

การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โธเมตริกจากการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบ
ดาวเทียมนำหน

นายโชคชัย ตระกลกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ACCURACY ASSESSMENT OF ORTHOMETRIC HEIGHT FROM MOBILE MAPPING
USING GNSS

Mr.Chokchai Trakolkul

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

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โธเมตริกจาก
การสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน

โดย

นายโชคชัย ตระกลกุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมสำรวจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บวรเจต พละการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวพรชญ์ ชื่นนิธิไพศาล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.นิธิวัฒน์ ชูสกุล)

โชคชัย ตระกกุล : การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน. (ACCURACY ASSESSMENT OF ORTHOMETRIC HEIGHT FROM MOBILE MAPPING USING GNSS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศ.ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 73 หน้า.

ปัจจุบันงานรังวัดดาวเทียมถูกใช้กันแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางด้านสูง ค่าพิกัดทางดิ่งถือเป็นผลพลอยได้จากงานรังวัดดาวเทียม ดังนั้นจึงเกิดความสนใจในการนำระบบดาวเทียมนำหนมาใช้หาค่าความสูงออร์โทเมตริก ด้วยความจริงที่ว่า การสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะให้ข้อมูลที่รวดเร็วกว่าวิธีการทำระดับด้วยกล้องระดับแบบเดิม งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับจากการรังวัดแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน โดยการประมวลผลภายหลังด้วยวิธีประมวลผลแบบ RTK (Real-Time Kinematic), VRS (Virtual Reference Station) และ PPP (Precise Point Positioning) และประเมินผลลัพธ์จากการใช้ ค่าความสูงยึดอยด์จาก EGM2008 กับค่าความสูงยึดอยด์ท้องถิ่น

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ค่าความสูงยึดอยด์ของ EGM2008 วิธี RTK จะมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.07 เมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.04 เมตร วิธี VRS มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.07 เมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.03 เมตร ส่วนวิธี PPP มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.13 เมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.12 เมตร ดังนั้น จะเห็นได้ว่า เมื่อนำค่าทางสถิติมาเปรียบเทียบกัน จะพบว่าวิธี RTK และวิธี VRS ให้ความถูกต้องในระดับที่ไม่แตกต่างกัน แต่วิธี PPP จะให้ผลที่แย่กว่าสองวิธีข้างต้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงยึดอยด์จาก EGM2008 และค่าความสูงยึดอยด์ท้องถิ่น ด้วยวิธีการข้างต้น จะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการทำระดับด้วยดาวเทียมจากการสำรวจแบบเคลื่อนที่นั้น จะให้ความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกในระดับเดซิเมตร ซึ่งถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการประมวลผลข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ให้ความถูกต้องเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานสำรวจด้านต่างๆ

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2555

5370637021 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS : GPS / GNSS / RTK / PPP / VRS

CHOKCHAI TRAKOLKUL : ACCURACY ASSESSMENT OF ORTHOMETRIC HEIGHT FROM MOBILE MAPPING USING GNSS.

ADVISOR : PROF. CHALERMCHON SATIRAPOD Ph.D., 73 pp.

At present, GNSS surveying has been widely used especially for applications that require high accuracy positioning results. The vertical coordinate is considered to be a byproduct of the GNSS surveying. This therefore generates an interest in using the GNSS for the determination of an orthometric height. It is due to the fact that the mobile mapping system equipped with the geodetic-graded GNSS receiver enables rapid data collection compared to traditional differential leveling method. This research aims to assess the accuracy of orthometric heights derived from the mobile mapping system using the post-processing by Real-Time Kinematic (RTK method), Virtual Reference Station (VRS method) and Precise Point Positioning (PPP method). Using the EGM2008 and local geoid model.

By applying the EGM2008 with the three above-mentioned methods, the results can be shown that the mean error and standard deviation at 0.07 m and 0.04 m respectively for RTK method. The VRS method produces the mean error at 0.07 m and standard deviation at 0.03 m. Furthermore, the PPP method demonstrates the mean error and standard deviation at 0.13 m and 0.12 m respectively. As a result, there is no significant difference between RTK and VRS methods. On the other hand, PPP method produces less accurate results than the RTK and VRS methods. However, by comparing the use of EGM2008 and local geoid model, it was found that the results show no significant difference. In summary, results show that the GNSS levelling can provide orthometric heights accurate at decimeter level. This can be considered as an alternative for accurate data capturing method for any survey works.

Department : Survey Engineering Student's Signature

Field of Study : Survey Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด พละการ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ์ ชื่นนิธิไพศาล และ ดร.นิธิวัฒน์ ชูสกุล ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คุณณัฐกิติ์ เสงี่ยม สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน), คุณนิกร สุทธิเสงี่ยม บริษัท REPCO (ประเทศไทย) จำกัด, คุณธีรทัต เจริญการรัฐัญญาตา กรมที่ดิน และพันโทสรวิศ สุภเวทย์ กองยี่ออเดซีและยี่ออพิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณพงศกร มาลัยแก้ว นิสิตปริญญาบัณฑิต ที่ช่วยเหลือในการทำงานภาคสนามรวมถึงร่วมเสนอแนะและช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ในการประมวลผลข้อมูล, คุณอรุณ บุรีรักษ์ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ และพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายสุดนี้ขอมอบความดีของวิทยานิพนธ์ เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแด่บิดา มารดา ญาติพี่น้องและคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ระบบนำหนด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียม (Navigation Satellite Systems, NSS)...	5
2.1.1 ระบบดาวเทียมนำหนบนโลก (Global Navigation Satellite System, GNSS).....	5
2.1.1.1 ระบบดาวเทียม GPS	5
2.1.1.2. ระบบดาวเทียม GLONASS	7
2.2 การหาค่าระดับด้วยระบบดาวเทียมนำหน.....	7
2.3 การหาค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรงรีและพื้นผิวย็อยด์.....	10
2.3.1 วิธี Astro-geodetic	10
2.3.2 วิธีแบบจำลอง Geopotential ของสนามความถ่วงของพิภพ	10
2.3.3 วิธี Gravimetric	10
2.3.4 วิธีการประมาณค่าภายใน (Interpolation method).....	10
2.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองย็อยด์ของพิภพในการหาค่า N เซิงสัมพัทธ์	11
2.5 หลักการหาตำแหน่ง	12
2.5.1 การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (Single point positioning).....	12
2.5.2 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)	12

2.6 การประมวลผลสัญญาณดาวเทียม	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	19
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	19
3.1.1 อุปกรณ์สำหรับตั้งสถานีฐานภายในพื้นที่	19
3.1.2 อุปกรณ์สำหรับทำระดับ(Leveling).....	20
3.1.3 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย	20
3.1.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลในภายหลัง	21
3.2 การประมวลผลข้อมูลสถานีฐาน เพื่อโยงยึดเข้ากับระบบพิกัดของกรมที่ดิน	22
3.3 การถ่ายค่าระดับจากหมุดระดับอ้างอิงกรมแผนที่ทหารมายังหมุดสถานีฐานอ้างอิง	24
3.4 ประมวลผลข้อมูลจากการรังวัด	26
3.5 การถ่ายระดับด้วยกล้องระดับเพื่อทำการเปรียบเทียบผล	28
3.6 เปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก	31
บทที่ 4 ผลการศึกษา	32
4.1 ค่าพิกัดของสถานีฐาน (Base RTK) และสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference).....	32
4.2 การถ่ายระดับด้วยดาวเทียมมายังสถานีฐานอ้างอิง	32
4.3 ผลการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัด	33
4.3.1 ประมวลผลแบบจลน์ (RTK).....	33
4.3.2 การประมวลผลด้วยสถานีฐานเสมือน (VRS).....	35
4.3.3 การประมวลผลแบบจุดเดี่ยว (PPP)	37
4.4 ผลการเดินระดับภาคพื้นดินของจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด ด้วยกล้องระดับ.....	39
4.5 ค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการประมวลผล	40
4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัด ด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร.....	41
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	51
5.1 ผลการศึกษา	51
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	52
5.3 ข้อเสนอแนะ	53
รายการอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก	57
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	73

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.1	ค่าพิกัดสถานีฐาน (Base RTK) และสถานีฐานอ้างอิง (Base reference)	32
ตารางที่ 4.2	ค่าทางดิ่งจากหมุดระดับอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร.....	32
ตารางที่ 4.3	ผลจากการถ่ายระดับด้วยดาวเทียมจากหมุดระดับ รังสีทดลอง 10	33
ตารางที่ 4.4	ค่าพิกัดจุดตรวจสอบที่สุ่มเลือกจากการประมวลผลแบบจลน์ (RTK) จำนวน 32 จุด.....	34
ตารางที่ 4.5	ค่าพิกัดจุดตรวจสอบจากการประมวลผลแบบ VRS จำนวน 32 จุด.....	36
ตารางที่ 4.6	ค่าพิกัดจุดตรวจสอบจากการประมวลผลแบบ PPP จำนวน 32 จุด.....	37
ตารางที่ 4.7	ค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการเดินระดับภาคพื้นดิน ของจุดตรวจสอบ ทั้ง 32 จุด.....	39
ตารางที่ 4.8	ค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการประมวลผล	40
ตารางที่ 4.9	เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร กรณีใช้ค่า N (EGM2008).....	42
ตารางที่ 4.10	เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร (ตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหาออก) กรณีใช้ค่า N (EGM2008).....	44
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร กรณีใช้ค่า N (Local Geoid).....	45
ตารางที่ 4.12	เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร (ตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหาออก) กรณีใช้ค่า N (Local geoid).....	48

