานดินได้
- 2) เพื่อสามารถนำสมาร์ทโฟนแบบสองความถี่มาใช้ในการสร้างหมุดควบคุมได้
- 3) เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการสร้างแบบจำลองระดับในงานถมดินที่เป็นส่วนหนึ่งของงานดินได้
- 4) เพื่อพัฒนาต่อยอดงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 งานดิน

งานดิน เป็นหนึ่งในงานที่สำคัญของการก่อสร้างโดยส่วนมากก่อนที่จะทำการก่อสร้างต่างๆ ได้แก่ถนน อาคาร จะต้องทำงานดินก่อนโดยงานดินจะมีหลายหลายรูปแบบเช่นงานดินถมคันทาง (เป็นงานดินที่ใช้ในการทำถนน) (กรมทางหลวง, 2550) งานขุดดินฐานรากและถมคัน (กรุณาพร รัตน ภูผา, 2562) และงานวัสดุรองพื้นหรืองานปรับระดับและงานถมบริเวณ โดยในงานขุดดินและถมดินที่ ในที่ดินที่มีขนาดเกิน 2,000 ตร.ม.หรืองานขุดและถมดินที่ลึกเกิน 3 เมตร จะต้องทำการขออนุญาต แจ้งการขุดดิน ถมดินไปยังเทศบาลก่อน (พระราชบัญญัติ, 2543) โดยในการประมาณราคางานดิน จะต้องนำปริมาณดิน (ลูกบาศก์เมตร) ตามแบบก่อสร้างมาบวกเปอร์เซ็นต์เพื่อการบดอัดตาม หลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง (กรมบัญชีกลาง, 2560) (ภาคผนวก ก) ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นการหา ปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินที่ภายหลังจะต้องนำไปบวกเพื่อการบดอัด 30% เพื่อนำไปประเมิน ราคาในการถมดินต่อไป

##### 2.1.2 การหาปริมาณดินที่ใช้ในการถมที่ดิน

การหาปริมาณดินที่ใช้ในการถมที่ดินมีขั้นตอนคือต้องรวบรวมข้อมูล ขอบเขตงาน หา ตำแหน่งของหมุดควบคุมพิกัดทางราบและตั้ง และอาจจะสร้างหมุดชั่วคราวไว้สำหรับการทำงาน จากนั้นเตรียมชุดกล้องแนวกล้องระดับและอุปกรณ์จำเป็นอื่นๆเช่นไม้สตาฟ ค้อน ตะปู ผ้าแดงเป็นต้น จากนั้นจัดทีมในการลงสำรวจวัดโดยใช้บุคลากร 5 คนแล้วเริ่มวางแนวโดยสำรวจรอบๆบริเวณพื้นที่ เพื่อเลือกตำแหน่งหมุดแนวและทำหมุดอ้างอิง (RP) และหมุดหลักฐาน (BM) จากนั้น ถ่ายพิกัดและ ความสูงไปยังหมุดแนวโดย Back Sight ไปที่หมุดอ้างอิง (RP) และหมุดหลักฐาน (BM) (กรม ทรัพยากรน้ำ, 2554, หน้า. 8-24)

ในการหาปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินยอมให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่างจากแบบ มาตรฐานไม่เกิน 10% (กรมการพัฒนาชุมชน, 2564) ทั้งนี้ให้คำนึงถึงประโยชน์กับทางราชการเป็น สำคัญ เช่น การขุดหนองขนาดระบุในแบบมาตรฐาน 900 ลบ.ม. เกิดค่าความคลาดเคลื่อนจากมือตัก ของรถขุด ขุดเลยจุดพิกัด 10 เซนติเมตรก็ให้คิดค่าปริมาตรดินขุดตามแบบมาตรฐาน 900 ลบ.ม. เป็น ต้น แต่หากกรณีขุดไม่ถึงจุดพิกัด 10 เซนติเมตร ก็ขอให้พิจารณาขุดเพิ่มเพื่อให้ได้ปริมาตรดินขุด 900 ลบ.ม. ตามแบบมาตรฐาน และในการตรวจสอบค่าระดับของดินตามมาตรฐานงานถมคันทาง มยผ. 2114-57 ให้ตรวจสอบค่าระดับทุกระยะ 25 เมตร (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557) และทำการ

สำรวจตามมาตรฐานงานวงรอบชั้นที่ 3 และมาตรฐานมาตรฐานของงานระดับชั้นที่ 3 โดยที่งานทางเป็นหนึ่งในงานดินชนิด งานดินถมคันทาง ซึ่งมีความใกล้เคียงกับงานดินผู้วิจัยจึงนำมาตรฐานนี้มาใช้ในการกำหนดระยะห่างระหว่างสถานี

โดยในการถ่ายพิกัดต้องแยกคำนวณสองแกนคือในแนว Easting และในแนว Northing ซึ่งค่าพิกัดในแนว Easting (E) และแนว Northing (N) สามารถคำนวณได้จากพิกัดในแนว Easting เดิม ( $E_0$ ), พิกัดในแนว Northing เดิม ( $N_0$ ), ระยะห่างระหว่างจุดสองจุด (d) และมุม Azimuth ระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง โดยสามารถเขียนได้ดังสมการ (1.1) และ (1.2)

สมการที่ 1 แสดงการถ่ายค่าพิกัดจากระยะและมุม Azimuth

$$E = E_0 + d \sin Az \quad (1.1)$$

$$N = N_0 + d \cos Az \quad (1.2)$$

โดยที่  $E$  คือค่า Easting จุดปลายทาง (เมตร)

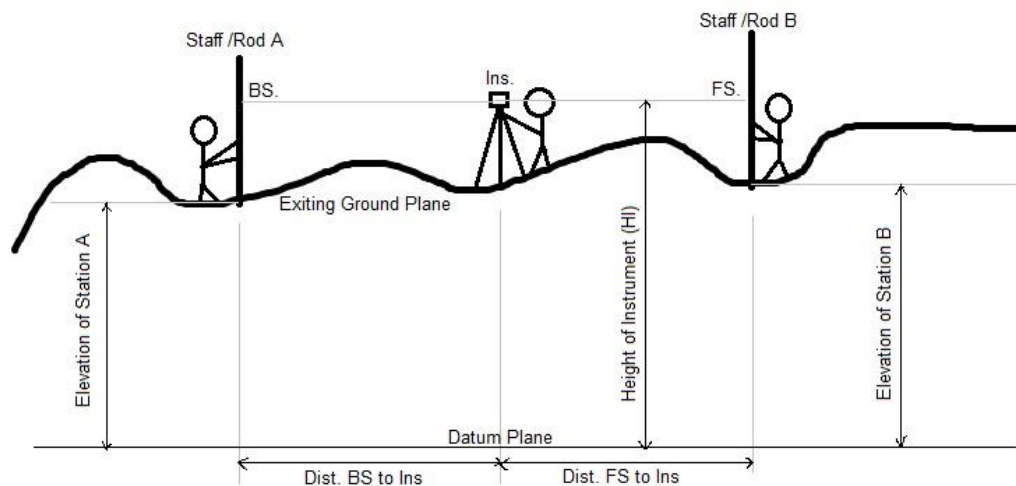
$N$  คือค่า Northing จุดปลายทาง (เมตร)

$E_0$  คือค่า Easting จุดเริ่มต้น (เมตร)

$N_0$  คือค่า Northing จุดเริ่มต้น (เมตร)

$d$  คือระยะห่างระหว่างสองจุด (เมตร)

จากนั้นรังวัดค่าระดับโดยกำหนดจุดที่จะหาค่าระดับโดยให้กระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่และห่างกันช่วงละ 25 เมตร จากนั้นให้ตั้งกล้องบนหมุดแนวที่ทำไว้และส่องหาค่าระดับจุดที่กำหนดโดยคำนวณค่าระดับของจุดปลายทาง (H) ได้จากค่าระดับจุดเริ่มต้น ( $H_0$ ) บวกค่าระดับจากไม้สตาฟจุดเริ่มต้น (BS) ลบค่าระดับจากไม้สตาฟจุดปลายทาง (FS) โดยแสดงดังรูปที่ 3 และสามารถเขียนได้ดังสมการ (2)



รูปที่ 3 แสดงการถ่ายค่าระดับ

สมการที่ 2 แสดงการถ่ายระดับ

$$H = H_0 + BS - FS \quad (2)$$

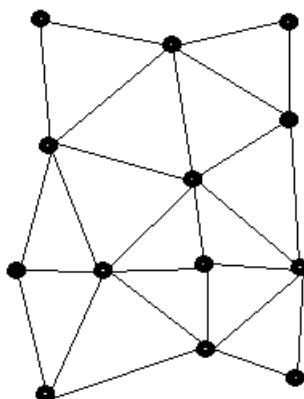
โดยที่  $H$  คือค่าระดับปลายทาง (เมตร)

$H_0$  คือค่าระดับต้นทาง (เมตร)

$BS$  คือค่าระดับไม้สตาฟต้นทาง (เมตร)

$FS$  คือค่าระดับไม้สตาฟปลายทาง (เมตร)

จากนั้นนำค่าพิกัดและค่าระดับที่ได้มาทำการคำนวณหาปริมาณงานดินซึ่งในอดีตจะใช้วิธีตามข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวงให้ใช้การคำนวณพื้นที่ด้วยวิธีคูณไขว้ (Coordinate Method) และใช้วิธีเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด (Average End Area Method) (ภาคผนวก ก) ในการคำนวณหาปริมาณงานดิน(กรมทางหลวง, 2550) แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี สร้าง Triangular Irregular Network (TIN) surface

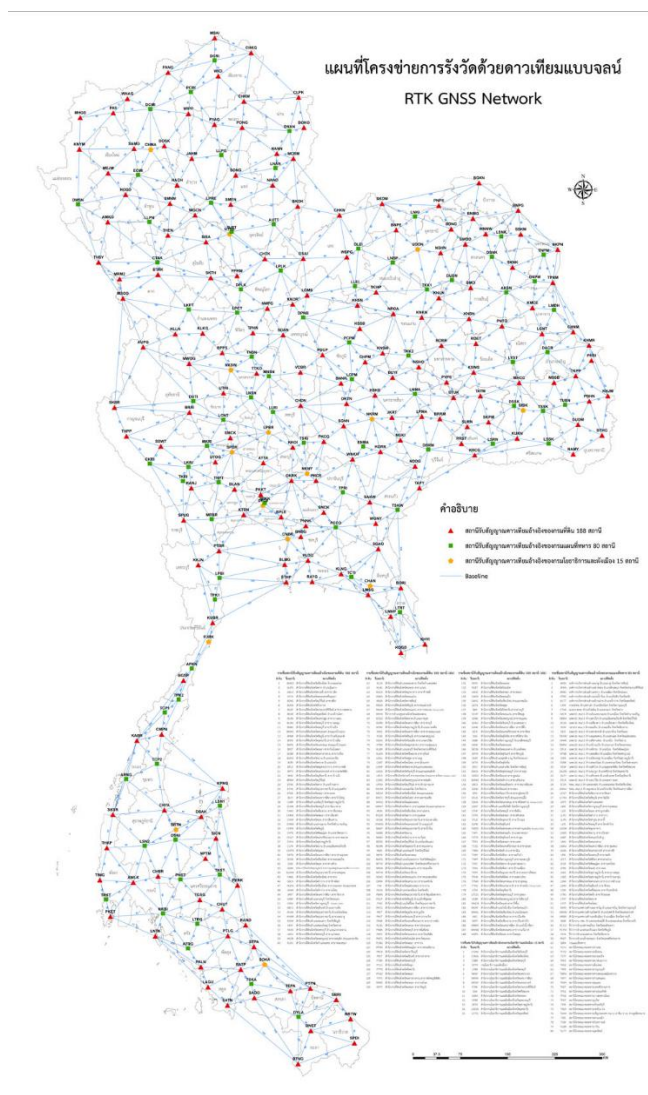


รูปที่ 4 แสดงการสร้างพื้นผิวโดยใช้ *Triangular Irregular Network TIN*

โดย พื้นผิวในรูปแบบนี้จะใช้วิธีการเชื่อมต่อระหว่างกันในรูปแบบของรูปสามเหลี่ยมโดยอาศัยหลักการตำแหน่งใกล้เคียงที่สุดจะเกิดเส้นเชื่อมต่อระหว่างกันทำให้เกิดเป็นรูปหลอดตาข่าย ซึ่งเส้นเชื่อมต่อเหล่านี้จะทำให้เกิดเส้นชั้นความสูง (Contour line) โดยอาศัยหลักการ Interpolated สร้างเส้น Contour ขึ้นมาบรรจบกับ TIN ที่อยู่รอบบริเวณนั้นไปจนถึงเส้นขอบเขตของพื้นที่ ความถี่ของเส้น TIN ที่ได้จากจุดสำรวจจะขึ้นอยู่กับข้อมูลสนามที่ทำการรังวัดซึ่งจะเป็นสิ่งที่แสดงความละเอียดของงานที่นำมาสร้างพื้นผิว (Surface) จากนั้นนำ surface ที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาปริมาณดินโดยในการคำนวณหาปริมาณดินทั้งหมดทำในโปรแกรม TBC (Trimble, 2021)

#### 2.1.3 คู่มือปฏิบัติงานระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK Network) ในงานรังวัดเฉพาะราย (กรมที่ดิน, 2561)

ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK Network) ใช้หลักการของสถานีอ้างอิงเสมือนหรือ VRS ซึ่งประกอบไปด้วยสถานีอ้างอิงรับสัญญาณดาวเทียมหรือ CORS ซึ่งในกรมที่ดินมีจำนวน 188 สถานี (กรมที่ดิน, 2564) เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายดังรูป



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (CORS) ของกรมที่ดินทั้ง 188 สถานี (กรมที่ดิน, 2564)

โดยที่ในรูปจะแสดงตำแหน่งของ CORS ของกรมที่ดินทั้ง 188 สถานีด้วยสามเหลี่ยมสีแดง, CORS ของกรมแผนที่ทหารจำนวน 80 สถานีด้วยสี่เหลี่ยมสีเขียวและ CORS ของกรมโยธาธิการและผังเมืองจำนวน 15 สถานีด้วยห้าเหลี่ยมสีเหลืองรวมทั้งหมด 283 สถานี และมีเส้นฐาน (baseline) เป็นเส้นสีฟ้า

โดย CORS จะเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียมที่ติดตั้งถาวร ในตำแหน่งที่มีความมั่นคง โดยสถานีเหล่านี้จะรับสัญญาณดาวเทียมตลอด 24 ชั่วโมงและทำการส่งสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ไปยังศูนย์ควบคุม (Control Center) ผ่านทางระบบสื่อสารจากนั้นศูนย์ควบคุมจะประมวลผลข้อมูลสัญญาณดาวเทียมเพื่อคำนวณค่าปรับแก้โดยในการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ด้วยวิธี VRS จะใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Rover) เชื่อมต่อกับสถานี CORS โดยส่งสัญญาณผ่านระบบสื่อสารเช่น



ระบบอินเทอร์เน็ตให้ศูนย์ควบคุมโดยต้องส่งตำแหน่งโดยประมาณของตนเองในรูปแบบ the National Marine Electronics Association (NMEA) ไปด้วยซึ่งศูนย์ควบคุมจะทำการใช้ข้อมูลจากสถานี CORS ที่อยู่โดยรอบผู้ใช้งาน และค่าแก้ที่คำนวณได้ สร้างหรือสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมาแล้วส่งกลับไปให้ผู้ใช้งานซึ่งข้อมูลที่สร้างขึ้นมานี้เครื่องรับสัญญาณของผู้ใช้งานจะมองเห็นเสมือนว่าเป็นข้อมูลของสถานีฐานหรือสถานีอ้างอิงในงานรับวัด RTK โดยกรมที่ดินใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม CHC รุ่น i80 และเครื่องควบคุมรุ่น LT500 โดยใช้เวลาในการรับ 3 นาทีด้วยความถี่ 1 Hz โดยให้ค่า PDOP ไม่เกิน 5.0 ค่า 3D-RMS ไม่เกิน 3 เซนติเมตร ทำให้ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะนำ CORS ของกรมที่ดินนี้มาใช้ประกอบในการเก็บข้อมูลแบบ RTK ด้วย

#### 2.1.4 เทคนิคการหาตำแหน่งด้วย GPS

**การทำงานรับวัดด้วยวิธี Static, Rapid Static และ RTK (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2561)**

##### 1) การทำงานวิธี Static

ใช้เครื่องรับอย่างน้อย 2 เครื่องโดยที่เครื่องหนึ่งจะถูกวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัด (base station) ส่วนอีกเครื่องจะถูกนำไปวางจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด (rover station) ทุกเครื่องต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน (อย่างน้อย 4 ดวง) โดยต้องรับสัญญาณ 1-24 ชั่วโมง โดยต้องนำข้อมูลไปประมวลผลภายหลังด้วยซอฟต์แวร์โดยจะได้ค่าความถูกต้อง 1-10 มิลลิเมตร ในงานสำรวจและทำแผนที่มักเชื่อมต่อเส้นฐานเป็นโครงข่าย (Network) โดยระยะทางระหว่างเครื่องรับสามารถไกลได้ถึงหลายพันกิโลเมตร (ต้องใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผล) โดยใช้เครื่องรับความถี่เดียว (เหมาะกับเส้นฐานไม่เกิน 20 กิโลเมตร) หรือสองความถี่ก็ได้

##### 2) การทำงานวิธี Rapid Static

ใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อยสองเครื่องโดยที่เครื่องหนึ่งจะถูกวางไว้บนสถานีฐานส่วนอีกเครื่องจะถูกนำไปวางที่สถานีผู้ใช้โดยทุกเครื่องต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน (อย่างน้อย 4 ดวง) โดยต้องรับสัญญาณ 1-15 นาที และต้องทำการประมวลผลข้อมูลภายหลังด้วยซอฟต์แวร์ โดยปกติจะใช้สำหรับงานที่ต้องการค่าความถูกต้องสูงระดับเซนติเมตรซึ่งเป็นรองจากวิธี Static โดยที่ระยะทางระหว่างเครื่องรับไม่เกิน 20 กิโลเมตรโดยใช้เครื่องรับแบบความถี่เดียวหรือสองความถี่ทำงานก็ได้(ถ้าใช้แบบ 2 ความถี่จะใช้เวลาน้อยกว่า)โดยสภาพแวดล้อมมีผลต่อการรับสัญญาณ

### 3) การทำงานวิธี RTK

ใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อยสองเครื่องโดยเครื่องหนึ่งจะถูกวางไว้บน สถานีฐานส่วนอีกเครื่องจะถูกนำไปวางที่สถานีผู้ใช้โดยต้องมีอุปกรณ์สื่อสารระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้ (เช่น มือถือ วิทยู) โดยเครื่องรับที่สถานีฐานและสถานีผู้ใช้จะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน (อย่างน้อย 5 ดวง) และระยะเวลารับสัญญาณขึ้นกับความสามารถของเครื่องรับของแต่ละบริษัทโดยใช้เวลาในการรับสัญญาณ 30 วินาทีถึง 5 นาทีโดยได้ค่าพิกัดออกมาเลย (ไม่ต้องทำการประมวลผลข้อมูลภายหลัง) โดยปกติใช้สำหรับงานที่ต้องการ Productivity สูง (ระดับเซนติเมตร) โดยระยะทางระหว่างเครื่องรับไม่เกิน 20 กิโลเมตร ต้องใช้เครื่องรับแบบสองความถี่เท่านั้น สภาพแวดล้อมมีผลต่อการรับสัญญาณมาก ซึ่งวิธีการที่พวกเราใช้ก็จัดอยู่ในการทำงานแบบนี้

### 4) ข้อระวังและอุปสรรคในการทำงาน RTK

- หากใช้วิทยุอาจจะทำงานได้ไม่ไกล
- หากใช้คลื่นมือถือจะทำงานได้ดีกว่าแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม
- การใส่ค่าพิกัดสถานีฐานผิด
- ควรตรวจสอบจำนวนดาวเดียวก่อนออกงาน
- ค่าพิกัดที่ได้นั้นไม่ใช่ค่าที่มีความถูกต้องระดับเซนติเมตร
- ระวังคลื่นหลายวิถีและคลื่นหลุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### Virtual Reference Station (VRS) (European GNSS Agency, 2019)

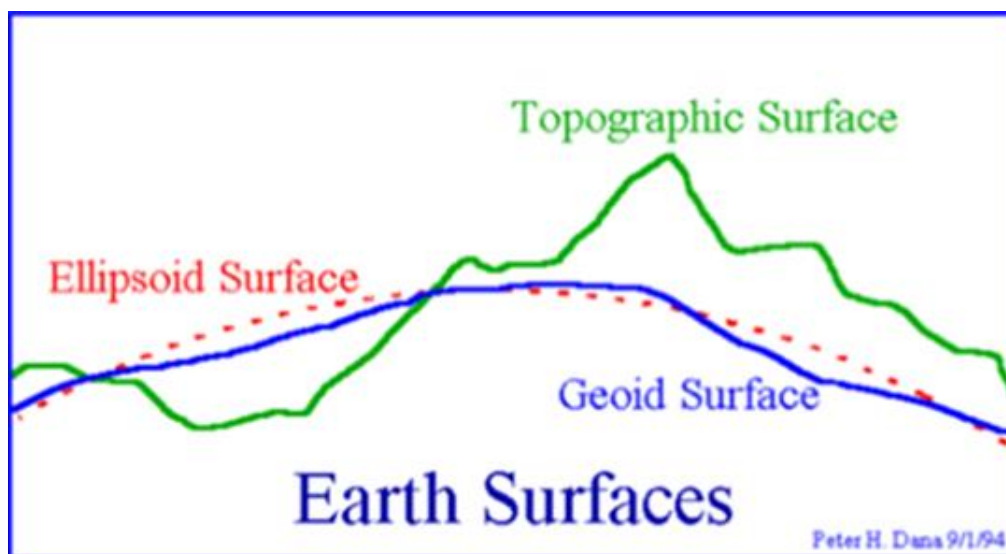
ระบบ VRS เป็นการสร้างสถานีอ้างอิงเสมือนที่จะส่งค่าแก้ที่ประมวลจากโครงข่ายสถานี CORS ให้ผู้ใช้ RTK ทำให้ได้ค่าความถูกต้องในระดับเซนติเมตรโดยที่ใช้เวลาในการรับสัญญาณน้อยกว่า 5 วินาที โดยความถูกต้องนี้ต้องการเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ โดยถ้ามี CORS ตัวหนึ่งสัญญาณขาดไปในช่วงเวลาสั้นๆ การรับสัญญาณก็ยังสามารถทำต่อไปได้โดยประมวลผลจาก CORS ตัวอื่นๆ ระบบ VRS ต้องการการสื่อสารแบบ 2 ทิศทางโดยให้ผู้ใช้ส่งตำแหน่งโดยประมาณไปยังศูนย์ควบคุมแล้วศูนย์ควบคุมจะทำการสร้างสถานีอ้างอิงเสมือนใกล้กับผู้ใช้งานและส่งค่าแก้กลับมา

ในงานวิจัยนี้ระบบที่เราใช้คือ Network RTK แบบ VRS ซึ่งอุปกรณ์ที่เราใช้คือสมาร์ตโฟนแบบสองความถี่เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องระดับเซนติเมตร

### 2.1.5 การแปลงความสูงเป็นความสูงระดับน้ำทะเลปานกลาง

#### ชนิดของรูปทรงพื้นฐานของโลก (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2561)

- 1) Topographic Surface เป็นพื้นผิวของโลกตามความเป็นจริง
- 2) Geoid Surface เป็นพื้นผิวของค่าระดับน้ำทะเลปานกลางโดยตั้งฉากกับแรงโน้มถ่วงของโลก
- 3) Ellipsoid Surface เป็นทรงรีตัวแทนโลกโดยในประเทศไทยใช้ Everest 1830



รูปที่ 6 แสดงลักษณะพื้นฐานของพื้นโลก (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2561)

ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่าความสูงที่ได้จากสมาร์ตโฟนแบบสองความถี่จะเป็น ellipsoidal height ที่อ้างอิงกับ ellipsoid surface ในขณะที่ค่าระดับที่ใช้ในการก่อสร้างและนำไปใช้ในงานวิศวกรรมอื่นๆจะใช้ความสูง orthometric height (ค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง, MSL) ที่อ้างอิงกับ geoid surface เพราะฉะนั้นจะต้องแปลงค่าความสูงที่ได้เป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยใช้แบบจำลองยี่ห้อ TGM2017 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560) สำหรับการแปลง ellipsoidal height เป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง ตามสมการ

สมการที่ 3 แสดงการแปลงค่าระดับความสูง

$$h = H + N \quad (3)$$

โดยที่  $h$  คือ ellipsoidal height (เมตร)

$H$  คือ orthometric (geoid) height (เมตร)

$N$  คือ geoid height above the ellipsoid (เมตร)

โดยค่า  $h$  คือค่าความสูงที่ได้จาก gnss หรือก็คือค่าความสูงที่เราต้องการแปลง ค่า  $H$  คือค่าระดับน้ำทะเลปานกลางและค่า  $N$  คือค่าแปลงที่มาจากแบบจำลองย็อยด์ TGM2017

#### 2.1.6 การแปลงค่าพิกัดระหว่างสองระบบพิกัด

ในการแปลงพิกัดจากระบบหนึ่งไปอีกระบบหนึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การแปลงแบบ Helmert/conformal transformation มีข้อดีคือเป็นการแปลงพิกัดที่ย้ายจุดกำเนิด(Translation) และการหมุน(Rotation) ได้ซึ่งเหมาะกับการแปลงระบบพิกัดที่มีสเกล (Scaling) เท่ากัน (สรรเพชญ ชื่อนิติไพศาล, 2562)

สมการที่ 4 แสดงการแปลงพิกัดโดยใช้ conformal transformation

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c \\ f \end{bmatrix} \quad (4)$$

โดยที่  $X, Y$  คือพิกัดที่อยู่ในระบบพิกัดที่ต้องการแปลง (เมตร)

$x, y$  คือพิกัดที่อยู่ในระบบพิกัดตั้งต้น (เมตร)

$a, b, c, f$  คือตัวแปรในการแปลงค่าพิกัด

โดยที่พิกัดที่ต้องการแปลงในระบบพิกัดเดิมคือ  $x, y$  และพิกัดที่ต้องการแปลงในระบบพิกัดใหม่คือ  $X, Y$  โดยใช้ตัวแปร 4 ตัวในการแปลงค่าพิกัดคือ  $a, b, c, f$

#### 2.1.7 การเลือกขนาดกลุ่มตัวอย่าง

คำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้วิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างตามสูตรคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างของ Taro Yamane (Yamane, 1967)

สมการที่ 5 แสดงการคำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่าง

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (5)$$

โดยที่  $n$  = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ (จำนวน)

$N$  = ขนาดของประชากร (จำนวน)

$e$  = ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ (เปอร์เซ็นต์)

โดยที่  $n$  คือจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องต้องใช้  $N$  คือขนาดของประชากร  $e$  คือค่าคลาดเคลื่อนของการสุ่มที่ยอมรับได้เป็นเปอร์เซ็นต์

### 2.1.8 การเลือกใช้ตัวทดสอบสถิติ

การทดสอบสมมุติฐาน(Hypothesis Testing) โดยใช้ ONE SAMPLE T-TEST (กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2547)

ประเภทตัวทดสอบสถิติ : ใช้พารามิเตอร์

ลักษณะการทดสอบ : ใช้ทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับประชากร 1 กลุ่ม

ข้อกำหนด : ตัวแปรที่ต้องการศึกษาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่มีระดับการวัดอยู่ในมาตร

อันดับภาค หรือ อัตราส่วน และมีการแจกแจงแบบปกติ

**สมการที่ 6** แสดงการคำนวณค่า t ในการทดสอบ t-test

$$t = \frac{x - \mu}{s / \sqrt{n}} \quad (6)$$

โดยที่ x = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

$\mu$  = ค่าที่ตั้งในสมมุติฐาน

s = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ของกลุ่มตัวอย่าง

n = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (จำนวน)

df = จำนวนตัวแปรอิสระ (จำนวน)

## 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

### 2.2.1 การประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ตโฟนสำหรับการประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง

ร.ท.เชาวลิต เนตรทองกลาง (เชาวลิต เนตรทองกลาง, 2562) ได้ศึกษาการประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ตโฟนสำหรับการประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ตโฟน Mi8 และเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้กับหมุดอ้างอิงโดยงานวิจัยนี้ทำโดยรับสัญญาณ GNSS จากสมาร์ตโฟนโดยใช้แอปพลิเคชัน “Geo++ RINEX Logger” โดยรับสัญญาณแบบ Static และนำไปเปรียบเทียบกับพิกัดที่ได้จากหมุดอ้างอิงที่ใช้สถานี CORS 2 สถานีเป็น Base ผลที่ได้ก็คือตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8 โดยประมาณ จะอยู่ถัดจากกึ่งกลางของขอบด้านบนสุดมาทางซ้ายประมาณ 2.8 เซนติเมตร และลึกจากขอบด้านบนสุดลงมาในแนวตั้งประมาณ 0.9 เซนติเมตรและผลจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ตโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิง มีค่า RMSE ทางราบและทางตั้งสูงสุด 2.9 และ 6.3 เซนติเมตรตามลำดับ

### 2.2.2 การประเมินผลความถูกต้องทางตำแหน่งของการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวรสำหรับงานรังวัดแปลงที่ดินในประเทศไทย

นายรุ่งโรจน์ เจริญยศ (รุ่งโรจน์ เจริญยศ, 2562) ได้ศึกษาการประเมินผลความถูกต้องทางตำแหน่งของการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวรสำหรับงานรังวัดแปลงที่ดินในประเทศไทยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความถูกต้องทางราบที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ (RTK GNSS Network) โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร ด้วยเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station: VRS) สำหรับงานรังวัดแปลงที่ดินในประเทศไทยและวิเคราะห์ผลของลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่ายสถานีฐานอ้างอิงเสมือนด้วยโดยงานวิจัยนี้ทำโดยทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบ VRS RTK แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแบบ Static แล้วนำมาประมวลผลโดยแยกตามกลุ่มทดสอบ ผลที่ได้ก็คือความถูกต้องทางราบของการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบ VRS RTK จะมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 4 เซนติเมตร และไม่ควรรังวัดในแปลงที่มีรูป (เส้นรอบรูปสามเหลี่ยมที่เกิดจากสถานี CORS 3 สถานีที่ใกล้จุดที่รังวัดที่สุด) เกิน 90 กิโลเมตร ดีที่สุดที่ไม่เกิน 50 กิโลเมตร และเวลาในการรังวัดไม่ควรต่ำกว่า 2 นาที ส่วนลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่ายสถานีฐานอ้างอิงเสมือนสรุปได้ว่าลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่ายสถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวรที่ประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยม ไม่มีผลต่อค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบ ของการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบ VRS RTK

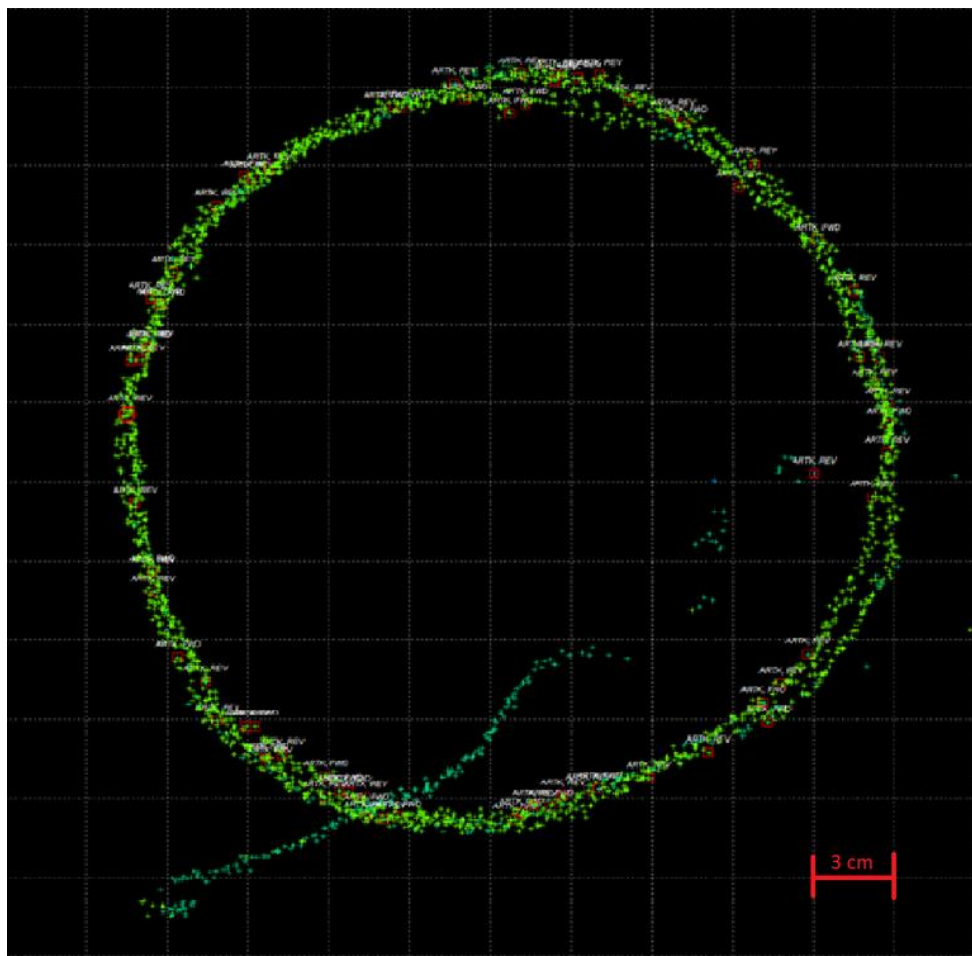
### 2.2.3 การใช้สมาร์ทโฟนให้ได้ข้อมูลรังวัดที่มีความถูกต้อง 1-2 เซนติเมตร

Himanshu S. et al. (Sharma, Bochkti, Lichtenberger, & Pany, 2020) ได้ศึกษาการใช้ สมาร์ทโฟน ให้ได้ข้อมูลรังวัดที่มีความถูกต้อง 1-2 เซนติเมตรโดยการพัฒนาอุปกรณ์ Choke Ring platform เพื่อใช้ลดผลกระทบจากค่าสะท้อนจากพื้นและ multipath เพื่อใช้สำหรับ สมาร์ทโฟน รุ่น Xiaomi MI8 ที่สามารถรับสัญญาณแบบสองความถี่



รูปที่ 7 แสดงสมาร์ทโฟนและ choke ring platform ที่ถูกติดตั้งพร้อมรับสัญญาณ (Sharma et al., 2020)

ในขั้นตอนการวิจัยทางทีมวิจัย Himanshu S. et al. ได้นำสมาร์ทโฟนไปวางไว้บน choke ring platform ที่วางอยู่บนขาตั้งกล้องและแพลตฟอร์มสำหรับการปรับระดับด้วยฟองกลมตั้งรูปและรับสัญญาณด้วย Geo++Logger แบบ static 50 นาที โดยตั้ง ตัวรับสัญญาณ Gnss Rimbale R10 เป็น base station แล้วประมวลผลด้วยโปรแกรมประมวลผลที่มีคุณภาพสูง



รูปที่ 8 แสดงการพล็อตผลลัพธ์ของการวิ่งวัดตำแหน่ง (Sharma et al., 2020)

ผลที่ได้เป็นที่พอใจคือ ambiguities fixed 84 เปอร์เซ็นต์ด้วยความถูกต้องระดับเซนติเมตร โดย North/East จะถูกแสดงในรูปโดยจะเห็นว่าจุดพิกัดที่ได้จะไม่คงที่แต่จะเคลื่อนที่เป็นวงกลมอย่างช้าๆและเกิดการซ้ำหลายรอบทำให้สามารถประเมินความถูกต้องทางราบได้ 1-2 เซนติเมตร ในอนาคตทางผู้วิจัยหวังว่าจะค้นหาตำแหน่งจุดรับสัญญาณดาวเทียมของ สมาร์ทโฟน เพื่อนำมาใช้ร่วมในการประมวลผลได้อย่างแม่นยำ

#### 2.2.4 การประเมินความแม่นยำของตำแหน่งแบบ static โดยใช้ GPS ของสมาร์ทโฟนต้นทุนต่ำ

Marcin U. and Mieczysław B. (Uradzinski & Bakula, 2020) ได้ศึกษาการประเมินความแม่นยำของตำแหน่งแบบ static โดยใช้ GPS ของสมาร์ทโฟนต้นทุนต่ำโดยมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบความถูกต้องของการรับสัญญาณแบบ static PPP ด้วย สมาร์ทโฟน รุ่น Huawei P30 Pro ที่สามารถรับสัญญาณแบบสองความถี่ โดยใช้ แอปพลิเคชัน RINEX ON บนสมาร์ทโฟนและประมวล



ร่วมกับสถานีฐาน GNSS station ASG EUPOS ที่อยู่ห่างออกไป 4 กิโลเมตรด้วย Topcon Tools v.7.5 ผลที่ได้จะมาจากข้อมูล GPS อย่างเดียวจะแยกตามเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณคือ

Time (minute)	accuracy (cm)	
	horizontal	vertical
10	30	20
15	3	20
20	1	1
30	1	1
60	1	1

ตารางที่ 1 แสดงความถูกต้องของการรังวัดหาตำแหน่ง (Uradzinski & Bakula, 2020)

โดยจะเห็นว่าในช่วง 10 นาทีแรกข้อมูลที่ได้จะมีความถูกต้องอยู่ในระดับเดซิเมตรต่อมาเมื่อรับสัญญาณตั้งแต่ 20 นาทีขึ้นไปค่าความถูกต้องจะเพิ่มจนถึงระดับเซนติเมตรได้เพียงแต่ผลที่ได้ทั้งหมดเป็นผลลัพธ์จากข้อมูลดาวเทียม GPS เท่านั้น

#### 2.2.5 ใช้สมาร์ทโฟน Xiaomi Mi 8 ในการหาตำแหน่งแบบ RTK

Shulin Z., Cuilin K. and Wenkun Y. (Zeng, Kuang, & Yu, 2022) ได้ศึกษาการใช้สมาร์ทโฟน Xiaomi Mi 8 ในการหาตำแหน่งแบบ RTK โดยมีจุดประสงค์เพื่อลด multipath และเพิ่มความถูกต้องของการรับสัญญาณแบบ RTK ด้วยสมาร์ตโฟน Xiaomi Mi 8 ที่สามารถรับสัญญาณแบบสองความถี่ โดยใช้แอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger บนสมาร์ตโฟน จากการทดสอบพบว่าถ้าค่า C/N0 ต่ำกว่า 30 dB-Hz และมี cycle slip สูงจะทำให้ค่า multipath สูง ในงานวิจัยนี้จะทำการลดค่า multipath โดยใช้ข้อมูลที่มีค่า C/N0 สูงกว่า 30 dB-Hz และสร้าง C/N0 stochastic model มาใช้และทดสอบเพื่อลดค่า multipath และเพิ่มคุณภาพของการประมวลผล