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	ขอบเขตพื้นที่ศึกษา..... 3
รูปที่ 2.1	ตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียม GPS..... 6
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือทรวงรี และความสูงออร์โทเมตริก..... 9
รูปที่ 2.3	การหาตำแหน่งจุดเดียว..... 12
รูปที่ 2.4	การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์..... 13
รูปที่ 2.5	ระบบโครงข่ายสถานีฐาน DOL VRS ของกรมที่ดิน..... 16
รูปที่ 2.6	ค่าความถูกต้องจากการประมวลผลโดย CSRS-PPP เปรียบเทียบกับ ระยะเวลาในการรับสัญญาณแบบจลน์..... 17
รูปที่ 2.7	การให้บริการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ของ CSRS-PPP 18
รูปที่ 3.1	อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GNSS ชนิดสองความถี่ 19
รูปที่ 3.2	รูปข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่รับสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลค่าระดับความ สูงออร์โทเมตริกของหมุดระดับอ้างอิงจากกรมแผนที่ทหารซึ่งอยู่ในบริเวณ พื้นที่ที่ทำการวิจัย..... 21
รูปที่ 3.3	การประมวลผลพิกัดทางราบของสถานีฐาน (Base RTK)..... 22
รูปที่ 3.4	การประมวลผลพิกัดทางราบของสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference)..... 23
รูปที่ 3.5	การถ่ายระดับด้วยดาวเทียม..... 24
รูปที่ 3.6	การปรับแก้โครงข่ายโดยกำหนดให้หมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 10 เป็นจุดโยงยึดทางตั้ง ในการทำระดับด้วยดาวเทียม..... 25
รูปที่ 3.7	การประมวลผลข้อมูลรังวัดดาวเทียมแบบจลน์ (RTK) ด้วยซอฟต์แวร์ Waypoint GrafNav v8.3..... 26
รูปที่ 3.8	ข้อมูลสถานีฐานเสมือนจากระบบ DOL VRS Reference Station 27
รูปที่ 3.9	การให้บริการประมวลผลข้อมูลในรูปแบบออนไลน์ของ CSRS-PPP 28
รูปที่ 3.10	พื้นที่ที่ใช้ในการสุ่มเลือกจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด..... 29
รูปที่ 3.11	การทำ RTK โหมด Stake Out เพื่อหาตำแหน่งจุดตรวจสอบ..... 30
รูปที่ 3.12	การทำระดับภาคพื้นดินด้วยกล้องระดับ เพื่อหาค่าความสูงออร์โทเมตริกของ จุดตรวจสอบที่เลือกไว้ทั้ง 32 จุด ที่ทำเครื่องหมายไว้ในพื้นที่..... 30
รูปที่ 4.1	เส้นทางการวิ่งรับข้อมูลของ Span18 (สีฟ้า) และ Span 19 (สีแดง)..... 34

รูปที่ 4.2	ค่าคลาดเคลื่อนความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ เทียบกับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร กรณีใช้ค่า N (EGM2008).....	43
รูปที่ 4.3	ค่าคลาดเคลื่อนความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ เทียบกับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร (ตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหา ออก) กรณีใช้ค่า N (EGM2008).....	45
รูปที่ 4.4	ค่าคลาดเคลื่อนความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ เทียบกับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร กรณีใช้ค่า N (Local Geoid).....	47
รูปที่ 4.5	ค่าคลาดเคลื่อนความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ เทียบกับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร (ตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหา ออก) กรณีใช้ค่า N (Local Geoid).....	48
รูปที่ 4.6	เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และค่า ระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารโดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ ด้วยวิธี RTK	49
รูปที่ 4.7	เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และค่า ระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารโดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ ด้วยวิธี VRS	49
รูปที่ 4.8	เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และค่า ระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารโดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ ด้วยวิธี PPP	50
รูปที่ 4.9	เปรียบเทียบค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบ จลน์ และค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร ด้วยวิธี RTK, VRS และ PPP โดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ (EGM2008,Local Geoid).....	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานรังวัดดาวเทียมได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันโดยเฉพาะงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่สูง เนื่องจากงานรังวัดดาวเทียมมีข้อได้เปรียบงานรังวัดภาคพื้นดินอยู่หลายประการ เช่น สามารถทำงานได้ในทุกสภาพอากาศและตลอด 24 ชั่วโมงสะดวกรวดเร็ว ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องการมองเห็นกันระหว่างสถานี เป็นต้น นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้ก็ยังคงเป็นค่าพิกัดในสามมิติ ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จึงถือเป็นผลพลอยได้จากงานรังวัดดาวเทียม (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ , 2552) และจากเหตุการณ์อุทกภัยใหญ่เมื่อปี 2554 ส่งผลทำให้หลายหน่วยงานให้ความสำคัญกับการหาค่าระดับทะเลปานกลางในตำแหน่งต่างๆ ที่จะมีผลต่อการป้องกันน้ำท่วม รวมไปถึงค่าระดับของถนนสายหลักๆ ทำให้มีความสนใจในการนำระบบดาวเทียมมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าความสูงออร์โทเมตริก หรืออีกนัยหนึ่งคือ ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าวิธีการทำระดับด้วยกล้องระดับ (ธนัช สุขวิมลเสรี, 2547) โดยวิธีการสำรวจแบบเคลื่อนที่ (Mobile Mapping System : MMS) ซึ่งเป็นระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ที่สามารถบันทึกข้อมูลได้อย่างรวดเร็วโดยการเคลื่อนผ่านครอบคลุมการใช้เครื่องมือสำรวจรังวัดที่เคลื่อนย้ายได้โดยบุคคล ยานพาหนะบนพื้นดิน เรือแล่นบนผิวน้ำ ไปจนถึงอากาศยาน (Naser, 2004) วิธีสำรวจทำได้โดยติดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไว้ที่ยานพาหนะวิ่งไปตามถนนที่ต้องการทราบค่าระดับ และนำข้อมูลจากการรับสัญญาณดาวเทียมดังกล่าวมาทำการประมวลผลหาค่าความสูงออร์โทเมตริก

วิธีการหนึ่งเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริก คือ ใช้ค่าความสูงจากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมมาหา ซึ่งเป็นการหาค่าความสูงเหนือรูปทรงรี แปลงมาเป็นค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลางหรือความสูงออร์โทเมตริกซึ่งจำเป็นจะต้องทราบค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรงรีและพื้นผิวพอยด์ ที่เรียกว่า ความสูงพอยด์ (Geoidal height : N) ดังนั้นวิธีการหนึ่งเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริก คือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงพอยด์ (Geoid model) ที่มีความถูกต้องร่วมกับความสูงซึ่งได้ร่ว้จากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมมาหา ด้วยในประเทศไทยยังไม่มีแบบจำลองความสูงพอยด์ท้องถิ่น (Local geoid model) ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบบจำลองความสูงพอยด์ของพิภพ (Global geoid model) ซึ่งแบบจำลองความสูงพอยด์ของพิภพมีอยู่หลายแบบจำลอง ตัวอย่างเช่น OSU91A , EGM96 และ EGM2008 เป็นต้น จากแบบจำลองความสูงพอยด์ของพิภพที่กล่าวมา พบว่าระหว่างแบบจำลอง OSU91A และ EGM96 แบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือ EGM96 (ธนัช สุขวิมลเสรี, 2547) ส่วนงานวิจัยที่เปรียบเทียบ

แบบจำลองฯ EGM96 และ EGM2008 พบว่าแบบจำลองฯ EGM2008 จะมีความคงเส้นคงวา (Consistency) ดีกว่าแบบจำลองฯ EGM96 สำหรับพื้นที่ศึกษาซึ่งอยู่ในบริเวณตอนบนของประเทศไทย (ธนัช สุขวิมลเสรี และคณะ, 2553)

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ประมวลผลหาค่าความสูงออร์โทเมตริกด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ โดยการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัดแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน ด้วยวิธีประมวลผลแบบ RTK (Real-Time Kinematic), VRS (Virtual Reference Station) และ PPP (Precise Point Positioning) ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความถูกต้องของการประมวลผล โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทำระดับด้วยกล้องระดับจากมุมระดับของกรมแผนที่ทหารที่อยู่ใกล้เคียงเป็นค่าอ้างอิงในการวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาว่าวิธีการใดที่จะให้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ถูกต้องและเหมาะสมกับการนำไปใช้งานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิธีการรังวัดสัญญาณดาวเทียม ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์โดยใช้นานพาหนะ เพื่อการหาค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยใช้การประมวลผลภายหลัง

1.2.2 ประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประมวลผลด้วยวิธี PPP, RTK และ VRS โดยเปรียบเทียบกับค่าระดับที่ได้จากการถ่ายระดับด้วยกล้องระดับจากมุมระดับของกรมแผนที่ทหาร

1.2.3 ประเมินความเป็นไปได้ในการใช้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน เพื่อประโยชน์ในการหาค่าระดับถนนที่สะดวกและรวดเร็ว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

1.3.1.1 ศึกษาวิธีการรังวัดสัญญาณดาวเทียมด้วยเครื่องรับประเภทรังวัดชนิดสองความถี่ระบบ GPS และระบบ GLONASS โดยมีการเลือกใช้ประมวลผลแบบสองความถี่เท่านั้น

1.3.1.2 ศึกษาวิธีการรังวัดสัญญาณดาวเทียมด้วยวิธีการติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมบนยานพาหนะและเคลื่อนที่รับสัญญาณไปในตัว โดยตั้งสถานีฐานภายในพื้นที่

1.3.1.3 ศึกษาวิธีการประมวลผลด้วยวิธี RTK, VRS และ PPP ในการหาค่าความสูง ออร์โทเมตริก โดยใช้ข้อมูลจากการรังวัดทั้งหมด 2 ชุดข้อมูล รวมกันกว่า 12,170 epoch

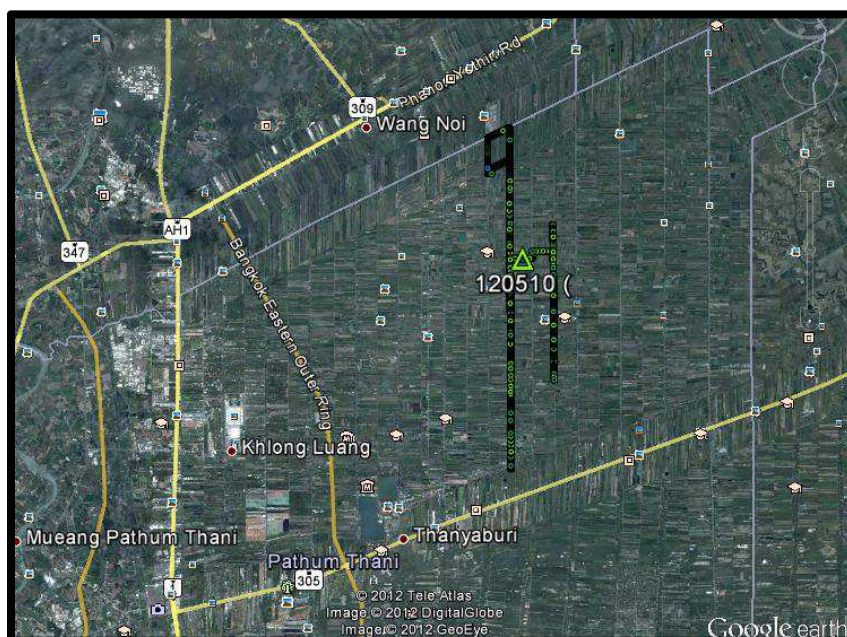
1.3.1.4 ประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการประมวลผลโดยการถ่ายระดับด้วยกล้องระดับจากมุมระดับของกรมแผนที่ทหารไปยังจุดตรวจสอบด้วยวิธี RTK ในโหมด Stake out ซึ่งจุดตรวจสอบได้จากการสุ่มเลือกจากค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผล โดยจัดทำจุดตรวจสอบประมาณ 32 จุดเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