#### 2.2.6 การใช้สมาร์ทโฟน Huawei P30 ในการสำรวจรังวัดตำแหน่งให้ได้ความถูกต้องระดับเซนติเมตร

Lambert W. and Anja H. (Wanninger & Hesselbarth, 2020) ได้ศึกษาการใช้สมาร์ตโฟน Huawei P30 ในการสำรวจรังวัดตำแหน่งให้ได้ความถูกต้องระดับเซนติเมตรโดยมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบความถูกต้องของสมาร์ตโฟน Huawei P30 โดยสร้างแท่นยึดสมาร์ตโฟนให้อยู่ในแนวตั้งและหันหน้าไปทางทิศเหนือเสมอจากนั้นนำชุดอุปกรณ์ไปรังวัดตำแหน่งแบบ static ในหลายๆพื้นที่

โดยเก็บข้อมูลพื้นที่ละ 6-12 ชั่วโมงโดยเลือกพื้นที่ลาดฟ้าหรือพื้นที่เปิดโล่งโดยรับข้อมูลเป็นไฟล์ ASCII จากแอปพลิเคชัน GNSS Logger แล้วนำไปแปลงเป็นไฟล์ RINEX และใช้โปรแกรม WaSoft ในการประมวลผลโดยนำมาประมวลผลร่วมกับข้อมูลจาก base station ที่ตั้งใกล้กันโดยใช้เครื่องรับสัญญาณความละเอียดสูงและข้อมูลจาก VRS ที่มีระยะห่าง 6, 33 และ 42 กิโลเมตรตามลำดับ โดยพบว่า Ambiguity fixed ที่ GPS L1 เท่านั้นโดยมีค่า C/N0 อย่างน้อย 35 dB-Hz โดยได้ค่าความแม่นยำ RMS ที่ 1-2 เซนติเมตรโดยต้องใช้เวลารับอย่างน้อย 1 ชั่วโมงโดยจะแสดงผลดังรูป

**Table 3** Positioning errors of static observation sessions of 5 and 60 min duration: baseline VRS—Huawei P30, GPS L1 solutions

Solution type	RMS in North/East/Up (m)	
	5 min of observations	60 min of observations
DGNSS	5.2/1.8/3.1	0.66/0.29/1.75
Float	0.40/0.67/0.50	0.052/0.057/0.043
Fixed	0.014/0.010/0.028	0.006/0.005/0.015

รูปที่ 9 แสดงความถูกต้องของการรังวัดตำแหน่ง (Wanninger & Hesselbarth, 2020)

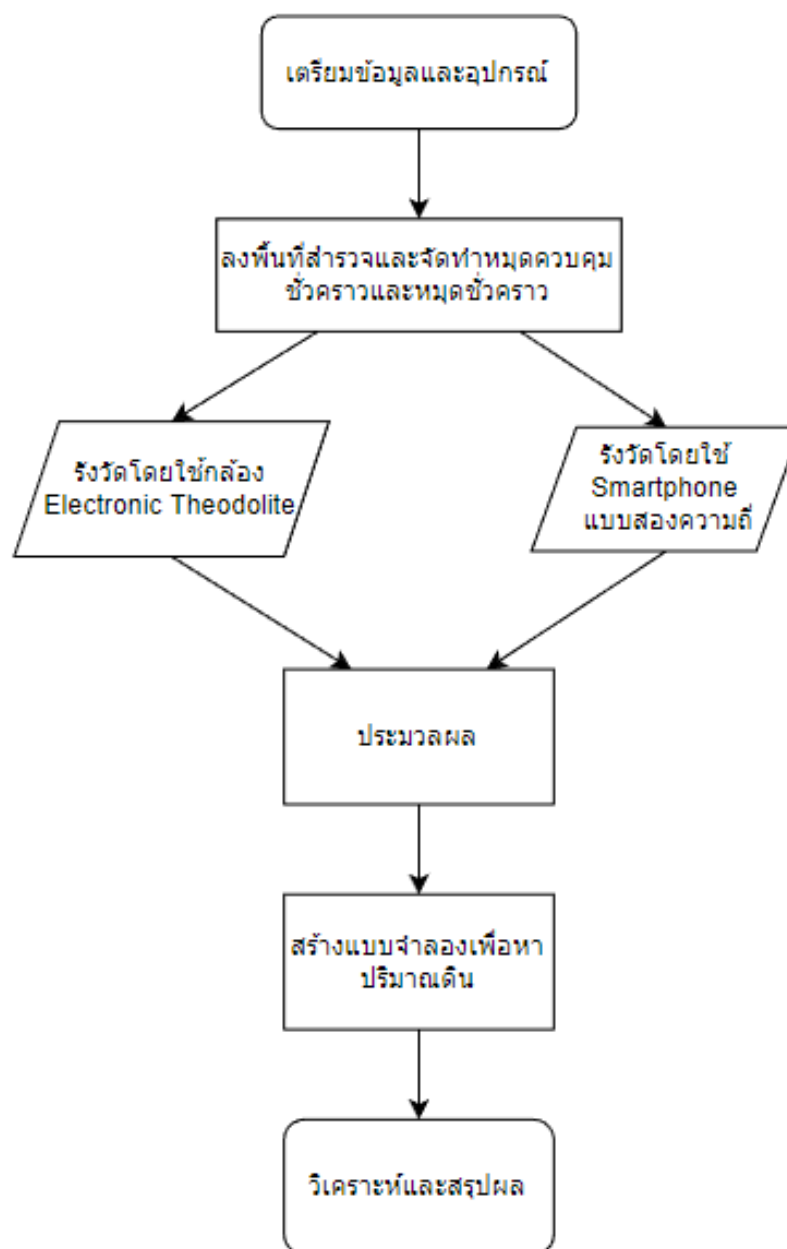
จากรูปจะเห็นว่าจากการรังวัดแบบ VRS ด้วย Huawei P30 โดยใช้เฉพาะดาวเทียม GPS ความถี่ L1 ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเป็นข้อมูลชนิด DGNSS ในการรับ 5 นาทีความถูกต้องจะอยู่ในระดับหลายเมตร และเมื่อรับ 60 นาที ความถูกต้องจะลดมาในระดับเมตรได้ และเมื่อข้อมูลเป็นชนิด Float เมื่อรับสัญญาณ 5 นาที จะได้ค่าความถูกต้อง 50 เซนติเมตร และเมื่อรับ 60 นาที จะได้ค่าความถูกต้อง 5 เซนติเมตร ส่วนข้อมูลที่อยู่ในสถานะ Fixed ในการรับสัญญาณ 5 นาทีจะได้ข้อมูลอยู่ในระดับเซนติเมตรในแนวราบ 2 เซนติเมตรในแนวตั้ง และเมื่อรับ 60 นาที จะได้ค่าความถูกต้องในแนวราบ 5 มิลลิเมตร และแนวตั้ง 1 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าความถูกต้องที่สูงมาก

### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีวิจัย

ในการประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ทโฟนที่มีจีเอ็นเอสเอสแบบสองความถี่ในการคำนวณงานดินด้วยวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันทีมีขั้นตอนในการดำเนินวิจัยดังรูป โดยเลือกศึกษาในบริเวณพื้นที่จังหวัดน่าน ปักหมุดควบคุมชั่วคราว 2 หมุด ปักหมุดทดสอบจำนวน 21 หมุด ทัวทั้งพื้นที่จากนั้นทำการสำรวจรังวัดโดยใช้สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 ด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ RTK ด้วยวิธี VRS โดยเชื่อมต่อกับ CORS ของกรมที่ดิน ในจุดสำรวจที่ปักหมุดไม้ไว้โดยใช้แอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger 2.1.6 เพื่อรังวัดตำแหน่งของสมาร์ทโฟนและ Lefebure NTRIP Client 2021.12.03 สำหรับการรับข้อมูลจากสถานี CORS ของกรมที่ดินในรูปแบบไฟล์ RTCM เวอร์ชัน 3.2 โดยติดตั้งกล่องและปรับระดับโดยฐานปรับระดับจากนั้นนำสมาร์ทโฟนไปวางไว้ข้างบนโดยตำแหน่งและทิศทางที่วางจะเป็นแบบเดียวกันทุกจุดเพื่อนำมาปรับแก้ตำแหน่งและความสูงในภายหลังจากนั้นวัดระดับความสูงจากพื้นและเปิดใช้งานแอปพลิเคชันทั้งสองเพื่อเริ่มการรังวัดโดยจะรังวัดด้วยความถี่ 1 Hz ตำแหน่งละ 1 ชั่วโมงแล้วนำข้อมูลทั้งหมดไปประมวลผลร่วมกับข้อมูลค่าแก่นาฬิกาดาวเทียม, วงโคจรดาวเทียม, ค่าแก้ไขบรรยากาศและค่าแก้ไขไอออโนสเฟียร์จาก IGS โดย RTKLIB 2.4.3 b31 เพื่อให้ได้ค่าพิกัดและระดับ จากนั้นทำการสำรวจรังวัดโดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 โดยการถ่ายค่าระดับจากหมุดควบคุมทางดิ่งแห่งชาติที่อยู่ใกล้พื้นที่สำรวจมายังหมุดควบคุมชั่วคราวที่อยู่ภายในพื้นที่สำรวจจากนั้นทำการถ่ายค่าพิกัดจากหมุดหลักเขตมายังหมุดควบคุมชั่วคราวที่อยู่ภายในพื้นที่สำรวจจากนั้นถ่ายค่าพิกัดและค่าระดับไปยังหมุดทดสอบทั้ง 21 หมุด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมาหาปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินโดยกำหนดให้ปริมาณดินที่ใช้ในการถมจะมาจากการถมดินทั้งพื้นที่ให้อยู่ในระดับเดียวกันแล้วนำผลลัพธ์ของทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบ หาประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายที่ได้

### แผนผังแสดงขั้นตอนการทำวิจัย



รูปที่ 10 แสดงแผนผังแสดงขั้นตอนการทำวิจัย

### 3.1 เตรียมข้อมูลและอุปกรณ์

#### 3.1.1 หาข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของพื้นที่การศึกษา

พื้นที่การศึกษา

พื้นที่บ้านสมุน ตำบลตุ้ใต้ อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน อยู่พิกัดที่ 18.754145, 100.753769 มีขนาด 11,145 ตร.ม. หรือเท่ากับ 6 ไร่ 3 งาน 86.25 ตร.วา

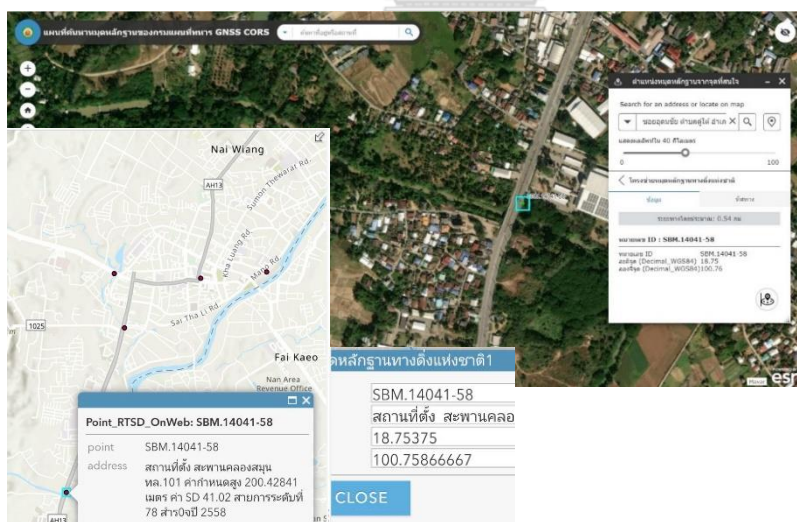


รูปที่ 11 แสดงพื้นที่การศึกษาบริเวณบ้านสมุน ตำบลตุ้ใต้ อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน (แหล่งที่มา: Google Earth)

เป็นพื้นที่ที่อยู่ในซอยโดยทิศใต้ติดถนนทิศเหนือติดแม่น้ำสมุน ทิศตะวันตกติดหอพักสองชั้น ทิศตะวันออกติดพื้นที่รกร้างมีต้นไม้ขนาดเล็ก

### 3.1.2 ทำการรวบรวมข้อมูลที่ต้องใช้

#### 1) หมดควบคุมทางระดับที่อยู่ใกล้พื้นที่วิจัย



รูปที่ 12 แสดงตำแหน่งหมดควบคุมทางระดับและพิกัดในแผนที่

ในการระบุค่าระดับโดยใช้กล้องสำรวจเพื่ออ้างอิงกับค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง จะต้องทำการถ่ายระดับจากหมุดอ้างอิงที่มีความละเอียดแม่นยำมากกว่าหรือเท่ากับงานที่ต้องการซึ่งในงานวิจัยนี้ความแม่นยำของงานระดับโดยใช้กล้อง Electronic Theodolite อยู่ใน



เกณฑ์มาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3 จึงใช้หมุดอ้างอิงเป็นหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ (กรมแผนที่ทหาร, 2562) ซึ่งเป็นหมุดทางระดับชั้นที่ 1

หมุดควบคุมทางระดับจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ หมุดหมายเลข SBM.14041-58 พิกัด latitude, longitude, elevation คือ 18.75375, 100.75867, 200.42841 ตามลำดับ



รูปที่ 13 แสดงหมุดควบคุมทางระดับและพิกัด

หมุดนี้ตั้งอยู่บนสะพานข้ามแม่น้ำสมุนบนถนนยันตรกิจโกศลใกล้กับแม่โครนาน หมุดยังอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

- 1) หมุดควบคุมทางพิกัดที่อยู่ใกล้พื้นที่วิจัย

หมุดควบคุมพิกัดได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสำนักงานที่ดินจังหวัดน่าน โดยได้ข้อมูลพิกัดของหมุดหลักเขตของขอบเขตของที่ดินที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งเมื่อสรุปค่าพิกัดแล้วได้ตารางซึ่งข้อมูลที่ได้รับความสะดวกมาอยู่ในรูปแบบของค่าพิกัดจากหมุดศูนย์

กำเนิด (กรมที่ดิน, 2556) ซึ่งรายละเอียดของระบบพิกัดนี้จะนำไปแสดงในมาตรฐานค่าพิกัดฉากศูนย์กำเนิดในการรังวัดและทำแผนที่ของกรมที่ดิน (ภาคผนวก ก)

หลักเขตที่ดิน	พิกัดฉากหมุดศูนย์กำเนิด					
	น หรือ ต			อ หรือ ฎ		
	น ต	เส้น	ข้อ	อ ฎ	เส้น	ข้อ
เก่า ก1676	ต	683	6057	ฎ	645	1939
เก่า ก1620	ต	683	6702	ฎ	644	9899
1ฐ9102	ต	683	6890	ฎ	644	7393
เก่า ก1922	ต	683	7603	ฎ	643	7877
เก่า ก1817	ต	683	6988	ฎ	643	2774
1ฐ9968	ต	680	8026	ฎ	642	7135
เก่า 5จ 2645	ต	679	7304	ฎ	643	9841
เก่า ก1676	ต	683	6057	ฎ	645	1939

ตารางที่ 2 แสดงพิกัดหมุดหลักเขตในระบบค่าพิกัดศูนย์กำเนิด

จากตารางแสดงข้อมูลหมุดหลักเขตในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดโดยในคอลัมน์แรกจะแสดงชื่อของหมุด น, ต, อ, และ ฎ แทนค่าพิกัดที่อยู่เหนือ ได้ ตะวันออกและตะวันตกของศูนย์กำเนิดตามลำดับ เส้นและข้อแสดงหน่วยในการรังวัดโดยผู้วิจัยจะนำค่านี้นมาแปลงโดย 1 เส้นเท่ากับ 10,000 ข้อ เท่ากับ 40 เมตร

หลักเขตที่ดิน	หลักเขตที่ดิน (ใหม่)	พิกัดฉากจากหมุดกำเนิด(เมตร)			
		N		E	
เก่า ก1676	B1	-	27344.228	-	25807.756
เก่า ก1620	B1-2	-	27346.808	-	25799.596
1ฐ9102	B2	-	27347.56	-	25789.572
เก่า ก1922	B3	-	27350.412	-	25751.508
เก่า ก1817	B4	-	27347.952	-	25731.096
1ฐ9968	B5	-	27232.104	-	25708.54
เก่า 5จ 2645	B6	-	27189.216	-	25759.364

ตารางที่ 3 แสดงหมุดหลักเขตที่แปลงค่าอยู่ในระบบพิกัดฉากหน่วยเมตร

ซึ่งผู้วิจัยจะนำคอลัมน์ น ต มาแปลงโดย น แปลงเป็น +, ต แปลงเป็นลบ คอลัมน์ อ ฎ มาแปลงโดย อ แปลงเป็น +, ฎ แปลงเป็นลบ และเปลี่ยนชื่อเพื่อง่ายต่อการนำมาใช้งาน ดังตารางที่ 3 โดยตำแหน่งของแต่ละหมุดจะนำไปแสดงในรูปรวมในหัวข้อถัดไป

- 2) รหัสสำหรับ login เพื่อรับข้อมูลสถานีฐาน (Base Station) จากสถานี CORS ของกรมที่ดิน ในรูปแบบ Network VRS โดยจะได้มาในรูปแบบไฟล์ RTCM 3.2 โดยจะรับข้อมูลทุกๆ 1 วินาที โดยทำการส่งหนังสือขอยังกองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน เพื่อขอความอนุเคราะห์ใช้ระบบการสำรวจรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ ซึ่งทางกองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน ก็ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้ระบบการสำรวจรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์
- 3) ข้อมูลค่าแก่นาฬิกาดาวเทียม, วงโคจรดาวเทียม, ค่าแก้ไขบรรยากาศและค่าแก้ไขอากาศจาก IGS
- 4) ข้อมูลแบบจำลองยิอออยด์ TGM2017 สำหรับการแปลง ellipsoidal height เป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง MSL
- 5) ตำแหน่ง antenna ของ Huawei P30 โดยจะอยู่บนจุดดังรูป



รูปที่ 14 แสดงตำแหน่งของ antenna phase center ของ Huawei P30 (Uradzinski & Bakula, 2020)

โดยจุด antenna phase center มีระยะจากมุมซ้ายล่างของอุปกรณ์ 13 cm ในแนวตั้งและ 4 cm ไปทางขวา

### 3.1.3 เตรียมอุปกรณ์

จัดเตรียมคนและอุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดตาม 1.3.5 เตรียมพร้อมในการลงพื้นที่

## 3.2 การสำรวจพื้นที่แบบสังเขป (Reconnaissance)

ทำการลงพื้นที่ครั้งแรกเพื่อสำรวจสภาพแวดล้อมของพื้นที่ ดังรูป





รูปที่ 15.1-15.3 แสดงสภาพแวดล้อมของบริเวณพื้นที่การศึกษา

ในรูปที่ 15.1 และ 15.3 จะเป็นการถ่ายภาพบริเวณทางเข้าพื้นที่โดยหันหน้าไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้และตะวันตกตามลำดับ ในรูปที่ 15.2 จะเป็นการถ่ายภาพในบริเวณมุมของที่ดินในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยถ่ายภาพไปในทิศใต้ โดยทั้งสามรูปจะแสดงสภาพภายในพื้นที่และรอบๆ พื้นที่โดยจะเห็นว่าภายในพื้นที่จะเป็นพื้นที่ดินว่างเปล่ามีต้นหญ้าขึ้นเป็นบางส่วน และบริเวณรอบๆ พื้นที่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่จะมีอาคารสองชั้น ทางทิศใต้จะติดถนน

ทำการปักหมุดควบคุมชั่วคราวในบริเวณพื้นที่โดยให้หมุดควบคุมชั่วคราวในบริเวณพื้นที่ตามมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3 ระยะไม่เกิน 90 เมตร เพื่อให้สามารถส่องหมุดได้ทั่วทั้งพื้นที่โดยตั้งกล้องน้อยที่สุดและอยู่ในมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3 จากการประเมินจำนวนหมุดควบคุมชั่วคราวที่ต้องใช้ในการสำรวจพื้นที่นี้ต้องใช้หมุดควบคุมชั่วคราวจำนวน 2 หมุดโดยให้อยู่ในบริเวณที่ทำเครื่องหมายไว้ ซึ่งการวางหมุดควบคุมชั่วคราวแบบนี้ระยะสูงสุดจะไม่เกิน 60 เมตรดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แสดงตำแหน่งหมุดควบคุมชั่วคราวทั้ง 2 หมุด

จำนวนหมุดทดสอบโดยประมาณคำนวณจาก

สมการที่ 7 แสดงการคำนวณจำนวนหมุดทดสอบ

$$N = \frac{11,145}{25^2} = 17.832 \approx 21 \text{ จุด} \quad (7)$$

โดยที่ N คือจำนวนหมุดทดสอบ คำนวณโดยนำขนาดพื้นที่ทั้งหมด (ตารางเมตร) มาหารด้วยระยะระหว่างหมุดยกกำลังสอง โดยระยะระหว่างหมุดนี้จะเป็น 25 เมตรตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง (กรมทางหลวง, 2550)





### 3.3 การสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107

ทำการเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ได้แก่กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 ไม้สตาฟ ตลับเมตร หมุดไม้ชั่วคราว ค้อน ลูกดิ่ง สมุดสนามปากกาพร้อมทีมงานอย่างน้อย 4 คน จากนั้นเริ่มการลงพื้นที่สำรวจโดยตั้งกล้องบนหมุด ตั้งค่าระดับน้ำ และอ่านเลขไม้สตาฟจากกล้องโดยอ่านค่าระดับสายใยบน กลาง ล่าง และค่ามุมในแนวราบ โดยตั้งค่ามุมในแนวตั้งเป็น 0 ทำการสำรวจรังวัดตามข้อกำหนดของงานรังวัดชั้น 3 (ภาคผนวก ก) โดย

- 1) ถ่ายค่าระดับจากหมุดควบคุมระดับจากหมุดควบคุมทางระดับจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทาง  
ดิ่งแห่งชาติที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณพื้นที่วิจัยมายังหมุดควบคุมชั่วคราวที่อยู่ในพื้นที่วิจัยดังรูปที่ 17  
โดยผลลัพธ์ที่ได้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของงานชั้นที่ 3 คือ
  - ผลต่างของค่าต่างระดับสายใยบนกับกลางและค่าต่างระดับสายใยกลางและล่างต้องไม่เกิน 2 มิลลิเมตร
  - ผลต่างของค่าระยะไม้หน้าและระยะไม้หลังไม่เกิน 10 เมตร
  - ผลต่างของผลรวมของค่าระยะไม้หน้าและผลรวมของค่าระยะไม้หลังต้องไม่เกิน 10 เมตร



รูปที่ 18 แสดงการถ่ายระดับจากหมุดควบคุมทางระดับจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ

ในรูปแสดงการถ่ายค่าระดับจากหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติซึ่งอยู่นอกบริเวณพื้นที่ โดยหมุดตั้งอยู่บนสะพานข้ามถนนยันตรกิจโกศลใกล้แม่โคครน่านซึ่งอยู่ห่างจากพื้นที่วิจัยประมาณ 500 เมตร โดยถ่ายระดับตามถนนเข้ามาภายในพื้นที่วิจัยและถ่ายค่าระดับไปยังหมุดควบคุมชั่วคราวทั้งสอง

- 2) ถ่ายค่าพิกัดทางราบจากหมุดหลักเขตมายังหมุดควบคุมชั่วคราว ดังรูป



รูปที่ 19 แสดงการถ่ายพิกัดทางราบจากหมุดหลักเขตของกรมที่ดิน

ในรูปจะแสดงการถ่ายพิกัดทางราบจากหมุดหลักเขตของกรมที่ดินไปยังหมุดควบคุมชั่วคราวที่อยู่ภายในพื้นที่ทั้ง 2 หมุด โดยในรูปซ้ายจะเป็นรูปหมุด B2 และรูปขวาจะเป็นการตั้งกล้องที่หมุด B2 โดย back sight ไปที่หมุด B1 fore sight ไปที่หมุด BM1 จากนั้นทำการถ่ายพิกัดทางราบไปยังหมุด BM2

3) ถ่ายค่าพิกัดทางราบและค่าระดับจากหมุดควบคุมชั่วคราวไปยังหมุดทดสอบทุกจุด

โดยตั้งกล้องที่หมุดอ้างอิงชั่วคราว (BM1, BM2) โดย back sight ไปที่หมุดอ้างอิงชั่วคราวอีกหมุดแล้ว fore sight ไปที่หมุดทดสอบ ทำจนครบ 21 หมุดโดยให้ถ่ายค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดควบคุมชั่วคราวที่ใกล้ที่สุด

### 3.4 การสำรวจจริงวัดพื้นที่โดยใช้ สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30

เตรียมอุปกรณ์โดยนำแม่เหล็กติดที่ตรงกลางของงานปรับระดับและนำแผ่นแม่เหล็กไปติดที่จุดกึ่งกลางข้างหลังสมาร์ตโฟนดังรูปแล้ววัดตำแหน่งเก็บไว้ไปคำนวณในภายหลัง จากนั้นนำขาตั้งกล้อง งานปรับระดับที่ติดแม่เหล็ก สมาร์ตโฟน ตลับเมตร และลูกดิ่งลงพื้นที่วิจัย



รูปที่ 20 แสดงการเตรียมอุปกรณ์ก่อนลงสำรวจโดยใช้สมาร์ทโฟน

รูปนี้แสดงการเตรียมอุปกรณ์โดยรูปซ้ายจะเป็นลูกดิ่งและจานปรับระดับที่ติดแม่เหล็กไว้ที่จุดกึ่งกลางและรูปขวาเป็นจานปรับระดับที่ติดตั้งเคสสมาร์ทโฟนที่ติดแผ่นแม่เหล็กไว้เรียบร้อยแล้วโดยให้ตัวแม่เหล็กและแผ่นแม่เหล็กแนบกันสนิท

ลงพื้นที่วิจัยโดยทำในเวลากลางคืน (19.30-7.30) โดยในงานวิจัยนี้ลงพื้นที่เป็นเวลา 5 วันดังตาราง

ตารางที่ 4 แสดงวันและเวลาในการรับสัญญาณโดยใช้สมาร์ทโฟน

Date	Number of Sessions	Time (UTC+7)
18/8/2565	2	22.00 - 02.00
19/8/2565	8	20.00 - 07.30
22/8/2565	2	19.50 - 22.10
23/8/2565	8	19.30 - 05.30
27/8/2565	3	19.30 - 22.40

จากตารางจะเห็นว่าลงพื้นที่เป็นเวลา 5 วันโดยที่วันแรกลง 2 ช่วงเวลา (sessions) โดยที่รับสัญญาณเวลา 22.00 – 02.00 น. วันที่สองลง 8 sessions ในเวลา 20.00 – 07.30 น. วันที่สามลง 2 sessions ในเวลา 19.50 – 22.10 น. วันที่สี่ลง 8 sessions ในเวลา 19.30 – 05.30 น. วันที่ห้าลง 3 sessions ในเวลา 19.30 – 22.40 น.

ในการรับสัญญาณทำโดยนำขาตั้งกล้องและจานปรับระดับที่ติดแม่เหล็กแล้วมาตั้งบนหมุดทดสอบโดยใช้ลูกดิ่งในการระบุตำแหน่งบนหัวหมุดทดสอบและใช้จานปรับระดับในการปรับระดับฟอง



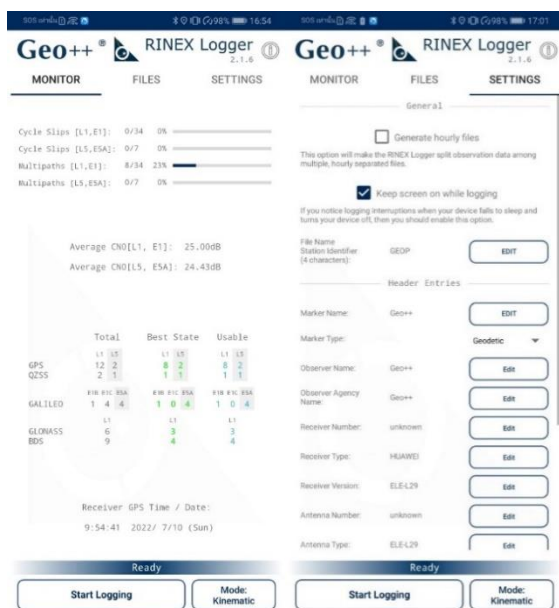
กลมจากนั้นนำสมาร์ทโฟนมาวางบนจานปรับระดับโดยหันหัวไปทางทิศเหนือและวางไว้บนตำแหน่งแม่เหล็กที่ล็อกเอาไว้เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีทิศทางเดียวกันเพื่อนำไปปรับแก้ในภายหลังดังรูป



รูปที่ 21 แสดงการเตรียมอุปกรณ์ก่อนลงสำรวจโดยใช้สมาร์ทโฟน

ในรูปที่ 21 ภาพแสดงการรับสัญญาณโดยใช้สมาร์ทโฟนโดยวางสมาร์ทโฟนที่ติดแผ่นแม่เหล็กไว้ข้างหลังบนจานปรับระดับที่ติดแม่เหล็กขนาดเท่ากันไว้โดยวางให้แผ่นแม่เหล็กและแม่เหล็กแนบกันสนิทโดยจานปรับระดับติดตั้งอยู่บนขาตั้งกล้อง (ภาพซ้าย) และใช้ลูกดิ่งในการระบุตำแหน่งที่มาร์คไว้บนหัวหมุด

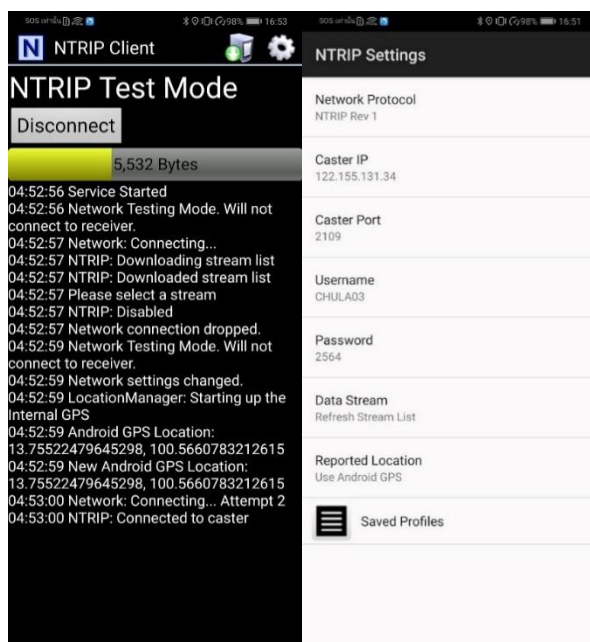
แล้วใช้ตลับเมตรในการวัดความสูงเอียง (slant height) จากนั้นทำการเริ่มรับสัญญาณโดยใช้แอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger สำหรับรับวัดพิกัด GNSS แบบ kinematics และ Lefebure NTRIP Client สำหรับรับค่าแก้จากสถานี CORS ของกรมที่ดินในรูปแบบ VRS โดยจะได้มาในรูปแบบไฟล์ RTCM 3.2 โดยจะรับสัญญาณ 2 ความถี่ทุกๆ 1 วินาทีเป็นเวลาจุดละ 1 ชั่วโมงดังรูปที่ 21



รูปที่ 22 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าและการเก็บข้อมูลตำแหน่งจากแอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger

รูปแสดงการเก็บข้อมูลโดยใช้ Geo++ RINEX Logger 2.1.6 โดยรับสัญญาณได้ทั้ง L1, E1, L5, E5 จากดาวเทียม GPS, QZSS, GALILEO, GLONASS, BDS โดยใช้ mode Kinematic (รูปซ้าย) และแสดงการตั้งค่า (รูปขวา) โดยปิด Generate hourly files ไว้โดยจะทำการจับเวลาเอง เปิด Keep screen on while logging เพื่อให้หน้าจอเปิดอยู่ตลอดเวลา และทำการตั้งชื่อไฟล์และชื่อจุดในการจัดเก็บตามที่ต้องการ Marker Type ชนิด Geodetic สำหรับเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน และค่าตั้งค่าอื่นๆจะเป็น default โดยผู้วิจัยจะทำการเช็คค่าความสูงในภายหลังโดยหลังรับสัญญาณจะได้ไฟล์ RINEX อยู่ภายในที่จัดเก็บไฟล์ในสมาร์ทโฟน





รูปที่ 23 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าและการเก็บข้อมูลค่าแก้จากสถานี CORS จากแอปพลิเคชัน Lefebure NTRIP Client

รูปแสดงการรับสัญญาณค่าแก้โดยใช้ Lefebure NTRIP Client 2021.12.03 โดยแสดงสถานะการรับสัญญาณ (ภาพซ้าย) และแสดงการตั้งค่า (ภาพขวา) โดยตั้งค่า NTRIP Protocol เป็น NTRIP Rev 1 ตั้ง Caster IP 122.155.131.34 ตาม IP ของกรมที่ดิน ตั้ง Caster Port, Username, Password ตามที่ได้ขอความอนุเคราะห์กรมที่ดินมา และเลือก Data Stream เป็นข้อมูล VRS\_RTCM32 ตามคู่มือการใช้งานของกรมที่ดิน (กรมที่ดิน, 2561) โดยหลังรับสัญญาณจะได้ไฟล์ RTCM 3.2 อยู่ภายในที่จัดเก็บไฟล์ในสมาร์ทโฟน

### 3.5 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล

#### 3.5.1 ประมวลผลข้อมูลจากกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107

##### 1) ในการถ่ายค่าระดับ

- i. คำนวณค่าระดับของหมุดควบคุมชั่วคราวโดยถ่ายค่าระดับมาจากหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ โดยนำข้อมูลจาก 3.3 (1) มาคำนวณโดยใช้ค่าที่อ่านจากสายไยบน, กลาง, ล่าง มาคำนวณตามสมการที่ (2) โดยที่ผลต่างค่าระดับของการเดินระดับไปกลับต้องไม่เกิน  $\pm 12\sqrt{K}$  โดยที่ K คือระยะเฉลี่ยของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดหน่วยกิโลเมตร ตามมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3

- ii. คำนวณค่าระดับของหมุดทดสอบทุกหมุดโดยถ่ายค่าระดับจากหมุดควบคุมชั่วคราว โดยนำข้อมูลจาก 3.3 (3) มาโดยใช้สมการ (2)

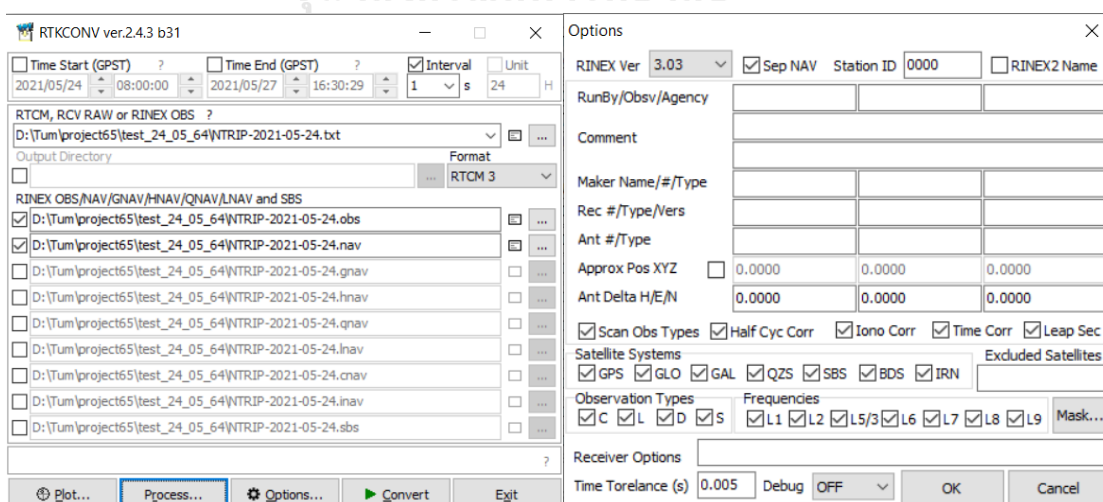
## 2) ในการถ่ายค่าพิกัดทางราบ

- i. คำนวณค่าพิกัดทางราบของหมุดควบคุมชั่วคราวจากหมุดหลักเขตที่อยู่ในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดที่แปลงหน่วยเป็นเมตรแล้ว โดยนำข้อมูลจาก 3.3 (2) มาคำนวณโดยใช้สมการที่ (1.1) และ (1.2)
- ii. คำนวณค่าพิกัดทางราบของหมุดทดสอบทั้งหมดจากหมุดควบคุมชั่วคราวที่อยู่ในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดที่แปลงหน่วยเป็นเมตรแล้ว โดยนำข้อมูลจาก 3.3 (3) มาคำนวณโดยใช้สมการที่ (1.1) และ (1.2)

### 3.5.2 ประมวลผลข้อมูลจาก สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30

โดยนำข้อมูลทั้งหมดได้แก่ ข้อมูลความสูงเอียง (slant height) ไฟล์ RINEX จากแอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger และไฟล์ RTCM3 จาก แอปพลิเคชัน Lefebure NTRIP Client มาประมวลผลร่วมกับไฟล์ navigation message จาก IGS โดยใช้โปรแกรม Trimble Business Center (TBC) จะได้ค่าพิกัดและความสูงโดยมีขั้นตอนคือ

- 1) สร้างฐานฐานเสมือนโดยนำไฟล์ RTCM 3.2 จากแอปพลิเคชัน Lefebure NTRIP Client มาแปลงเป็นไฟล์ RINEX โดยใช้ RTKCONV จากใน RTKLIB