1.3.1.5 เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ค่า N จากแบบจำลองความสูงยี่ออยด์ของพิภพ EGM2008 กับค่า N จากงานวิจัยเรื่อง การคำนวณหาเยื่อออยด์โดยวิธีการประเมินค่าภายใน บริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย (ดำริห์ ปรุงแต่งกิจ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2555) ซึ่งต่อไปในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า “ความสูงเยื่อออยด์ท้องถิ่น (Local Geoid)”

1.3.1.6 การประมวลผลสัญญาณดาวเทียม จะใช้การประมวลผลในภายหลัง (Post Processing) เท่านั้น

1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริก จากสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน ในครั้งนี้ได้เลือกพื้นที่ศึกษาเป็นแนวถนนในเขตรังสิต-นครนายก ช่วงบริเวณ คลอง8-คลอง9 ซึ่งเป็นถนนที่เป็นพื้นที่โล่งหลีกเลี่ยงปัญหาเรื่อง Multipath ที่อาจจะเกิดขึ้น ประกอบบริเวณดังกล่าวมีหิมุดระดับของกรมแผนที่ทหารอยู่ในพื้นที่ เหมาะแก่การถ่ายระดับเข้าหาจุดตรวจจสอบอีกด้วย ส่วนการวิ่งรถเก็บข้อมูลนั้นกำหนดให้ขอบเขตอยู่ในพื้นที่ไม่เกิน 100 ตารางกิโลเมตร และจำกัดความเร็วอยู่ที่ประมาณ 30 กม./ชม.



รูปที่ 1.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมพร้อมอุปกรณ์ที่สถานีฐาน GNSS ในพื้นที่

1.4.3 ศึกษาวิธีการติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมบนยานพาหนะ และวิ่งรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่และเส้นทางที่วางแผนไว้ ในอัตราความเร็วที่กำหนด

1.4.4 ประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม (Post processing)

1.4.4.1 RTK ด้วยซอฟต์แวร์ Grafnav v8.3

1.4.4.2 PPP ออนไลน์ผ่านเว็บไซต์ <http://www.geod.nrcan.gc.ca>

1.4.4.3 VRS ด้วยซอฟต์แวร์ LEICA Geo Office V.5

1.4.4.3.1 สร้างไฟล์ RINEX ของสถานีฐาน VRS จากเว็บไซต์ให้บริการของกรมที่ดิน <http://110.164.49.162/> ในช่วงเวลาที่ครอบคลุมช่วงที่ทำการวิ่งรับข้อมูลสัญญาณดาวเทียม และนำเข้าโปรแกรมเพื่อประมวลผล

1.4.4.4 แปลงค่าความสูงที่ได้จากการประมวลผลซึ่งเป็นความสูงเหนือนทรี ไปเป็นความสูงออร์โทเมตริก โดยใช้ค่า N จากแบบจำลองความสูงยี่ออยด์ของพิภพ EGM2008 กับค่า N จากความสูงยี่ออยด์ท้องถิ่น (Local Geoid)

1.4.5 ประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริก

1.4.5.1 จัดทำจุดตรวจสอบ โดยใช้วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในโหมดการทำงานแบบ Stake Out โดยสุ่มเลือกจากค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งจะทำจุดตรวจสอบ ประมาณ 32 จุด กระจายครอบคลุมบริเวณที่วิ่งรับสัญญาณ

1.4.5.2 ใช้กล้องระดับถ่ายระดับจากมุมระดับของกรมแผนที่ทหาร ไปยังจุดตรวจสอบที่จัดทำขึ้น เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการประมวลผล

1.4.6 สรุปผลการศึกษา เรียบเรียง จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้เรียนรู้เทคนิคการทำงานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ในการนำมาหาค่าความสูงออร์โทเมตริกโดยใช้ยานพาหนะในการวิ่งรับสัญญาณดาวเทียม

1.5.2 ได้ทราบถึงศักยภาพและความสามารถของซอฟต์แวร์ Grafnav ในการประมวลผลสัญญาณดาวเทียม

1.5.3 ได้ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้สถานีฐานเสมือนจากโครงข่าย VRS เปรียบเทียบกับการตั้งสถานีฐานภายในพื้นที่

1.5.4 ได้เรียนรู้วิธีการและประสิทธิภาพในการประมวลผลแบบ PPP ผ่านเว็บออนไลน์

1.5.5 ได้ทราบความถูกต้องของการหาค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน เพื่อประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบนำหนด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียม (Navigation Satellite Systems, NSS)

2.1.1 ระบบดาวเทียมนำหนบนโลก (Global Navigation Satellite Systems, GNSS)

การหาค่าพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณดาวเทียมได้เป็นที่รู้จักและมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการสำรวจจริงวัดแบบเดิม นั่นคือสามารถทำงานได้ทั้งกลางวันและกลางคืนตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่ขึ้นกับสถานที่และสภาพอากาศ มีความสะดวกในการทำงาน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเลือกตำแหน่งมุมดูให้มองเห็นกัน อีกทั้งไม่เสียค่าใช้จ่ายในการรับสัญญาณดาวเทียมมีแต่เพียงค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีทางการสำรวจจริงวัดด้วยดาวเทียมได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จนได้มีการกำหนดคำเฉพาะขึ้นมาที่มีชื่อว่า Global Navigation Satellite Systems หรือเรียกโดยย่อว่า GNSS โดยเป็นคำที่ใช้แทนระบบการหาพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียม ที่ประกอบด้วยดาวเทียมหลายระบบรวมกัน (โดยปกติหมายถึง ต้องมีอย่างน้อย 2 ระบบขึ้นไป) ได้แก่ ระบบดาวเทียม GPS ของสหรัฐอเมริกา ระบบดาวเทียม GLONASS ของรัสเซีย ระบบดาวเทียม Galileo ของสหภาพยุโรป ระบบดาวเทียม Beidou (หรือ Compass) ของประเทศจีน ระบบดาวเทียม IRNSS ของอินเดีย ระบบดาวเทียม DORIS ของฝรั่งเศส ระบบดาวเทียม QZSS ของญี่ปุ่น ซึ่งทุกระบบจะมีส่วนประกอบพื้นฐาน 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนอวกาศ (Space segment) ส่วนควบคุม (Control segment) และส่วนผู้ใช้ (User segment)

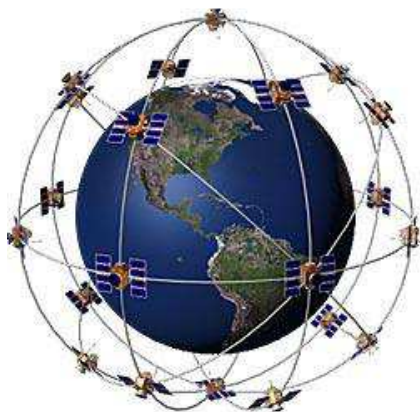
2.1.1.1 ระบบดาวเทียม GPS

ระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System, GPS) เป็นระบบที่ใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณดาวเทียม GPS ถูกพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหม (The United States Department of Defense, DoD) ประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 เพื่อประโยชน์ทางการทหารและหน่วยงานราชการของสหรัฐอเมริกา โดยใช้การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุลงมายังพื้นโลก เมื่อเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รับสัญญาณจากดาวเทียมได้แล้วจะนำเอาข้อมูลต่างๆ ที่ได้ไปประมวลผลหาตำแหน่งที่ต้องการ

ระบบดาวเทียม GPS ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนอวกาศ ส่วนควบคุม และส่วนผู้ใช้ โดยส่วนควบคุมจะมีสถานีติดตามภาคพื้นดินที่กระจายอยู่บนพื้นโลกเพื่อคอยติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ซึ่งทำให้สามารถคำนวณวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมที่ช่วงเวลาต่างๆ ได้ จากนั้นส่วนควบคุมก็จะทำนายวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียม

ทุกดวงในระบบล่วงหน้าแล้วส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังส่วนอวกาศซึ่งก็คือดาวเทียม ดาวเทียมก็จะทำการส่งข้อมูลเหล่านี้ออกมาพร้อมกับคลื่นวิทยุมายังโลก ในส่วนของผู้ใช้เมื่อต้องการจะทราบตำแหน่งของจุดใดๆ ก็เพียงนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปตั้งตรงจุดที่ต้องการหาตำแหน่ง แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลก็จะทราบตำแหน่งที่ต้องการ

ในส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียมและสัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียม โดยระบบออกแบบให้มีจำนวนดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวง โคจรอยู่ในวงโคจร 6 ระนาบ แต่ละระนาบมีจำนวนดาวเทียม 4 ดวง โดยทุกระนาบทำมุมกับระนาบศูนย์สูตร 55 องศา และทำมุมระหว่างกัน 60 องศา มีวงโคจรเหนือพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร และมีคาบการโคจรประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียม GPS (NGA, 2011)

จากตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียม GPS ในลักษณะดังกล่าวทำให้ผู้ใช้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างน้อย 4 ดวงทั่วโลกตลอด 24 ชั่วโมง ในปัจจุบันมีดาวเทียมอยู่ในวงโคจรถึง 31 ดวง (ข้อมูล ณ วันที่ 22 มกราคม 2554)