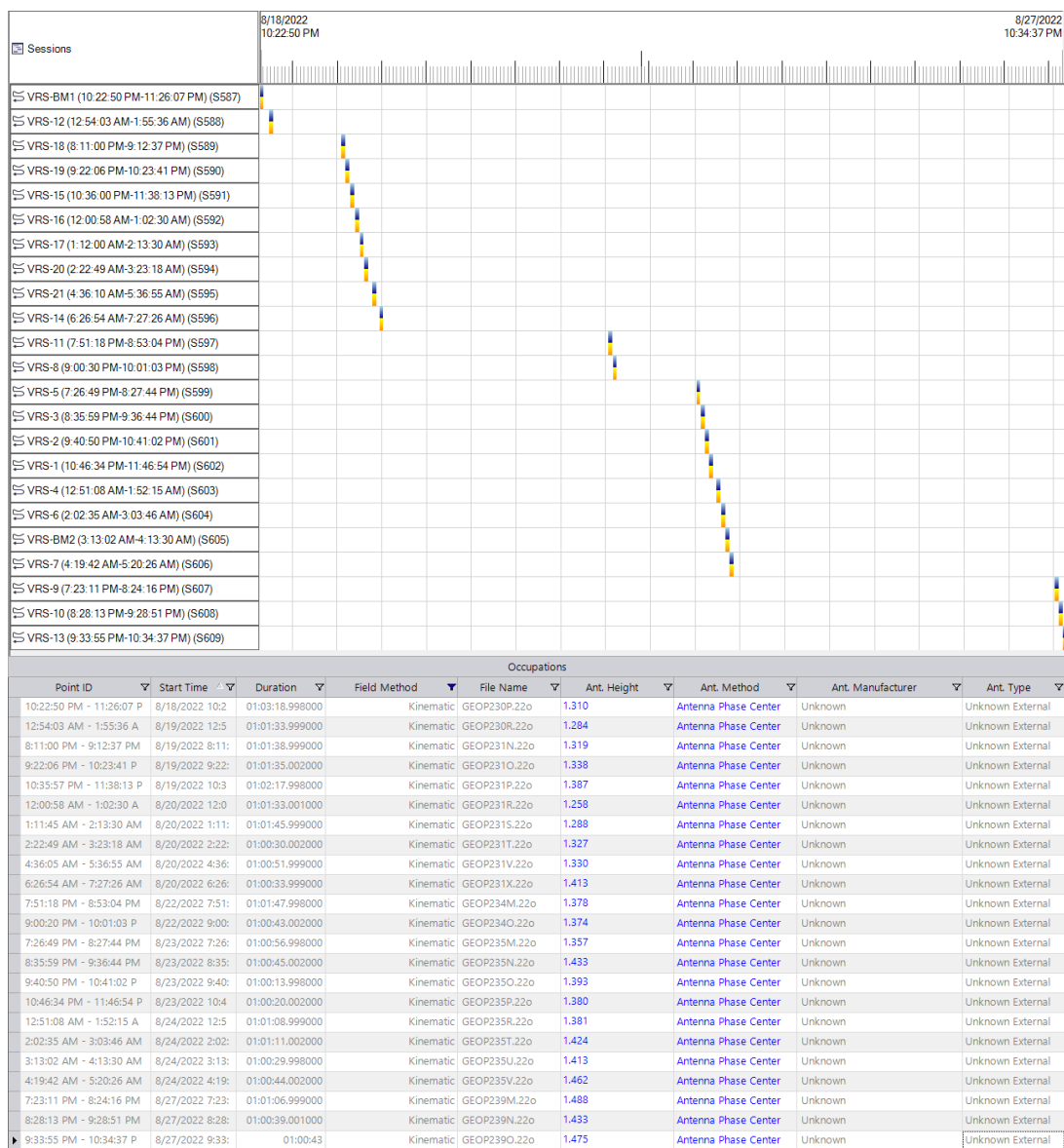


รูปที่ 24 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าและการแปลงไฟล์โดยใช้ RTKCONV

โดยที่รูปจะแสดงตัวอย่างการตั้งค่า RTKCONV การแปลงไฟล์ RTCM 3.2 เป็นไฟล์ RINEX 3.03 โดยที่รูปซ้ายจะแสดงการนำเข้าไฟล์ที่ต้องการแปลง ซึ่งผู้วิจัยเลือกชนิด Format เป็น RTCM 3 และ interval 1 วินาที โดยที่ไม่ตั้งค่า Time Start และ Time End เพื่อใช้เวลาทั้งหมด จากนั้นกด Options เพื่อตั้งค่าเพิ่มเติมตามภาพขวา โดยในการตั้งค่าผู้วิจัยเลือกใช้ RINEX VERSION 3.03 และเลือกทุกค่าคลาดเคลื่อน ทุกดาวเทียมและทุกความถี่จากนั้นกด OK แล้วจะกลับมาหน้าเลือกไฟล์ตามภาพขวา กด Process เพื่อทำการ convert ข้อมูล

- 2) ประมวลผลพิกัดของหมุดทดสอบและหมุดควบคุมชั่วคราว โดยนำไฟล์ RINEX ที่เป็นสถานียุทธศาสตร์เหมือนจากข้อที่แล้ว, ข้อมูลความสูงเอียง (slant height), ไฟล์ RINEX จากแอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger, และไฟล์ค่าแก้จาก IGS มาประมวลผลภายหลังแบบ Kinematic โดยใช้ TBC



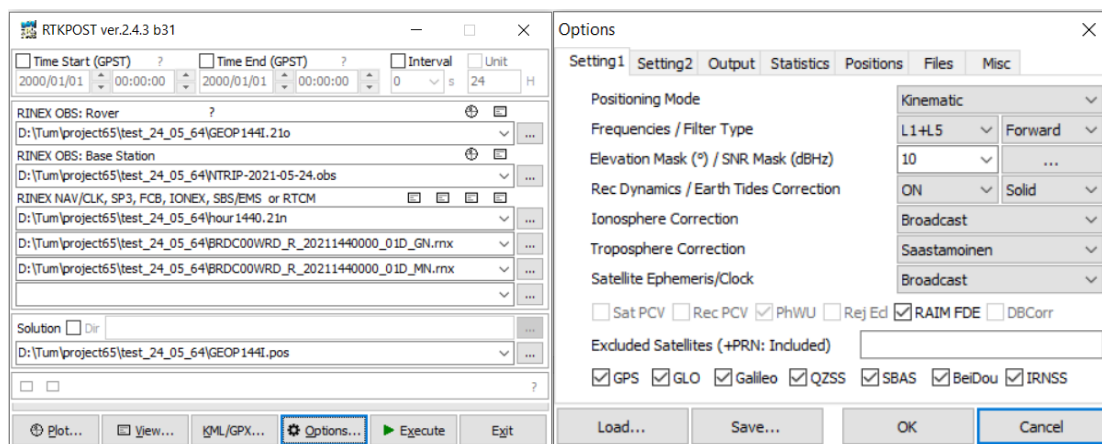


รูปที่ 25 แสดงตัวอย่างการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม TBC

รูปแสดงการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม TBC โดยที่รูปแบบเป็น หน้า Time-Based View ซึ่งแสดงให้เห็นเวลาในการรับสัญญาณของแต่ละจุดรับสัญญาณและรูปร่างแสดงการตั้งค่าในหน้า Occupation Spreadsheet โดย Point ID แสดงเวลาในการรับสัญญาณ, Start Time แสดงเวลาในการรับสัญญาณ, Duration แสดงระยะเวลา, Field Method แสดงชนิดการรับสัญญาณ, File Name แสดงชื่อไฟล์, Ant. Height แสดงความสูงของเสาอากาศจากพื้น, Ant. Method ใช้ชนิด Antenna Phase Center

แต่ไม่สามารถประมวลผลข้อมูลแบบสองความถี่ได้จึงใช้แค่ความถี่ L1 เท่านั้น โดยจะนำข้อมูลไปประเมินผลใน RTKLIB ต่อไป

- 3) ประมวลผลพิกัดของหมุดทดสอบและหมุดควบคุมชั่วคราว โดยใช้ข้อมูลเหมือนข้อก่อนหน้าโดยทำ post processing แบบ Kinematic โดยใช้ RTKPOST จากใน RTKLIB โดยจะประมวลผลแบบสองความถี่ในรูปแบบต่างๆเพื่อหาข้อเปรียบเทียบ



รูปที่ 26 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าและการประมวลผลโดยใช้ RTKPOST

รูปแสดงการประมวลผลพิกัดของหมุดทดสอบและหมุดควบคุมชั่วคราวโดยใช้ RTKLIB โดยประมวลผลแบบ kinematic ข้อมูลสองความถี่ โดยนำเข้าไฟล์ใน RTKPOST (ภาพซ้าย) และทำการตั้งค่า (ภาพขวา) โดยตั้ง Positioning Mode เป็น Kinematic, Frequencies เป็น L1+L5, Filter Type เป็น Forward, Elevation Mask 10 องศา, SNR Mask 30 dBHz, Rec Dynamics ON, Earth Correction เป็น Solid, Ionosphere Correction เป็น Broadcast, Troposphere Correction เป็น Saastamoinen, Satellite Ephemeris/Clock เป็น Broadcast, และเลือกทุกดาวเทียมในทุกระบบ

- 4) แปลงค่าความสูงที่ได้เป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง MSL โดยใช้แบบจำลองย็อยด์ TGM2017 สำหรับการแปลง ellipsoidal height เป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง MSL ตามสมการที่ (3) และทำการเลื่อนค่าพิกัดให้ตรงกับเสาอากาศโดยใช้ข้อมูลตำแหน่งแผ่นแม่เหล็กที่ติดหลังเคสของสมาร์ทโฟนที่วัดไว้ประกอบกับข้อมูลตำแหน่งเสาอากาศของสมาร์ทโฟน Huawei P30 จาก 3.1.2 (5)

- 5) สร้างขอบเขตของพื้นที่ในระบบพิกัด UTM 47N เพื่อให้พื้นที่ของวิธีการสำรวจทั้งสองแบบมีขนาดเท่ากันจึงนำพิกัดของหมุดหลักเขตมาใช้ในการกำหนดขอบเขตโดยทำการแปลงค่าพิกัดของหมุดหลักเขตที่เป็นระบบพิกัดศูนย์กำเนิดเป็นระบบพิกัด

UTM 47N ก่อนโดยการนำค่าที่ได้จากการถ่ายพิกัดโดยกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 มาใช้ โดยใช้ตำแหน่งหมุดควบคุมชั่วคราวทั้งสองเป็นข้อมูลตั้งต้นในการแปลงพิกัด โดยใช้วิธี Helmert/conformal transformation ตามสมการที่ (4) โดยใช้โปรแกรม Matlab ในการคำนวณ

### 3.6 สร้างแบบจำลองเพื่อหาปริมาณดิน

ในอดีตจะใช้วิธีคำนวณปริมาตรจากพิกัดโดยใช้วิธีคูณไขว้และวิธีเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด (ภาคผนวก ก) แต่ในปัจจุบันวิธีการหาพื้นที่พัฒนาขึ้นมากแล้ว ผู้วิจัยจึงนำวิธีสร้าง TIN surface ใน TBC แล้วกำหนดความสูงสุดท้ายของการถมเพื่อหาปริมาณดินสุดท้ายตาม TIN surface โดยทำใน TBC เช่นกัน

โดยความถูกต้องของการหาปริมาณดินจะยอมให้ปริมาณดินคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน  $\pm 10\%$

### 3.7 เลือกขนาดกลุ่มตัวอย่างและแบ่งข้อมูล

คำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้วิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างตามสูตรคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างของ Taro Yamane ตามสมการที่ (5) โดยกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้เท่ากับ  $10\%$  เมื่อนำไปคำนวณจะได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 92 กลุ่มโดยทางผู้วิจัยใช้ 128 กลุ่ม นำผลที่ได้ไปคำนวณหาความน่าเชื่อถือ โดยทำการตัดช่วงข้อมูลบางส่วน ส่วนละ 30 นาที มาทำการคำนวณหาปริมาณดิน โดยนำมาทั้งหมด 128 รูปแบบ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ในการสุ่มตัวอย่างจะแบ่งข้อมูลเป็น 7 กลุ่มกลุ่มละ 2 รูปแบบ รูปแบบละ 30 นาที เมื่อนำมาสลับกันจะได้ 128 รูปแบบ

### 3.8 การทดสอบสมมุติฐาน(Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมุติฐาน(Hypothesis Testing) โดยใช้ ONE SAMPLE T-TEST ตามสมการที่ (6)

### 3.9 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลการทดสอบ

- นำแบบจำลองปริมาณดินทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบกัน
- นำค่าพิกัดและความสูงมาเปรียบเทียบกัน

- นำค่าใช้จ่ายและผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกันเพื่อหาความคุ้มค่า





## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

#### 4.1 ผลจากปักหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบ

ตำแหน่งหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบโดยจะแสดงควบคู่กับหมุดหลักเขตที่ดินและขอบเขตที่ดิน



รูปที่ 27 แสดงตำแหน่งหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบบน google earth



จะเห็นว่ารูปแสดงแผนที่และข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยที่แสดงตำแหน่งหมุดควบคุมชั่วคราวทั้ง 2 หมุดด้วยสามเหลี่ยมสีเหลือง แสดงหมุดทดสอบทั้ง 21 หมุดด้วยวงกลมสีแดง แสดงหมุดหลักเขตที่ดินทั้ง 6 หมุดด้วยสามเหลี่ยมสีม่วงและแสดงเส้นขอบเขตของพื้นที่วิจัยด้วยเส้นสีแดง

#### 4.2 ผลจากการสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107

นำจาก 3.3 มาคำนวณแล้วได้ดังนี้

- 1) ค่าระดับหมุดควบคุมชั่วคราวที่ถ่ายระดับจากหมุดควบคุมทางระดับจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณพื้นที่วิจัยมายังหมุดควบคุมชั่วคราวที่อยู่ในบริเวณพื้นที่วิจัย

ขาไป		ขากลับ	
EBS	10.221 m	EBS	12.089 m
EFS	11.966 m	EFS	10.336 m
ผลต่าง	-1.745 m	ผลต่าง	1.753 m
ระยะทาง	663.3 m	ระยะทาง	663.8 m
ผลต่างไปกลับ	8 mm	BM	200.428 m
ระยะทางเฉลี่ย	663.6 m	BM1	198.679 m
ต้องไม่เกิน	9.8 mm		

รูปที่ 28 แสดงผลจากการถ่ายระดับจากหมุดควบคุมทางระดับจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติมายังหมุดควบคุมชั่วคราว

รูปแสดงผลของการถ่ายค่าระดับจากหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ (BM) มายังหมุดควบคุมชั่วคราวที่อยู่ภายในพื้นที่ (BM1) โดยขาไปเริ่มถ่ายค่าระดับจากหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ (BM) ไปยังหมุดควบคุมชั่วคราว (BM1) โดยมีผลต่างค่าระดับ 1.745 เมตร ขากลับถ่ายค่าระดับจากหมุดควบคุมชั่วคราว (BM1) ไปยังหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ (BM) โดยมีผลต่าง 1.753 เมตร ซึ่งต่างกัน 8 มิลลิเมตร โดยตามข้อกำหนดของงานระดับชั้นที่ 3 ค่าระดับต้องไม่เกิน  $12\sqrt{K}$  มิลลิเมตร โดยที่ K คือระยะทางโดยเฉลี่ยระหว่างทั้งสองหมุดโดยที่มีหน่วยเป็นกิโลเมตรโดยที่ในการถ่ายระดับนี้ค่า K จะเท่ากับ 0.6636 ซึ่งเมื่อคำนวณออกมาแล้วจะได้ 9.8 มิลลิเมตร ซึ่งค่าที่ได้คือ 8 มิลลิเมตร ไม่เกินเกณฑ์ค่าระดับชั้นที่ 3 ทำให้สามารถนำค่าต่างระดับมาใช้ได้โดยนำมาเฉลี่ยกันซึ่งหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ (BM) มีค่าระดับเท่ากับ 200.428 เมตร และเมื่อถ่ายค่าระดับไปยังหมุดควบคุมชั่วคราว (BM1) ที่อยู่ภายในพื้นที่หมุดควบคุมชั่วคราว (BM1) จะมีค่าระดับเท่ากับ 198.679 เมตร โดยข้อมูลการถ่ายระดับจะอยู่ในภาคผนวก ข

2) พิกัดของหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบที่ได้จากการถ่ายค่าพิกัดทางราบจากหมุดหลักเขต

i. พิกัดทางราบของหมุดหลักเขตที่อยู่ในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดที่ถูกแปลงเป็นหน่วยเมตร

หมุดหลักเขตที่ดิน	พิกัดฉากจากหมุดกำเนิด(เมตร)	
	Northing	Easting
B1	-27344.228	-25807.756
B1-2	-27346.808	-25799.596
B2	-27347.560	-25789.572
B3	-27350.412	-25751.508
B4	-27347.952	-25731.096
B5	-27232.104	-25708.540
B6	-27189.216	-25759.364

ตารางที่ 5 แสดงพิกัดหมุดหลักเขต

ตารางแสดงพิกัดของหมุดหลักเขตที่ถูกเปลี่ยนชื่อเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยค่าพิกัดอยู่ในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดที่มีหน่วยเป็นเมตร

ii. พิกัดของหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบที่ถ่ายพิกัดทางราบมาจากหมุดหลักเขตที่แปลงค่าพิกัดเป็นเมตรแล้ว

Station	Easting(m)	Northing(m)
1	-25765.369	-27192.439
2	-25744.342	-27208.379
3	-25750.531	-27222.801
4	-25769.761	-27216.861
5	-25721.043	-27228.374
6	-25771.427	-27243.124
7	-25756.510	-27250.871
8	-25731.397	-27254.867
9	-25781.093	-27264.846
10	-25761.142	-27270.673
11	-25737.969	-27277.675
12	-25786.431	-27286.849
13	-25766.766	-27290.957
14	-25744.134	-27299.809
15	-25795.936	-27320.544

16	-25772.716	-27316.652
17	-25747.285	-27329.744
18	-25802.279	-27342.351
19	-25778.353	-27342.279
20	-25746.807	-27339.751
21	-25736.239	-27340.078
BM1	-25765.193	-27297.367
BM2	-25751.373	-27240.832

ตารางที่ 6 แสดงพิกัดหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบ

จากตารางคอลัมน์แรกจะแสดงชื่อ Station ของหมุดควบคุมชั่วคราวทั้งสองหมุด (BM1, BM2) และหมุดทดสอบทั้ง 21 หมุด (1-21) คอลัมน์ที่สองและสามจะแสดงค่าพิกัด Easting, Northing ของหมุดต่างๆตามลำดับโดยค่าพิกัดนี้อยู่ในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดที่มีหน่วยเป็นเมตร

- 3) ค่าพิกัดทางราบในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดและค่าระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบทั้งหมด

Station	Elevation(m)	Easting(m)	Northing(m)
1	196.100	-25765.369	-27192.439
2	196.081	-25744.342	-27208.379
3	196.278	-25750.531	-27222.801
4	196.409	-25769.761	-27216.861
5	196.200	-25721.043	-27228.374
6	197.559	-25771.427	-27243.124
7	197.760	-25756.510	-27250.871
8	197.443	-25731.397	-27254.867
9	198.599	-25781.093	-27264.846
10	198.634	-25761.142	-27270.673
11	198.656	-25737.969	-27277.675
12	198.730	-25786.431	-27286.849
13	198.708	-25766.766	-27290.957
14	198.644	-25744.134	-27299.809
15	198.740	-25795.936	-27320.544
16	198.666	-25772.716	-27316.652
17	198.716	-25747.285	-27329.744
18	198.627	-25802.279	-27342.351
19	198.783	-25778.353	-27342.279
20	198.692	-25746.807	-27339.751
21	198.649	-25736.239	-27340.078
BM1	198.679	-25765.193	-27297.367
BM2	197.042	-25751.373	-27240.832

ตารางที่ 7 แสดงพิกัดและความสูงของหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดหลักเขต

จากตารางคอลัมน์แรกจะแสดงชื่อ Station ของหมุดควบคุมชั่วคราวทั้งสองหมุด (BM1, BM2) และหมุดทดสอบทั้ง 21 หมุด (1-21) คอลัมน์ที่สอง Elevation จะแสดงค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง คอลัมน์ที่สามและสี่จะแสดงค่าพิกัด Easting, Northing ของหมุดต่างๆตามลำดับโดยค่าพิกัดนี้อยู่ในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดที่มีหน่วยเป็นเมตร

#### 4.3 ผลการสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้ สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30

- 1) ผลจากการประมวลผลภายหลัง (post processing) ข้อมูลจากการรับสัญญาณโดยใช้สมาร์ทโฟน ประมวลผลแบบ Kinematic โดยใช้ข้อมูลความถี่เดียวจากดาวเทียม GPS, QZSS, GALILEO, GLONASS, BDS โดยที่ค่าพิกัดอยู่ในระบบ UTM 47N โดยใช้ TBC ในการประมวลผล



station	E_point	N_point	Elevation	Horiz.Precision	Vert.Precision	SolutionRatio	C. Time	TimeUse	PercenUse
1	684875.803	2074624.512	199.088	1.054	2.332	576/578	0	10	16%
2	684899.085	2074608.312	198.886	0.246	0.397	3095/3096	10	52	85%
3	684891.114	2074595.006	200.145	0.618	1.914	526/530	0	9	14%
4	684871.861	2074602.019	198.716	0.294	0.632	3664/3668	9	61	100%
5	684920.523	2074587.764	200.657	0.097	0.202	2964/3348	15	49	81%
6	684867.986	2074577.088	200.666	1.392	2.150	127/132	0	2	3%
7	684884.516	2074568.158	201.521	0.498	1.022	626/627	0	10	17%
8	684910.874	2074563.713	201.923	1.296	3.217	834/836	0	14	23%
9	684858.017	2074556.978	202.114	0.428	0.636	3593/3641	0	60	98%
10	684879.690	2074551.348	203.825	0.726	1.582	2582/2601	0	43	71%
11	684901.737	2074541.199	201.829	0.067	0.111	3128/3131	10	52	84%
12	684850.999	2074533.644	203.916	0.485	0.780	1271/1271	10	21	34%
13	684872.047	2074528.480	202.615	0.314	0.587	2404/2406	34	40	66%
14	684892.386	2074518.135	203.118	0.076	0.152	3628/3632	0	60	99%
15	684839.818	2074498.994	203.723	0.102	0.204	3009/3010	40	50	80%
16	684863.185	2074501.652	203.889	0.470	1.104	1866/1867	0	31	50%
17	684888.989	2074488.513	202.104	0.225	0.605	1423/1423	5	24	38%
18	684831.553	2074480.262	203.161	0.089	0.299	3697/3698	23	62	100%
19	684855.569	2074476.272	203.896	1.895	3.863	164/165	0	3	4%
20	684887.293	2074478.912	203.041	0.147	0.217	2617/2618	35	44	71%
21	684898.421	2074476.492	203.187	0.039	0.079	3641/3646	0	61	100%
BM1	684873.140	2074522.052	202.653	0.097	0.120	2641/2642	6	44	69%
BM2	684889.961	2074575.165	201.850	0.122	0.199	3050/3169	0	51	84%

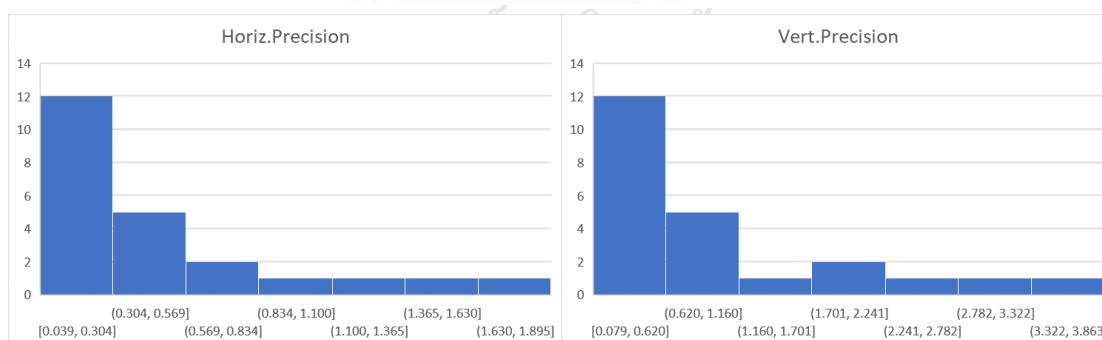
ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลของหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดหลักเขตโดยจะมีค่าพิกัด ความสูง ความถูกต้องทางราบ เวลาที่ใช้ในการลู่เข้า

เวลาที่ใช้ในการประมวลผล และเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในการประมวลผล

จากตาราง คอลัมน์แรก station จะแสดงสถานีรับสัญญาณซึ่งมีทั้งหมดควบคุมชั่วคราว (BM1, BM2) และหมุดทดสอบ (1-21) คอลัมน์ที่สองและสาม E\_point, N\_point แสดงค่าพิกัด Easting (เมตร), Northing (เมตร) ของจุดรับสัญญาณในระบบพิกัด UTM 47N คอลัมน์ที่สี่ Elevation แสดงค่าระดับ(เมตร)น้ำทะเลปานกลางของจุดรับสัญญาณ คอลัมน์ที่ห้า Horiz.Precision ซึ่งย่อมาจาก Horizontal Precision แสดงค่าความถูกต้องทางราบ(เมตร)ที่มาจากการประมวลผลข้อมูลสมาร์ตโฟนด้วย TBC โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.039 – 1.895 คอลัมน์ที่หก Vert.Precision ซึ่งย่อมาจาก Vertical Precision แสดงค่าความถูกต้องทางตั้ง(เมตร)ที่มาจากการประมวลผลข้อมูลสมาร์ตโฟนด้วย TBC โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.079 – 3.863 คอลัมน์ที่เจ็ด SolutionRatio แสดงจำนวนข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้จริงต่อจำนวนข้อมูลที่สามารถนำมาประมวลผลได้ ซึ่งงานวิจัยนี้รับข้อมูลทุกๆวินาทีจึงทำให้ข้อมูลนี้มีหน่วยเป็นวินาทีด้วย คอลัมน์ที่แปด C.Time ย่อมาจาก Convergence Time แสดงเวลา(นาติ)ที่ใช้ในการเข้าสู่ของข้อมูลซึ่งก็คือช่วงเวลาที่ไม่เสถียร แกว่งขึ้น แกว่งลง นั่นเองโดยเวลานี้มีค่าอยู่ในช่วง 0 – 40 นาติ คอลัมน์ที่เก้า TimeUse แสดงเวลา(นาติ)ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้จริงได้โดยเวลานี้มาจากจำนวนข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้จริงใน SolutionRatio ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที นำมาหารด้วย 60 เพื่อคำนวณเป็นนาติ คอลัมน์ที่สิบ PercenUse แสดงเปอร์เซ็นต์ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้จริงโดยคำนวณจากการนำ จำนวนข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้จริงใน SolutionRatio ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที มาหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่รับสัญญาณมาได้ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผู้วิจัยจึงนำตารางข้างบนมาขยายความได้ดังนี้

i. แสดงกราฟการแจกแจงค่า Horizontal Precision, Vertical Precision

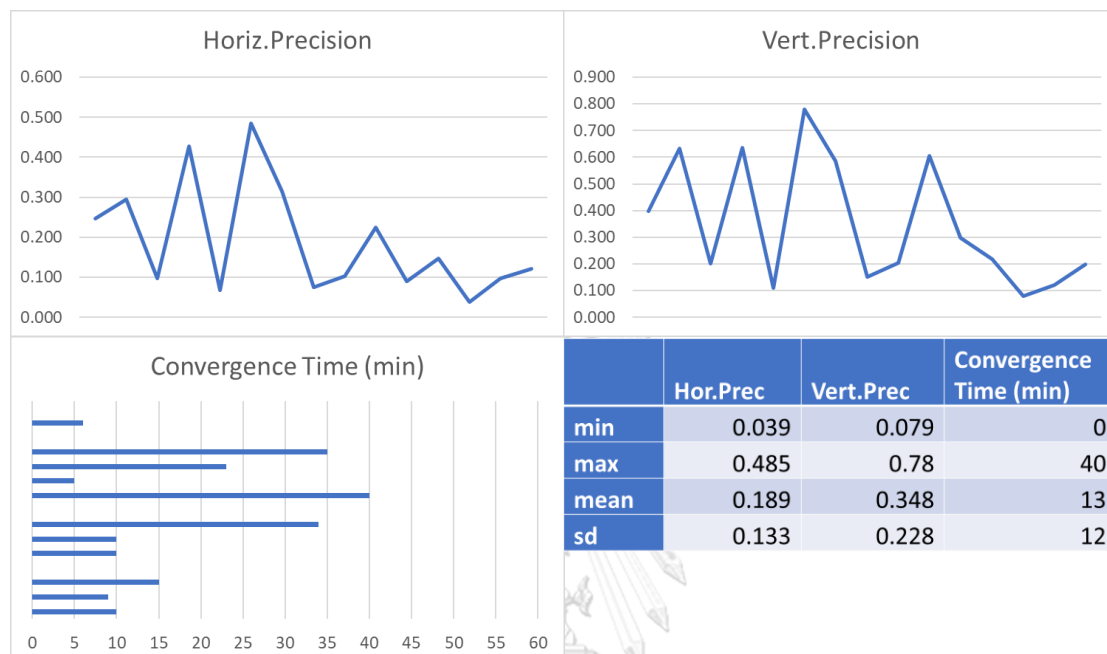


รูปที่ 29 แสดงการแจกแจงค่า Horizontal Precision, Vertical Precision

จากกราฟจะเห็นว่าค่า Horizontal Precision จะมีช่วงอยู่ในค่า 0.039 ถึง 1.895 โดยที่ข้อมูลส่วนใหญ่ (74%) จะมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ 0.039 ถึง 0.569 โดยที่มีค่าที่ดีที่สุดที่ 0.039 เมตร ค่า Vertical Precision จะมีข้อมูลอยู่ในช่วง 0.079 ถึง 3.863 โดยที่ข้อมูลส่วนใหญ่ (74%) จะมีค่าความถูกต้องอยู่ในช่วง 0.079 ถึง 1.160 โดยที่มีค่าที่ดีที่สุดที่ 0.079 เมตร

ii. วิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งเพิ่มเติมโดยการตัดบางจุดทดสอบ

เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความถูกต้องที่แม่นยำมากขึ้นผู้วิจัยจะทำการตัดจุดรับสัญญาณบางจุดที่ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าจุดอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัดได้แก่จุด 1, 3, 6, 8, 11, 19 ซึ่งจะเหลือข้อมูล 17 จุด คิดเป็น 74% ของข้อมูลทั้งหมดซึ่งเป็นจุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำและเกาะกลุ่มกันแล้วนำมาวิเคราะห์จะได้ดังนี้



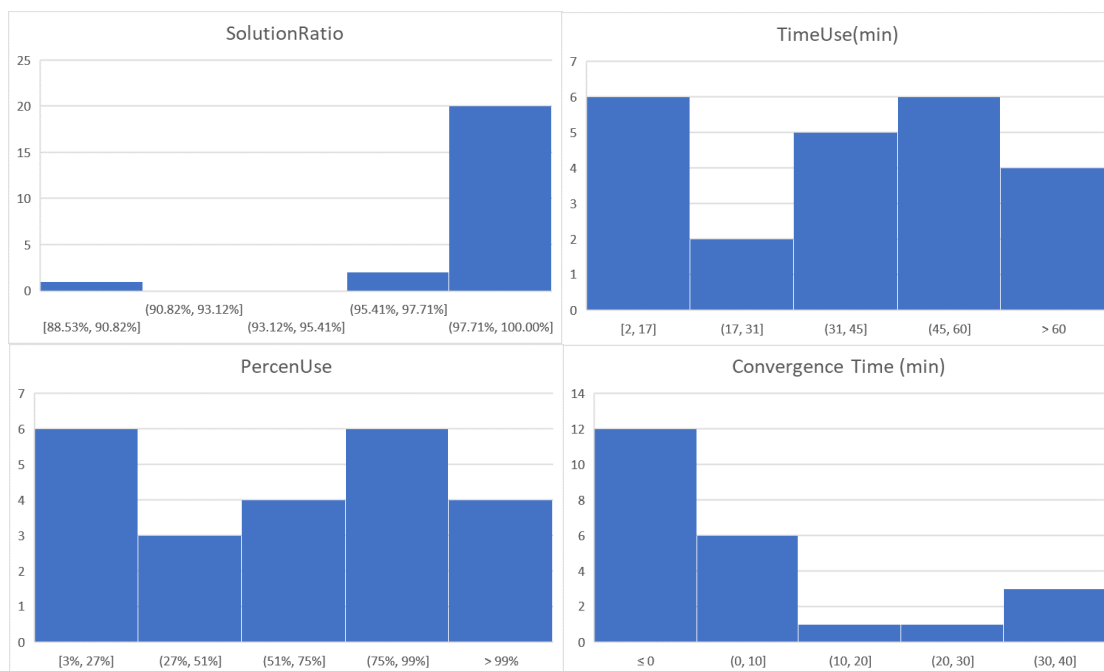
รูปที่ 30 แสดงกราฟความถูกต้องทางตำแหน่งและ Convergence Time ของการรับสัญญาณด้วยสมาร์ทโฟนที่ตัดข้อมูลจุดที่มีค่าคลาดเคลื่อนสูง

จากกราฟ Horiz.Precision ซึ่งย่อมาจาก Horizontal Precision แสดงค่าความถูกต้องทางราบ(เมตร)ของข้อมูลซึ่งมีค่าต่ำสุดที่ 0.039 เมตร สูงสุดที่ 0.485 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.189 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.133 เมตร

จากกราฟ Vert.Precision ซึ่งย่อมาจาก Vertical Precision แสดงค่าความถูกต้องทางตั้ง(เมตร)ของข้อมูลซึ่งมีค่าต่ำสุดที่ 0.079 เมตร สูงสุดที่ 0.78 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.348 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.228 เมตร

จากกราฟ Convergence Time แสดงเวลา(นาท)ที่ใช้ในการรู้เข้าของข้อมูลซึ่งมีค่าต่ำสุดน้อยกว่านาท สูงสุดที่ 40 นาท โดยมีค่าเฉลี่ย 13 นาท ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12 นาท

- iii. แสดงกราฟการแจกแจงค่า SolutionRatio, TimeUse, PercenUse, Convergence Time



รูปที่ 31 การแจกแจงค่า SolutionRatio, TimeUse, PercenUse, Convergence Time

จากกราฟ SolutionRatio ซึ่งแสดงจำนวนข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้จริงต่อจำนวนข้อมูลที่สามารถนำมาประมวลผลได้ โดยนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วนำมาแจกแจง จะเห็นว่าข้อมูล 87% มีค่า solution ratio อยู่ที่ 97.71-100% ซึ่งเมื่อนำค่า solution ratio ของข้อมูลทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ 98.96%

จากกราฟ TimeUse แสดงเวลา(นาที)ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้จริงได้โดยจะเห็นว่ามี 4 จุดซึ่งคิดเป็น 17% เท่านั้นที่สามารถนำข้อมูลทั้งหมด 60 นาทีมาใช้งานได้ มี 15 ข้อมูลซึ่งคิดเป็น 65% ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้ 30 นาทีขึ้นไป ซึ่งเวลาที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 37 นาที

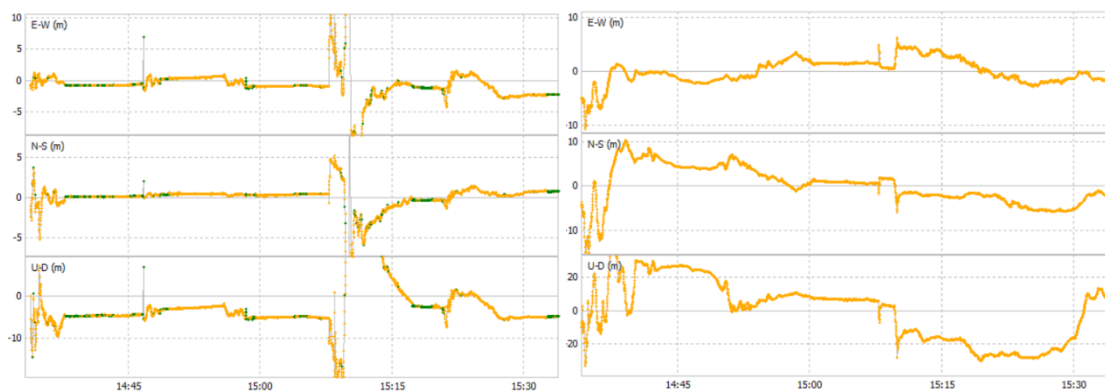
จากกราฟ PercenUse แสดงเปอร์เซ็นต์ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้จริงโดยจะเห็นว่ามี 4 จุดซึ่งคิดเป็น 17% เท่านั้นที่สามารถนำข้อมูลมากกว่า 99% มาใช้งานได้ มี 10 ข้อมูลซึ่งคิดเป็น 43% ที่สามารถนำข้อมูล 75% ขึ้นไปมาใช้งานได้ มี 15 ข้อมูลซึ่งคิดเป็น 65% ที่สามารถนำข้อมูล 50% ขึ้นไปมาใช้งานได้ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้จริงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 60%

จากกราฟ Convergence Time แสดงเวลา(นาที)ที่ใช้ในการลู่เข้าของข้อมูลโดยจะเห็นว่ามี 12 จุดซึ่งคิดเป็น 52% ที่ใช้ระยะเวลาในการลู่เข้าน้อยกว่านาที มี 18 จุดซึ่งคิดเป็น 78% ที่ใช้ระยะเวลาในการลู่เข้าน้อยกว่า 10 นาที โดย Convergence Time มีค่าต่ำสุดน้อยกว่านาที มีค่าสูงสุดที่ 40 นาทีโดยมีค่าเฉลี่ย 9 นาที

- 2) นำข้อมูลความสูงเอียง(slant height) ไฟล์ RINEX จากแอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger, ไฟล์ RINEX จากข้อ 3.5.2.1. และไฟล์ค่าแก้จาก IGS มา

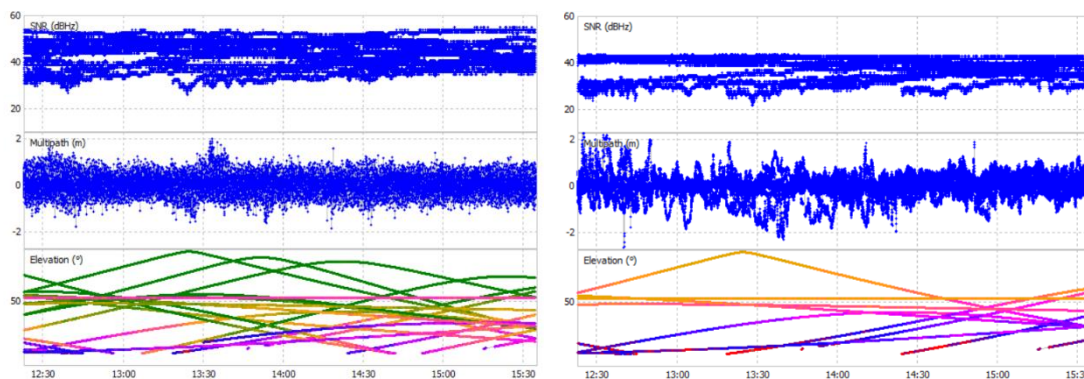


ประมวลผล (post processing) แบบ Kinematic โดยใช้ RTKPOST จากใน RTKLIB โดยจะประมวลผลแบบสองความถี่ โดยใช้ดาวเทียม GPS, QZSS, GALILEO, GLONASS, BDS เปรียบเทียบกับการประมวลผลแบบความถี่เดียว



รูปที่ 32 แสดงผลจากประมวลผลข้อมูลทั้งสองความถี่ด้วย RTKLIB

รูปซ้ายแสดงการประมวลผลแบบ Kinematic ด้วยความถี่ L1 เท่านั้น รูปขวาแสดงการประมวลผลแบบ Kinematic ด้วยความถี่ L1 และ L5 โดยที่ E-W คือ Easting ในหน่วยเมตร N-S คือ Northing ในหน่วยเมตร U-D คือ ellipsoidal height ในหน่วยเมตร จุดสีเขียวคือข้อมูลชนิด Fixed จุดสีส้มคือข้อมูลชนิด Float จะเห็นว่าการใช้เพียงข้อมูลความถี่เดียว(รูปซ้าย)ช่วงแรกข้อมูลจะเหวี่ยงมากซึ่งช่วงนี้คือ convergence time แล้วต่อมาข้อมูลจะ Fixed ซึ่งจะมีจุดสีเขียวแสดงขึ้นมา แล้วอาจจะมีการหลุดช่วงข้อมูลเหวี่ยงได้แต่ก็จะกลับมา fixed ใกล้เคียงจุดเดิม ในขณะที่การใช้ข้อมูลทั้งสองความถี่(รูปขวา)จะเห็นว่าในช่วงแรกข้อมูลทั้งหมดจะเป็นข้อมูลชนิด Float โดยที่ช่วงแรกก็จะมีอาการเหวี่ยงมากแล้วจะค่อยๆกลับมาคงที่แต่ต่อมาข้อมูลก็ยังเคลื่อนที่จากจุดเดิมมากทางผู้วิจัยคาดว่าข้อมูลจะมีค่ากระโดดที่สูงมากคือข้อมูลจะขึ้นลงไม่นิ่งทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งที่แม่นยำได้โดยจะเห็นว่าข้อมูลไม่คงที่ ขึ้นลงมากกว่า 1 เมตรและสูงได้ถึง 5 เมตรทำให้ผู้วิจัยคิดว่าไม่สามารถนำข้อมูลนี้มาใช้ในการคำนวณหาปริมาณดินได้ จึงได้ใช้ข้อมูลที่ประมวลผลแบบความถี่เดียว และนำรายละเอียดอื่นมาวิเคราะห์ต่อ



รูปที่ 33 แสดง SNR, Multipath, Elevation ของการรับสัญญาณความถี่ L1 และ L5

รูปซ้ายแสดงข้อมูลที่มาจากการความถี่ L1 รูปขวาแสดงข้อมูลที่มาจากการความถี่ L5 โดยที่ค่า SNR (dBHz) ย่อมาจาก Signal to noise ratio ในหน่วย decibel Hertz ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพของข้อมูล ค่า multipath ในหน่วยเมตร ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นสะท้อน และค่า Elevation หน่วยองศา ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกมุมในการรับสัญญาณของดาวเทียมต่างๆโดยแต่ละเส้นแทนแต่ละดาวเทียมโดยที่สีแสดงคุณภาพสัญญาณที่มาจากการ SNR โดยที่สีเขียวคือ SNR 45 dBHz ขึ้นไป สีส้มคือ SNR 40 dBHz สีม่วงคือ SNR 35 dBHz สีน้ำเงินคือ SNR 30 dBHz สีแดงคือ SNR 25 dBHz สีเทา คือ SNR น้อยกว่า 25 dBHz โดยจะเห็นว่าข้อมูลที่มาจากการความถี่ L1 (รูปซ้าย) จะมีปริมาณข้อมูลมากกว่าโดยดูจากความหนาแน่นของข้อมูล โดยที่ค่า SNR ข้อมูล L1 จะมีช่วงกว้างกว่าคือมีช่วง 30 -55 dBHz โดยที่ข้อมูล L5 (รูปขวา) SNR มีช่วงแคบกว่าคือมีช่วง 30 - 40 dBHz เท่านั้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพข้อมูล L1 มีคุณภาพดีกว่าข้อมูล L5 อย่างมาก ค่า Multipath ข้อมูล L1 จะมีความเสถียรมากกว่าข้อมูล L5 และค่า Elevation จะเห็นว่ายิ่งข้อมูลมี elevation สูง ค่า SNR ยิ่งสูง ทำให้ผู้วิจัยสรุปได้ว่ายังมีดาวเทียมอยู่บนหัวผู้ใช้โดยมีตำแหน่งทางราบใกล้เคียงกับผู้ใช้มากเท่าไรก็จะทำให้ผู้ใช้สามารถรับสัญญาณที่มีคุณภาพได้มากเท่านั้น โดยจะเห็นว่าข้อมูล L1 มีดาวเทียมมากกว่าข้อมูล L5 และมีจำนวนดาวเทียมที่มี Elevation สูง มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด

### 3) ค่าแปลงพิกัดจาก Helmert/conformal transformation

ในการสร้างขอบเขตของที่ดินเพื่อการเปรียบเทียบผู้วิจัยจึงใช้ของเขตที่ดินที่มาจากหมุดหลักเขตมาใช้เป็นขอบเขตของการหาปริมาณดินโดยใช้สมาร์ตโฟนด้วยทำให้ผู้วิจัยต้องแปลงข้อมูลหมุดหลักเขตจากพิกัดหมุดศูนย์กำเนิดที่มีหน่วยเป็นเมตรมายังพิกัด UTM 47N ก่อนโดยใช้ conformal transformation ตามสมการที่ (4) โดยใช้โปรแกรม Matlab โดยในการคำนวณต้องใช้ข้อมูลพิกัดอย่างน้อย 3 จุดในการคำนวณตัวแปรและค่าความคลาดเคลื่อนจากการแปลง ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้พิกัดทางราบของจุดทดสอบ 5, 8, 21 ซึ่งกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ ซึ่งโค้ดที่ใช้ในการคำนวณจะแสดงใน

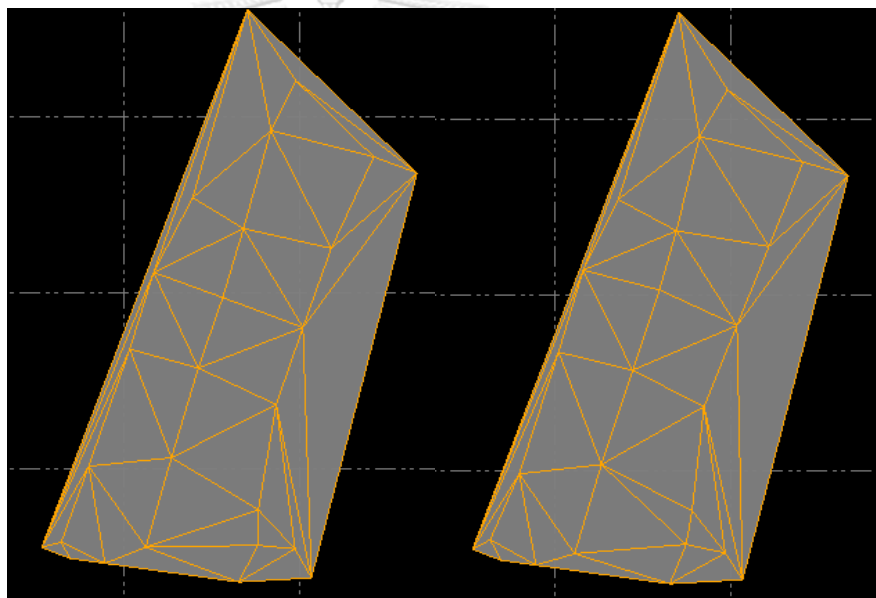
ภาคผนวก จ โดยผลที่ได้จากการแปลงคือ  $a = 1.00571$ ,  $b = 0.06419$ ,  $c = 712536.886$ ,  $f = 2100321.216$  โดยที่ความคลาดเคลื่อนจากการแปลงพิกัดเท่ากับ จุด 5 (0.059, 0.863) จุด 8 (0.147, -1.554) จุด 11 (-0.206, 0.692)

#### 4.4 สร้างแบบจำลองเพื่อหาปริมาณดิน

ในการสร้างแบบจำลองทำโดยนำค่าพิกัดของหมุดทดสอบและหมุดควบคุมชั่วคราว ในระบบพิกัด UTM 47N และความสูงอยู่ในระบบ MSL และนำเข้าพิกัดทางราบของหมุดหลักเขตที่แปลงพิกัดให้อยู่ในระบบพิกัด UTM 47N เรียบร้อยแล้วมาสร้างแบบจำลองใน TBC

##### 1) สร้าง TIN surface จากข้อมูลพิกัดและความสูง

##### i. วิธีใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107



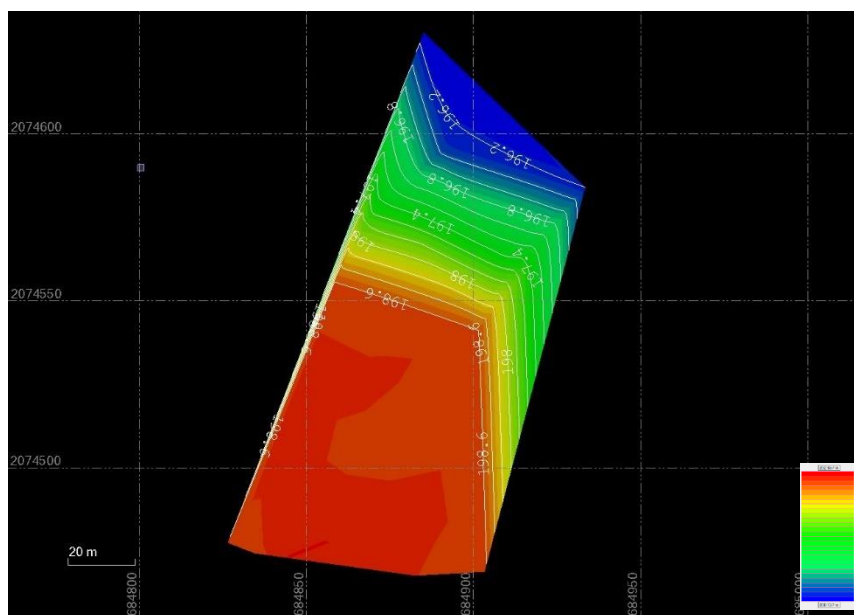
รูปที่ 34 แสดง TIN surface จากพิกัดที่มาจาก Electronic Theodolite และ  
สมาร์ตโฟน

รูปซ้ายแสดงแบบจำลอง TIN surface จากข้อมูลพิกัดของ Electronic Theodolite รูปขวาแสดงแบบจำลอง TIN surface จากข้อมูลพิกัดของสมาร์ตโฟนโดยข้อมูลทั้งสองมีขอบเขตเดียวกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่าทั้งสองข้อมูลถ้ามองในมุมมอง top view จะเหมือนกันอย่างมาก

##### 2) แบบจำลอง contour

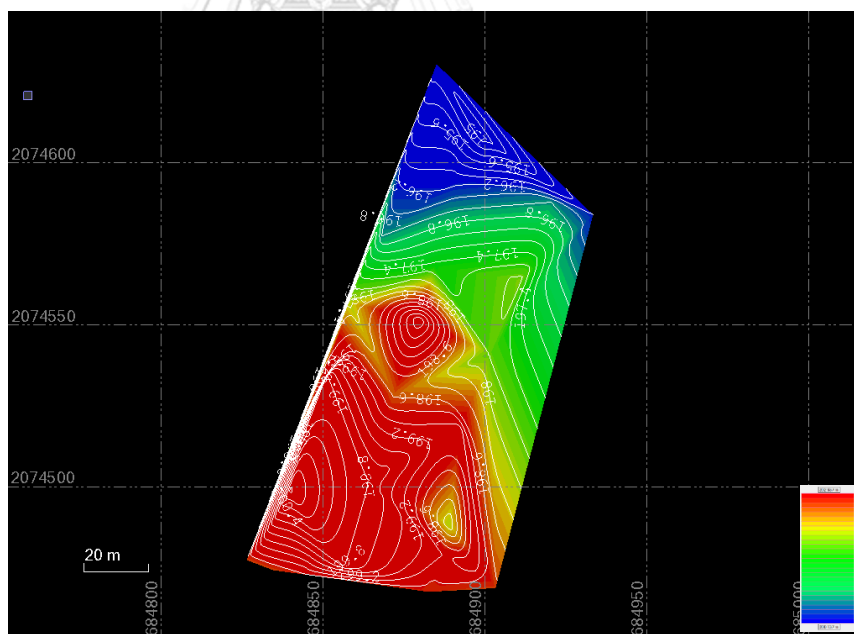
เป็นแบบจำลองเส้นชั้นความสูงใช้ในการบอกข้อมูลความสูงโดยในเส้น contour 1 เส้นจะมีค่าระดับความสูงเท่ากันทั้งเส้น

i. วิธีใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107



รูปที่ 35 แสดงแบบจำลอง contour ด้วยผลจากการใช้กล้อง Electronic Theodolite

ii. วิธีใช้สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30



รูปที่ 36 แสดงแบบจำลอง contour ด้วยผลจากการใช้สมาร์ทโฟน

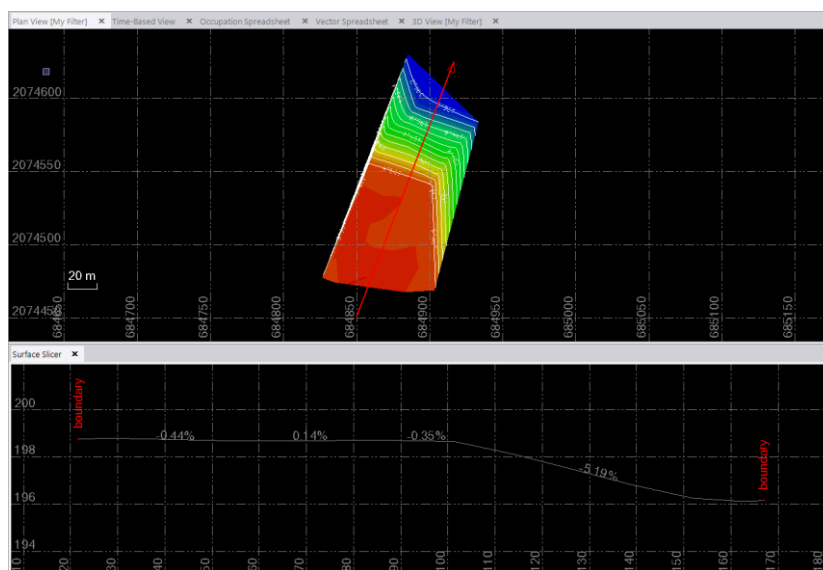
จากรูปทั้งสองแสดงแบบจำลอง Contour จากข้อมูลของกล้อง Electronic Theodolite และสมาร์ทโฟนโดยมีค่าความสูงระหว่างเส้น contour 0.2 เมตร โดยที่สีแทนความสูงทั้งหมด 30 เฉดสีโดยเริ่มจาก 196.081 ถึง 198.783 เท่ากันทั้งสอง

รูป จะเห็นว่าทั้งสองข้อมูลมีความใกล้เคียงกันโดยที่ความสูงจากกล้อง Electronic Theodolite จะมีความสม่ำเสมอของข้อมูลมากกว่า

### 3) แบบจำลอง Surface Slicer

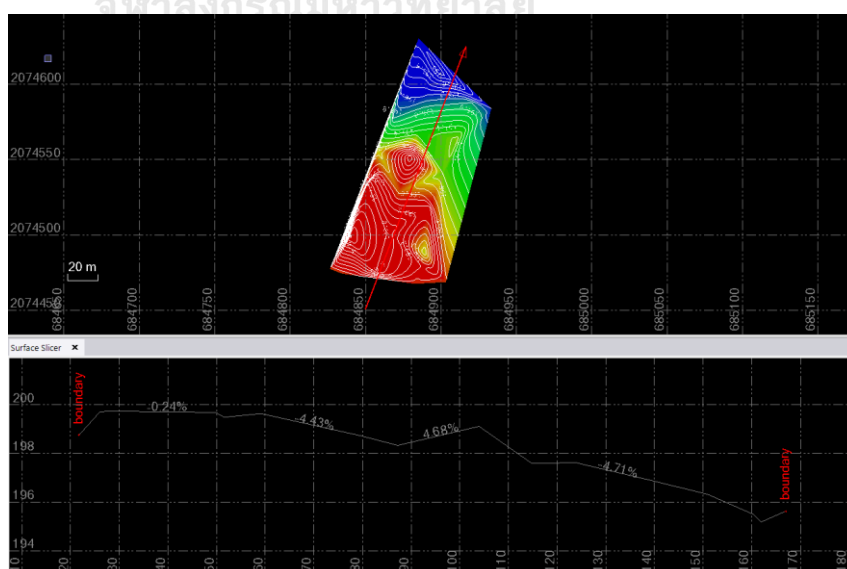
เป็นแบบจำลองภาพตัดแนวยาวของพื้นผิว

#### i. วิธีใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107



รูปที่ 37 แสดงแบบจำลอง surface slicer ด้วยผลจากการใช้กล้อง Electronic Theodolite

#### ii. วิธีใช้สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30



รูปที่ 38 แสดงแบบจำลอง surface slicer ด้วยผลจากสมาร์ทโฟน

จากรูปทั้งสองแสดงภาพตัดตามยาวด้วยผลจากข้อมูล Electronic Theodolite และสมาร์ทโฟน โดยที่ภาพบนจะแสดง contour surface โดยมีเส้นสีแดงเป็นเส้นแนวการตัด ภาพล่างจะเป็นภาพตัดตามแนวเส้นสีแดงโดยจะแสดงขอบเขตของพื้นที่ด้วย boundary และแสดงเปอร์เซ็นต์ความชันของ surface ในแนวตัด โดยจะเห็นว่าผลจาก Electronic Theodolite จะมีความราบเรียบของข้อมูลมากกว่าโดยจะเห็นว่าช่วงแรกข้อมูลจะมีความชันน้อยและมีความชันมากในภายหลัง ส่วนผลจากสมาร์ทโฟนความสูงจะไม่ค่อยคงที่แต่ยังมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือความสูงจะมากที่สุดในช่วงแรกและค่อยๆ ลดลงในช่วงท้าย

#### 4.5 การหาปริมาณดิน

กำหนดให้ความสูงสุดท้ายที่ต้องการถมเท่ากับ 199.148 m เท่ากันทั้งพื้นที่

- 1) วิธีใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107

Volumes from Surface Geometry	
Material below [199.148 m]	11,330.7 m <sup>3</sup>
Material above [199.148 m]	0.0 m <sup>3</sup>
Difference	11,330.7 m <sup>3</sup>

รูปที่ 39 แสดงปริมาณดินจากวิธีใช้กล้อง Electronic Theodolite

- 2) วิธีใช้สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30

Volumes from Surface Geometry	
Material below [199.148 m]	11,787.3 m <sup>3</sup>
Material above [199.148 m]	2,002.9 m <sup>3</sup>
Difference	9,784.3 m <sup>3</sup>

รูปที่ 40 แสดงปริมาณดินจากวิธีใช้สมาร์ทโฟน

จากรูปทั้งสองจะแสดงปริมาณดินสุดท้ายที่คำนวณโดยกำหนดให้ความสูงสุดท้ายอยู่ที่ 199.148 เมตรเท่ากันทั่วทั้งพื้นที่โดยที่ Material below คือปริมาณดินที่ต้องใช้ในการถม Material above คือปริมาณดินที่ใช้ในการขุด Difference คือผลต่างของดินขุดและดินถม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นปริมาณดินถมเนื่องจากปริมาณดินถมมีมากกว่าดินขุด ซึ่งเมื่อนำปริมาณดินจากทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกับกันจะเห็นว่าปริมาณดินจากสมาร์ทโฟนต่างกับปริมาณดินจาก Electronic Theodolite อยู่ 9.7 %

3) การเปรียบเทียบหาความถูกต้องเพื่อประเมินการนำไปใช้

ค่าต่างของปริมาณดิน  $9.7\% < 10\%$  ยอมรับได้

#### 4.6 ผลการเลือกขนาดกลุ่มตัวอย่างและแบ่งข้อมูล

ทำการตัดช่วงข้อมูลมาบางส่วน ส่วนละ 30 นาที ของทุกๆข้อมูลและนำมาสลับกันมาทำการคำนวณหาปริมาณดิน โดยนำมาทั้งหมด 128 รูปแบบ โดยใช้โปรแกรม Matlab ในการช่วยเลือกช่วงข้อมูลที่ทำการสลับมา โค้ดโปรแกรมจะแสดงในภาคผนวก จ และนำข้อมูลแต่ละรูปแบบไปคำนวณหาปริมาณดินใน TBC แล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณดินจาก Electronic Theodolite ได้ผลสรุปดังตารางที่ 9



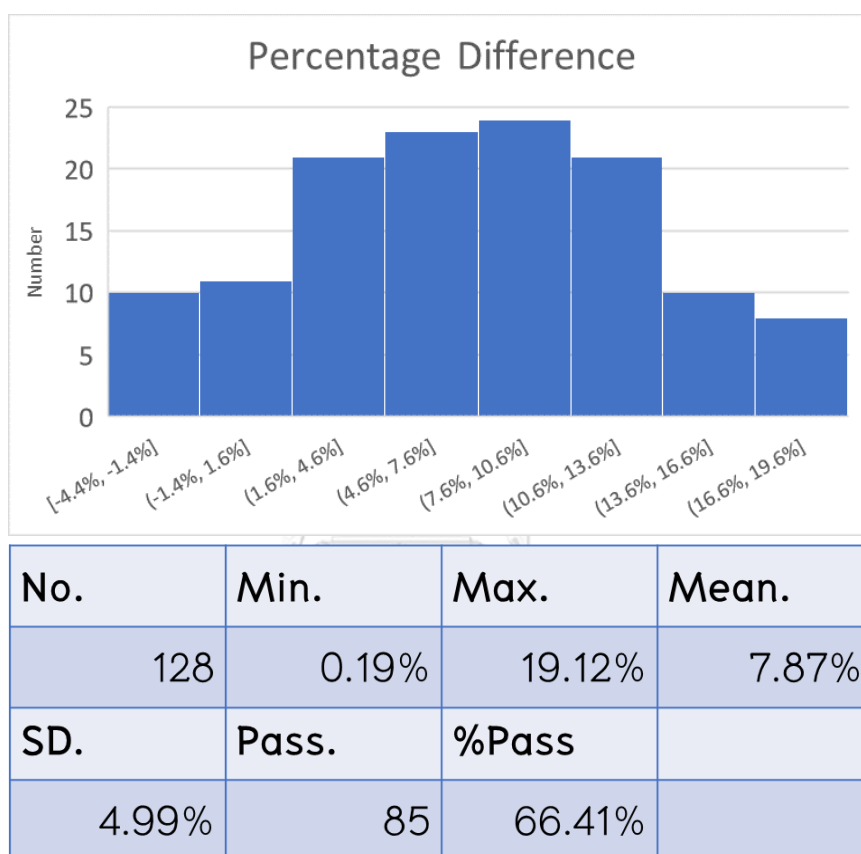


round	%Diff	<10%	round2	%Diff3	<10%4	round5	%Diff6	<10%7	round8	%Diff9	<10%10	round11	%Diff12	<10%13
1	14%	0	27	15%	0	53	10%	1	79	10%	1	105	5%	1
2	8%	1	28	9%	1	54	4%	1	80	4%	1	106	1%	1
3	12%	0	29	16%	0	55	8%	1	81	19%	0	107	3%	1
4	6%	1	30	10%	0	56	2%	1	82	13%	0	108	3%	1
5	13%	0	31	14%	0	57	10%	1	83	17%	0	109	4%	1
6	7%	1	32	8%	1	58	3%	1	84	11%	0	110	2%	1
7	11%	0	33	6%	1	59	8%	1	85	18%	0	111	2%	1
8	5%	1	34	0%	1	60	1%	1	86	12%	0	112	4%	1
9	13%	0	35	4%	1	61	9%	1	87	16%	0	113	11%	0
10	7%	1	36	2%	1	62	2%	1	88	10%	1	114	5%	1
11	11%	0	37	5%	1	63	6%	1	89	18%	0	115	9%	1
12	5%	1	38	1%	1	64	0%	1	90	12%	0	116	3%	1
13	12%	0	39	3%	1	65	15%	0	91	16%	0	117	10%	0
14	6%	1	40	3%	1	66	8%	1	92	9%	1	118	4%	1
15	10%	1	41	5%	1	67	12%	0	93	17%	0	119	8%	1
16	4%	1	42	1%	1	68	6%	1	94	10%	0	120	2%	1
17	19%	0	43	3%	1	69	13%	0	95	14%	0	121	10%	1
18	13%	0	44	3%	1	70	7%	1	96	8%	1	122	4%	1
19	17%	0	45	4%	1	71	11%	0	97	7%	1	123	8%	1
20	11%	0	46	2%	1	72	5%	1	98	0%	1	124	1%	1
21	18%	0	47	2%	1	73	13%	0	99	5%	1	125	9%	1
22	12%	0	48	4%	1	74	7%	1	100	2%	1	126	3%	1
23	16%	0	49	11%	0	75	11%	0	101	6%	1	127	7%	1
24	9%	1	50	5%	1	76	5%	1	102	1%	1	128	0%	1
25	18%	0	51	9%	1	77	12%	0	103	3%	1			
26	11%	0	52	3%	1	78	6%	1	104	3%	1			

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณดินที่แตกต่างกันโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ และแสดงการผ่าน(1)และไม่ผ่าน(0)ข้อกำหนดที่ยอมรับได้



ตารางจะแสดงผลลัพธ์ของค่าต่างปริมาณดินทั้ง 128 รูปแบบโดย round คือเลขที่ของรูปแบบ %Diff ย่อมาจาก Percentage Difference คือค่าต่างของปริมาณดินของรูปแบบนั้นๆกับปริมาณดินจาก Electronic Theodolite <10% คือการผ่านเงื่อนไขว่าค่า %Diff น้อยกว่า 10 % ตามเกณฑ์ที่ผู้วิจัยต้องการหรือไม่โดยที่ 0 คือไม่ผ่านเกณฑ์ 1 คือผ่านเกณฑ์ โดยผลลัพธ์คือจาก 128 รูปแบบ ปริมาณดินที่ยอมรับได้ 85 แบบ คิดเป็น 66.4 โดยเมื่อนำค่า %Diff มาวิเคราะห์ต่อจะได้ดังรูป



รูปที่ 41 แสดงการวิเคราะห์ค่า Percentage Difference

จากกราฟ (รูปบน) Percentage Difference จะเห็นว่า %Diff ที่แจกแจงออกมานั้นมีการแจกแจงคล้ายการแจกแจงแบบปกติโดยที่มีข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ (รูปล่าง) ดังนี้ No. คือจำนวน ซึ่งมีทั้งหมด 128 รูปแบบ, Min. คือค่าต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.19%, Max. คือค่าสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 19.12%, Mean. คือค่าเฉลี่ยโดยมีค่าเท่ากับ 7.87%, SD. คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยมีค่าเท่ากับ 4.99%, Pass. คือจำนวนรูปแบบที่ผ่านเกณฑ์โดยมี 85 รูปแบบ, %Pass คือเปอร์เซ็นต์ข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ โดยข้อมูลผ่านเกณฑ์ 66.41 %

#### 4.7 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

ทดสอบว่าค่าต่างของปริมาณดินที่ได้น้อยกว่า 10% หรือไม่ โดยกำหนดให้การกระจายตัวของค่าต่างปริมาณดินเป็นการกระจายตัวแบบปกติ(Normal Distribution)

i. ตั้งสมมติฐาน

$$\text{ให้ } H_0 : \mu = 10\%$$

$$H_A : \mu < 10\%$$

ii. กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\text{ที่ระดับความมั่นใจ 95\% } \alpha = 0.05$$

iii. เลือกวิธีการทางสถิติและคำนวณค่าสถิติ

เนื่องจากไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร จึงคำนวณความน่าจะเป็นจากการแจกแจงแบบ t ตามสมการที่ (6)

iv. หาค่า P-value โดยคำนวณจากเว็บไซต์ Statistics Kingdom (Statskingdom, 2017)

##### Calculation

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S/\sqrt{n}}$$

$$S.E = S/\sqrt{n} = 0.0499/\sqrt{128} = 0.004411$$

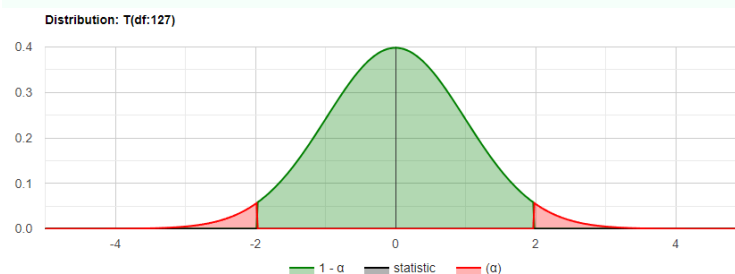
$$t = \frac{0.0787 - 0.1}{0.004411} = -4.8293$$

$$p = p(x \leq -4.8293) = 0.000001935$$

$$p\text{-value} = 2 * \text{Min}(p, 1 - p) = 2 * \text{Min}(0.000001935, 1) = 0.00000387$$

$$\text{Cohen's D} = \frac{|\bar{x} - \mu_0|}{S}$$

$$\text{Cohen's D} = \frac{|0.0787 - 0.1|}{0.0499} = 0.4269$$



รูปที่ 42 แสดงการคำนวณค่า p-value และกราฟที่ได้จากการคำนวณตามลำดับ

จากรูปจะเห็นว่าจากการคำนวณจะได้ค่า P-value เท่ากับ 0.00000387 ค่า t เท่ากับ -4.8293 โดยที่ค่า Cohen' D เป็นค่าที่บ่งบอก Effect size โดยที่ผลที่ได้คือ มีขนาด Effect size น้อย (0.2-0.5) ซึ่งบ่งบอกได้ว่ากราฟที่ได้มีความใกล้เคียงการ แจกแจงปกติอย่างมาก

v. ตัดสินใจและสรุปผล

เนื่องจาก P-value น้อยกว่า  $\alpha$

Reject  $H_0$

ทำให้สรุปได้ว่าค่าต่างของปริมาณดินที่ได้ไม่น้อยกว่า 10% อย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.8 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลการทดสอบ

- 1) นำแบบจำลองปริมาณดินทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบกัน

จากตารางและการทดสอบสมมติฐาน(Hypothesis Testing) จะเห็นได้ว่าค่าต่างของปริมาณ ดินที่ได้ไม่น้อยกว่า 10% อย่างมีนัยสำคัญ

- 2) นำค่าพิกัดและความสูงมาเปรียบเทียบกัน

โดยที่ความถูกต้องของกล้อง Electronic Theodolite ในแนวราบและแนวตั้งเท่ากับ 3 เซนติเมตร และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันในระบบพิกัด UTM 47N และค่า ระดับน้ำทะเลปานกลางจะได้ดังตาราง

station	Horiz.Precision	Vert.Precision	d.E	d.N	d.Elev
1	1.054	2.332	-2.812	-2.950	-1.068
2	0.246	0.397	-0.252	-1.809	-1.251
3	0.618	1.914	-0.752	-0.990	-0.189
4	0.294	0.632	-0.976	-0.929	-1.749
5	0.097	0.202	-0.062	-0.914	0.401
6	1.392	2.150	-1.891	0.602	-0.949

7	0.498	1.022	0.670	-0.852	-0.295
8	1.296	3.217	2.825	0.977	0.424
9	0.428	0.636	-4.194	0.797	-0.541
10	0.726	1.582	1.678	2.641	1.135
11	0.067	0.111	-0.151	1.503	-0.883
12	0.485	0.780	-0.858	-0.541	1.130
13	0.314	0.587	-0.071	-0.331	-0.149
14	0.076	0.152	-1.105	0.398	0.418
15	0.102	0.204	0.411	-0.818	0.927
16	0.470	1.104	-1.872	-1.009	1.167
17	0.225	0.605	0.569	0.544	-0.668
18	0.089	0.299	2.185	1.141	0.478
19	1.895	3.863	0.030	-1.482	1.057
20	0.147	0.217	0.220	0.986	0.293
21	0.039	0.079	0.203	-0.743	0.482
BM1	0.097	0.120	-1.089	-0.716	-0.082
BM2	0.122	0.199	-0.048	-2.909	0.752
mean			1.084	1.156	0.717

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าพิกัดและความสูงของจุดทดสอบ

ตารางนี้เป็นตารางเปรียบเทียบค่าพิกัดและความสูงของการสำรวจด้วย Electronic Theodolite และสมาร์ตโฟนโดยที่คอลัมน์ station แสดงชื่อหมุดทดสอบ (1-21) และหมุดควบคุมชั่วคราว (BM1, BM2) คอลัมน์ที่สองและสาม Horiz.Precision, Vert.Precision แสดงค่า Horizontal Precision และ Vertical Precision ในหน่วยเมตรที่มาจากการประมวลผลของข้อมูลสมาร์ตโฟนใน TBC เท่านั้น คอลัมน์ที่สี่และห้า d.E, d.N คือค่าต่างในหน่วยเมตรของ Easting, Northing ของพิกัดที่มาจากสมาร์ตโฟนกับพิกัดที่มาจาก Electronic Theodolite ที่แปลงพิกัดจากพิกัดศูนย์กำเนิดมาเป็น UTM 47N เรียบร้อยแล้ว d.Elev คือค่าต่างในหน่วยเมตรของค่าต่างระดับน้ำทะเลปานกลางของข้อมูลที่มาจากสมาร์ตโฟนกับข้อมูลที่มาจาก Electronic Theodolite

ซึ่งจากตารางจะเห็นว่าค่าความแม่นยำในการประมวลผลเฉพาะข้อมูลสมาร์ตโฟนที่ดีที่สุดที่ 4 เซนติเมตรในแนวราบ 8 เซนติเมตรในแนวตั้ง แต่เมื่อนำข้อมูลในแนวราบของทั้งสองมาเปรียบเทียบกันจะมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสูงมาก ที่เป็นเช่นนั้นทางผู้วิจัยคาดว่าจะเกิดจากการที่ข้อมูลพิกัดทางราบของทั้งสองรูปแบบมีที่มาและความแม่นยำไม่เหมือนกันโดยพิกัดทางราบจากสมาร์ตโฟน

มีที่มาจาการับสัญญาณดาวเทียมทำให้ได้ข้อมูลในระบบพิกัด UTM 47N ในขณะที่พิกัดทางราบจาก Electronic Theodolite มาจากพิกัดฉากศูนย์ลอยที่เมื่อนำไปอ้างอิงพิกัดจากหมุดหลักเขตจึงได้กลายเป็นพิกัดหมุดศูนย์กำเนิดแล้วจึงได้ทำการแปลงค่าพิกัดทางราบของหมุดทดสอบ, หมุดควบคุมชั่วคราว, และหมุดหลักเขตโดยใช้ conformal transformation ที่มีที่มาจาการคำนวณด้วยหมุด 3 หมุดซึ่งกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนในการแปลงสูงมาก ทำให้ในงานวิจัยนี้การนำค่าพิกัดทางราบของทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันไม่ได้สะท้อนความจริง ซึ่งในการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบต้องใช้ข้อมูลพิกัดทางราบที่อยู่ในระบบ UTM 47N ที่อยู่ภายในพื้นที่ ที่มีค่าความถูกต้องสูงกว่าอุปกรณ์ซึ่งเกินขอบเขตความสามารถของอุปกรณ์ ทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถนำข้อมูล d.E และ d.N ไปใช้ในการสรุปผลการวิจัยได้ ในส่วนของค่า d.Elev สามารถนำมาเปรียบเทียบและสรุปได้เนื่องจากข้อมูลอ้างอิงอยู่ในระบบความสูงเดียวกันคือ MSL ซึ่งในการสำรวจด้วย Electronic Theodolite ผู้วิจัยอ้างอิงจากหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติในขณะที่การสำรวจด้วยสมาร์ตโฟนผู้วิจัยอ้างอิงกับข้อมูลการแปลงพิกัดโดยแบบจำลองย็อยด์ TGM2017 ทำให้ทำข้อมูลความสูงจากการสำรวจทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบได้โดย ค่าต่างความสูงที่ต่ำที่สุด(น้อยที่สุด)อยู่ที่ 0.082 เมตรโดยมีค่าเฉลี่ย 0.717 เมตร

3) นำค่าใช้จ่ายและผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกันเพื่อหาความคุ้มค่า

i. วิธีใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107

ใช้คน 4 คน วันละ 350 บาทเป็นเวลา 7 วันเท่ากับ 9,800 บาท และกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 ราคา 30,000 บาท (พินัมเบอร์วันอินสตรูเมนต์, 2565) (ราคาปี 2564) เช่าวันละ 400 บาทเช่า 7 วันเป็นราคา 2,800 บาทพร้อมไม้สตัฟฟ์ ตลับเมตร และสมุดภาคสนาม ใช้เวลาในการสำรวจพื้นที่ที่มีขนาดประมาณพื้นที่วิจัยใช้เวลาประมาณ 1 อาทิตย์และมีค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 12,600 บาท โดยจะได้ค่าความละเอียดถูกต้องในระดับเซนติเมตร

ii. วิธีใช้สมาร์ตโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30

ใช้ คน 1 คน วันละ 350 เป็นเวลา 7 วันเท่ากับ 2,450 บาทสมาร์ตโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 ราคา 10,000 บาท (Huawei, 2019) (ราคาปี 2564) เช่าวันละ 100 เป็นเวลา 7 วันเป็นราคา 700 บาทขาตั้งกล้อง ตลับเมตร โดยใช้เวลารวบรวมข้อมูลโดยประมาณ 1 อาทิตย์และมีค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 3,150 บาท โดยจะได้ค่าความละเอียดถูกต้องในระดับเดซิเมตร

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของการใช้สมาร์ทโฟนในการหาปริมาณดินด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ Network VRS RTK ในพื้นที่ว่างเปล่า โดยเลือกศึกษาจากสมาร์ทโฟนชนิดสองความถี่รุ่น Huawei P30 ในพื้นที่จังหวัดน่านประเทศไทย โดยนำไปประเมินเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมคือการใช้กล้องสำรวจโดยทางผู้วิจัยเลือกใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 เป็นวิธีอ้างอิงถึงความถูกต้อง

##### 5.1.1 สรุปการเตรียมการก่อนลงพื้นที่

ก่อนจะลงพื้นที่วิจัยผู้วิจัยได้ทำการเตรียมข้อมูลได้แก่ข้อมูลหมุดควบคุมทางระดับที่อยู่ใกล้พื้นที่วิจัยโดยหมุดที่ได้คือหมุดควบคุมทางระดับจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ หมุดหมายเลข SBM.14041-58 ที่มีค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) อยู่ที่ 200.42841 m ข้อมูลของหมุดหลักเขตของขอบเขตของที่ดินที่ใช้ในการวิจัยโดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสำนักงานที่ดินจังหวัดน่าน ข้อมูลสถานีฐาน (Base Station) จากสถานี CORS ของกรมที่ดินในรูปแบบ Network Virtual Reference Station (VRS) โดยทำหนังสือขอความอนุเคราะห์สำหรับการเข้าใช้งานจากกรมที่ดิน ข้อมูลค่าแกนนาฬิกาดาวเทียม, วงโคจรดาวเทียม, ค่าแก้ไขบรรยากาศและค่าแก้ไขอากาศจาก IGS ข้อมูลแบบจำลองย็อยด์ TGM2017 สำหรับการแปลง ellipsoidal height เป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง MSL ข้อมูลตำแหน่ง antenna ของ Huawei P30 และเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นได้แก่ ประกอบกับอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ ได้แก่ สมาร์ทโฟนแบบสองความถี่ Huawei P30, กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107, ไม้สตาฟ, ตลับเมตร, ฆุ่ดไม้, ค้อน, ลูกดิ่ง, สมุดสนาม, และแม่เหล็กและแผ่นแม่เหล็กที่มีขนาดเท่ากันพร้อมทีมงาน 4 คนแล้วทำการลงพื้นที่จริงต่อไป

ในการลงพื้นที่โดยสังเขปผู้วิจัยทำการลงพื้นที่ครั้งแรกเพื่อทำการสำรวจพื้นที่แบบสังเขปและปักหมุดควบคุมชั่วคราวจำนวน 2 หมุด หมุดทดสอบจำนวน 21 หมุดตามข้อกำหนดของงานทางและงานระดับขั้นที่ 3

##### 5.1.2 สรุปการสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107

ทำการสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 โดยเริ่มจากการถ่ายระดับจากหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติที่อยู่ใกล้บริเวณพื้นที่วิจัยมายังหมุดควบคุมชั่วคราวที่อยู่ในพื้นที่วิจัยตามข้อกำหนดของงานระดับขั้นที่ 3 โดยเดินระดับทั้งหมด 6 stations เป็น