คลื่นสัญญาณที่ดาวเทียม GPS ส่งออกมาเป็นคลื่นวิทยุในช่วงคลื่น L-band ที่มีสองความถี่คือ ความถี่ 1575.42 MHz เรียกว่าคลื่น L1 ซึ่งมีความยาวคลื่น 19.05 cm และความถี่ 1227.60 MHz เรียกว่าคลื่น L2 ซึ่งมีความยาวคลื่น 24.45 cm คลื่นวิทยุดังกล่าวจะถูกถ่วงสัญญาณ (Modulation) ด้วยรหัสและข้อมูลดาวเทียม รหัสที่ใช้ในการถ่วงสัญญาณมี 2 ชนิดคือ รหัส C/A-code (Coarse/Acquisition-code) มีความถี่ 1.023 MHz ความยาวคลื่น 300 m และรหัส P-code (Precision-code) มีความถี่ 10.23 MHz ความยาวคลื่น 30 m ซึ่งรหัส P-code จะสงวนไว้ใช้เฉพาะในวงการทหารและบางหน่วยงานของสหรัฐอเมริกาเท่านั้น ในคลื่น L1 นั้นจะถูกถ่วงสัญญาณด้วยรหัสทั้งสองชนิด แต่คลื่น L2 จะถูกถ่วงสัญญาณเฉพาะรหัส P-code ส่วนข้อมูลดาวเทียมจะมีทั้งในคลื่น L1 และ L2 โดยข้อมูลนำหนดาวเทียม (Navigation message) จะ

ประกอบด้วยข้อมูลวงโคจรดาวเทียมหรืออีพีเมอริสดาวเทียม (Satellite ephemerides) ค่าแก้ไขนาฬิกาดาวเทียม (Satellite clock corrections) และสถานะภาพของดาวเทียม (Satellite status)

2.1.1.2 ระบบดาวเทียม GLONASS

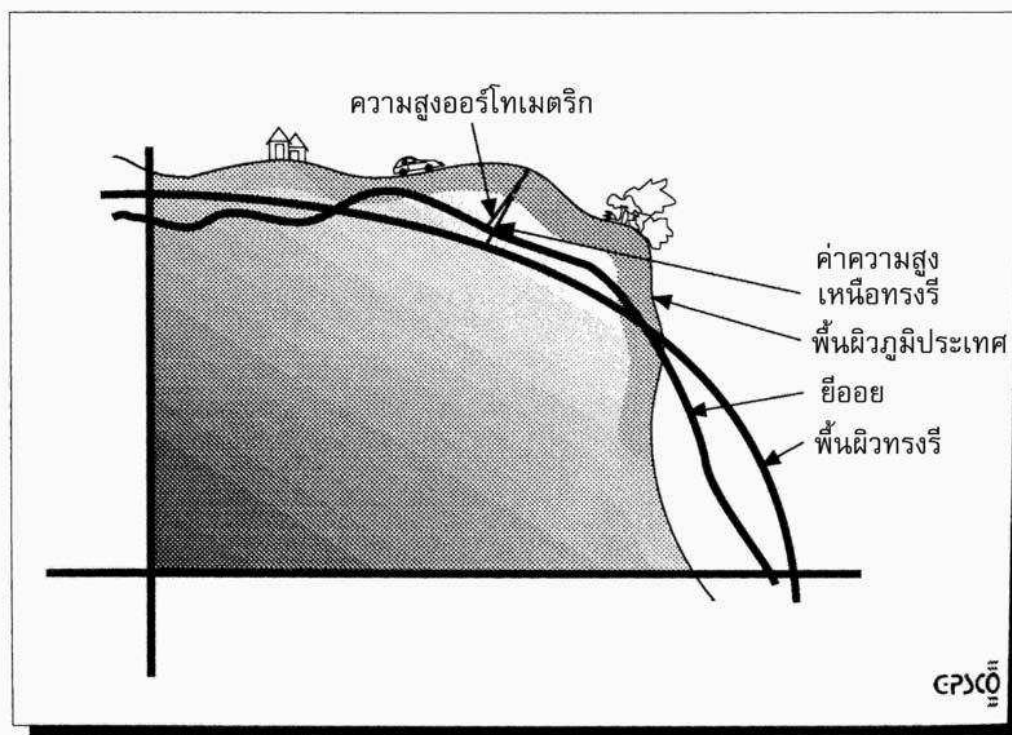
ระบบดาวเทียม GLONASS เป็นระบบที่ใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณดาวเทียม GLONASS ถูกพัฒนาโดยสหภาพโซเวียต (Union of Soviet Socialist Republics, USSR) หรือประเทศรัสเซียในปัจจุบัน มาตั้งแต่ปี 1970 ดาวเทียมดวงแรกถูกส่งขึ้นเมื่อปี 1982 โดยระบบดังกล่าวถูกออกแบบให้มีความคล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS ทั้งส่วนประกอบและหลักการดำเนินงาน ที่ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนอวกาศ ส่วนควบคุม และส่วนผู้ใช้ ดังรูปที่ 2.3 โดยระบบออกแบบให้มีจำนวนดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวง โคจรอยู่ในวงโคจร 3 ระนาบ แต่ละระนาบมีดาวเทียม 8 ดวง โดยทุกระนาบทำมุมกับระนาบศูนย์สูตร 64.8 องศา และทำมุมระหว่างกัน 120 องศา มีวงโคจรเหนือพื้นโลกประมาณ 19,100 กิโลเมตร และมีคาบการโคจรประมาณ 11 ชั่วโมง 15 นาที ดังตารางที่ 2.1 แต่เนื่องจากรัสเซียประสบปัญหาทางเศรษฐกิจจึงทำให้ไม่สามารถส่งดาวเทียมขึ้นไปในวงโคจรได้ตามแผนที่วางไว้ ซึ่งระบบดาวเทียม GLONASS ได้รับการประกาศเริ่มปฏิบัติงานอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 24 กันยายน 1993 ปัจจุบันปี 2011 จำนวนดาวเทียมได้ถูกส่งขึ้นไปในวงโคจรทั้งหมด 26 ดวง โดยใช้งานได้ 22 ดวงและซ่อมบำรุงรักษาอีก 4 ดวง รายละเอียดเกี่ยวกับสถานะของดาวเทียม GLONASS สามารถดูได้ที่ <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>

2.2 การหาค่าระดับด้วยระบบดาวเทียมนำหน

วิธีการหาค่าระดับด้วยกล้องระดับนั้น ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในการหาค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่ง ซึ่งค่าความถูกต้องที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้รวมไปถึงวิธีและขั้นตอนการทำงานอีกด้วย ปัจจุบันการทำงานระดับชั้นที่หนึ่งยังถือเป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องสูงสุดในบรรดาวิธีการที่ใช้กันอยู่ อย่างไรก็ตามในการทำงานระดับด้วยกล้องระดับ มักจะเจอปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน โดยเฉพาะการทำงานในเขตชุมชนเมือง เช่น การกีดขวางแนวเล็งจากอาคารบ้านเรือน ปัญหาการสั่นสะเทือนของพื้นผิวที่ตั้งกล้องจากยานพาหนะที่สัญจรไปมาขณะทำงาน เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ ทำให้การทำงานสนามล่าช้าลงและในบางครั้งก็ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามเกณฑ์หรือข้อกำหนดของชั้นงานที่ต้องการ นอกจากนี้ในบางครั้ง สภาพภายในพื้นที่ทำงานเองก็อาจไม่เอื้ออำนวยหรือไม่เหมาะสมต่อการทำงานระดับด้วยกล้องระดับ เช่น การหาค่าระดับของจุดที่ตั้งอยู่กลางทะเลและห่างไกลจากชายฝั่งมากๆ หรือการหาค่าระดับของจุดที่อยู่บนแนวเขาที่สูงชันและยากต่อการเดินเท้าเข้าถึง เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการหรือเทคโนโลยีอื่นที่เหมาะสมเพื่อมาแทนที่วิธีการหาค่าระดับด้วยกล้องระดับ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และคณะ, 2547)

งานรังวัดดาวเทียมในปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางและแพร่หลายในปัจจุบันโดยเฉพาะงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่สูง เนื่องจากงานรังวัดดาวเทียมมีข้อได้เปรียบงานรังวัดภาคพื้นดินอยู่หลายประการ เช่น สามารถทำงานได้ทุกสภาพอากาศและตลอด 24 ชั่วโมง อีกทั้งสะดวกรวดเร็ว และไม่มีข้อจำกัดในเรื่องการมองเห็นกันระหว่างสถานี เป็นต้น นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้ก็ยังเป็นค่าพิกัดในสามมิติ ซึ่งค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้เป็นผลพลอยได้จากงานรังวัดดาวเทียม ซึ่งในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีผลงานวิจัยหลายเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานรังวัดดาวเทียมในการหาค่าระดับ (เช่น Fotopoulos et al., (2003) ; Kadiret et al. (2003) ; Martensson (2002) ; และ Wichiencharoen (1998) เป็นต้น) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยเหล่านี้ได้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเอางานรังวัดดาวเทียมมาใช้ในการหาค่าระดับเหนือระดับทะเลปานกลางที่ให้ความถูกต้องระดับเซนติเมตรได้

หลักการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียม จะใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการแบบสถิติที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่สูงมาก และวิธีการดังกล่าวยังเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายในงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่สูง เช่น งานสำรวจและทำแผนที่ งานตรวจจับและติดตามการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก เป็นต้น โดยทั่วไปค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียมจะดีกว่าทางดิ่งประมาณ 2-3 เท่า (Rizos, 1997) ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้งานรังวัดดาวเทียมในงานสำรวจจริงวัดเพื่อสร้างควบคุมทางราบ และการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการแบบสถิติ โดยทั่วไปสามารถให้ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบอยู่ที่ระดับ 1 part per million (ppm) และทางดิ่งอยู่ที่ระดับประมาณ 1-2 ppm (Ayhan, 1993) ถึงแม้ว่าค่าความถูกต้องของพิกัดทางดิ่งที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียมดูเหมือนจะให้ค่าความถูกต้องสูง แต่ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้ก็ยังไม่ใช่ค่าพิกัดทางดิ่งที่ใช้ในงานทางวิศวกรรมทั่วไป ทั้งนี้ค่าความสูงที่ใช้กันในงานทางวิศวกรรมทั่วไปนั้นจะอ้างอิงอยู่กับค่าระดับทะเลปานกลางหรือพื้นผิวเออยด์ซึ่งเรียกโดยย่อว่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง (Height above mean sea level) หรือความสูงออร์โทเมตริกแต่ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียมนั้นเป็นค่าพิกัดทางดิ่งที่อ้างอิงอยู่กับพื้นผิวทรงรีอ้างอิง หรือที่เรียกโดยย่อว่า ความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal height) ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงทั้งสองแบบแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือทรวงรี และความสูงออร์โทเมตริก
(เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2546)

จากรูปจะเห็นได้ว่าการที่จะแปลงค่าความสูงเหนือทรวงรีมาเป็นค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง หรือความสูงออร์โทเมตริกนั้นจำเป็นต้องทราบค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรวงรีและพื้นผิวยีอออยด์ (Geoid-ellipsoid separation) ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกโดยย่อว่า 'N' ความสัมพันธ์ระหว่าง N กับว่าความสูงเหนือทรวงรีและความสูงออร์โทเมตริกสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$h = H + N$$

โดยที่ h คือ ค่าความสูงเหนือผิวทรวงรี

H คือ ค่าความสูงออร์โทเมตริก

N คือ ค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรวงรีและพื้นผิวยีอออยด์

จากสมการ จะพบว่าค่าความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกนั้นขึ้นอยู่กับค่าความถูกต้องของค่าความสูงเหนือทรวงรีที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียม และค่าความถูกต้องของการหาค่า N จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะหาค่าความสูงเหนือทรวงรีที่ถูกต้องในระดับ 1-2 ppm จากงานรังวัดดาวเทียม ดังนั้นค่าความถูกต้องของค่า N จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียม

2.3 วิธีการหาค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรงรีและพื้นผิวย็อยยด์

วิธีการในการหาค่า N ได้ถูกอธิบายไว้ในหนังสือและรายงานหลายเล่ม ดังเช่น (Holloway, 1988) (Kearsley, 1988) (Mitchell, 1990) และ (Rizos, 1997) เป็นต้น โดยสรุปวิธีการหาค่า N สามารถจำแนกได้เป็น 4 วิธี ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

2.3.1 วิธี Astro-geodetic เป็นวิธีที่เชื่อมโยงกับโครงข่ายของหมุดควบคุมท้องถิ่นโดยตรง โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐาน เช่น มุมบ่ายเบนของแนวตั้ง (Deflection of the vertical), ค่าต่างระหว่างค่าพิกัดย็อยยด์จากการปรับแก้แบบ 2 มิติ กับค่าพิกัดทางดาราศาสตร์ที่แต่ละหมุดหรือสถานี เป็นต้น ซึ่งจะเรียกสถานีที่มีข้อมูลดังกล่าวว่าสถานี Astro-geodetic ข้อมูลพื้นฐานจะถูกนำมาใช้ในการหาค่าความลาดชันของพื้นผิวย็อยยด์ระหว่าง สถานี Astrogeodetic ค่าความถูกต้องของค่า N เชิงสัมพัทธ์โดยรวมที่ได้จากวิธีนี้จะอยู่ในระดับหลายเมตร ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันอีกต่อไป

2.3.2 วิธีแบบจำลอง Geopotential ของสนามความถ่วงของพิภพ เป็นวิธีที่คำนวณมาจากอนุกรมฮาร์มอนิกทรงกลมของสนามความถ่วงของพิภพ (Spherical harmonic of the earth's gravity field) โดยใช้ทั้งข้อมูลจากดาวเทียมและข้อมูลภาคพื้นดินเป็นข้อมูลนำเข้าในการสร้างแบบจำลอง Geopotential ค่าความถูกต้องของค่า N ที่คำนวณได้ขึ้นอยู่กับ ปริมาณข้อมูลสนามความถ่วงในพื้นที่ที่นำเข้าไปใช้สร้างแบบจำลอง, ความราบเรียบของพื้นผิวย็อยยด์ และจำนวนดีกรีสูงสุดของแบบจำลอง

2.3.3 วิธี Gravimetric เป็นวิธีการใช้ข้อมูลค่าความถ่วงภาคพื้นดิน (Terrestrial gravity observations) ที่วัดได้ในพื้นที่ที่ต้องการหาค่า N ร่วมกับ Stokes' integral ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการวัดค่าความถ่วงพื้นผิวในประเทศที่พัฒนาแล้ว ค่าความถูกต้องของค่า N ที่ได้ขึ้นอยู่กับ คุณภาพและลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลความถ่วงในพื้นที่ การทดสอบค่าความถูกต้องของค่า N เชิงสัมพัทธ์ในประเทศ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลียและยุโรป พบว่าได้ค่าความถูกต้องในระดับ 2-3 ppm ซึ่งถือเป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องที่สูงที่สุด

2.3.4 วิธีการประมาณค่าภายใน (Interpolation method) เป็นการใช้อยู่สถานีที่มีทั้งค่าความสูงออร์โทเมตริก และค่าความสูงเหนือทรงรีมาทำการหาค่า N และใช้การประมาณค่าภายในเพื่อคำนวณค่า N ของจุดอื่นๆ ที่อยู่ในพื้นที่ ค่าความถูกต้องของค่า N ที่ได้ขึ้นอยู่กับคุณภาพและลักษณะการกระจายตัวของสถานีที่มีค่าความสูงทั้งสองระบบในพื้นที่ และความราบเรียบของพื้นผิวย็อยยด์

2.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองย็อยด์ของพิภพในการหาค่า N เชิงสัมพัทธ์

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีให้นำเอาข้อมูลความถ่วงมาใช้ในการสร้างแบบจำลองย็อยด์ของท้องถิ่น (Local geoid model) ดังนั้นการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมในประเทศไทยจึงต้องอาศัยแบบจำลองย็อยด์ของพิภพ (Global geoid model) มาช่วย ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวที่ให้ความถูกต้องสูงที่สุดในปัจจุบันคือ EGM2008 จัดทำโดย U.S. National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) โดยได้ปรับปรุงจาก EGM96 โดยเพิ่มข้อมูลจากดาวเทียม Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) เป็น ดาวเทียมของ NASA ที่วัดสนามความโน้มถ่วงของโลกปล่อยสู่วงโคจรในปี 2002 โมเดลนี้ได้เผยแพร่ในปี 2008 จึงเรียกว่า EGM2008 ความละเอียดของ EGM2008 ประกอบด้วย กริดที่แต่ละช่องมีขนาด $1' \times 1'$ หรือประมาณบรรจุก่า coefficients ประมาณ 4 ล้านค่า อย่างไรก็ตามความถูกต้องที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าวอาจยังไม่สูงพอในงานที่ต้องการความถูกต้องสูง ดังนั้นเพื่อความถูกต้องที่ดีขึ้นจึงจำเป็นต้องประยุกต์ใช้แบบจำลอง EGM2008 เพื่อหาค่า N เชิงสัมพัทธ์ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2552) ได้แบ่งวิธีการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองย็อยด์พิภพไว้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการคำนวณแบบโครงข่าย และวิธีการคำนวณแบบเส้นฐาน

โดยในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้วิธีการคำนวณแบบเส้นฐาน หลักการของวิธีนี้จะทำการคำนวณเส้นฐานแล้วนำมาประกอบกันเป็นโครงข่ายโดยที่จะต้องมีความคลุมในโครงข่ายจำนวนหนึ่งที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก ขั้นตอนการคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้

2.4.1 คำนวณค่า N ของหมุดภายในโครงข่ายที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก ด้วยแบบจำลอง EGM2008

2.4.2 คำนวณค่าความสูงเหนือทรวงรีของหมุดภายในโครงข่ายที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยนำค่า N ที่คำนวณได้มาบวกกับค่าความสูงออร์โทเมตริก จากความสัมพันธ์ของสมการ $h = H + N$ จะได้ค่าความสูงเหนือทรวงรีของหมุดดังกล่าว

2.4.3 ทำการปรับแก้โครงข่ายโดยกำหนดให้หมุดภายในโครงข่ายที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก (โดยใช้ความสูงเหนือทรวงรีที่คำนวณได้เป็นค่าโยงยึด) เป็นจุดโยงยึดทางตั้ง (Fixed point only in height component) ซึ่งผลจากการปรับแก้โครงข่ายจะทำให้ได้ค่าพิกัดทางตั้งของหมุดทุกหมุดภายในโครงข่ายมีค่าความสูงเหนือทรวงรี

2.4.4 คำนวณค่า N ของหมุดทุกหมุดภายในโครงข่ายด้วยแบบจำลอง EGM2008 แล้วนำค่าความสูงเหนือทรวงรีจากการปรับแก้โครงข่าย มาลบกับค่า N ที่ได้จากแบบจำลอง EGM2008 ของหมุดทุกหมุดจะได้เป็นค่าความสูงออร์โทเมตริก

2.5 หลักการหาตำแหน่ง

โดยทั่วไป หลักการหาตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียมนำหนสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีคือ การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single point positioning) และการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single point positioning)

การหาตำแหน่งจุดเดียวนี้จะเป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของเครื่องรับโดยใช้เครื่องรับเพียงเครื่องเดียว โดยปกติจะใช้วิธีการวัดระยะด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งในการหาตำแหน่งจุดเดียวนี้จำเป็นต้องมีการวัดระยะไปยังดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง (ดูรูปที่ 2.3 ประกอบ) เพื่อที่จะสามารถหาค่าพิกัดทั้ง X, Y และ Z ได้ แต่เนื่องจากมีตัวไม่ทราบค่าอยู่ทั้งหมด 4 ตัวคือ ค่าพิกัดของจุด (X,Y,Z) 3 ตัว และค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาอีก 1 ตัว ฉะนั้นเมื่อทำการวัดไปยังดาวเทียมครบ 4 ดวงก็จะสามารถหาตำแหน่งสัมบูรณ์ได้ในทันทีจากเครื่องรับ ความถูกต้องของวิธีการนี้จะอยู่ที่ประมาณ 20 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เครื่องรับแบบนำหนหรือพกพา (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2546)