ระยะทาง 663.8 เมตรโดยเดินไป-กลับ ผลลัพธ์ที่ได้จากการเดินระดับคือได้ผลต่างของการเดินระดับคือ 8 มิลลิเมตร ซึ่งไม่เกิน 9.8 มิลลิเมตรที่เป็นค่าที่กำหนดโดยมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3 ทำให้ได้ค่าระดับของหมุด BM1 ซึ่งเป็นหมุดควบคุมชั่วคราวที่อยู่ในพื้นที่วิจัยมีค่าระดับน้ำทะเลปานกลางต่ำกว่าหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ อยู่ 1.749 m จากนั้นทำการถ่ายค่าพิกัดทางราบจากหมุดหลักเขตมายังหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบโดยก่อนจะถ่ายระดับต้องทำการแปลงค่าพิกัดของหมุดหลักเขตที่อยู่ในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดโดยแปลงหน่วยให้เป็นเมตรแล้วจึงทำการถ่ายค่าพิกัดทางราบไปยังหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบทั้งหมด จากนั้นทำการถ่ายค่าระดับน้ำทะเลปานกลางจากหมุดควบคุมชั่วคราว BM1 ไปยังหมุดควบคุมชั่วคราว BM2 และหมุดทดสอบทั้งหมดและเมื่อนำข้อมูลมารวมกันจะได้ข้อมูลค่าพิกัดและค่าระดับของหมุดทดสอบที่ค่าพิกัดอยู่ในระบบพิกัดศูนย์กำเนิดและค่าระดับน้ำทะเลปานกลางตามลำดับโดยทั้งหมดอยู่ในหน่วยเมตร

#### 5.1.3 สรุปการสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้ สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30

การสำรวจรังวัดพื้นที่โดยใช้ สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 เริ่มด้วยการเตรียมอุปกรณ์โดยนำแม่เหล็กติดที่ตรงกลางของงานปรับระดับและนำแผ่นแม่เหล็กไปติดที่จุดกึ่งกลางข้างหลังสมาร์ตโฟนตั้งรูปแล้ววัดตำแหน่งเก็บไว้ไปคำนวณในภายหลัง จากนั้นนำขาตั้งกล้องงานปรับระดับที่ติดแม่เหล็ก สมาร์ทโฟน ตลับเมตร และลูกดิ่งลงพื้นที่วิจัย

โดยจะรับสัญญาณสองความถี่แบบ Kinematic ในเวลากลางคืนรับข้อมูลทุกๆ 1 วินาทีเป็นเวลาจุดละ 1 ชั่วโมงโดยใช้เวลาในการรับสัญญาณ 5 วันในการลงพื้นที่ การรับสัญญาณทำโดยนำขาตั้งกล้องและงานปรับระดับที่ติดแม่เหล็กแล้วมาตั้งบนหมุดทดสอบโดยใช้ลูกดิ่งในการระบุตำแหน่งบนหัวหมุดทดสอบและใช้งานปรับระดับในการปรับระดับฟองกลมจากนั้นนำสมาร์ตโฟนมาวางบนงานปรับระดับโดยหันหัวไปทางทิศเหนือและวางไว้บนตำแหน่งแม่เหล็กที่ล็อกเอาไว้เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีทิศทางเดียวกันเพื่อนำไปปรับแก้ในภายหลัง จากนั้นทำการรับสัญญาณโดยใช้ แอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger สำหรับรับรังวัดพิกัด GNSS แบบ kinematics และ Lefebure NTRIP Client สำหรับรับค่าแก้จากสถานี CORS ของกรมที่ดินในรูปแบบ VRS โดยจะได้มาในรูปแบบไฟล์ RTCM 3.2 โดยหลังจากรับสัญญาณครบทุกสถานีแล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาประมวลผลภายหลังโดยขั้นแรกจะทำการสร้างสถานีฐานเสมือนโดยนำไฟล์ RTCM 3.2 จากแอปพลิเคชัน Lefebure NTRIP Client มาแปลงเป็นไฟล์ RINEX โดยใช้ RTKCONV จากใน RTKLIB ขั้นต่อมาทำการประมวลผลพิกัดของหมุดทดสอบและหมุดควบคุมชั่วคราว โดยนำไฟล์ RINEX ที่เป็นสถานีฐานเสมือนจากขั้นตอนที่แล้ว, ข้อมูลความสูงเอียง (slant height), ไฟล์ RINEX จากแอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger, ไฟล์ค่าแก้จาก IGS, ข้อมูลตำแหน่งเสาอากาศของสมาร์ตโฟน, ข้อมูลตำแหน่งของแผ่นแม่เหล็ก, และแบบจำลองย็อยด์ TGM2017 มาประมวลผลภายหลังแบบ Kinematic โดยใช้

ดาวเทียม GPS, QZSS, GALILEO, GLONASS, BDS โดยใช้ TBC แต่ไม่สามารถประมวลข้อมูลแบบสองความถี่ได้จึงใช้แค่ความถี่ L1 เท่านั้น โดยจะนำข้อมูลไปประเมินผลใน RTKLIB ต่อไป

ผลจากการประมวลผลภายหลัง (post processing) ข้อมูลจากการรับสัญญาณโดยใช้สมาร์ตโฟน ประมวลผลแบบ Kinematic โดยใช้ข้อมูลความถี่เดียวจากดาวเทียม GPS, QZSS, GALILEO, GLONASS, BDS โดยที่ค่าพิกัดอยู่ในระบบ UTM 47N โดยใช้ TBC ในการประมวลผลจะเห็นว่าค่า Horizontal Precision จะมีช่วงอยู่ในค่า 0.039 ถึง 1.895 โดยที่ข้อมูลส่วนใหญ่ (74%) จะมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ 0.039 ถึง 0.569 โดยที่มีค่าที่ดีที่สุดที่ 0.039 เมตร, ค่า Vertical Precision จะมีข้อมูลอยู่ในช่วง 0.079 ถึง 3.863 โดยที่ข้อมูลส่วนใหญ่ (74%) จะมีค่าความถูกต้องอยู่ในช่วง 0.079 ถึง 1.160 โดยที่มีค่าที่ดีที่สุดที่ 0.079 เมตร, ค่า Solution Ratio ซึ่งแสดงจำนวนข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้จริงต่อจำนวนข้อมูลที่สามารถนำมาประมวลผลได้ ข้อมูล 87% มีค่า solution ratio อยู่ที่ 97.71 - 100% ซึ่งเมื่อนำค่า solution ratio ของข้อมูลทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ 98.96%, ค่า Time Use แสดงเวลา(นาทิจ)ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้จริงได้ โดยมี 4 จุดซึ่งคิดเป็น 17% เท่านั้นที่สามารถนำข้อมูลทั้งหมด 60 นาทีมาใช้งานได้ มี 15 ข้อมูลซึ่งคิดเป็น 65% ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้ 30 นาทีขึ้นไป ซึ่งเวลาที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 37 นาที, ค่า Percentage Use แสดงเปอร์เซ็นต์ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้จริง โดยมี 4 จุดซึ่งคิดเป็น 17% เท่านั้นที่สามารถนำข้อมูลมากกว่า 99% มาใช้งานได้ มี 10 ข้อมูลซึ่งคิดเป็น 43% ที่สามารถนำข้อมูล 75% ขึ้นไปมาใช้งานได้ มี 15 ข้อมูลซึ่งคิดเป็น 65% ที่สามารถนำข้อมูล 50% ขึ้นไปมาใช้งานได้ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้จริงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 60%, และค่า Convergence Time แสดงเวลา(นาทิจ)ที่ใช้ในการลู่เข้าของข้อมูล โดยมี 12 จุดซึ่งคิดเป็น 52% ที่ใช้ระยะเวลาในการลู่เข้าน้อยกว่านาทิจ มี 18 จุดซึ่งคิดเป็น 78% ที่ใช้ระยะเวลาในการลู่เข้าน้อยกว่า 10 นาที โดย Convergence Time มีค่าต่ำสุดน้อยกว่านาทิจสูงสุดที่ 40 นาทีโดยมีค่าเฉลี่ย 9 นาที

เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความถูกต้องที่แม่นยำมากขึ้นผู้วิจัยจะทำการตัดจุดรับสัญญาณบางจุดที่ข้อมูลมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าจุดอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัดได้แก่จุด 1, 3, 6, 8, 11, 19 ซึ่งจะเหลือข้อมูล 17 จุด คิดเป็น 74% ของข้อมูลทั้งหมดซึ่งเป็นจุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำและเกาะกลุ่มกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์แล้วจะได้ว่า ค่า Horizontal Precision มีค่าต่ำสุดที่ 0.039 เมตร สูงสุดที่ 0.485 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.189 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.133 เมตร, ค่า Vertical Precision มีค่าต่ำสุดที่ 0.079 เมตร สูงสุดที่ 0.78 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.348 เมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.228 เมตร, ค่า Convergence Time มีค่าต่ำสุดที่น้อยกว่านาทิจสูงสุดที่ 40 นาที โดยมีค่าเฉลี่ย 13 นาที ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12 นาที

ประมวลผลพิกัดของหมุดทดสอบและหมุดควบคุมชั่วคราว โดยทำ post processing แบบ Kinematic โดยใช้ RTKPOST จากใน RTKLIB โดยจะประมวลผลแบบสองความถี่ในรูปแบบต่างๆ



เพื่อหาข้อเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลเหมือนการประมวลผลความถี่เดียวโดยใช้ TBC โดยผลลัพธ์จากการประมวลผลจะได้อาการใช้เพียงข้อมูลความถี่เดียวจะมีข้อมูลที่มีสถานะ Fixed บางส่วนและมีความนิ่งของข้อมูลพอประมาณ ในขณะที่การใช้ข้อมูลทั้งสองความถี่ข้อมูลจะเหวี่ยงมากในช่วงแรกแล้วจะกลับมาเหวี่ยงน้อยลงแต่ก็ยังเหวี่ยงขึ้นลงมากกว่า 1 เมตรและสูงได้ถึง 5 เมตรซึ่งผู้วิจัยคาดว่าข้อมูลจะมีค่ากระโดดที่สูงมากคือข้อมูลจะขึ้นลงไม่นิ่งทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งที่แม่นยำได้ทำให้ผู้วิจัยคิดว่าไม่สามารถนำข้อมูลนี้มาใช้ในการคำนวณหาปริมาณดินได้ จึงได้ใช้ข้อมูลที่ประมวลผลแบบความถี่เดียว และเมื่อวิเคราะห์ต่อจะได้ว่าข้อมูลที่ได้มาจากความถี่ L1 จะมีปริมาณข้อมูลที่มากกว่าโดยดูจากความหนาแน่นของข้อมูล, ค่า SNR ข้อมูล L1 จะมีช่วงกว้างกว่าคือมีช่วง 30-55 dBHz โดยที่ข้อมูล L5 มีช่วงแคบกว่าคือมีช่วง 30 40 dBHz เท่านั้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพข้อมูล L1 มีคุณภาพดีกว่าข้อมูล L5 อย่างมาก, ค่า Multipath ข้อมูล L1 จะมีความเสถียรมากกว่าข้อมูล L5 และค่า Elevation ยิ่งข้อมูลมี elevation สูงค่า SNR ยิ่งสูง ทำให้ผู้วิจัยสรุปได้ว่ายิ่งมีดาวเทียมอยู่บนหัวผู้ใช้โดยมีตำแหน่งทางราบใกล้เคียงกับผู้ใช้มากเท่าไรก็จะทำให้ผู้ใช้สามารถรับสัญญาณที่มีคุณภาพได้มากเท่านั้น โดยจะเห็นว่าข้อมูล L1 มีดาวเทียมมากกว่าข้อมูล L5 และมีจำนวนดาวเทียมที่มี Elevation สูง มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด

ผลที่ได้จะเห็นว่าระดับความถูกต้องที่ดีที่สุดทางราบ 4 cm ทางตั้ง 8 cm โดยจะเห็นว่าความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับการใช้ข้อมูลที่สามารถนำมาประมวลผลได้และจะมีข้อมูลบางส่วนที่ต้องใช้เวลาในการสุ่มค่าๆหนึ่งโดยข้อมูลที่ใช้เวลาในการสุ่มเข้ามาสูงสุดใช้เวลาถึง 40 นาที

#### 5.1.4 สรุปการแปลงพิกัดของหมุดหลักเขต

จากนั้นสร้างขอบเขตของที่ดินจากหมุดหลักเขตด้วยการแปลงข้อมูลหมุดหลักเขตจากพิกัดหมุดศูนย์กำเนิดที่มีหน่วยเป็นเมตรมายังพิกัด UTM 47N โดยใช้ conformal transformation โดยใช้โปรแกรม Matlab โดยใช้ข้อมูลของจุด 5, 8, 21 ซึ่งกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ในการแปลง โดยผลที่ได้จากการแปลงคือ  $a = 1.00571$ ,  $b = 0.06419$ ,  $c = 712536.886$ ,  $f = 2100321.216$  โดยที่ความคลาดเคลื่อนจากการแปลงพิกัดแต่ละจุดคือ จุด 5 (0.059, 0.863) จุด 8 (0.147, -1.554) จุด 11 (-0.206, 0.692)

#### 5.1.5 สรุปการหาปริมาณดิน

ในการสร้างแบบจำลองทำโดยนำค่าพิกัดของหมุดทดสอบและหมุดควบคุมชั่วคราว ในระบบพิกัด UTM 47N และความสูงอยู่ในระบบ MSL และนำเข้าพิกัดทางราบของหมุดหลักเขตที่แปลงพิกัดให้อยู่ในระบบพิกัด UTM 47N เรียบร้อยแล้วมาประมวลผลใน TBC โดยสร้างแบบจำลองใน TIN surface, Contour, Surface Slicer โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ แบบจำลอง TIN surface จากข้อมูลพิกัดของ Electronic Theodolite และสมาร์ทโฟนเมื่อมองในมุม top view จะเหมือนกันอย่างมาก, แบบจำลอง Contour มีความใกล้เคียงกันโดยที่ความสูงจากกล้อง Electronic Theodolite จะมี

ความสม่ำเสมอของข้อมูลมากกว่าข้อมูลจากสมาร์ทโฟน, Surface Slicer ผลจาก Electronic Theodolite จะมีความราบเรียบของข้อมูลมากกว่าโดยช่วงแรกข้อมูลจะมีความชันน้อยและมีความชันมากในภายหลัง ผลจากสมาร์ทโฟนความสูงจะไม่ค่อยคงที่แต่ยังมีแนวโน้มใกล้เคียงกันคือความสูงจะมากสุดในช่วงแรกและค่อยๆลดลงในช่วงท้ายจากนั้นทำการหาปริมาณดินโดยกำหนดให้ความสูงหลังการถมที่ต้องการอยู่ที่ 199.148 m เท่ากันทั้งพื้นที่และปริมาณดินที่ผิดพลาดที่ยอมรับได้ไม่เกิน 10% ซึ่งเมื่อประมวลผลออกมาแล้วจะได้ว่าปริมาณดินของวิธีใช้กล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 อยู่ที่ 11,330.7 ลบ.ม. ปริมาณดินของวิธีใช้สมาร์ทโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 อยู่ที่ 9,784.3 ลบ.ม. ซึ่งต่างกันอยู่ 9.7% จากนั้นจึงทำการตัดช่วงข้อมูลมาบางส่วน ส่วนละ 30 นาที ของทุกๆข้อมูลและนำมาสลับกันมาทำการคำนวณหาปริมาณดิน โดยนำมาทั้งหมด 128 รูปแบบ โดยใช้โปรแกรม Matlab ในการช่วยเลือกช่วงข้อมูลทำการสลับและนำข้อมูลแต่ละรูปแบบไปคำนวณหาปริมาณดินใน TBC แล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณดินจาก Electronic Theodolite ผลที่ได้คือปริมาณดินที่ยอมรับได้ 85 รูปแบบจาก 128 รูปแบบ คิดเป็น 66.41% โดย Percentage Difference ที่แจกแจงออกมานั้นมีการแจกแจงคล้ายการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งมีค่าต่ำสุด 0.19% ค่าสูงสุด 19.12% ค่าเฉลี่ย 7.87% ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.99%

#### 5.1.6 สรุปการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

เพื่อสรุปผลผู้วิจัยจึงนำค่าที่ได้ไปทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) โดยกำหนดให้ค่าต่างของปริมาณดินมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) และใช้วิธีทางสถิติแบบ t-test ที่ระดับความมั่นใจ 95% จะได้ค่า P-value เท่ากับ 0.00000387 ค่า t เท่ากับ -4.8293 โดยที่ค่า Cohen' D อยู่ในช่วง 0.2 - 0.5 ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าค่าต่างของปริมาณดินที่ได้น้อยกว่า 10% อย่างมีนัยสำคัญ

#### 5.1.7 สรุปการเปรียบเทียบค่าพิกัดจากการสำรวจโดยใช้สมาร์ทโฟนเทียบกับการใช้กล้อง

##### Electronic Theodolite

เมื่อนำค่าพิกัดและความสูงมาเปรียบเทียบกันจะเห็นว่าค่าความถูกต้องทางราบและดิ่งของการใช้ Electronic Theodolite ในระยะ 60 เมตร อยู่ที่ 3 เซนติเมตรค่าความแม่นยำในการประมวลผลเฉพาะข้อมูลสมาร์ทโฟนดีที่สุดที่ 4 เซนติเมตรในแนวราบ 8 เซนติเมตรในแนวตั้ง แต่เมื่อนำข้อมูลในแนวราบของทั้งสองมาเปรียบเทียบกันจะมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสูงมาก ที่เป็นเช่นนั้นทางผู้วิจัยคาดว่าจะเกิดจากการที่ข้อมูลพิกัดทางราบของทั้งสองรูปแบบมีที่มาและความแม่นยำไม่เหมือนกันโดยที่พิกัดทางราบจากสมาร์ทโฟนมีที่มาจาการรับสัญญาณดาวเทียมทำให้ได้ข้อมูลมาในระบบพิกัด UTM 47N ในขณะที่พิกัดทางราบจาก Electronic Theodolite มาจากพิกัดฉากศูนย์ลอยที่เมื่อนำไปอ้างอิงพิกัดจากหมุดหลักเขตจึงได้กลายเป็นพิกัดหมุดศูนย์กำเนิดในหน่วยเมตรแล้วจึงได้ทำการแปลงค่าพิกัดทางราบของหมุดทดสอบ, หมุดควบคุมชั่วคราว, และหมุดหลักเขต

โดยใช้ conformal transformation ที่มีที่มาจากค่านวนด้วยหมุด 3 หมุดซึ่งกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนในการแปลงสูงมาก ทำให้ในงานวิจัยนี้การนำค่าพิกัดทางราบของทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันไม่ได้สะท้อนความจริง ซึ่งในการเปรียบเทียบค่าพิกัด ทางราบต้องใช้ข้อมูลพิกัดทางราบที่อยู่ในระบบ UTM 47N ที่อยู่ภายในพื้นที่ ที่มีค่าความถูกต้องสูงกว่าอุปกรณ์ซึ่งเกินขอบเขตความสามารถของอุปกรณ์ ทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถนำข้อมูล d.E และ d.N ไปใช้ในการสรุปผลการวิจัยได้ ในส่วนของค่า d.Elev สามารถนำมาเปรียบเทียบและสรุปได้เนื่องจากข้อมูลอ้างอิงอยู่ในระบบความสูงเดียวกันคือ MSL ซึ่งในการสำรวจด้วย Electronic Theodolite ผู้วิจัยอ้างอิงจากหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติในขณะที่การสำรวจด้วยสมาร์ตโฟนผู้วิจัยอ้างอิงกับข้อมูลการแปลงพิกัดโดยแบบจำลองยี่ห้อ TGM2017 ทำให้ทำข้อมูลความสูงจากการสำรวจทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบได้โดย ค่าต่างความสูงที่ดีที่สุด (น้อยที่สุด) อยู่ที่ 0.082 เมตรโดยมีค่าเฉลี่ย 0.717 เมตร

#### 5.1.8 สรุปการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลลัพธ์การสำรวจโดยใช้สมาร์ตโฟนเทียบกับการใช้กล้อง Electronic Theodolite

เมื่อนำค่าใช้จ่ายและผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าในการทำงานโดยใช้วิธีกล้อง Electronic Theodolite รุ่น PENTAX ETH-107 จะใช้เวลาประมาณ 1 อาทิตย์ และมีค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 12,600 บาท โดยจะได้ค่าความถูกต้องทางราบและทางดิ่ง 3 เซนติเมตรในขณะที่วิธีใช้สมาร์ตโฟน แบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 จะใช้เวลาประมาณ 1 อาทิตย์ และมีค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 3,150 บาท โดยจะได้ค่าความละเอียดถูกต้องที่ดีที่สุดในแนวราบ 4 เซนติเมตร แนวดิ่ง 8 เซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในแนวดิ่งในระดับเดซิเมตรซึ่งในการประเมินปริมาณดินปรับระดับในงานถมดินที่เป็นส่วนหนึ่งของงานดิน วิธีใช้สมาร์ตโฟนแบบสองความถี่รุ่น Huawei P30 เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากยังมีประเด็นต่าง ๆ ที่ต้องแก้ไขรวมถึงสามารถพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นได้โดยได้ทำการคิดวิเคราะห์และสรุปได้ออกมาดังนี้

- 1) การเชื่อมต่อ GPS เข้ากับสถานีฐานของกรมที่ดิน : ควรทำการตรวจสอบการเชื่อมต่อกับสถานีฐานก่อนลงพื้นที่ทำงานจริง เนื่องจากอาจเกิดปัญหาในการเชื่อมต่อ หรือ อุปกรณ์รับสัญญาณ GPS ไม่พร้อมรับสัญญาณได้
- 2) การทดลองใช้งาน อุปกรณ์รับสัญญาณ GPS : ควรทำการทดลองใช้อุปกรณ์ก่อนการลงพื้นที่ทำงานจริง ทั้ง การติดตั้งอุปกรณ์ วิธีการใช้งาน ข้อจำกัดของอุปกรณ์ และวิธีการนำ

ข้อมูลออกมาเพื่อประมวลผลต่อ เป็นต้น และควรทดสอบความแม่นยำ จำนวนดาวเทียมของการรับสัญญาณในวันนั้นด้วย

- 3) **เพิ่มความแม่นยำของ สมาร์ทโฟน :** เนื่องจากทางผู้วิจัยได้พยายามไม่เพิ่มอุปกรณ์เข้าไปเพื่อให้ต้นทุนในการสำรวจต่ำ ทั้งนี้ถ้าสามารถเพิ่มอุปกรณ์บางอย่างเช่น chock ring อาจจะทำให้ความถูกต้องสูงขึ้นจนถึงระดับเซนติเมตรได้ และสามารถเปลี่ยนจาก CORS ของกรมที่ดินไปใช้ CORS ของ National CORS Data Center (NCDC) (NCDC, 2021) ที่เป็นการร่วมบูรณาการของ 10 หน่วยงานได้แก่ 1. กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย 2. กรมที่ดิน 3. กรมโยธาธิการและผังเมือง 4. สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) 5. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) 6. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 8. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ 9. คณะกรรมการภูมิสารสนเทศแห่งชาติ 10. องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น ที่เปิดให้ทดลองใช้งานตั้งแต่เดือนกันยายน 2564 ซึ่งมีจำนวน CORS ทั้งหมด 250 สถานี
- 4) **เพิ่มจำนวนพื้นที่ทดสอบ :** เนื่องจาก ข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์และเวลาทำให้ผู้วิจัยทำการทดสอบในการรับสัญญาณเพียงพื้นที่เดียวและจากการอนุมานผลที่ได้ทำให้คาดการณ์ได้ว่า สมาร์ทโฟนนี้สามารถนำมาใช้งานได้เพียงพอต่อการหาปริมาณดิน
- 5) **เปลี่ยนไปใช้สมาร์ทโฟนครึ่งที่มีความถูกต้องในการรับสัญญาณมากกว่านี้ :** เนื่องจาก ข้อจำกัดในด้านค่าใช้จ่ายทางผู้วิจัยจึงได้นำเพียงสมาร์ทโฟนครึ่งสองความถี่รุ่น Huawei P30 เท่านั้นในการทำวิจัย
- 6) **เพิ่มข้อมูลบางอย่างเพื่อให้สามารถนำข้อมูลความถี่ชนิดที่สองไปใช้งานได้จริง :** หลังจากผู้วิจัยได้ทดสอบความถี่ชนิดที่สอง L5 แล้วพบว่าข้อมูลที่ได้นี้มีความคลาดเคลื่อนอยู่สูงมากในอนาคตอาจจะมีวิธีลดค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่นี้หรือเพิ่มคุณภาพของข้อมูลโดยการเพิ่มดาวเทียมที่มี Elevation สูง ที่อยู่ใกล้บริเวณจุดรับสัญญาณมากขึ้นเพื่อให้สามารถนำข้อมูลของความถี่ที่สองมาใช้ประกอบในการประมวลผลได้ เพื่อให้ได้ความถูกต้องและความเสถียรของข้อมูลมากยิ่งขึ้น

- 7) **เพิ่มอุปกรณ์เพื่อความสะดวกในการทำงาน** : ถ้าสามารถเพิ่มอุปกรณ์กันความร้อนที่ไม่รบกวนการรับสัญญาณ GNSS ได้จะทำให้สามารถรับสัญญาณในเวลากลางวันได้ก็จะช่วยให้สะดวกต่อการทำงานมากยิ่งขึ้น
- 8) **เพิ่มหมุดควบคุมทางราบเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางราบจากสมาร์ทโฟน** : ถ้าสามารถเพิ่มหมุดควบคุมทางราบที่มีความแม่นยำสูงในพื้นที่อย่างน้อย 2 หมุดได้จะทำให้สามารถระบุค่าความถูกต้องทางราบของสมาร์ทโฟนได้



## บรรณานุกรม



### เอกสารอ้างอิง

- กรมการพัฒนาชุมชน. (2564). เอกสารแนบการปรับปรุงคู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการ. กรุงเทพมหานคร: กรมการพัฒนาชุมชน.
- กรมชลประทาน. (2560). คู่มือปฏิบัติงานกระบวนการหลักการสำรวจทำแผนที่ทางพื้นดิน. กรุงเทพมหานคร: กรมชลประทาน.
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2554). การสำรวจเพื่อการออกแบบ โครงการอนุรักษ์ พัฒนา และฟื้นฟูแหล่งน้ำ. กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรน้ำ.
- กรมทางหลวง. (2550). คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง. กรุงเทพมหานคร: กรมทางหลวง.
- กรมที่ดิน. (2556). ค่าพิชิตฉากในการรังวัดของกรมที่ดิน. กรุงเทพมหานคร: กรมที่ดิน.
- กรมที่ดิน. (2561). คู่มือการรังวัดเฉพาะราย. กรุงเทพมหานคร: กรมที่ดิน.
- กรมที่ดิน. (2562). คู่มือการรังวัดเฉพาะรายโดยวิธีบันทึกข้อมูลผลการรังวัดด้วยกล้องสำรวจแบบประมวลผลรวม ยี่ห้อ SOUTH รุ่น NTS-345R6A. กรุงเทพมหานคร: กรมที่ดิน.
- กรมที่ดิน. (2564, 30 มิถุนายน 2021). ภาพรวมระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์. Retrieved from <https://dol-rtknetwork.com/index.php/npage/view/2>
- กรุงเทพมหานคร: กรมที่ดิน.
- กรมบัญชีกลาง. (2560). หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานชลประทาน. คณะกรรมการราคากลางและขึ้นทะเบียนผู้ประกอบการ กรุงเทพมหานคร: กรมบัญชีกลาง.
- กรมแผนที่ทหาร. (2562). โครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งแห่งชาติ. Retrieved from <https://gnss-portal.rtsd.mi.th/portal/home/webmap/viewer.html?useExisting=1&layers=db45261a8c76443dbe2e0c499a7f7e9a>. Retrieved 24 January 2565 <https://gnss-portal.rtsd.mi.th/portal/home/webmap/viewer.html?useExisting=1&layers=db45261a8c76443dbe2e0c499a7f7e9a> กรุงเทพมหานคร: กรมแผนที่ทหาร.
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2557). มาตรฐานงานทาง. กรุงเทพมหานคร: กรมโยธาธิการและผังเมือง.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2547). การเลือกใช้ตัวทดสอบสถิติ. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.
- รุ่งโรจน์ เจริญยศ. (2562). การประเมินผลความถูกต้องทางตำแหน่งของการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวรสำหรับงานรังวัดแปลงที่ดินในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

- สรรพชญ ชื่อนิติไพศาล. (2562). Geometric Transformations. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- เขาวลิต เนตรทองกลาง. (2562). การประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ตโฟนสำหรับการประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- พระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พ.ศ. 2543. (7 มีนาคม 2543). ราชกิจจานุเบกษา, 117 ก (16 ก), 13-14.
- พินัมเบอร์วันอินสตรูเมนต์. (2565). กล้องวัดมุมดิจิทัล ยี่ห้อ PENTAX. Retrieved from <https://www.p1instrument.co.th/>
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2560). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาแบบจำลองย่อยความละเอียดสูงของประเทศไทย TGM2017. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- กรุณาพร รัตนภูผา. (2562). การประมาณราคางานก่อสร้าง (พิมพ์ครั้งที่ 2 Ed.). เอกสารประกอบการสอนหลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พุทธศักราช 2562 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาโยธาสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ, กรุงเทพมหานคร.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2561). การสำรวจด้วยดาวเทียม Satellite Suveying. เอกสารประกอบการสอนวิชาการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- Agency, E. G. (2019). PPP-RTK market and technology report. pp. 12–17.
- Design, L. (2021). Google play, Lefebure NTRIP Client. Retrieved from [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lefebure.ntripclient&hl=en\\_US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lefebure.ntripclient&hl=en_US)
- EUSPA. (2017, 8 December 2022). Broadcom announces world's first dual frequency GNSS receiver for smartphones. Retrieved from <https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/broadcom-announces-world%E2%80%99s-first-dual-frequency-gnss-receiver-smartphones>
- GEO++. (2020). Google play, Geo++ RINEX Logger. Retrieved from <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.geopp.rinexlogger>
- Google. (2019, 3 December 2019). Google Earth User Guide. Retrieved from <http://earth.google.com/intl/ar/userguide/v4/index.htm>



- Huawei. (2019). Huawei P30 Specification. Retrieved from <https://consumer.huawei.com/th/phones/p30/specs/>
- IGS (Producer). (2015, 23 June 2023). RINEX, The Receiver Independent Exchange Format Version 3.03.
- IGS (Producer). (2018, 23 June 2023). RINEX, The Receiver Independent Exchange Format Version 3.04.
- IGS. (2022). IGS data. Retrieved from <https://igs.bkg.bund.de/browseFiles>. Retrieved 25 September 2022 <https://igs.bkg.bund.de/browseFiles>
- MathWorks. (2018). *MATLAB Desktop Tools and Development Environment*. Retrieved from <https://www.mathworks.com/help/matlab/>
- Microsoft. (2011). *Microsoft Office 365*. A Division of Microsoft Corporation One Microsoft Way Redmond, Washington: Microsoft Press.
- Murfin, T. (2017). Big news from Broadcom: 30-cm positioning for consumers. Retrieved from <https://www.gpsworld.com/big-news-from-broadcom-30-cm-positioning-for-consumers/>
- NCDC. (2021). National CORS Data Center (NCDC). Retrieved from <https://ncdc.in.th/portal/apps/sites/#/ncdc>
- PRECISION, A. (1998). Pentax Electronic Theodolite ETH-105A/107/107C/110C/110F/120C/120F Instruction MANUAL.
- RTCM. (2021). RTCM 10410.1 Standard for Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) Version 2.0. In.
- Sharma, H., Bochkati, M., Lichtenberger, C. A., & Pany, T. (2020). *Demonstration\_of\_Fused\_RTK\_Fixed\_\_Inertial\_Positioning\_Using\_Android\_Smartphone\_Sensors\_Only*.
- Statskingdom. (2017). Statistics Kingdom. Retrieved from <https://www.statskingdom.com/>
- Takasu, T. (2013). RTKLIB ver. 2.4.2 Manual.
- Trimble. (2021). Trimble Business Center Manual.
- Uradzinski, M., & Bakula, M. (2020). Assessment of Static Positioning Accuracy Using Low-Cost Smartphone GPS Devices for Geodetic Survey Points' Determination and Monitoring. *Applied Sciences*, 10(15). doi:10.3390/app10155308

- Wanninger, L., & Hesselbarth, A. (2020). GNSS code and carrier phase observations of a Huawei P30 smartphone: quality assessment and centimeter-accurate positioning. *GPS Solutions*, 24(2). doi:10.1007/s10291-020-00978-z
- Yamane, T. (1967). *Statistics, An Introductory Analysis* (2nd ed.). New York.
- Zeng, S., Kuang, C., & Yu, W. (2022). Evaluation of Real-Time Kinematic Positioning and Deformation Monitoring Using Xiaomi Mi 8 Smartphone. *Applied Sciences*, 12(1). doi:10.3390/app12010435







### มาตรฐานการคำนวณปริมาณดินในการคิดค่าใช้จ่าย

โดยมีเปอร์เซ็นต์เพื่อการบดอัดตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง (กรมบัญชีกลาง, 2560) ดังนี้ งานขุดดินฐานรากและถมดิน คิดเผื่อกันดินพังและทำงานสะดวก 30% (กรุณาพร รัตนภูผา, 2562)

- 1) งานวัสดุรองพื้นหรือปรับระดับ คิดเผื่อการยุบตัวเนื่องจากการบดอัดด้วยแรงคน
  - งานถมทราย เผื่อ 25%
  - งานถมดิน เผื่อ 30%
  - งานถมลูกรัง เผื่อ 35%
  - งานถมอิฐหัก เผื่อ 25%

### มาตรฐานงานโยธาจำกัดด้วยวิธีการวงรอบชั้นที่ 3 (กรมชลประทาน, 2560)

- 1) การวัดมุม
  - ใช้กล้องวัดมุมที่มีความละเอียด 1 ลิปดาหรือดีกว่า กรณีที่ใช้กล้องวัดมุมอิเล็กทรอนิกส์ต้องมีความละเอียด 20 ฟลิปดาหรือดีกว่า
  - จำนวนศูนย์ของการวัด 2 ศูนย์
  - ความต่างของแต่ละศูนย์กับค่าปานกลางไม่เกิน 10 ฟลิปดา
  - สถานีแรกและสถานีสุดท้ายของการวัดมุมต้องไม่เป็นมุมเดียวกัน
- 2) การวัดระยะ
  - ใช้เครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ หรือโซ่ลานเหล็ก (STEEL TAPE)
  - ความละเอียดของการวัดระยะ 1/7,500 หรือดีกว่า
- 3) การวัดแอซิมัทดาราศาสตร์
  - ทำการรังวัดแอซิมัท ทุก 30-40 มุม
  - จำนวนศูนย์ของการวัด 8-12 ศูนย์
  - Probable Error ของผลปานกลางไม่เกิน 5 ฟลิปดา
  - จำนวนแก้มวงรอบเมื่อตรวจสอบกับค่าแอซิมัทไม่เกินมุมละ 5 ฟลิปดา หรือ 15 ฟลิปดา  $\sqrt{N}$  (N=จำนวนมุม)
  - ความคลาดเคลื่อนในการบรรจบทางตำแหน่งเมื่อปรับแก้มแล้วไม่เกิน 1 : 5,000

### มาตรฐานงานโยธาระดับ โดยวิธีการระดับชั้นที่ 3 (กรมชลประทาน, 2560)

- 1) เครื่องมือและอุปกรณ์
  - ใช้กล้องระดับอัตโนมัติ หรือกล้อง Tilting ซึ่งมีความไวของหลอดระดับ 60 ฟลิปดา ต่อ 2 มิลลิเมตร หรือดีกว่า

- ใช้ไม้แบ่งส่วนเมตร แบบธรรมดา หรือ
- ใช้กล้องระดับดิจิตอล (Digital Level) ซึ่งมีกำลังขยายของกล้องส่อง ไม่น้อย กว่า 30 เท่า และความเที่ยงเบนมาตรฐานของการทำระดับไป – กลับ 2.0 มิลลิเมตร/กิโลเมตร หรือดีกว่า
- ใช้ไม้แบ่งส่วนเมตร ชนิดแถบรหัส (Bar Code) มีหลอดระดับฟองกลม ประกอบ และเหล็กทรงรับไม้แบ่งส่วนเมตร (Ground Plates)

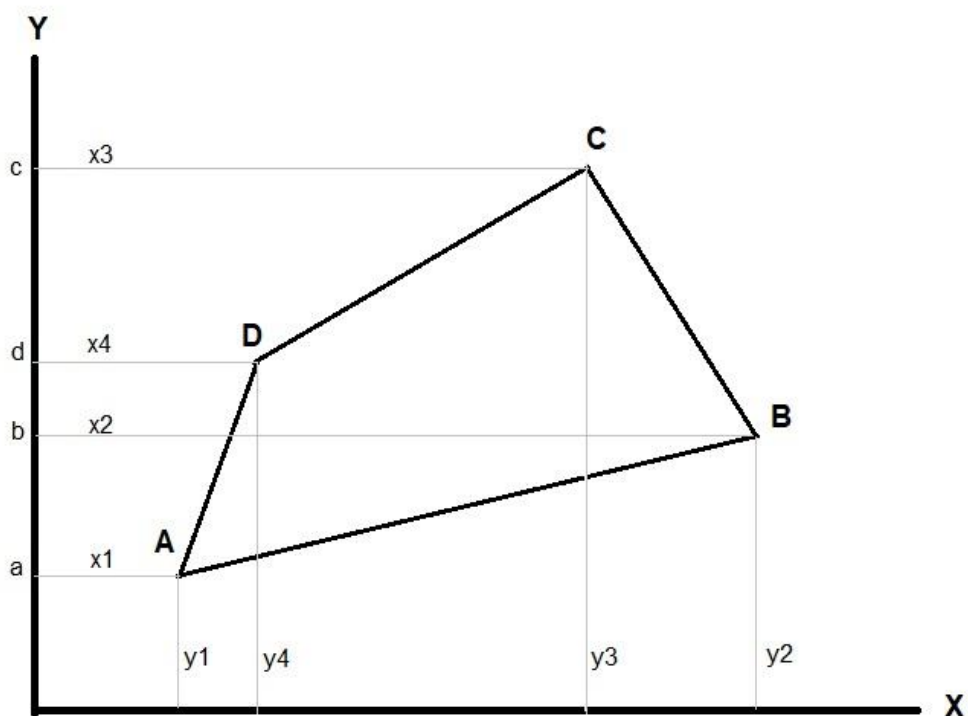
## 2) การปฏิบัติงานในสนาม

- ความยาวของสายการระดับ ไม่เกิน 40 กิโลเมตร
- ทำระดับเดี่ยวเดียว (Single Run) ถ้าหมุดหลักฐานที่ใช้ออกงานและเข้า บรรจบ อยู่ห่างกันไม่เกิน 20 กิโลเมตร ถ้าเกิน 20 กิโลเมตรให้ทำระดับแบบ ไป – กลับ
- ถ้าไม่มีหมุดหลักฐานเข้าบรรจบ ให้ทำ ระดับแบบไป – กลับ โดยเดินระดับเดี่ยว ขากลับ ผ่านหมุดหลักฐานทุกหมุดของเที่ยวขาไป
- แบ่งสายการระดับออกเป็นตอน ความยาวตอนละ 1 – 3 กิโลเมตร
- การอ่านค่าระดับให้อ่านทั้งสามสายใย คือ สายใยบน (U) สายใยกลาง (M) และ สายใยล่าง (L) โดยให้ ผลบวกของสายใยบนกับสายใยล่าง เทียบกับ 2 เท่าของ สายใยกลาง ต้องไม่เกิน 2 มิลลิเมตร
- ระยะไกลสุดระหว่างกล้องกับไม้แบ่งส่วนเมตร ไม่เกิน 100 เมตร
- หมุดออกงาน และหมุดบรรจบต้องไม่ใช่หมุดเดียวกัน
- ความคลาดเคลื่อนระหว่างเที่ยวขาไปกับเที่ยวขากลับ และในการเข้าบรรจบ หมุด ไม่เกิน 12 มิลลิเมตร  $\sqrt{K}$  (K=ระยะทางเป็น กิโลเมตร)