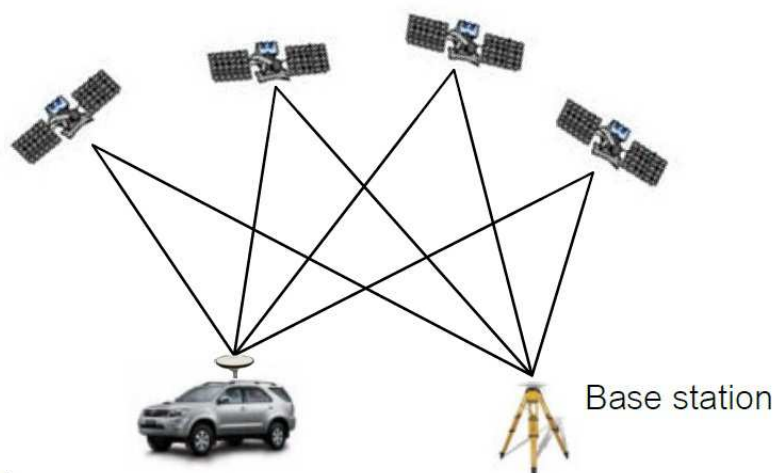


รูปที่ 2.3 การหาตำแหน่งจุดเดียว (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2552)

2.5.2 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)

การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์เป็นวิธีที่ใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง และจะต้องทราบตำแหน่งสัมบูรณ์อย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อใช้หาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่นๆ ฉะนั้นจะต้องมีเครื่องรับอย่างน้อย 2 เครื่องในการทำงาน หลักการทำงานของการทำงานของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์คือการนำเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่หนึ่งไปวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า สถานีฐาน (Base station) หรือสถานีอ้างอิง (Reference station) ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองจะถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด ซึ่งเรียกว่า สถานีจร (Roving station) หรือสถานีผู้ใช้ (User station) การหาค่าพิกัดของตำแหน่งจุดต่าง ๆ ด้วยวิธีนี้ เครื่องรับสัญญาณ

ดาวเทียมที่สถานีฐานและสถานีจรจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน ทั้งนี้จะต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ด้วยการทำงานในลักษณะดังกล่าว ความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic errors) หลายชนิด ดังเช่น ความคลาดเคลื่อนจากวงโคจร, ความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ, ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม และนาฬิกาเครื่องรับ เป็นต้น จะถูกหักล้างกันไปทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้นั้นดีขึ้น ในการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยการใช้ข้อมูลซูโดเรนจ์ ค่าความถูกต้องจะอยู่ระหว่าง 0.5 – 5 เมตร ถ้าในกรณีที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร ก็จะต้องใช้วิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2552)



รูปที่ 2.4 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (อรุณ บุรีรักษ์, 2554)

2.5.2.1 ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)

ซูโดเรนจ์ คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ หาค่าได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น โดยจะทำการเลื่อนไปมาจนกระทั่งได้รหัสที่ตรงกัน ค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสองคือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ เมื่อนำความเร็วของคลื่นวิทยุคูณด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณซึ่งเรียกว่า ‘ซูโดเรนจ์’ นั่นเอง ซูโดเรนจ์ที่ได้นี้จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนหลายชนิด เช่น ความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และ ความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2552)

2.5.2.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)

สำหรับงานที่ต้องการค่าความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งในการประมวลผล ซึ่งการวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับเป็นการวัด

เปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นความถี่ f_0 ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานั้นแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) กับส่วนที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) ในการรับสัญญาณนั้นเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นที่ส่งลงมา จำนวนเต็มรอบสามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยจำนวนเต็มนี้มีชื่อเรียกว่า Ambiguity หรือ เลขปริศนา

ด้วยเหตุนี้เราสามารถเปรียบเทียบการวัดซูดิเรกซ์กับการวัดเฟสของคลื่นส่งได้ง่ายๆ ได้ ดังนี้ การหาระยะโดยวิธีซูดิเรกซ์เปรียบเสมือนการวัดระยะด้วยการใช้แถบวัดระยะแบบธรรมดาที่มีความละเอียดถึงหนึ่งเมตร ส่วนการหาระยะโดยวิธีการวัดเฟสของคลื่นส่งเปรียบเสมือนการวัดระยะด้วยการใช้แถบวัดระยะพิเศษที่ละเอียดถึงเซนติเมตร แต่จำนวนเต็มที่เป็นเมตรจะเสมือนถูกตัดออกซึ่งก็คือเป็นเลขปริศนา เราจะทราบเฉพาะเศษของเมตรที่วัดได้ ฉะนั้นจึงทำให้การวัดเฟสของคลื่นส่งได้ค่าที่ละเอียดกว่าการวัดซูดิเรกซ์ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2552)

2.6 การประมวลผลสัญญาณดาวเทียม

2.6.1 การรังวัดแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic Survey: RTK)

การรังวัดแบบจลนในทันที รู้จักกันในชื่อย่อว่า RTK เป็นวิธีการทางานรังวัดแบบจลนนั้นเอง แต่แสดงผลลัพธ์คือ ค่าพิกัดตำแหน่งได้ทันทีในสนาม โดยเหตุที่การทำงานยังเป็นการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ หมายความว่า ต้องนำข้อมูลจากทั้งสองจุดมาประมวลผลร่วมกัน ดังนั้น จึงต้องใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน เนื่องจากจุดอ้างอิงเป็นจุดรู้ตำแหน่งอยู่แล้ว ในการทำงานแบบ RTK นี้ จึงเป็นการส่งข้อมูลที่ได้รับสัญญาณดาวเทียมได้ไปยังจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเครื่องรับ ณ จุดที่ต้องการหาตำแหน่งจะรับข้อมูลแล้วนำไปประมวลผล และแสดงค่าพิกัดได้อย่างรวดเร็วในทันที ระยะห่างระหว่างจุดที่ใช้ทำงานได้ไม่เกิน 15 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับกำลังของคลื่นวิทยุที่ใช้ ในการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน

2.6.2 เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลนในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานเสมือน (Virtual Reference Station : VRS)

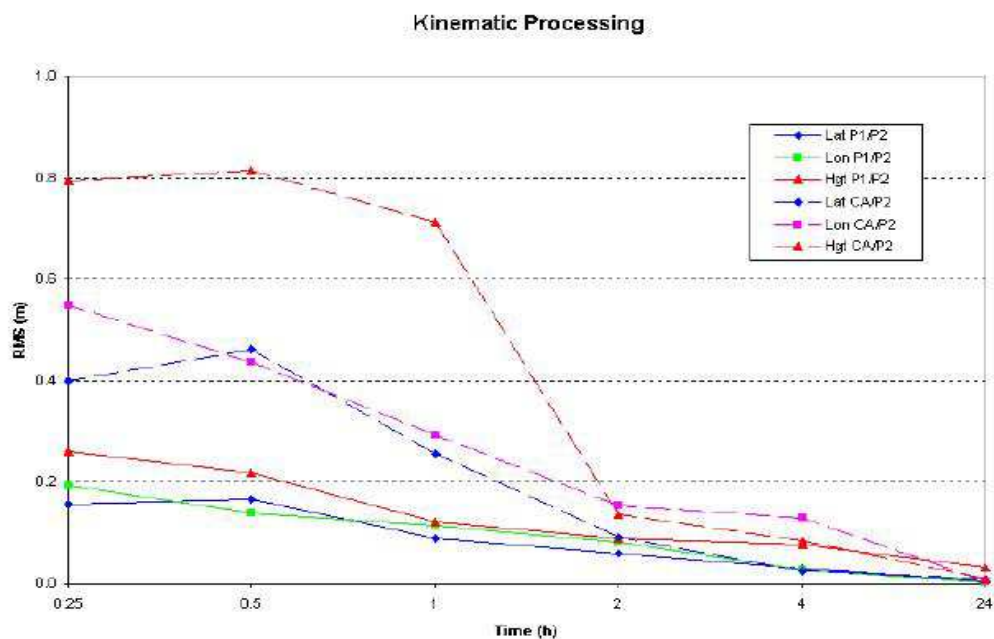
ปัจจุบันวิธีการหาตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียมนำหนที่นิยมนำมาใช้วิธีหนึ่งซึ่งเป็นการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ได้แก่ เทคนิคการรังวัดแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic-RTK) ซึ่งมีวิธีการทำงานคือ ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อยสองเครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งจะถูกวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัด (สถานีฐาน) ส่วนอีกเครื่องจะถูกนำไปวาง ณ จุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด (สถานีผู้ใช้งาน) และต้องมีอุปกรณ์สื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือวิทยุมือถือ เป็นต้น สำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐาน และสถานีผู้ใช้ เทคนิคการรังวัดแบบจลนในทันทีนี้มีข้อดี

คือ ใช้เวลาในการรังวัดค่อนข้างเร็ว และการประมวลผลข้อมูลจะกระทำพร้อมกันขณะทำการรังวัด ทำให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งในทันที โดยมีความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตร (เฉลิมชนม์ สติรพจน์, 2551) แต่เทคนิคการรังวัดชนิดนี้มีข้อจำกัดคือ ความถูกต้องทางตำแหน่ง (Accuracy) และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัด (Reliability) จะลดลงเมื่อระยะทางระหว่างสถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น อีกทั้งพื้นที่ขอบเขตในการทำงานได้ของแต่ละสถานีฐานไม่ต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว เทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเป็นเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบเครือข่าย แบบจลน์ในทันที (Network-based RTK GPS) ซึ่งมีข้อดีคือ มีความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตรเช่นกันและมีความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดสูงโดยความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของค่าพิกัด ตลอดจนขอบเขตในการทำงานนั้นเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันตลอดทั้งเครือข่าย ทำให้มีพื้นที่ในการทำงานเพิ่มมากขึ้น (ธีรทัต เจริญกมลัญญา และ เฉลิมชนม์ สติรพจน์, 2552)

กรมที่ดินเป็นหน่วยงานแรกของประเทศไทยที่ติดตั้งระบบเครือข่ายสถานีฐาน GNSS และทำงานแบบ VRS เพื่อการสำรวจออกโฉนดที่ดิน ซึ่งมีการติดตั้งสถานีฐานถาวรเพื่อรับสัญญาณดาวเทียมทั้งหมด 11 สถานี โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Trimble รุ่น NetR5 ที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS และ GLONASS ตั้งอยู่ที่สำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการสาขา บางพลี สำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาพนัสนิคม สำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาบางละมุง สำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาสัตหีบ สำนักงานที่ดินจังหวัดระยองสาขาปลวกแดง สำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายกสาขาองครักษ์ สำนักงานที่ดินจังหวัดอยุธยาสำนักงานที่ดินจังหวัดสระบุรีสาขาแก่งคอย สำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาครสาขากระทุ่มแบน สำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐมสาขาบางเลน และสำนักงานที่ดินจังหวัดนนทบุรีสาขาปากเกร็ด ดังรูปที่ 5 ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณ 13,518 ตารางกิโลเมตร มีส่วนควบคุมตั้งอยู่ที่สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่ อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน จังหวัดนนทบุรี ซึ่งที่ศูนย์ควบคุมฯ ใช้ชุดซอฟต์แวร์ระบบ Trimble VRS ประกอบด้วย GPStream, TNC, GPSTimeServer, GPSWeb, GPSNet, และ TED เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบ การให้บริการข้อมูลจะมีทั้งโหมด Real time และ Post processing ได้แก่ ให้บริการดาวน์โหลดข้อมูล RINEX สร้าง Virtual RINEX ตามต้องการ แสดงข้อมูลสถานะการรับสัญญาณดาวเทียมของ Network และแสดงข้อมูล Atmospheric และ Ephemeris errors ของ Network ทางเว็บไซต์ <http://110.164.49.162/> (อรุณ บุรีรักษ์ : 2554)

ด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสในรูปแบบออนไลน์ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในประมวลผลข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ให้ความถูกต้องสำหรับนำไปใช้งาน (ธนช สุขวิมลเสรี และคณะ, 2554)

Canadian Spatial Reference System (CSRS) Precise Point Positioning (PPP) Service ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Geodetic Survey Division (GSD), Natural Resources Canada (NRCAN) เป็นการให้บริการประมวลผลข้อมูลดาวเทียมระบบจีพีเอสในรูปแบบออนไลน์ที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย ด้วยการใช้อัตราวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise Orbits) และค่าแก้ไขนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise Satellite Clock Corrections) โดยสามารถประมวลผลข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียวและแบบสองความถี่ ได้ทั้งแบบสถิต (Static Mode) และแบบจลน์ (Kinematic Mode) ผู้ใช้บริการสามารถเลือกแสดงค่าพิกัดได้ทั้งในระบบพื้นหลักฐานอ้างอิง North American Datum of 1983 (NAD83) หรือ International Terrestrial Reference Frame (ITRF) โดยที่ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (RMS) ในทางดิ่ง จะต่ำกว่า 20 เซนติเมตร เมื่อทำการรังวัดแบบจลน์ ด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ เป็นระยะเวลาต่ำกว่า 1 ชั่วโมง และต่ำกว่า 10 เซนติเมตร เมื่อรังวัดเป็นระยะเวลา 2-4 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (Natural Resources Canada. CSRS-PPP Result Validation and Expected Accuracy, 2010) ทั้งนี้สามารถศึกษารายละเอียดการให้บริการของ CSRS-PPP ได้จาก http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (Natural Resources Canada. Online Database, 2010)



รูปที่ 2.6 ค่าความถูกต้องจากการประมวลผลโดย CSRS-PPP เปรียบเทียบกับระยะเวลาในการรับสัญญาณแบบจลน์ ที่มา : http://www.geod.nrcan.gc.ca/userguide/result_e.php

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada

Canada

Natural Resources Canada
www.nrcan.gc.ca

Français Home Contact us Help Search canada.gc.ca

Natural Resources Canada > Earth Sciences Sector > Priorities > Canadian Spatial Reference System

Canadian Spatial Reference System

CSRS Home
Products & Services
Online Tools
CSRS Database
Spatial Referencing 101
Publications
FAQ
Related links

Canadian Spatial Reference System

Online Database (CSRS Online Database)

Access to the [CSRS Online Database](#) is **free** but requires a **Username** and **Password**.

Already a member : New User :

The CSRS Online Database allows users direct access to

- federal [horizontal](#) and [vertical](#) control networks station information;
- CACS [RINEX](#) and [Precise Ephemeris](#) files;
- online [CSRS-PPP](#) (Precise Point Positioning) GPS processing service;
- downloadable PC software ([GPS-H](#), [NTv2](#) and [PPP Direct](#));
- the [Canadian Gravity Standardization Net](#) (CGSN),

Height Reference System
Modernization
Home
Site map
Contact us
Help

Date Modified: 2010-11-09 [Top of page](#) [Important notices](#)

รูปที่ 2.7 การให้บริการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ของ CSRS-PPP
ที่มา : http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินงานประกอบด้วยการศึกษาถึงการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย พร้อมทั้งศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลเส้นฐานและซอฟต์แวร์สำหรับการหาค่า N รวมถึงขั้นตอนการขอรับบริการข้อมูลสถานีฐานเสมือนจากระบบ DOL VRS Reference Station เพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ของงานวิจัยในการที่จะประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการสำรวจแบบเคลื่อนโดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการตั้งสถานีฐานอ้างอิงภายในพื้นที่



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GNSS ชนิดสองความถี่

- 3.1.1.1 ชุดอุปกรณ์ GNSS ที่บรรจุอยู่ในเบ็ดเสร็จกล่องเดียว ประกอบด้วย
- เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS Trimble R7 ชนิด 2 ความถี่
 - เสาอากาศ GNSS Trimble Zephyr Geodetic 2
 - อุปกรณ์วัดความสูงเสาอากาศ
 - สายสัญญาณ

3.1.1.2 ชุดอุปกรณ์สำหรับทำ RTK ในโหมด Stake out เพื่อกำหนดจุดตรวจสอบ

- ชุดอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GNSS จำนวน 2 ชุด
- วิทยุสื่อสารพร้อมอุปกรณ์ สำหรับงาน RTK
- งานรับสัญญาณดาวเทียมชุดเล็ก พร้อมเสา และขาตั้งเสา
- กระเป่าเป่า พร้อมเสาอากาศและสายสัญญาณ
- แบตเตอรี่สำหรับวิทยุสื่อสาร 1 ลูก

3.1.2 อุปกรณ์สำหรับการทำระดับ (Leveling)

3.1.2.1 การทำระดับด้วยดาวเทียมนำหน

- ชุดอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GNSS จำนวน 3 ชุด

3.1.2.2 การทำระดับภาคพื้นดินด้วยกล้องระดับ

- กล้องระดับ
- ขาตั้งกล้อง (Tripod)
- ไม้สตีฟ 2 ชุด

3.1.3 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.3.1 ข้อมูลการรังวัดแบบเคลื่อนที่ด้วยดาวเทียมนำหน ในพื้นที่บริเวณ รังสิต-นครนายก ที่ดำเนินการและจัดทำโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร(องค์การมหาชน) เป็นข้อมูลที่ใช้รถยนต์ติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม และทำการวิ่งรับสัญญาณดาวเทียมภายในพื้นที่ที่กำหนด ประกอบด้วย

3.1.3.1.1 ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม 2 ชุด(Span18 และ Span19) รับสัญญาณในวันเดียวกันใช้รถคันเดียวกัน แต่คนละช่วงเวลา ใช้ค่าความถี่ในการรับสัญญาณทุก 1 วินาที ได้ข้อมูลจากการรังวัดรวมกัน 12,170 epoch

3.1.3.1.2 ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมของสถานีฐานในพื้นที่ (Base RTK) ซึ่งเป็นการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ขณะที่ทำการวิ่งรับสัญญาณ แต่ไม่มีข้อมูลการวัดค่าความสูงเสาอากาศของสถานีฐานในพื้นที่ ทำให้ทางผู้วิจัยต้องหาวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งความสูงของเสาอากาศ ซึ่งจะพูดในรายละเอียดต่อไป

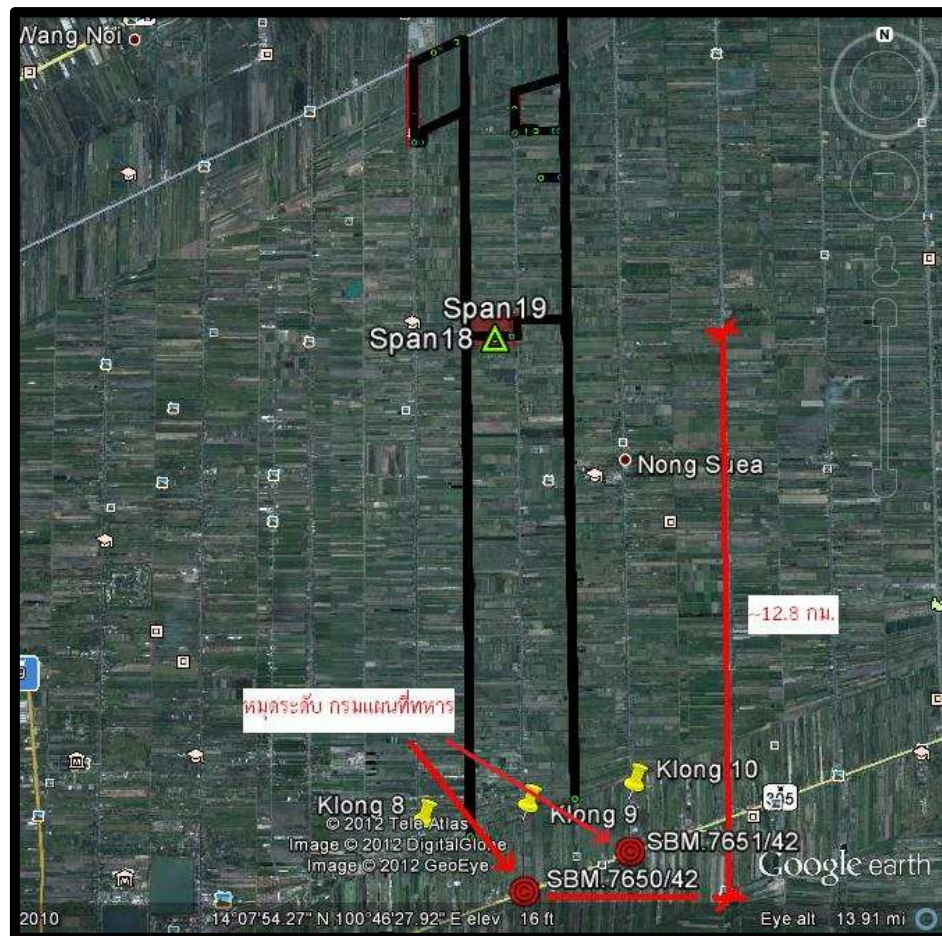
3.1.3.1.3 ข้อมูลความสูงเสาอากาศ วัดจากพื้นถนนจนถึงตำแหน่งศูนย์กลาง Antenna ของงานรับสัญญาณดาวเทียมที่ติดอยู่บริเวณหลังคารถ