## มาตรฐานการคำนวณปริมาตรจากค่าพิกัดในอดีต

หลังจากนั้นนำค่าพิกัดและค่าระดับที่ได้มาทำการคำนวณหาปริมาณงานดินตามข้อกำหนด การก่อสร้างทางหลวงให้ใช้การคำนวณพื้นที่ด้วยวิธีคูณไขว้ (Coordinate Method) และใช้วิธีเฉลี่ย พื้นที่หน้าตัด (Average End Area Method) ในการคำนวณหาปริมาตรงานดิน (กรมทางหลวง, 2550)

### 1. การคำนวณพื้นที่ด้วยวิธีคูณไขว้ (Coordinate Method)



รูปที่ 43 แสดงการคำนวณพื้นที่โดยวิธีพิภักดาน (กรมทางหลวง, 2550)

กำหนดให้ ABCD เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่ต้องการหาเนื้อที่มี Coordinate เท่ากับ  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ ,  $(x_4, y_4)$  จากรูปจะได้ว่า

สมการที่ 7 แสดงการคำนวณพื้นที่ด้วยกฎคุนไฮ

$$\text{พื้นที่ (A)} = ABba + BCcb - ADda - DCcd$$

$$= \frac{1}{2} (x_1 + x_2)(y_2 - y_1) + \frac{1}{2} (x_2 + x_3)(y_3 - y_2) - \frac{1}{2} (x_1 + x_4)(y_4 - y_1) - \frac{1}{2} (x_3 + x_4)(y_3 - y_4)$$

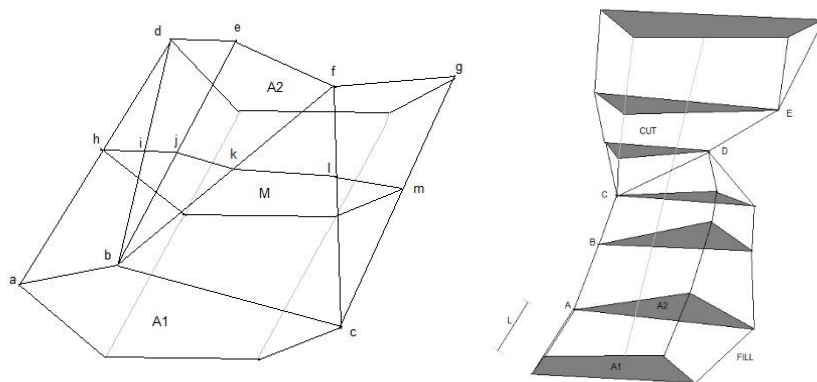
$$2A = (x_1y_2 - x_3y_2) + (x_4y_1 - x_2y_1) + (y_3x_2 - x_4y_3) + (x_3y_4 - x_1y_4) \\ = y_1(x_4 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) + y_4(x_3 - x_1)$$

$$2A = \frac{y_1}{x_1} \times \frac{y_2}{x_2} \times \frac{y_3}{x_3} \times \frac{y_4}{x_4} \times \frac{y_1}{x_1}$$

คูณขึ้นมีค่าเป็นบวก + , คูณลงมีค่าเป็นลบ -

$$A = \frac{1}{2} [y_1(x_4 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) + y_4(x_3 - x_1)] \quad (7)$$

## 2. การคำนวณปริมาตรด้วยวิธีเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด (Average End Area Method)



รูปที่ 44 แสดงวิธีการจำลองพื้นที่เพื่อคำนวณปริมาตรด้วยวิธีเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัด (กรมทางหลวง, 2550)

สมการที่ 8 แสดงการหาปริมาณดิน (กรมทางหลวง, 2550)

### AVERAGE END AREA METHOD

Give  $A_1 A_2 A_3 \dots A_n$

$V_1 V_2 V_3 \dots V_n$

$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots V_n$

$L = \text{distance between station} = 25 \text{ m}$

$$\therefore V_1 = L (A_1 + A_2)/2 \quad \dots (1)$$

$$V_2 = L (A_2 + A_3)/2 \quad \dots (2)$$

$$V_n = L (A_n + A_{n+1})/2 \quad \dots (n)$$

$$(1) + (2) + \dots + (n)$$

$$\therefore V = \frac{L}{2} A_1 + A_2 + A_3 + \dots A_n$$

$$\text{Total Volume } V = L ((A_1 + A_n)/2 + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1}) \quad (8)$$

มาตรฐานค่าพิกัดจากศูนย์กำเนิดในการรังวัดและทำแผนที่ของกรมที่ดิน (กรมที่ดิน, 2556)

ค่าพิกัดจากศูนย์กำเนิด (Rectangular Coordinate) นับเนื่องจากศูนย์กำเนิดแต่ละท้องถิ่น (Local Origin) ซึ่งมี 29 ศูนย์กำเนิดซึ่งบางศูนย์กำเนิดเป็นค่าสมมติจุดตัดกันของ Latitude และ Longitude ไม่มีถาวรวัตถุในพื้นที่ ส่วนศูนย์กำเนิดอีกประเภทหนึ่ง มีถาวรวัตถุในที่ดิน ส่วนใหญ่จะใช้ยอดเจดีย์ของวัด หรือมีหมุดถาวรในที่ดิน โดยแต่ละศูนย์กำเนิดในจังหวัด และบริเวณจังหวัดข้างเคียง บริเวณไม่ไกลจากศูนย์กำเนิดมากนัก เพราะไม่คิดความโค้งของเปลือกโลกมาคำนวณค่า



พิกัด (Conformal Projection) โดยถือว่าเป็นผิวโลกแบนในพื้นที่ใกล้ศูนย์กำเนิด ความถูกต้องมากที่สุดของตำแหน่งจะอยู่ใกล้ศูนย์กำเนิด (Origin) เท่านั้น

ระวางแผนที่เพื่อการออกโฉนดที่ดินในแต่ละจังหวัดก็สร้างโดยค่าพิกัดฉากที่อ้างอิงกับศูนย์กำเนิดท้องถิ่น แต่ในทางปฏิบัติก็พบความจริงว่า บางจังหวัดมีศูนย์กำเนิดมากกว่า 1 ศูนย์ การสร้างระวางแผนที่ จึงมีความสับสน

- แต่ละศูนย์กำเนิดมีค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Latitude และ Longitude) กำกับไว้ โดยไม่ทราบว่าเป็นค่าพิกัดที่อ้างอิงกับพื้นหลักฐานแผนที่ใด (พื้นหลักฐานแผนที่ราชบุรี พื้นหลักฐานอินเดีย 2497 พื้นหลักฐานแผนที่อินเดีย 2518 หรืออื่น ๆ) ซึ่งแต่ละพื้นหลักฐานแผนที่มีความต่างกันมาก เมื่อมีการคำนวณค่าพิกัดฉากของมุมระวางแผนที่ที่นับเนื่องจากศูนย์กำเนิดใด ๆ ให้เป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์หรือกลับกัน จึงความสับสนในทางปฏิบัติก่อนโครงการพัฒนากรรมที่ดินเพื่อเร่งรัดการออกโฉนดที่ดิน 20 (พ.ศ. 2528 – 2547) การวางโครงหมุดหลักฐานแผนที่ในแต่ละปีงบประมาณ โดยช่างวางโครงหมุดหลักฐานแผนที่ของกองรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดินจะส่งเจ้าหน้าที่ไปตัดค่าพิกัดหมุดหลักฐานแผนที่จากกรมแผนที่ทหาร เช่น หมุดจากงานโครงข่ายสามเหลี่ยมใหญ่ งานวงรอบชั้นที่ 1 เป็นต้น ผู้ไปตัดค่าพิกัดก็ไม่ทราบรายละเอียดว่าพิกัดภูมิศาสตร์



รูปที่ 45 แสดงตำแหน่งศูนย์กำเนิด (Local Origin) และพื้นที่ใช้งานแต่ละศูนย์กำเนิด

ที่คิดมาได้นั้นเป็นพิภคบนพื้นหลักฐานแผนที่ใดซึ่งกรมแผนที่ทหารมีการปรับแก้หลายครั้ง ช่างวางโครงของกรมที่ดินก็ไปค้นหาหมวดหลักฐานแผนที่ตามสมุดสนามที่คิดมาแล้วก็รังวัดวางโครง ทำวงรอบ โดยใช้หมวดหลักฐานแผนที่ที่คิดมานั้นเป็นหมุดออกและหมุดเข้าบรรจบเส้นโครงงาน

หมุดหลักฐานแผนที่ และมีหลายครั้งพบว่าหมุดหลักฐานแผนที่เหล่านั้นที่คัดมามีค่าพิกัดไม่สัมพันธ์กันโดยไม่ทราบสาเหตุ

- บางครั้งพบว่าระวางแผนที่ที่สร้างใช้ในราชการบางกลุ่มไม่มีความสัมพันธ์กับศูนย์กำเนิดในบริเวณดังกล่าว เช่น ระวางแผนที่บริเวณ อ. แม่สะเรียง จ. แม่ฮ่องสอน จึงได้แต่เพียงสันนิษฐานว่าค่าพิกัดที่เริ่มต้นน่าจะเป็นการอ่านประมาณจากแผนที่ภูมิประเทศแล้วทำการรังวัด Azimuth ทางดาราศาสตร์เพื่อหาทิศทางที่กล่าวเช่นนี้เพราะเมื่อทำค่าพิกัดของมุมระวางแผนที่ไปคำนวณปรับให้เป็นค่าพิกัดในระบบ UTM ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มพื้นหลักฐานแผนที่ใด ๆ ได้

- ศูนย์กำเนิดบางศูนย์ไม่ได้อยู่ในประเทศไทย หรือไม่ได้อยู่ในพื้นที่ใช้งาน เช่น ศูนย์กำเนิดที่ 28 และศูนย์กำเนิดที่ 29 เป็นต้น

#### การคำนวณพิกัดจากระบบศูนย์กำเนิด

ข้อกำหนดในระเบียบกรมที่ดินที่เกี่ยวข้องกับการวางโครงหมุดหลักฐานแผนที่ เช่น งานวางโครงหมุดหลักฐานแผนที่หลัก (Major Traverse) ต้องรังวัด Azimuth ทางดาราศาสตร์จากดาวทุก ๆ ระยะ 10 ก.ม. หรือ 20 หมุด ความคลาดเคลื่อนทางมุมในแต่ละช่วงที่ทราบค่าภาคของทิศไม่เกิน  $10'' \sqrt{N}$

การแก้ค่ามุมราบจะถูกต้องให้แก้มุมละ  $1''$  ก่อน โดยเริ่มจากมุมของหมุดออกไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะหมดค่าแก้ หากความคลาดเคลื่อนทางมุมเกินจำนวนหมุดที่ตั้งกล้องก็ต้องแก้เพิ่มอีก  $1''$  ไปจนกว่าจะจบ เช่น มี 45 หมุด ต้องแก้มุม  $+52''$  ก็ต้องแก้มุม  $+2''$  7 หมุดแรก ส่วนอีก 38 หมุดที่เหลือแก้มุมละ  $+1''$  เป็นต้น เมื่อเป็นเช่นนี้จะเห็นได้ว่าการคำนวณพิกัดจากหมุดแรกออกไปยังหมุดแก้บรรจบ (จากหมุด 1 – 45) จะได้ผลลัพธ์ไม่เท่ากับการคำนวณกลับทาง (จากหมุด 45 – 1) ทั้งนี้เพราะการคำนวณค่าพิกัดแผนที่แต่เดิมใช้การหาค่า sine และ cosine ของภาคของทิศ (Bearing) คูณด้วยระยะราบระหว่างหมุด โดยใช้เครื่องคูณเลขแบบ Mechanic ส่วนการปรับแก้ค่าพิกัดใช้ Transit's Rule

การคำนวณพิกัดเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่เดิมใช้เครื่องคำนวณ IBM (ใช้ตั้งแต่ปี 2483) ที่สำนักงานสถิติแห่งชาติ ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานแผนที่มีหน่วยเป็นเส้นและทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยใช้อักษร น , ต, อ, และ ฎ แทนค่าพิกัดที่อยู่เหนือ ใต้ ตะวันออกและตะวันตกของศูนย์กำเนิดตามลำดับ


























ภาคผนวก ข  
ตารางแสดงข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

sta	bs	int	fs	int	ang	sta	bs	int	fs	int	ang
BM	1685 1411 1137 1411 1411	0274 0274 54.8 54.8			00 00 00	BM1	2260 2081 1901 2081 2081	0179 0180 35.9 35.9			00 00 00
1	1322 1095 0866 1094 2505	0227 0229 45.6 100.4	3038 2762 2485 2762 2762	0276 0277 55.3 55.3	75 38 50	1	2123 1902 1681 1902 3983	0221 0221 44.2 80.1	2351 2176 2001 2176 2176	0175 0175 35.0 35.0	145 26 30
2	1915 1582 1249 1582 4087	0333 0333 66.6 167.0	1841 1602 1364 1602 4364	0239 0238 47.7 103.0	203 42 30	2	1982 1576 1172 1577 5559	0406 0404 81.0 161.1	3129 2889 2649 2889 5065	0240 0240 48.0 83.0	269 24 30
3	1425 1009 0593 1009 5096	0416 0416 83.2 250.2	2348 2025 1704 2026 6390	0323 0321 64.4 167.4	163 48 00	3	2398 2076 1755 2076 7636	0322 0321 64.3 225.4	1503 1084 0665 1084 6149	0419 0419 83.8 166.8	169 27 00
4	3155 2905 2655 2905 8001	0250 0250 50.0 300.2	1945 1530 1113 1529 7919	0415 0417 83.2 250.6	190 54 20	4	1970 1693 1418 1694 9329	0277 0275 55.2 280.6	1970 1672 1372 1671 7820	0298 0300 59.8 226.6	196 12 45
5	2380 2220 2060 2220 10221	0160 0160 32.0 332.2	2105 1898 1689 1897 9816	0207 0209 41.6 292.2	90 02 15	5	3020 2759 2499 2759 12089	0261 0260 52.1 332.7	1389 1145 0901 1145 8965	0244 0244 48.8 275.4	283 50 10
BM1			2344 2149 1955 2149 11966	0195 0194 38.9 331.1		BM			1649 1371 1092 1371 10336	0278 0279 55.7 331.1	283 50 10



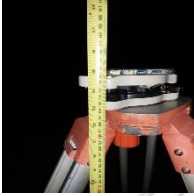











รูปที่ 46 รูปแสดงการถ่ายค่าระดับจากหมุดควบคุมทางดิ่งแห่งชาติ










ตาราง ก แสดงตำแหน่งหมุดควบคุมชั่วคราวและหมุดทดสอบ

1		9		17	
2		10		18	
3		11		19	
4		12		20	
5		13		21	
6		14		BM1	
7		15		BM2	
8		16			



ตาราง ข แสดงเวลา ความสูงเอียง และภาพของการรับสัญญาณด้วยสมาร์ทโฟนในหมุดควบคุม  
ชั่วคราวและหมุดทดสอบ

sta	start time	Ant. Height	pic	sta	start time	Ant. Height	pic
1	8/23/22 10:46 PM	1.380		9	8/27/22 7:23 PM	1.488	
2	8/23/22 9:40 PM	1.393		10	8/27/22 8:28 PM	1.433	
3	8/23/22 8:35 PM	1.433		11	8/22/22 7:51 PM	1.378	
4	8/24/22 12:51 AM	1.381		12	8/19/22 12:54 AM	1.284	
5	8/23/22 7:26 PM	1.357		13	8/27/22 9:33 PM	1.475	
6	8/24/22 2:02 AM	1.424		14	8/20/22 6:26 AM	1.413	
7	8/24/22 4:19 AM	1.462		15	8/19/22 10:36 PM	1.387	

8	8/22/22 9:00 PM	1.374		16	8/20/22 12:00 AM	1.258	
sta	start time	Ant. Height	pic	sta	start time	Ant. Height	pic
17	8/20/22 1:12 AM	1.288		21	8/20/22 4:36 AM	1.330	
18	8/19/22 8:10 PM	1.319		BM1	8/18/22 10:22 PM	1.310	
19	8/19/22 9:22 PM	1.338		BM2	8/24/22 3:13 AM	1.413	
20	8/20/22 2:22 AM	1.327					

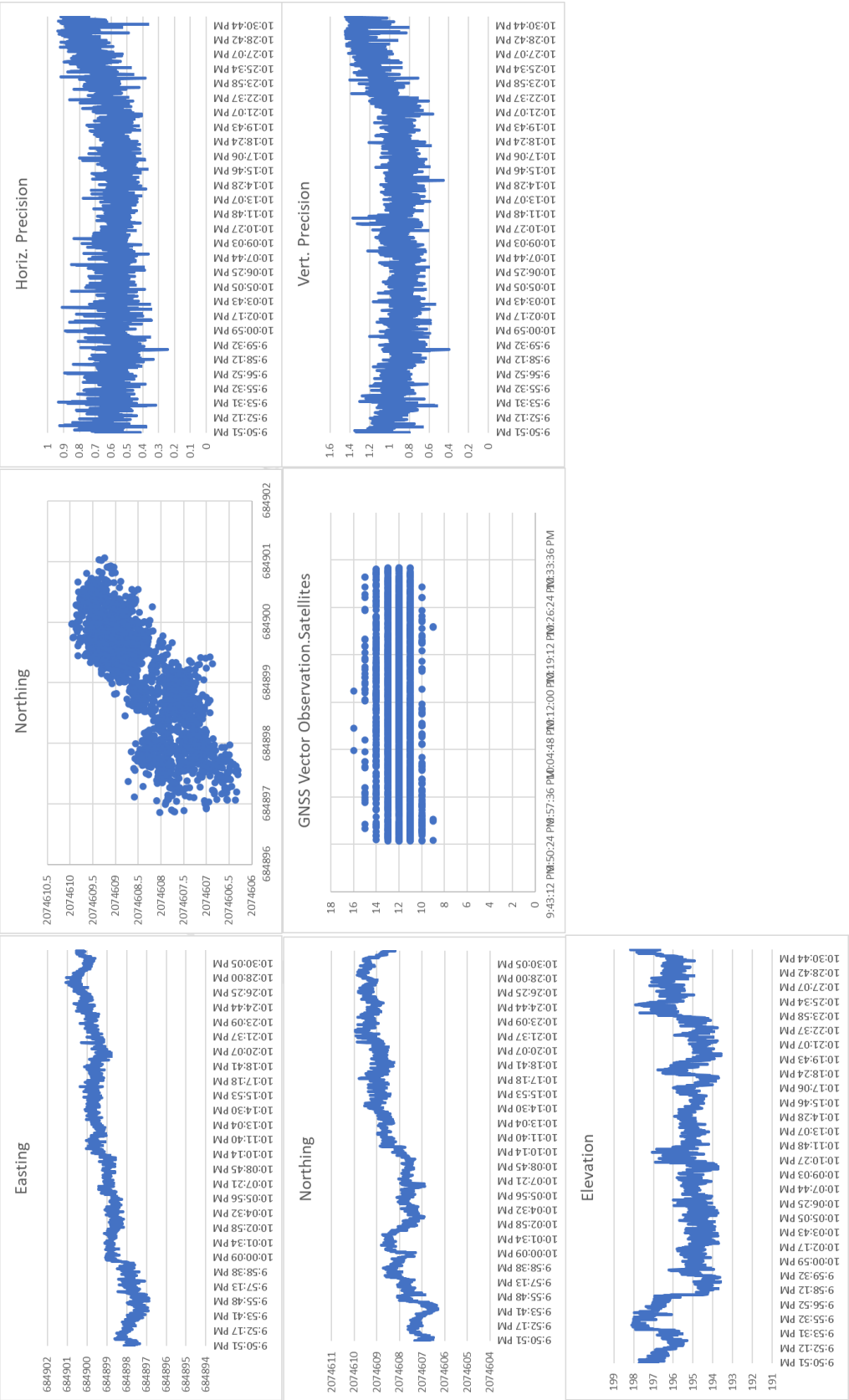


ภาคผนวก ค  
กราฟแสดงข้อมูลของจุดรับสัญญาณแต่ละจุดและคำอธิบายกราฟ

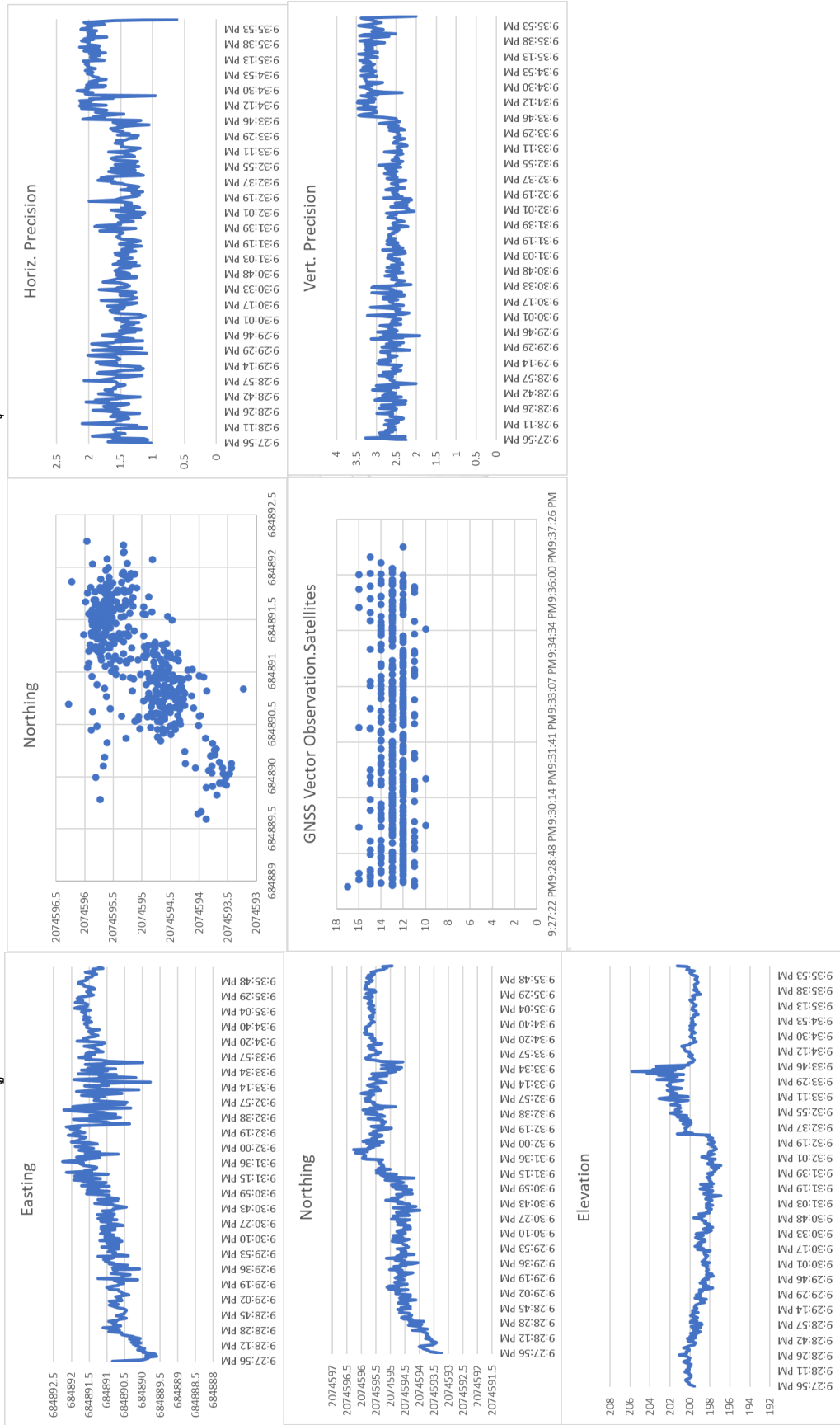




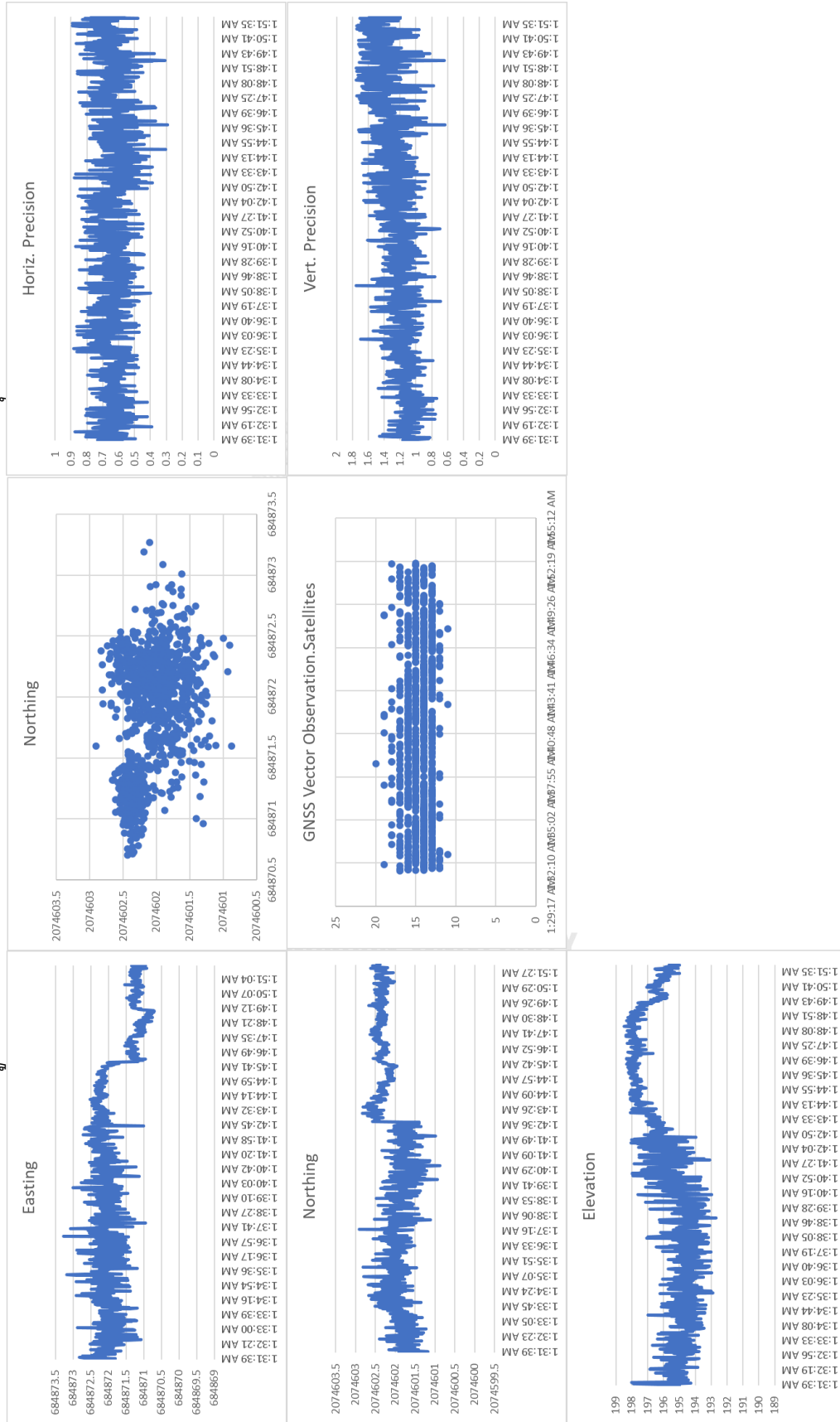
รูปที่ ก.2 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหยุด 2



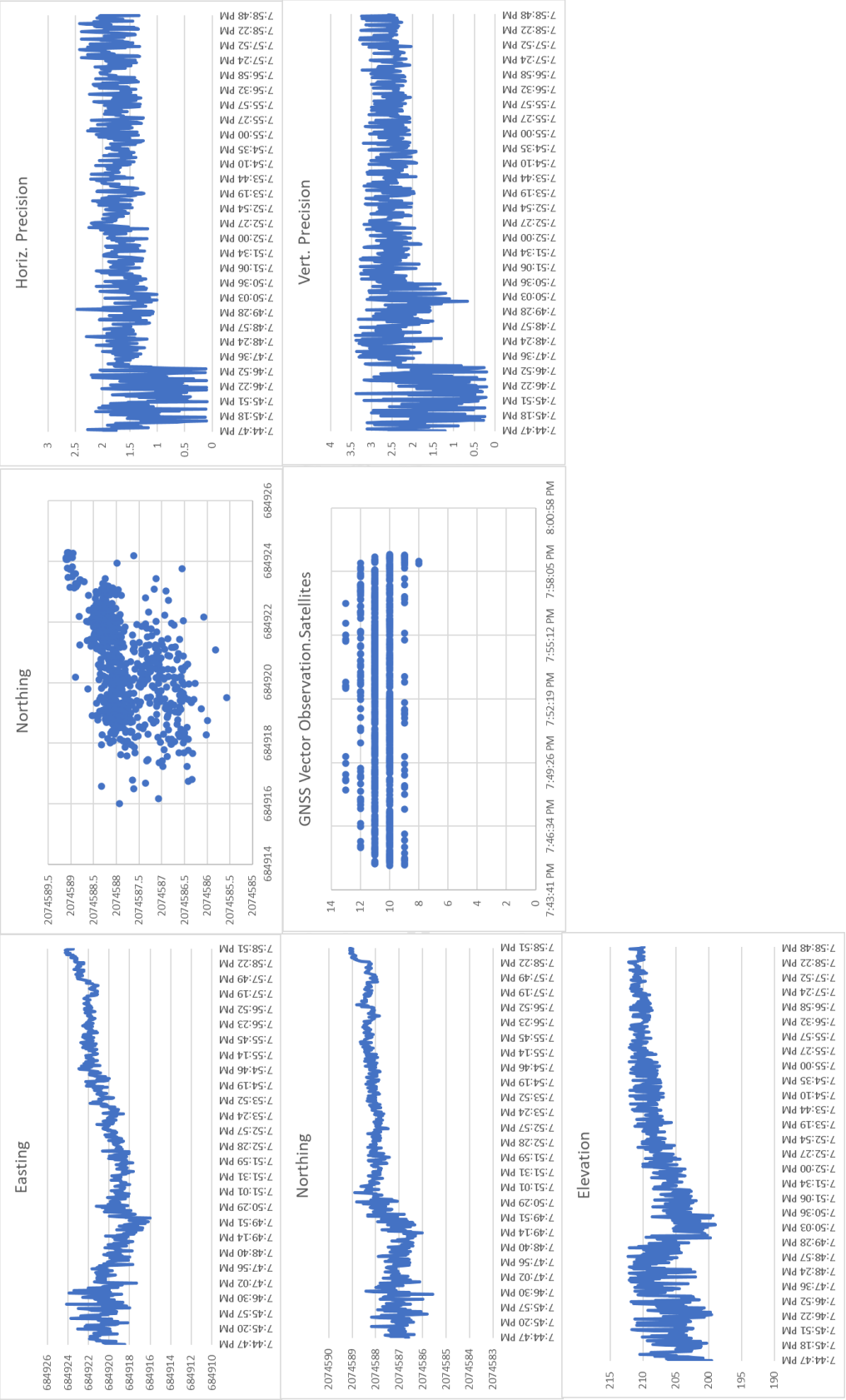
รูปที่ ก.3 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 3



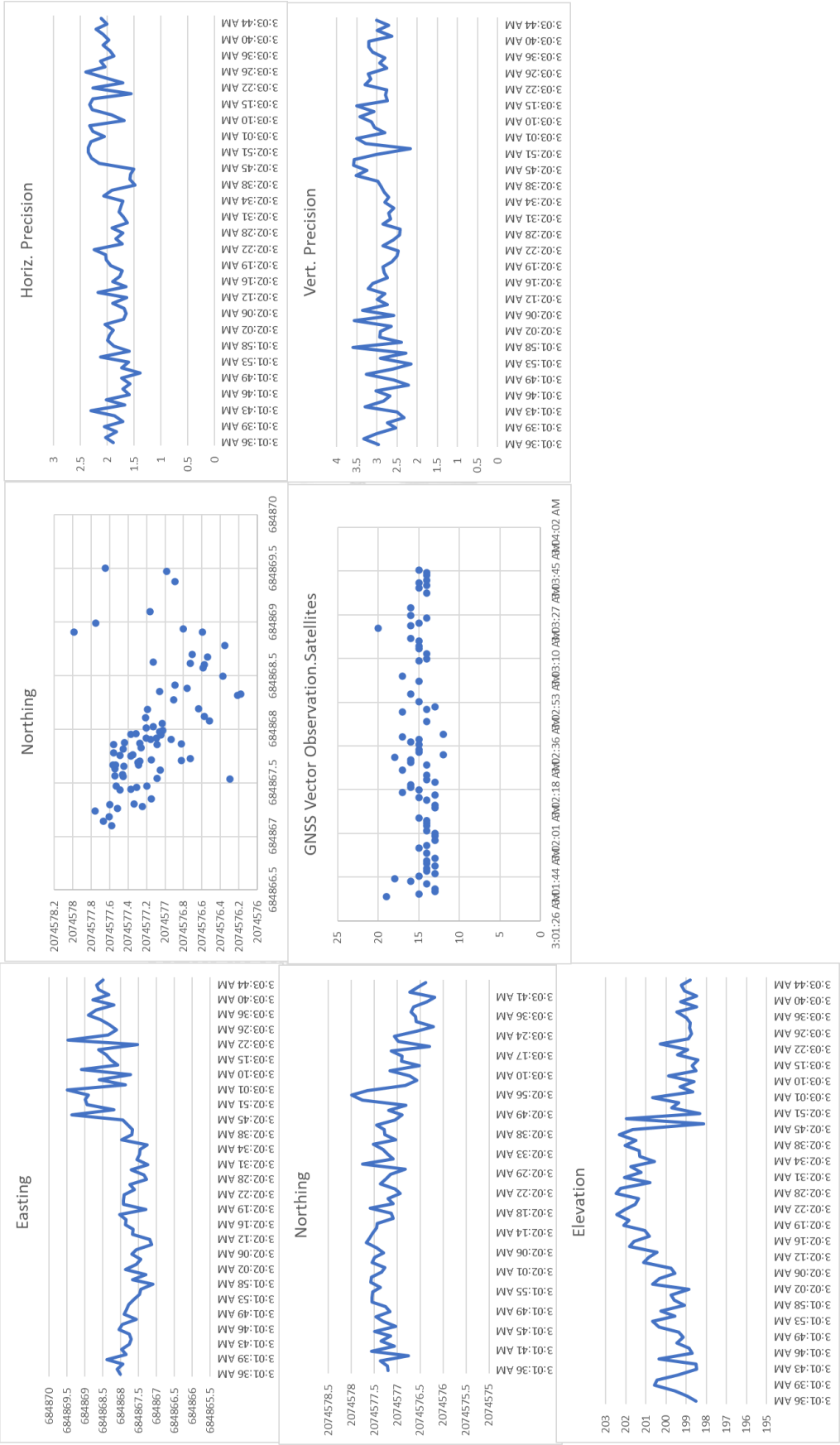
รูปที่ ก.4 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 4



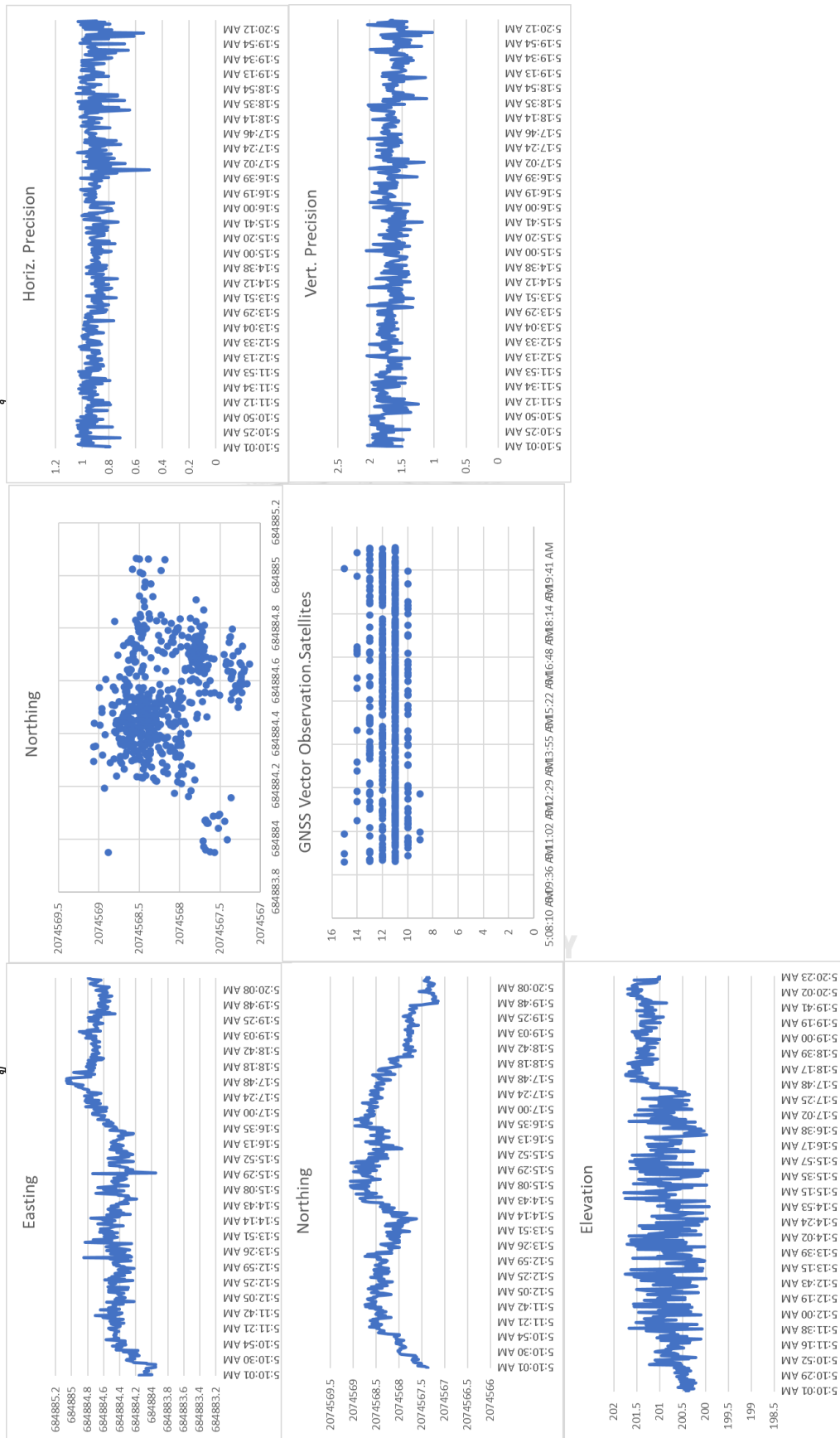
รูปที่ ก.5 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 5



รูปที่ ก.6 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีที่ใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 6

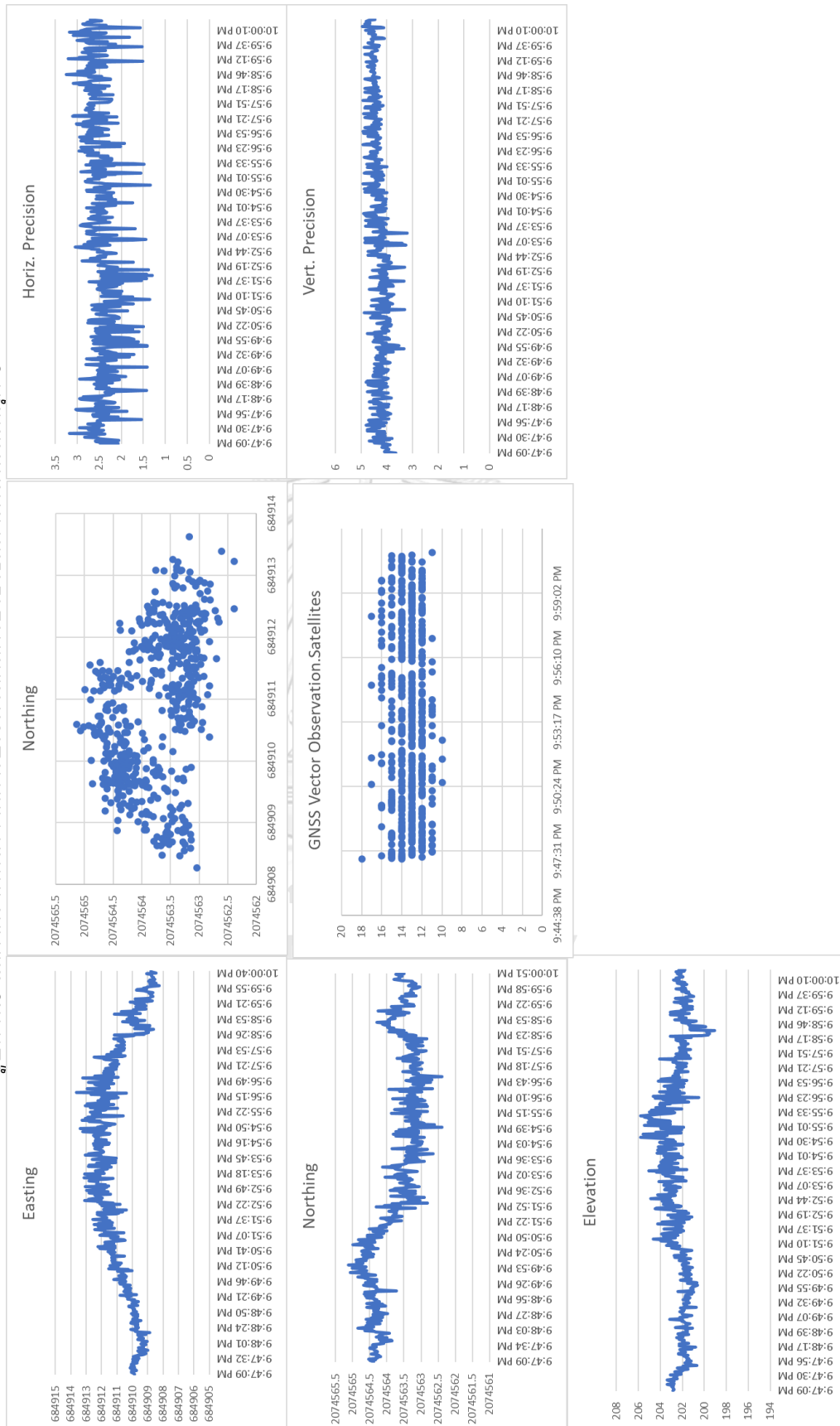


รูปที่ ก.7 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหนูด 7

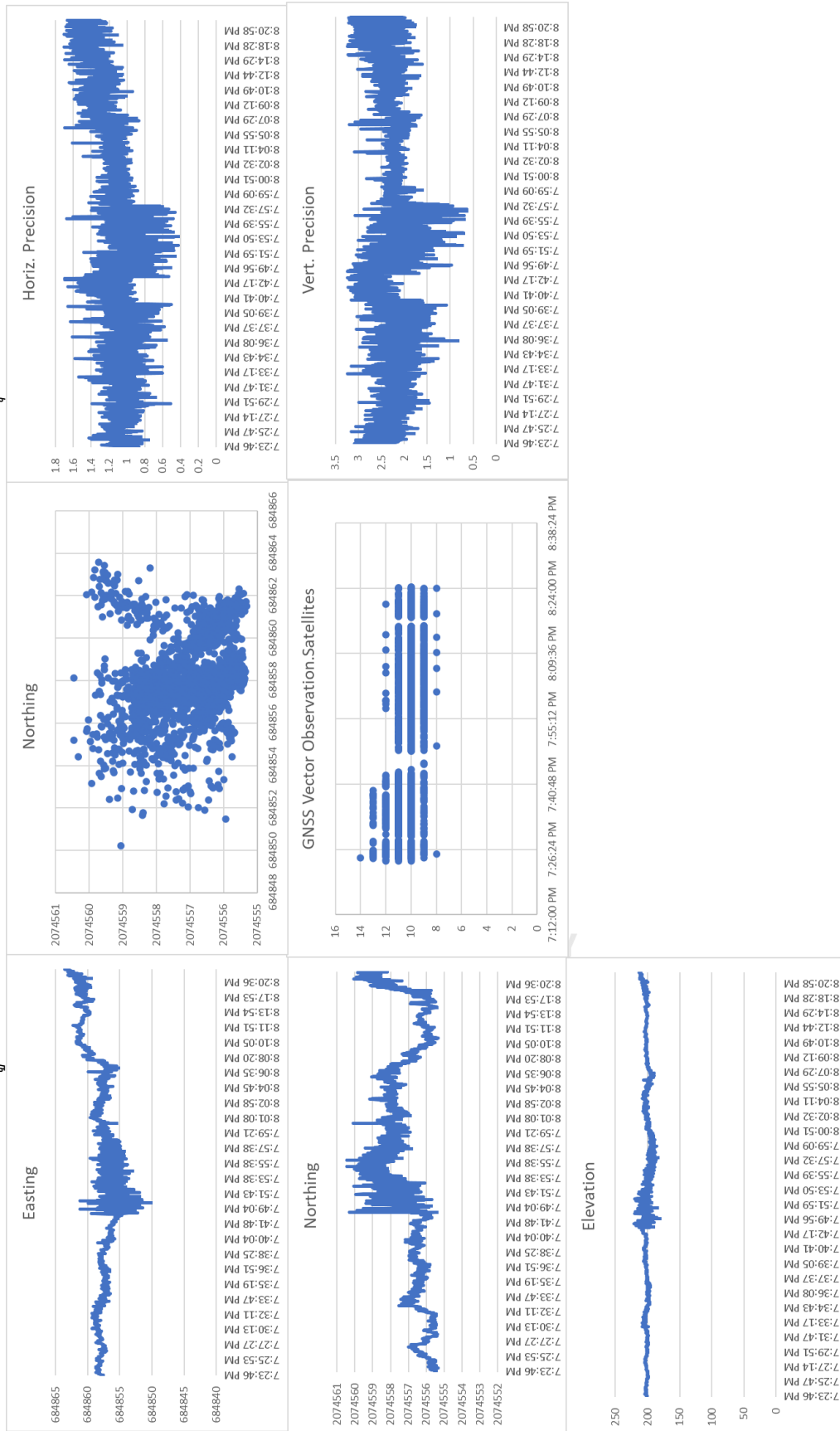




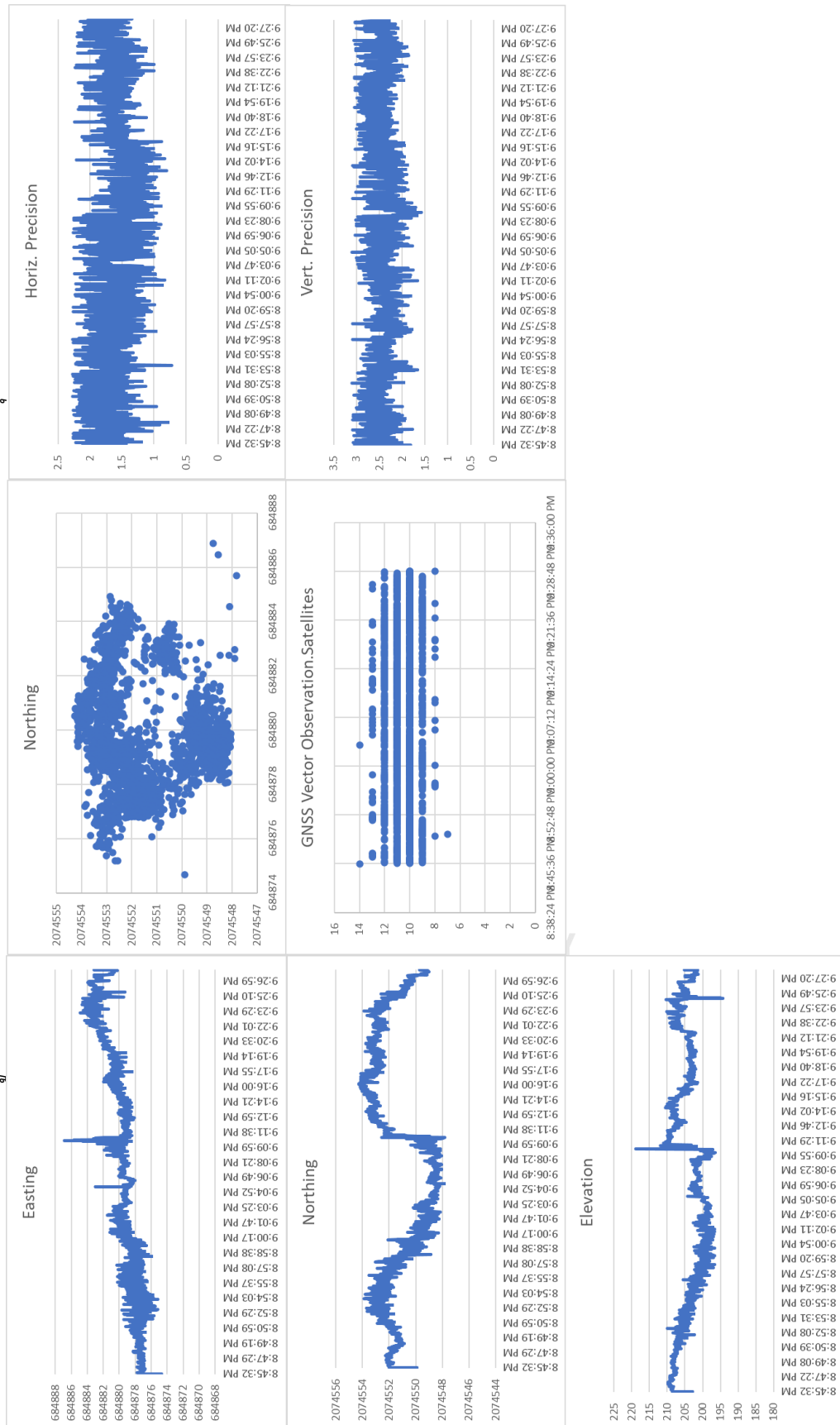
รูปที่ ก.8 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 8



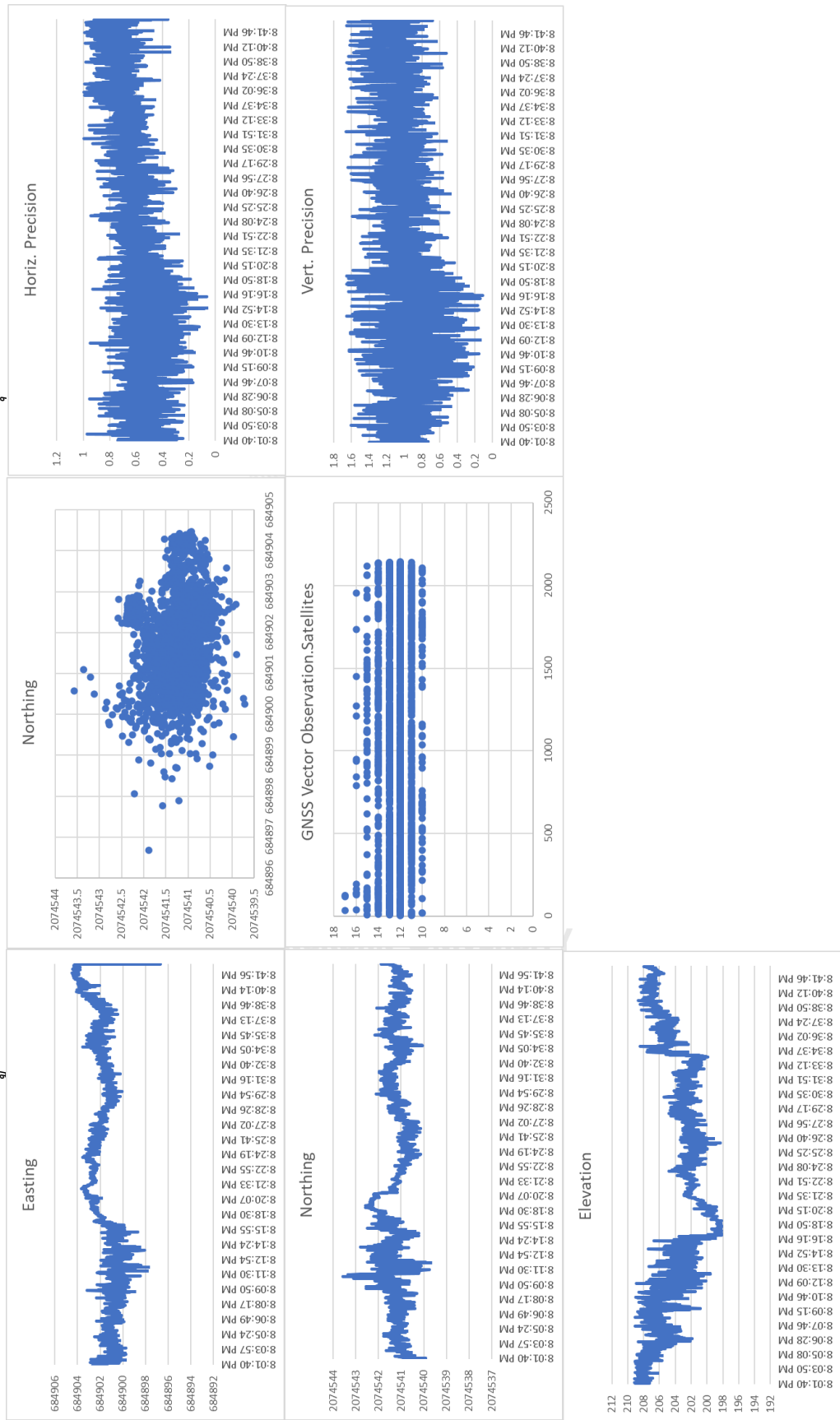
รูปที่ ก.9 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 9



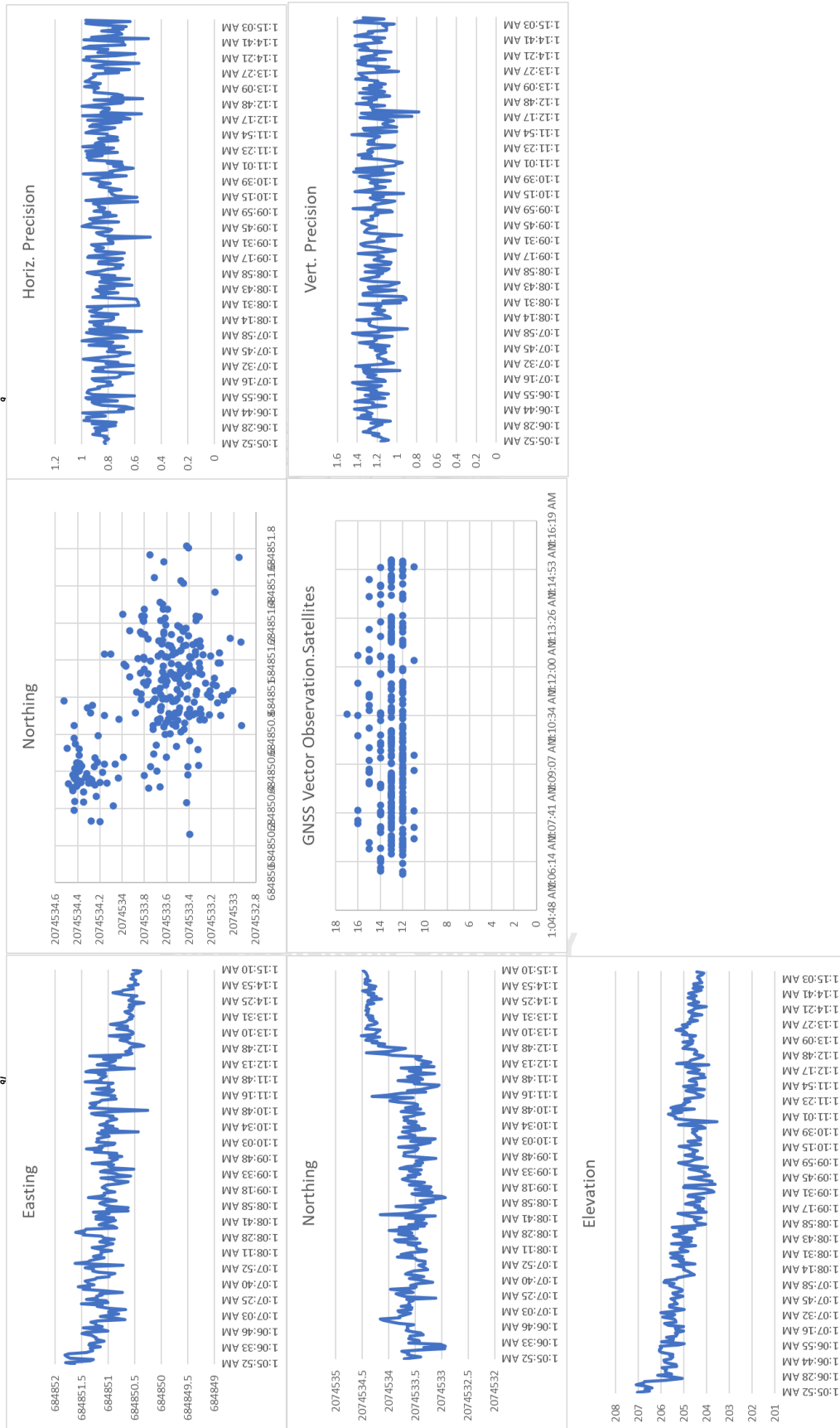
รูปที่ ก.10 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมู่ 10



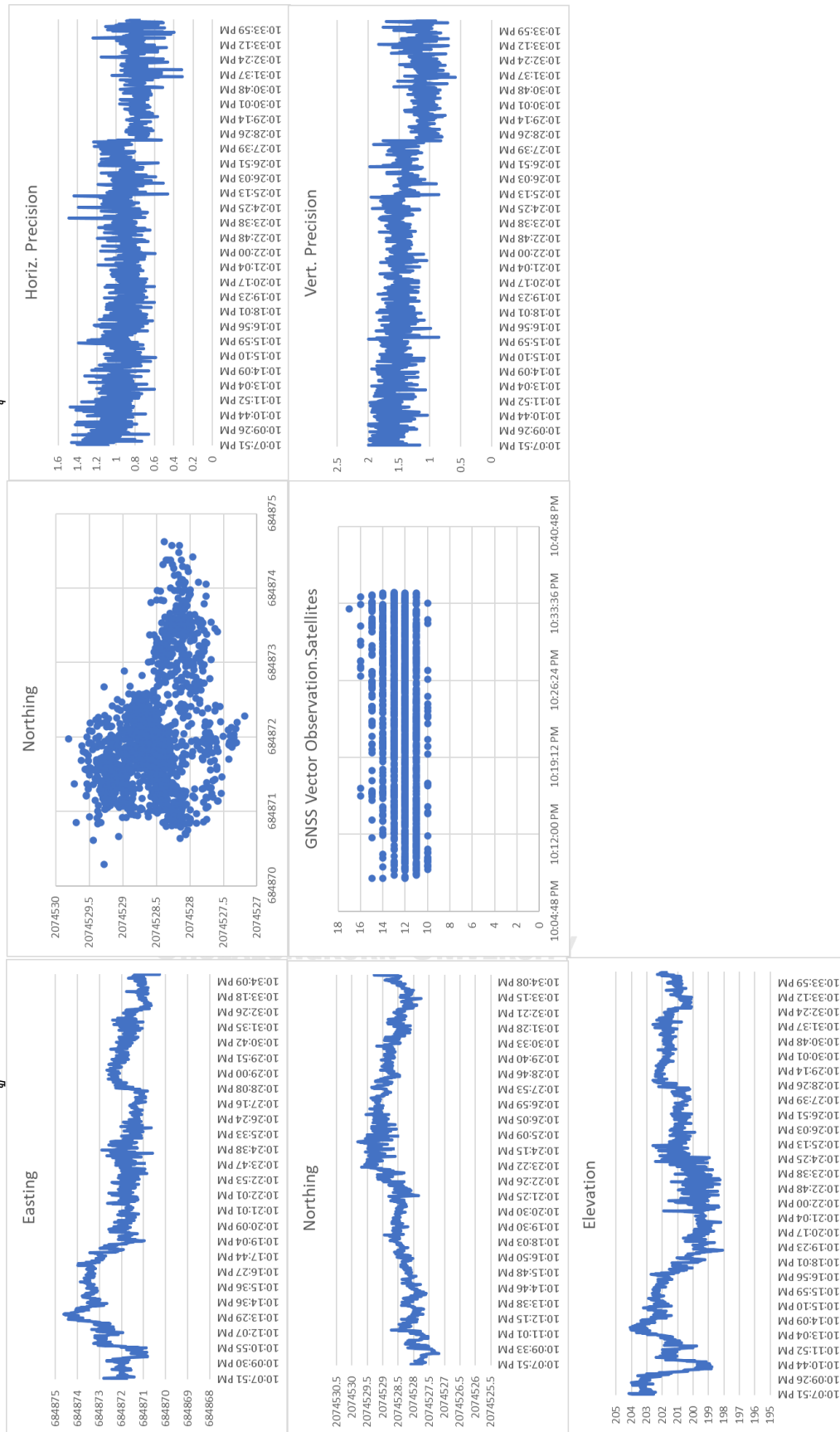
รูปที่ ก.11 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 11



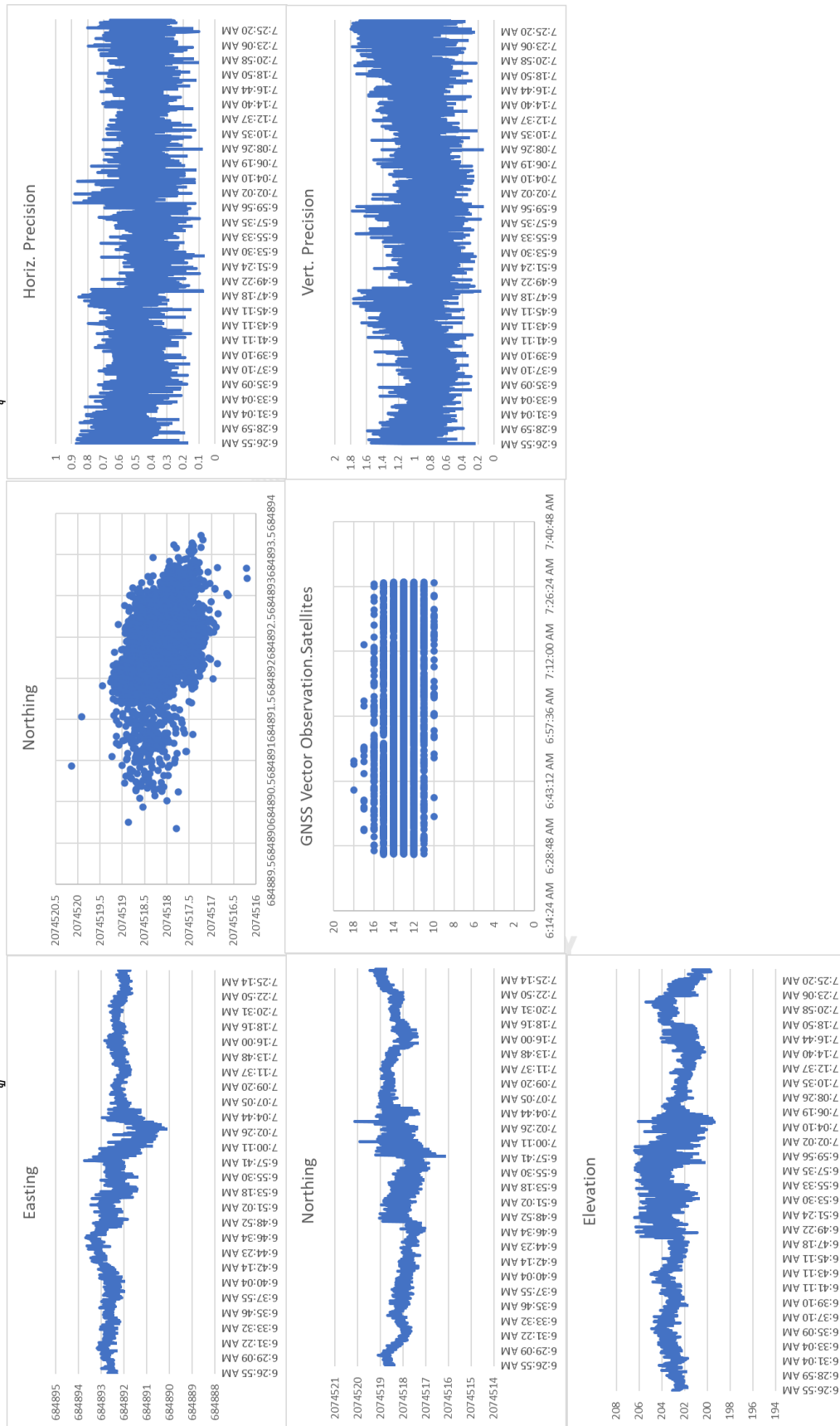
รูปที่ ก.12 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 12



รูปที่ ก.13 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 13

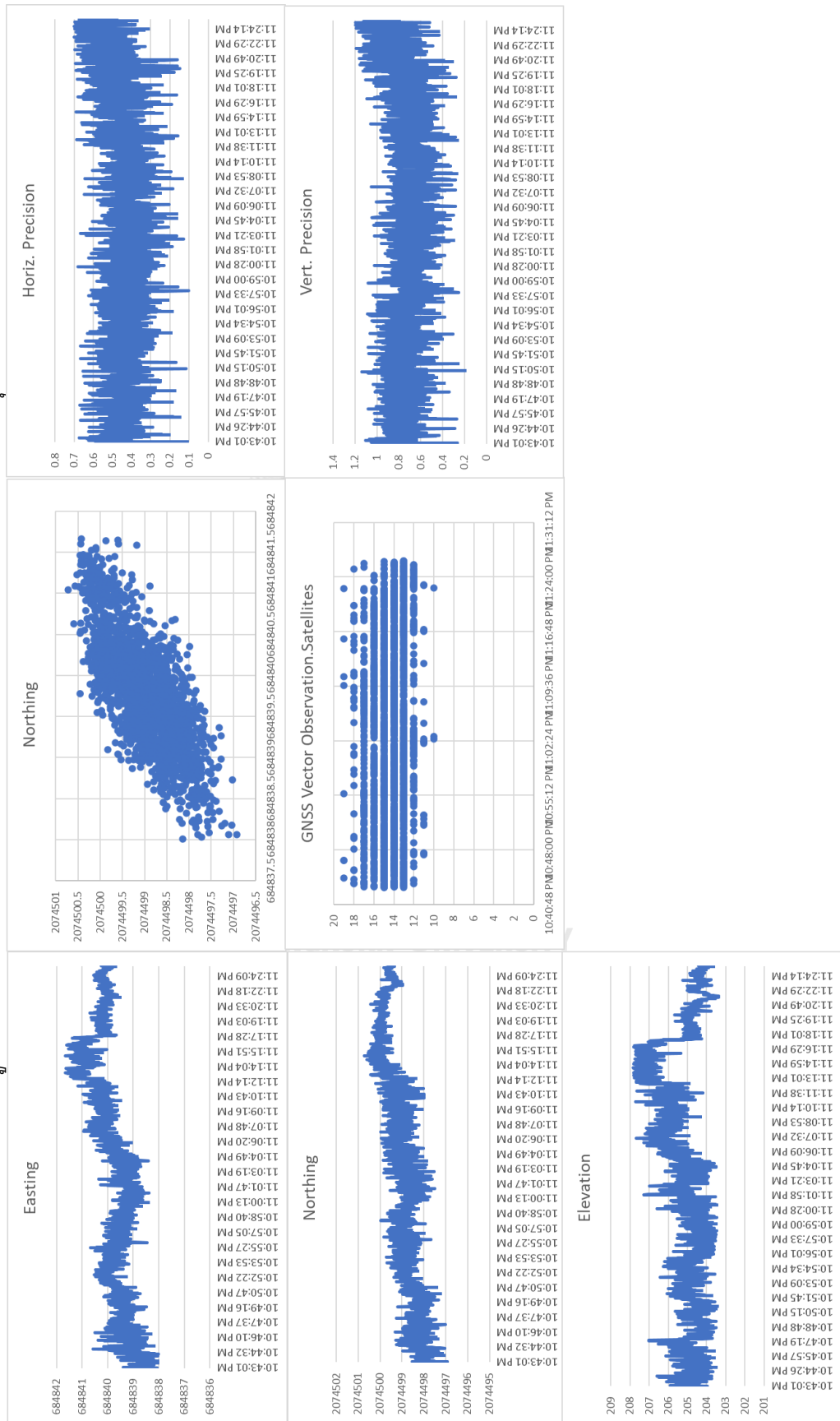


รูปที่ ก.14 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 14



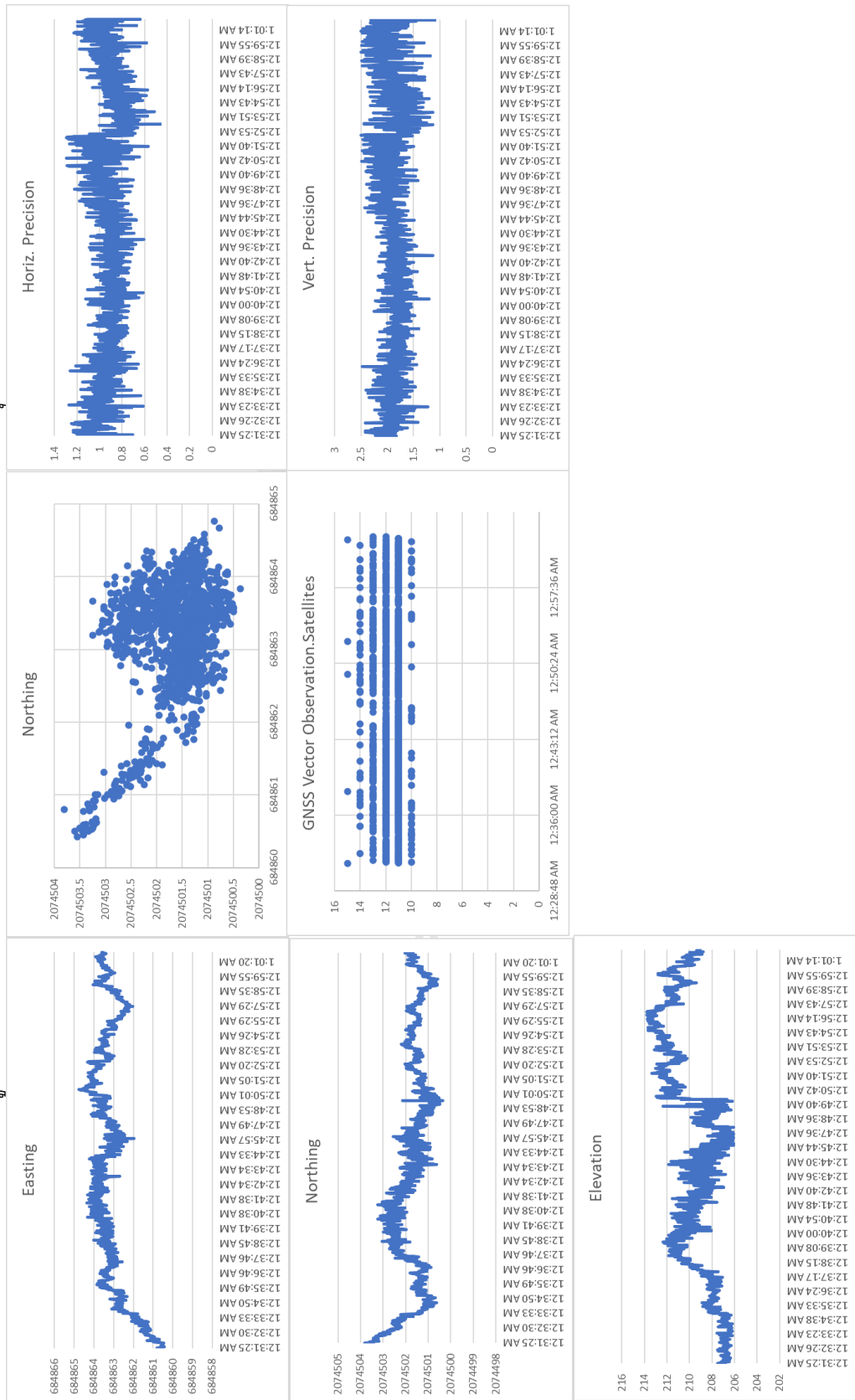


รูปที่ ก.15 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 15

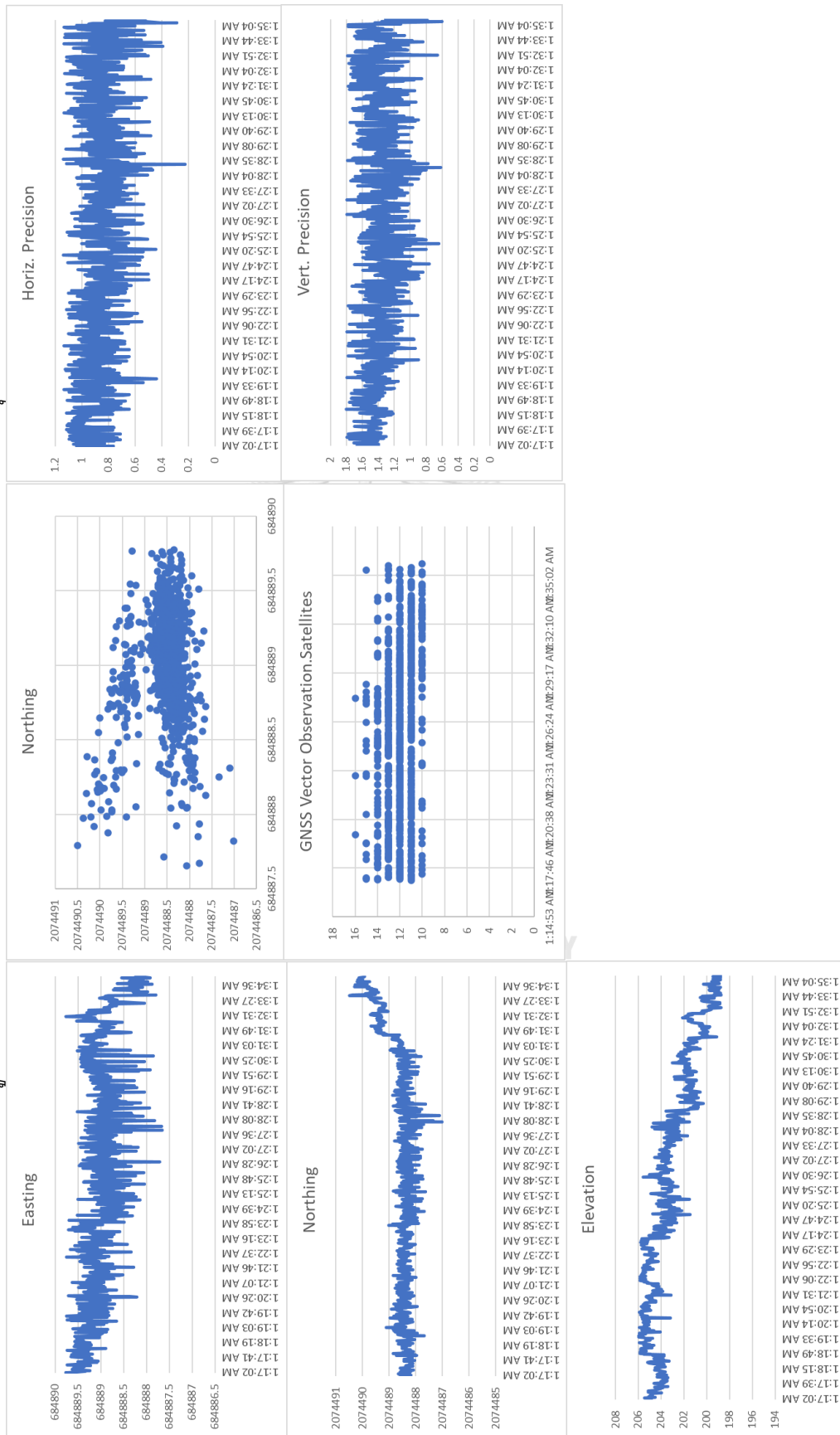




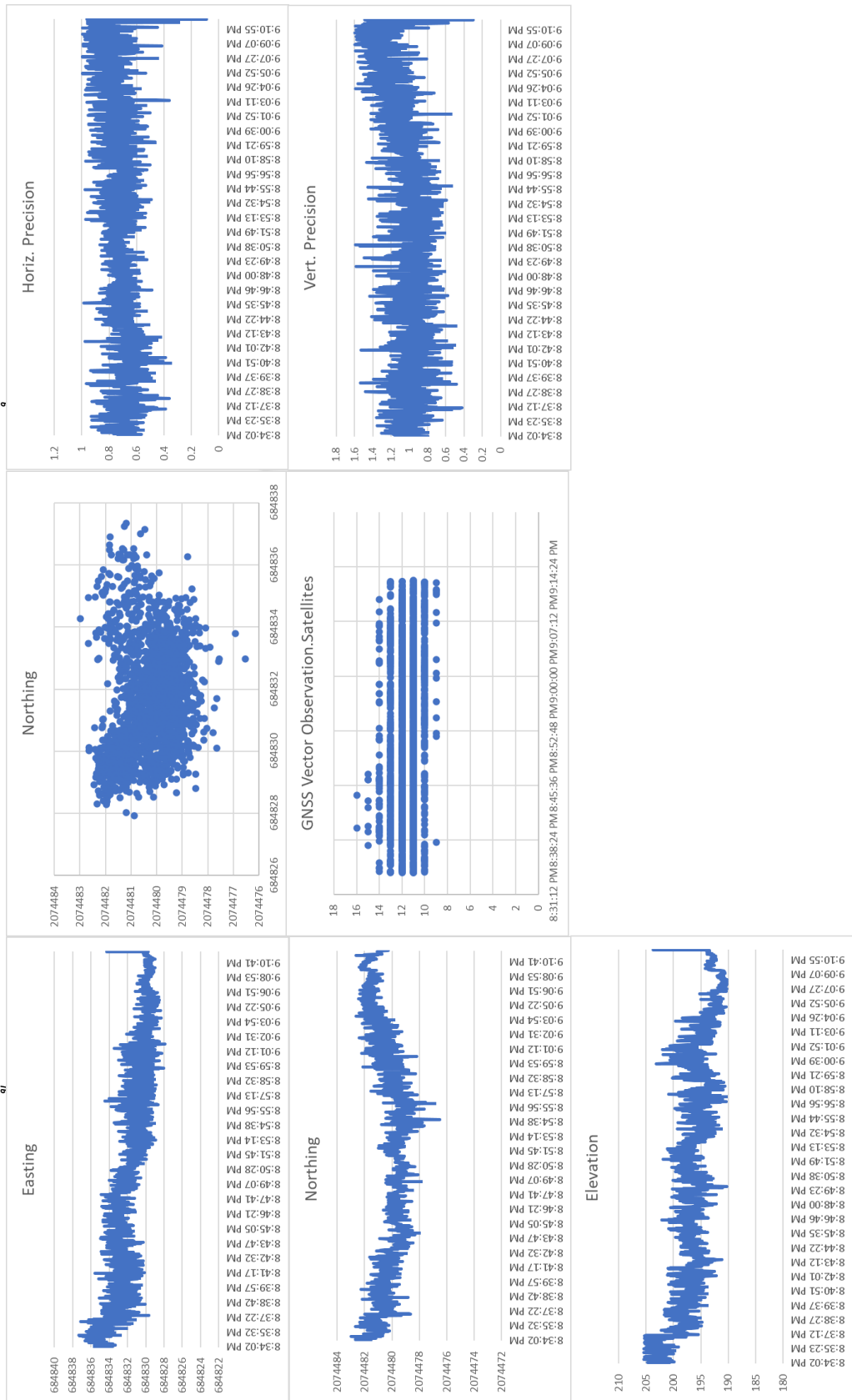
รูปที่ ก.16 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมู่ 16



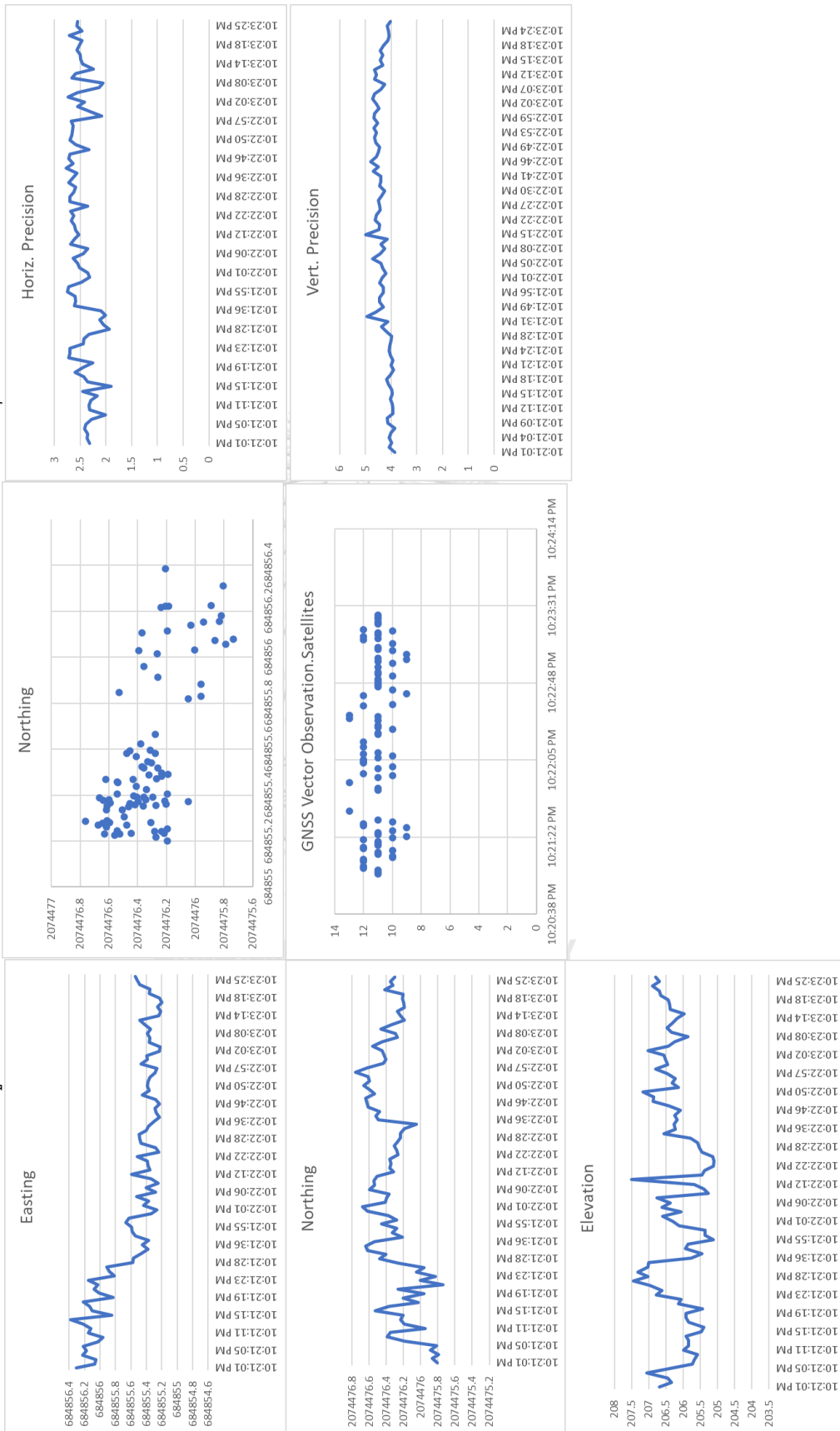
รูปที่ ก.17 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 17



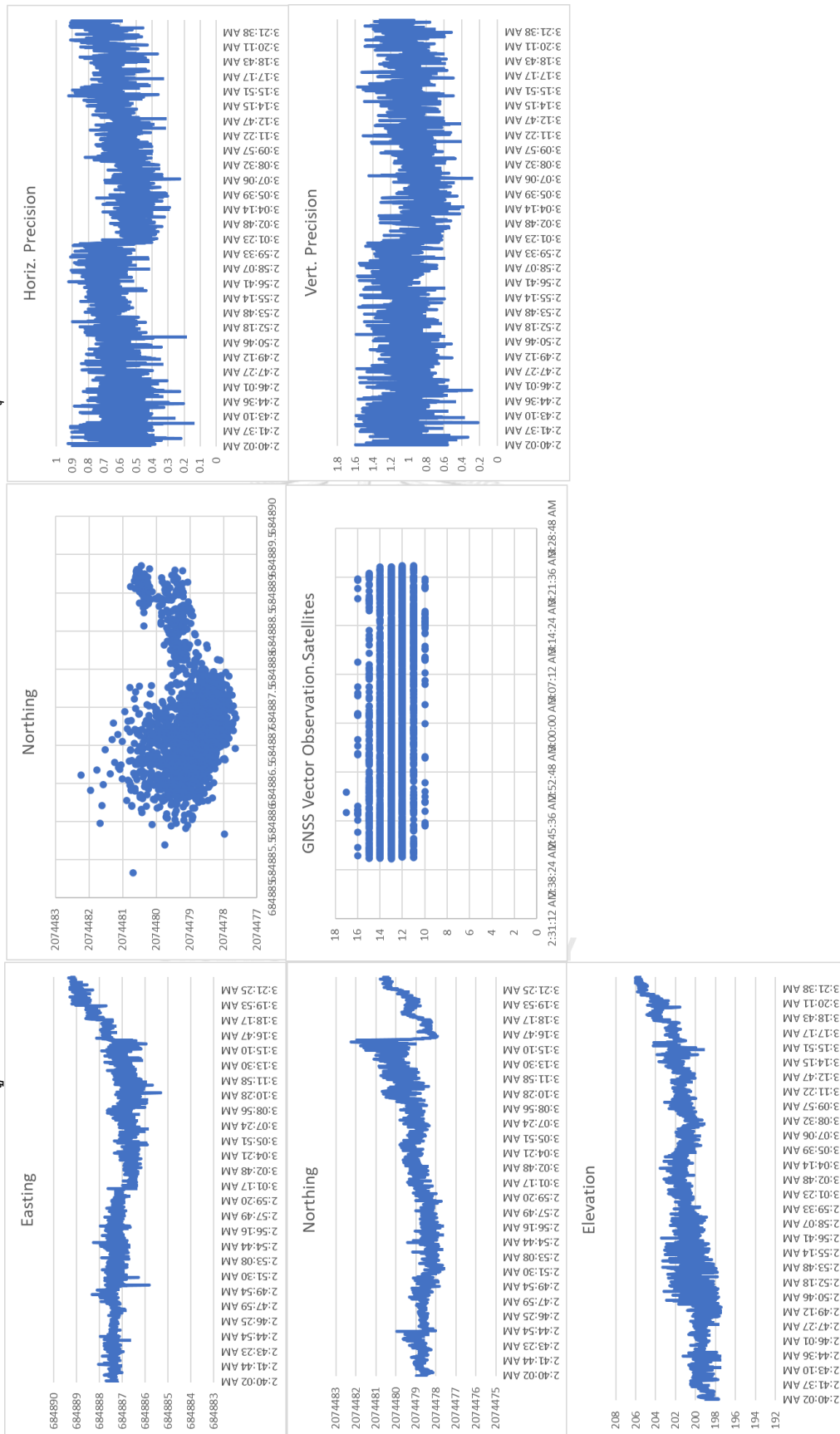
รูปที่ ก.18 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 18



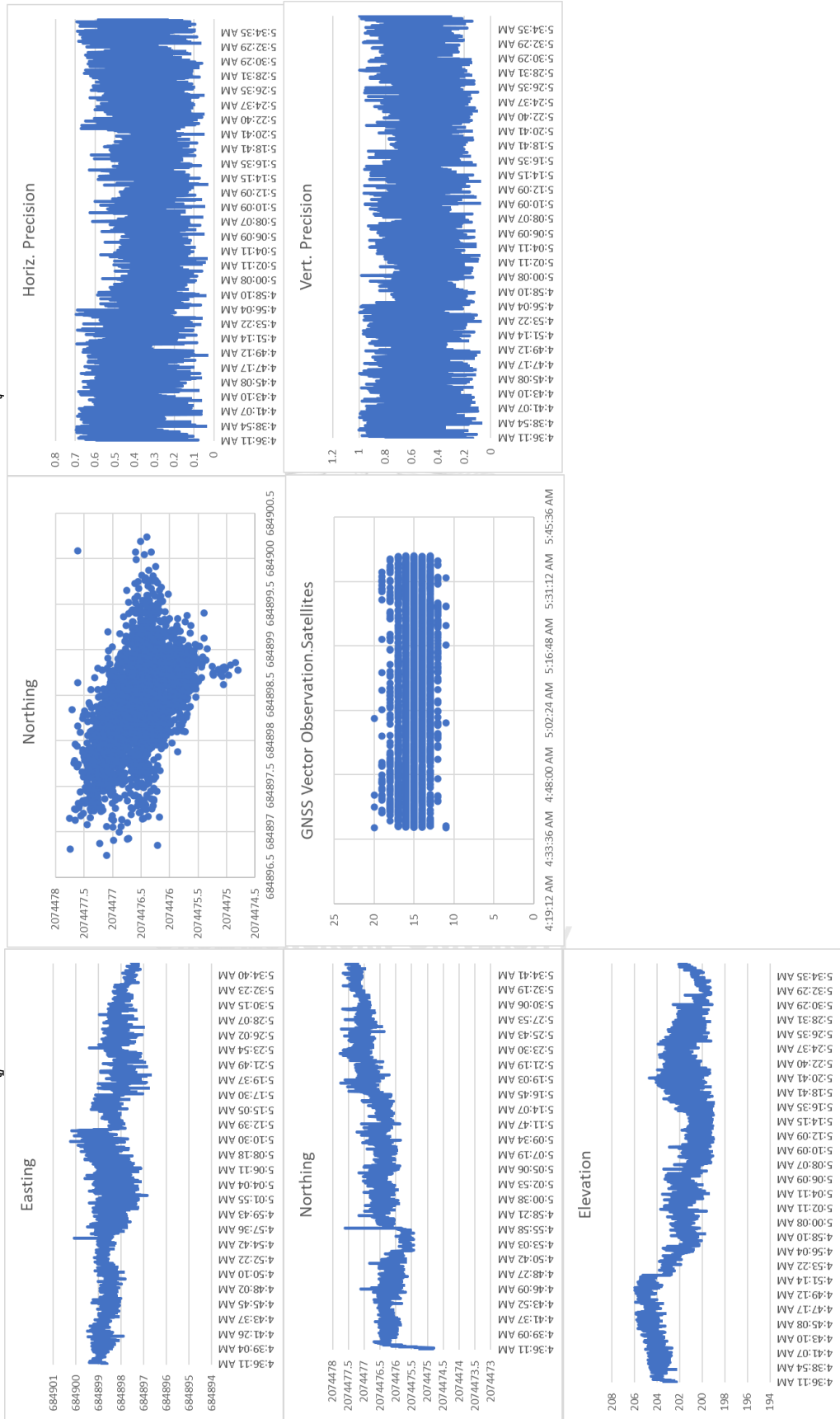
รูปที่ ก.19 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 19



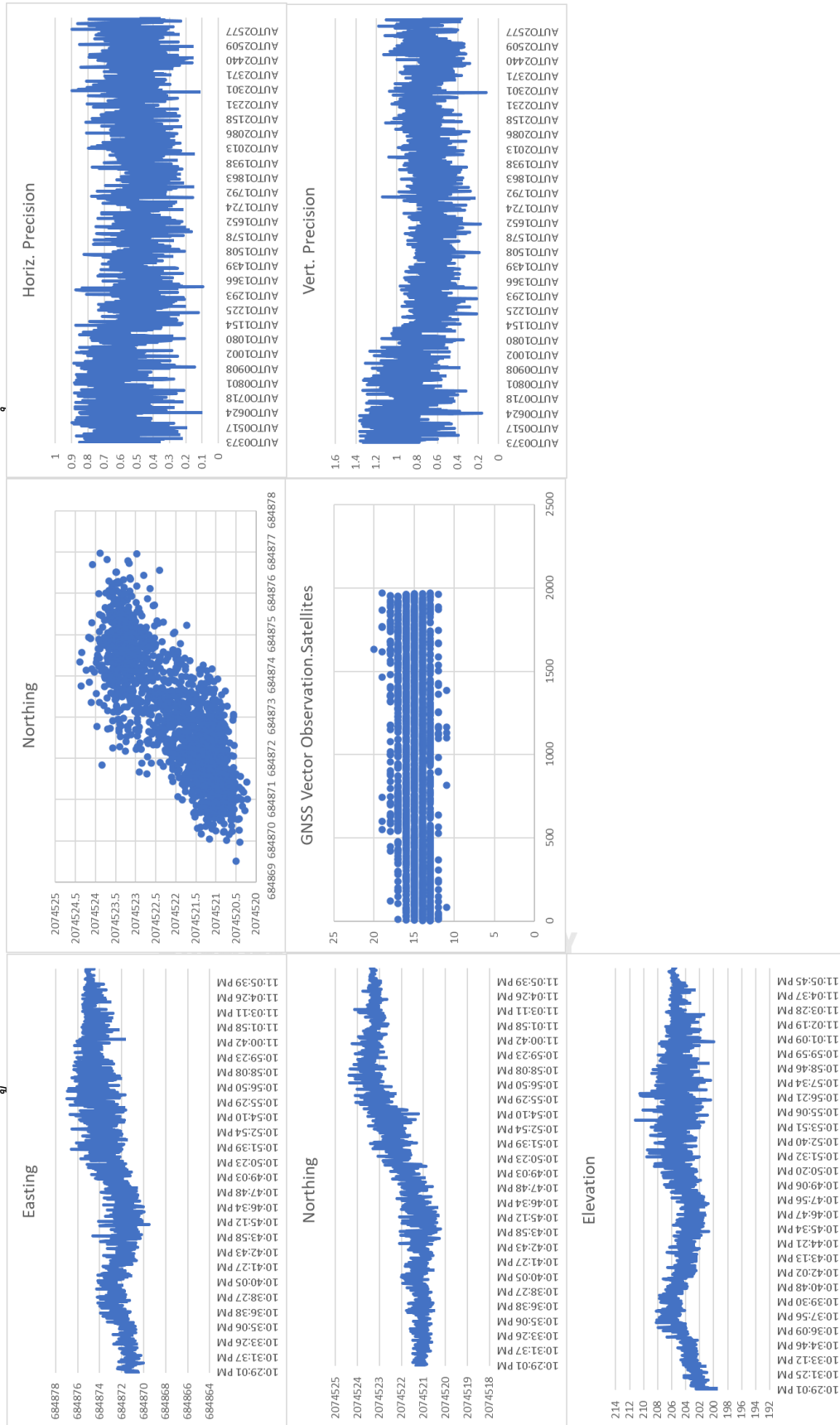
รูปที่ ก.20 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 20



รูปที่ ก.21 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในหมวด 21

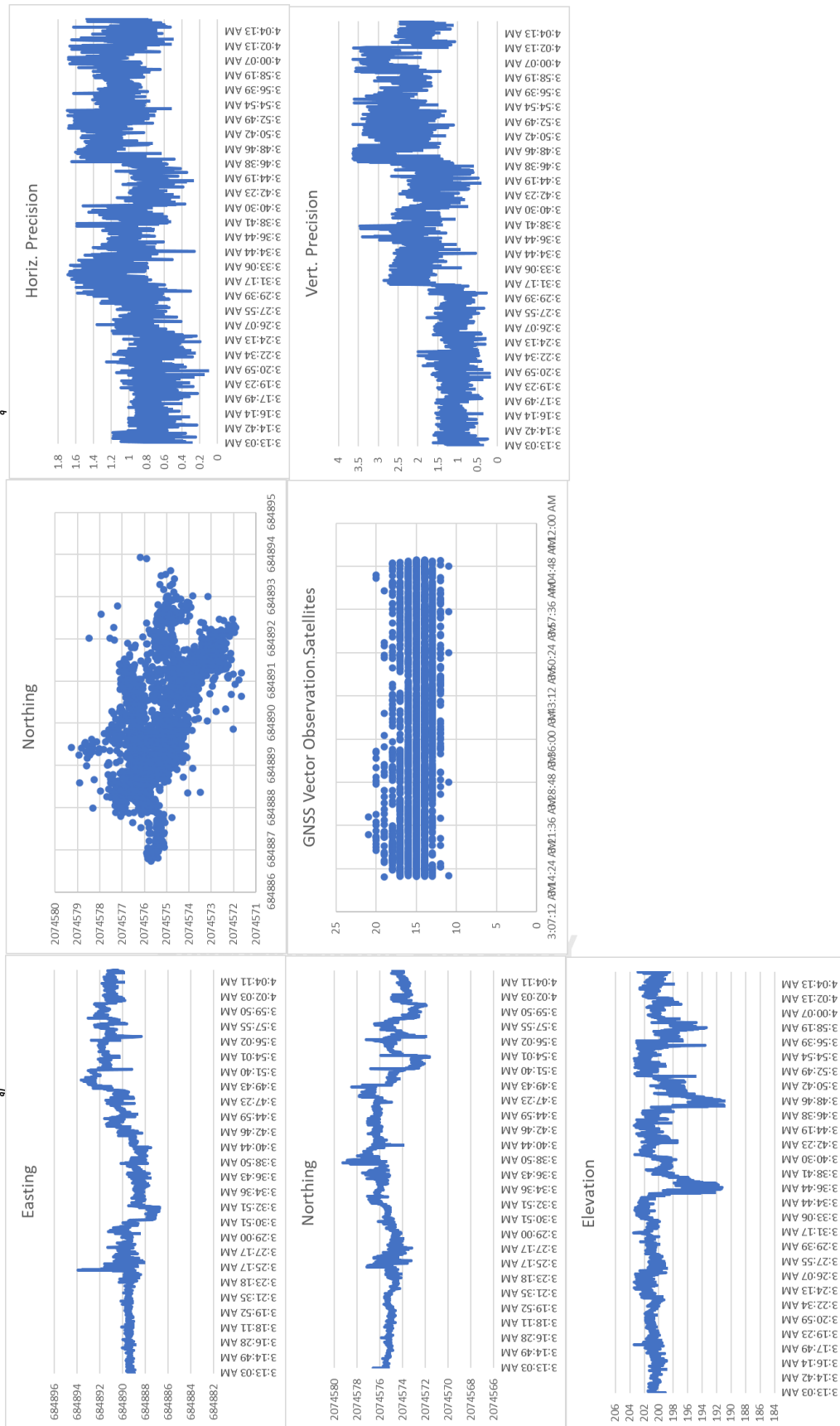


รูปที่ ก.22 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในโหมด BM1





รูปที่ ก.23 แสดงกราฟที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีใช้สมาร์ตโฟนในโหมด BM2





### วิเคราะห์กราฟจากการประมวลผล ข้อมูลจากการรับสัญญาณโดยใช้สมาร์ทโฟน ประมวลผลแบบ Kinematic โดยใช้ข้อมูลความถี่เดียวในแต่ละจุดรับสัญญาณ

จากกราฟแสดงข้อมูลของแต่ละจุด ในคอลัมน์แรกที่จะมีกราฟ Easting แสดงค่า Easting ในหน่วยเมตรในแกน Y แสดงเวลาในการรับสัญญาณในแกน X, กราฟ Northing แสดงค่า Northing ในหน่วยเมตรในแกน Y แสดงเวลาในการรับสัญญาณในแกน X, Elevation แสดงค่า elevation ในหน่วยเมตรในแกน Y แสดงเวลาในการรับสัญญาณในแกน X, ในคอลัมน์ที่สองกราฟแรกแสดงตำแหน่งโดยแสดงค่า Northing ในแกน Y แสดงค่า Easting ในแกน X, กราฟ GNSS Vector Observation.Satellites แสดงจำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้ในช่วงเวลานั้นๆโดยจะแสดงเป็นช่วง เช่นในช่วงเวลานั้นมีจุดสีฟ้าอยู่ที่เลข 10 11 12 แสดงว่าดาวเทียมในช่วงนั้นอยู่ระหว่าง 10 – 12 ดวง โดยจะแสดงจำนวนในแกน Y แสดงเวลาในการรับสัญญาณในแกน X, ในคอลัมน์สุดท้ายกราฟแรกแสดง Horiz. Precision ซึ่งย่อมาจาก Horizontal Precision ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความถูกต้องทางราบของข้อมูลในหน่วยเมตรในแกน Y แสดงเวลาในการรับสัญญาณในแกน X, กราฟ Vert. Precision ซึ่งย่อมาจาก Vertical Precision ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความถูกต้องทางดิ่งในหน่วยเมตรในแกน Y แสดงเวลาในการรับสัญญาณในแกน X

**หมุดทดสอบที่ 1** ซึ่งอยู่ตำแหน่งซ้ายบนของแผนที่ เป็นตำแหน่งที่ใกล้แม่น้ำสมุนซึ่งเป็นขอบของพื้นที่และรั้วสูง 1 เมตรในระยะ 5 เมตร จะเห็นว่าปริมาณข้อมูลหนาแน่นน้อย ข้อมูลทางตำแหน่งในกราฟ Easting, Northing ค่อนข้างคงที่ จะมีข้อมูลเหวี่ยงบ้างในบางช่วงเวลาสำหรับกราฟ elevation ค่าความสูงจะค่อยๆลดลงตามเวลาที่ผ่านไปโดยมีจำนวนดาวเทียม 9-13 ดวงตลอดช่วงเวลาที่รับสัญญาณ โดยที่ความถูกต้องทางราบและดิ่งค่อนข้างคงที่

**หมุดทดสอบที่ 2** ซึ่งอยู่ตำแหน่งกลางบนของพื้นที่โดยพื้นที่ข้างบนเป็นพื้นที่แม่น้ำ ไม่มีต้นไม้สูงอยู่ในบริเวณใกล้เคียง จะเห็นว่าปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก ข้อมูล Easting, Northing จะไม่ค่อยคงที่โดยจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป ในขณะที่ค่า Elevation ในช่วงแรกจะเหวี่ยงเยอะแต่จะกลับมาคงที่ได้ในเวลาต่อมา ตำแหน่งพิกัดค่อนข้างกระจายตัวโดยที่จำนวนดาวเทียมค่อนข้างเหวี่ยงโดยมีจำนวน 9 – 16 ดวง โดยที่ความถูกต้องมีค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางดิ่งจะสูงในช่วงแรกและจะค่อยๆลดลงในช่วงกลางและเพิ่มขึ้นสูงมากในช่วงท้าย

**หมุดทดสอบที่ 3** ซึ่งอยู่ตำแหน่งภายในพื้นที่ส่วนบน รอบข้างเป็นที่โล่ง จะเห็นว่าปริมาณข้อมูลค่อนข้างหนาแน่นปานกลาง ข้อมูล Easting, Northing, Elevation จะเหวี่ยงในช่วงแรกและจะค่อยๆคงที่จนถึงช่วงกลางและข้อมูลกระโดดในช่วงท้ายแล้วไม่กลับมาจุดเดิม โดยจำนวนดาวเทียมไม่

คงที่ มีจำนวนอยู่ในช่วง 10 – 17 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่ง ค่าคลาดเคลื่อนจะเหวี่ยงมากในช่วงแรกและจะคงที่ในช่วงกลางและคลาดเคลื่อนสูงมากในช่วงท้าย

**หมุดทดสอบที่ 4** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่ช่วงซ้ายบนโดยอยู่ขอบขอบซ้ายของพื้นที่ซึ่งมีรั้วและต้นไม้เตี้ยโดยหมุดอยู่ห่างจากรั้ว 5 เมตร จะเห็นว่าปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก ค่า Easting, Northing, Elevation ในช่วงแรกถึงช่วงกลางข้อมูลจะเหวี่ยงเยอะมากแต่จะเหวี่ยงน้อยลงมากในช่วงท้าย เพียงแต่ค่า Elevation ข้อมูลจะไม่ค่อยนิ่งโดยค่าระดับมีแนวโน้มในการลดระดับลง โดยจำนวนดาวเทียมหนาแน่นโดยมีจำนวน 11 – 20 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างนิ่งและมีแนวโน้มว่าจะลดลงในช่วงท้าย ความถูกต้องทางดิ่งค่าคลาดเคลื่อนต่ำสุดในช่วงแรกและจะค่อยเพิ่มค่าคลาดเคลื่อนและการเหวี่ยงขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป

**หมุดทดสอบที่ 5** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่ในบริเวณขวาบนของพื้นที่ ข้างบนติดกับน้ำทางขวาห่างจากต้นไม้สูง 3 เมตรเป็นระยะทาง 5 เมตร จะเห็นว่าปริมาณข้อมูลหนาแน่นปานกลาง ค่า Easting, Northing, Elevation จะเหวี่ยงเยอะมากในช่วงแรกและเมื่อเวลาผ่านไปข้อมูลจะเหวี่ยงลดลงและคงที่มากขึ้น โดยที่จำนวนดาวเทียมปกติ อยู่ในช่วง 8 – 13 โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่งในช่วงแรกจะเหวี่ยงเยอะมากและค่อยๆคงที่ในเวลาต่อมาแต่จะมีค่าคลาดเคลื่อนสูงขึ้นไปด้วย

**หมุดทดสอบที่ 6** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่บริเวณขอบซ้ายของพื้นที่ ห่างจากรั้ว 3 เมตร ห่างจากต้นไม้ขนาด 3 เมตร เป็นระยะทาง 5 เมตร ปริมาณข้อมูลน้อยมากโดยที่ค่า Easting, Northing, Elevation ไม่คงที่และเหวี่ยงอยู่ตลอดเวลา โดยที่มีจำนวนดาวเทียม 12 – 20 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงมาก

**หมุดทดสอบที่ 7** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่บริเวณกลางพื้นที่รอบข้างเป็นที่โล่ง ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก ค่า Easting เหวี่ยงเยอะมากในช่วงแรกถึงช่วงกลางและค่อนข้างนิ่งและคงที่ในช่วงท้าย ค่า Northing เหวี่ยงเยอะในช่วงแรกและช่วงกลางและเหวี่ยงน้อยในช่วงท้ายแต่ข้อมูลจะขยับอยู่ตลอดไม่นิ่ง ค่า Elevation จะเหวี่ยงเยอะมากในช่วงแรกและช่วงกลางโดยจะนิ่งและคงที่ในช่วงท้าย โดยที่มีจำนวนดาวเทียม 9 – 15 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่งค่อนข้างคงที่

**หมุดทดสอบที่ 8** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่กลางพื้นที่ อยู่ห่างจากขอบที่ทางขวา 10 เมตร ซึ่งรอบข้างโล่ง จะเห็นว่าปริมาณข้อมูลหนาแน่น ค่า Easting, Northing, Elevation การเหวี่ยงและการเคลื่อนค่อนข้างคงที่ โดยมีจำนวนดาวเทียม 10 – 18 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่งค่อนข้างคงที่

**หมุดทดสอบที่ 9** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่ขอบพื้นที่ โดยทางซ้าย 5 เมตรมีรั้วเตี้ย รอบข้างโล่ง ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก ค่า Easting, Northing, Elevation จะค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกและเหวี่ยงเยอะมากตั้งแต่ช่วงกลางเป็นต้นไป โดยจำนวนดาวเทียม 8 – 14 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำในช่วงแรก และจะสูงขึ้นในช่วงกลางและช่วงท้าย

**หมุดทดสอบที่ 10** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่บริเวณกลางพื้นที่ รอบข้างโล่ง ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก ค่า Easting, Northing, Elevation เหวี่ยงและไม่คงที่ตลอดเวลาโดยในช่วงกลางจะมีค่ากระโดด ทำให้ตำแหน่งทั้งสามแกนเปลี่ยนอย่างฉับพลันทั้งหมด โดยที่มีจำนวนดาวเทียม 7 – 14 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่งค่อนข้างคงที่

**หมุดทดสอบที่ 11** ซึ่งเป็นหมุดที่ติดขอบขวาของพื้นที่โดยห่างจากขอบ 10 เมตร โดยที่ขอบมีต้นไม้สูง 3 เมตร ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก โดยที่ข้อมูลเวิ้งเยอะมากในช่วงแรกและคงที่ในช่วงกลางและกลับไปเวิ้งในช่วงท้าย โดยที่มีจำนวนดาวเทียม 10 – 17 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและดิ่ง ค่าคลาดเคลื่อนในช่วงแรกถึงช่วงกลางจะต่ำและสูงขึ้นในช่วงท้าย

**หมุดทดสอบที่ 12** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่ขอบซ้ายของพื้นที่ อยู่ห่างจากรั้ว 5 เมตร ห่างจากอาคาร 2 ชั้น 10 เมตร ปริมาณข้อมูลหนาแน่นปานกลาง โดยที่ค่า Easting, Northing, Elevation การเวิ้งและการเลื่อนสูงแต่คงที่ จำนวนดาวเทียม 9 – 17 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่งคงที่

**หมุดทดสอบที่ 13** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่กลางพื้นที่ รอบข้างโล่ง ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก โดยที่ค่า Easting, Northing, Elevation ในช่วงแรกจะเวิ้งและไม่คงที่ ช่วงกลางจะค่อนข้างคงที่แต่เวิ้งเยอะอยู่ และช่วงท้ายเวิ้งน้อยลงแต่ข้อมูลไม่ค่อยคงที่ โดยที่มีจำนวนดาวเทียม 10 – 17 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่ง ค่าคลาดเคลื่อนช่วงแรกถึงช่วงกลางจะสูงมากและจะลดลงในช่วงท้าย

**หมุดทดสอบที่ 14** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่กลางพื้นที่ อยู่ห่างจากรั้วทางขวา 15 เมตร ปริมาณข้อมูลมีความหนาแน่นสูงมาก ค่า Easting, Northing, Elevation ค่อนข้างนิ่งและคงที่ในช่วงแรกและช่วงท้ายแต่จะเวิ้งในช่วงกลาง โดยที่มีจำนวนดาวเทียม 10 – 18 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่ง ค่าคลาดเคลื่อนต่ำมาก

**หมุดทดสอบที่ 15** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่ห่างจากรั้ว 5 เมตร และอยู่ห่างจากอาคารสองชั้น 10 เมตร ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก ค่า Easting, Northing, Elevation ไม่คงที่และเวิ้งมาก โดยที่มีจำนวนดาวเทียม 10 – 19 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่ง ค่าคลาดเคลื่อนต่ำมาก

**หมุดทดสอบที่ 16** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่กึ่งกลางของพื้นที่ ห่าง 3 เมตรมีป้ายไว้นิลสูง 3 เมตร ปริมาณข้อมูลมีความหนาแน่นปานกลาง ค่า Easting, Northing, Elevation เวิ้งสูงมากในช่วงแรกถึงช่วงกลางและค่อนข้างคงที่ในช่วงท้าย โดยที่มีจำนวนดาวเทียม 10 – 17 ดวง โดยที่ความแม่นยำทางราบและทางดิ่ง ค่าคลาดเคลื่อนสูงในช่วงแรกและช่วงกลางและลดลงในช่วงท้าย

**หมุดทดสอบที่ 17** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่กลางพื้นที่ รอบข้างโล่ง ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก ค่า Easting, Northing, Elevating เวิ้งน้อยมาก ค่อนข้างนิ่งและคงที่ โดยที่มีจำนวนดาวเทียม 10 – 16 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางดิ่งค่อนข้างคงที่และดีขึ้นในช่วงท้าย

**หมุดทดสอบที่ 18** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่บริเวณชายล่างของพื้นที่ ด้านข้าง 3 เมตรติดรั้ว 5 เมตร ติดอาคาร 2 ชั้น ด้านล่างอยู่ห่างจากถนน 3 เมตร ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก โดยค่า Easting, Northing, Elevation เหวี่ยงเยอะแต่คงที่ โดยมีจำนวนดาวเทียม 9 – 16 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางตั้ง ค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างต่ำและคงที่โดยจะต่ำมากในช่วงท้าย

**หมุดทดสอบที่ 19** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่ห่างจากถนน 3 เมตร ฝั่งตรงข้ามของถนนเป็นป่ารก ปริมาณข้อมูลน้อยมาก โดยที่ค่า Easting, Northing, Elevation เหวี่ยงและไม่คงที่ โดยมีจำนวนดาวเทียม 9 – 13 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและทางตั้ง ค่าคลาดเคลื่อนสูงและคงที่

**หมุดทดสอบที่ 20** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่ห่างจากถนน 3 เมตร ฝั่งตรงข้ามของถนนเป็นบ้านคน ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก โดยที่ค่า Easting, Northing, Elevation เหวี่ยงมากในช่วงแรกถึงช่วงกลางและค่อนข้างคงที่ในช่วงท้าย โดยมีจำนวนดาวเทียม 10 – 17 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและตั้ง ค่าคลาดเคลื่อนต่ำทุกช่วงเวลา

**หมุดทดสอบที่ 21** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่มุมขวาล่างของพื้นที่โดยที่อยู่ห่างจากถนน 3 เมตร และอยู่ห่าง 3 เมตรจากต้นไม้สูง 3 เมตร ปริมาณข้อมูลมีความหนาแน่นสูงมาก โดยที่ค่า Easting, Northing, Elevation เลื่อนเยอะมากในช่วงแรกและค่อนข้างคงที่แต่เวิ้งเยอะขึ้นในช่วงกลางถึงช่วงท้าย โดยมีจำนวนดาวเทียม 11 – 20 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและตั้ง ค่าคลาดเคลื่อนต่ำมาก

**หมุดควบคุมชั่วคราว BM1** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่กึ่งกลางพื้นที่ช่วงล่าง ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก โดยที่ค่า Easting, Northing, Elevation นิ่งและคงที่มาก โดยมีจำนวนดาวเทียม 11 – 20 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและตั้ง ค่าคลาดเคลื่อนต่ำมาก และค่อนข้างคงที่

**หมุดควบคุมชั่วคราว BM2** ซึ่งเป็นหมุดที่อยู่กึ่งกลางพื้นที่ส่วนบน ปริมาณข้อมูลหนาแน่นมาก ค่า Easting, Northing, Elevation ค่อนข้างนิ่งและคงที่ในช่วงแรกแต่จะเวิ้งในช่วงท้าย โดยมีจำนวนดาวเทียม 11 – 20 ดวง โดยที่ความถูกต้องทางราบและตั้ง ค่าคลาดเคลื่อนในช่วงแรกต่ำและจะสูงขึ้นในช่วงกลางและท้าย



รูปที่ ข.1 แสดงพิกัดหมุดหลักเขตในระบบพิกัดศูนย์กำเนิด

[illegible]















รูปที่ ข.6 แสดงพิกัดหมุดหลักเขตในระบบพิกัดศูนย์กำเนิด

[illegible]





รูปที่ ข.8 แสดงพิกัดหมุดหลักเขตในระบบพิกัดศูนย์กำเนิด

[illegible]

รูปที่ ข.9 แสดงพิกัดหมวดหลักเขตในระบบพิกัดศูนย์กำเนิด

[illegible]









โค้ดแสดงการคำนวณตัวแปรที่ใช้ในการแปลงพิกัดด้วย conformal transformation โดยใช้  
พิกัด 5, 8, 21 ซึ่งเป็นพิกัดที่กระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่

format long

B=[684921.073

2074587.579

684900.797

2074541.499

684898.886

2074476.384];

x1=-25721.04347;y1=-27228.37417;

x2=-25737.96869;y2=-27277.67508;

x3=-25736.2387;y3=-27340.07767;

A=[x1 y1 1 0

y1 -x1 0 1

x2 y2 1 0

y2 -x2 0 1

x3 y3 1 0

y3 -x3 0 1];


X=double(A\B)

V=A\*X-B;



โค้ดแสดงการคำนวณการเลือกข้อมูลสมาร์ตโฟนทั้ง 128 รูปแบบ

```
AA=[];
B = zeros(21,1);
X=[zeros(7,1),ones(7,1)]+1;
for i1=1:2
    B(1,1)=i1;
    for i2=1:2
        B(2,1)=i2;
        for i3=1:2
            B(3,1)=i3;
            for i4=1:2
                B(4,1)=i4;
                for i5=1:2
                    B(5,1)=i5;
                    for i6=1:2
                        B(6,1)=i6;
                        for i7=1:2
                            B(7,1)=i7;
                            A=[];
                            for j =1:7
                                A=[A;X( j ,B(j))];
                            end
                            AA=[AA,A];
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Nantapong Tantrakul
วัน เดือน ปี เกิด	2 june 1997
วุฒิการศึกษา	Chulalongkorn University