3.1.3.2 ข้อมูลสถานีฐานเสมือนจากการรังวัดของสถานีอ้างอิงดาวรรในระบบ VRS ของกรมที่ดินประเทศไทย (DOL VRS Reference Station) สำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายก สาขาองครักษ์ (OKRK) จากเว็บไซต์ <http://110.164.49.162/> ด้วยวิธีการดาวน์โหลดข้อมูลภายหลัง โดยเลือกวันและเวลาที่ครอบคลุมช่วงเวลาเดียวกันกับการวิ่งรับสัญญาณดาวเทียม

3.1.3.3 ข้อมูลค่าระดับความสูงออร์โทเมตริกของหมุดระดับอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร งานระดับชั้นที่ 1 สายงานระดับที่ 82 ซึ่งอยู่ในบริเวณถนนสายรังสิต-นครนายก ตำแหน่งของหมุดระดับอ้างอิงอยู่บนบาทวิถีของสะพานคลอง 9 หมายเลขหมุดระดับ SBM.7650/42 และ บนบาทวิถีของสะพานคลอง 10 หมายเลขหมุดระดับ SBM.7651/42

3.1.3.4 ค่า N จากแบบจำลองย็อยด์ของพิภพ EGM2008

3.1.3.5 ค่า N จากความสูงย็อยด์ท้องถิ่น (Local Geoid)



รูปที่ 3.2 รูปข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่รับสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลค่าระดับความสูงออร์โทเมตริกของหมุดระดับอ้างอิงจากกรมแผนที่ทหารซึ่งอยู่ในบริเวณพื้นที่ทำการวิจัย

3.1.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลในภายหลัง

3.1.4.1 Waypoint GrafNav v8.3

3.1.4.2 LEICA Geo Office v5.0

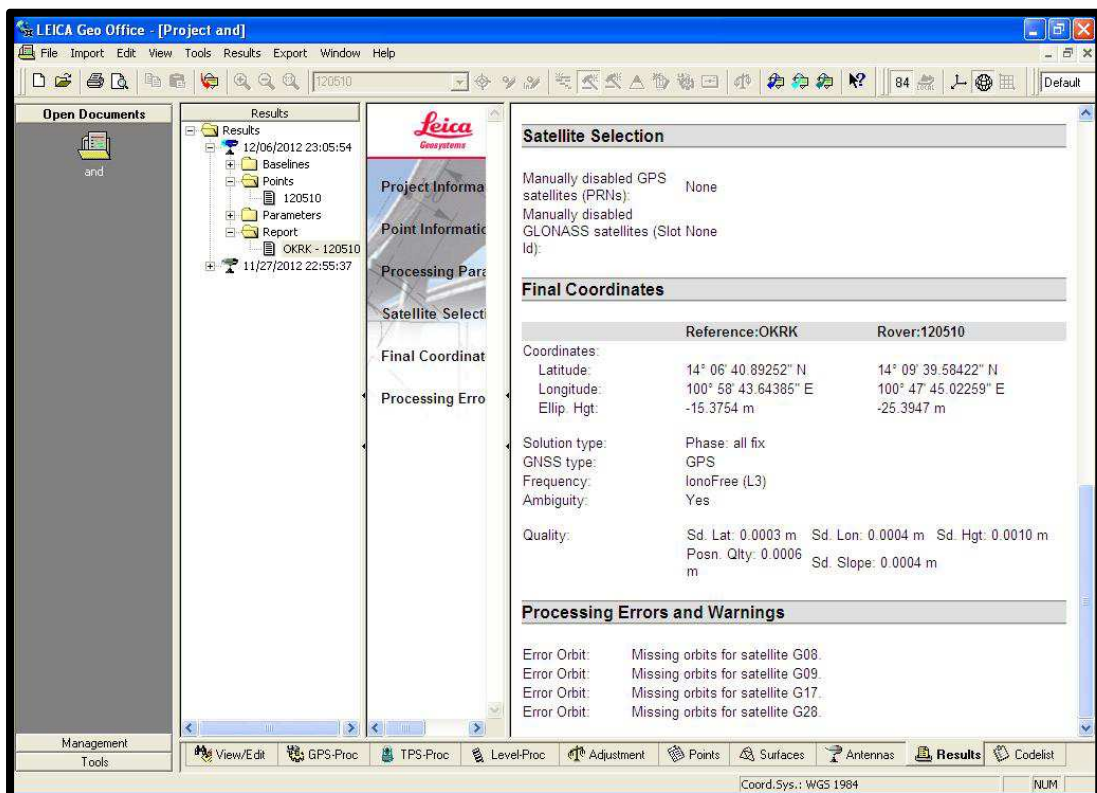
3.1.4.3 ออนไลน์ผ่านเว็บไซต์ <http://www.geod.nrcan.gc.ca>

3.1.4.4 AllTrans EGM2008

3.2 การประมวลผลข้อมูลสถานีฐาน เพื่อโยงยึดเข้ากับระบบพิกัดของกรมที่ดิน

3.2.1 การประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดทางราบของสถานีฐานในพื้นที่ (Base RTK)

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ จะต้องมีการประมวลผลด้วยวิธี VRS ซึ่งใช้ค่าสถานีฐานเสมือน (VRS) ที่ดาวน์โหลดมาจากโครงข่ายสถานีฐานอ้างอิงถาวรในระบบ VRS ของกรมที่ดินประเทศไทย (DOL VRS Reference Station) ระบบพิกัดของสถานีฐานเสมือนนั้นจะเป็นระบบพิกัดที่โยงยึดอยู่กับโครงข่ายของกรมที่ดินเอง ดังนั้นการที่จะเปรียบเทียบค่าพิกัดที่คำนวณได้จากสถานีฐานถาวรในพื้นที่ที่ต้องการโยงยึดค่าพิกัดของสถานีฐานนั้นเข้ากับระบบพิกัดของกรมที่ดินก่อน โดยใช้วิธีดาวน์โหลด Rinex file จากระบบ DOL VRS ในโหมดของ Continuously Operating Reference Station (CORS) ของสำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายก สาขาองค์กรักษ์ (OKRK) ที่อยู่ใกล้เคียงกับจุดที่ทำกรวิจัย มาประมวลผลแบบเส้นฐานเพื่อหาค่าพิกัดอ้างอิงของหมุด Base RTK ซึ่งเป็นสถานีฐานในพื้นที่ โดยใช้โปรแกรม LEICA Geo Office V.5 ในการประมวลผลเส้นฐาน โดยกำหนดให้สถานีอ้างอิงถาวรในระบบ VRS ของสำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายก สาขาองค์กรักษ์ (OKRK) เป็น Base Station จะทำให้ได้ค่าพิกัดทางราบของหมุด Base RTK ที่อ้างอิงอยู่ในระบบพิกัดเดียวกันกับระบบพิกัดของกรมที่ดิน ก่อนที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลแบบ RTK ด้วยซอฟต์แวร์ Grafnav V8.3 ต่อไป

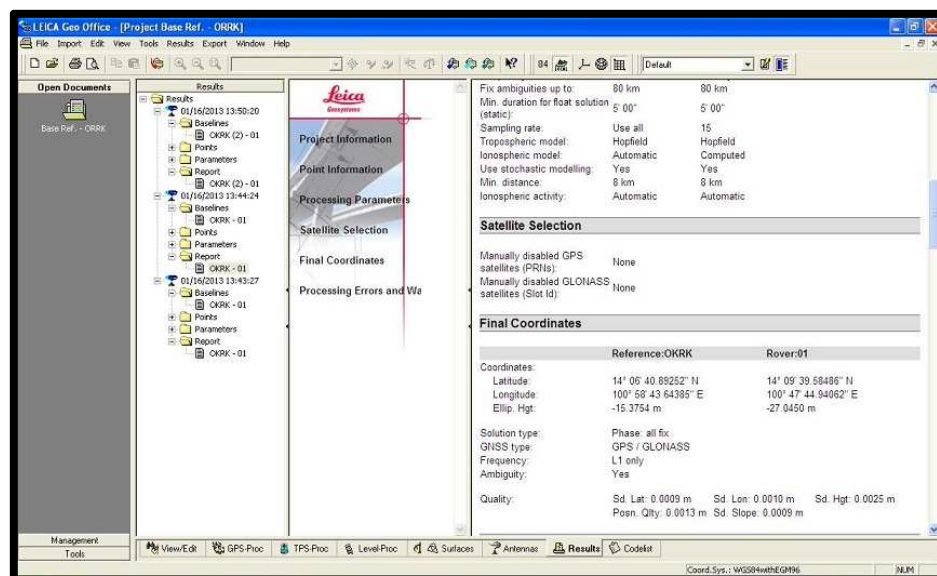


รูปที่ 3.3 การประมวลผลพิกัดทางราบของสถานีฐาน (Base RTK)

3.2.2 สร้างหมุดสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference)

สาเหตุที่ต้องสร้างหมุดสถานีฐานอ้างอิง เนื่องจาก ในวันที่สถาบันสารสนเทศสทศวิทยากรนำทำการวิ่งรับข้อมูลสัญญาณดาวเทียมนั้น ไม่ได้มีการทำเครื่องหมายหมุดของสถานีฐานในพื้นที่ (Base RTK) เอาไว้ และไม่ได้วัดค่าความสูงเสาอากาศของ Base RTK ไว้ด้วยเช่นกัน ทำให้ทางผู้วิจัยต้องจัดทำหมุดสถานีฐานอ้างอิงขึ้น เพื่อประโยชน์ในการหาค่าความสูงเสาอากาศของ Base RTK และ เป็นหมุดอ้างอิงในการเดินระดับภาคพื้นดิน ออกไปยังจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุดที่ได้มาจากการสุ่มเลือกขึ้นมาจากชุดข้อมูลทั้ง 12,170 จุด จากการประมวลผลข้อมูลด้วยวิธี RTK ด้วยซอฟต์แวร์ Grafnav V8.3

3.2.2.1 นำอุปกรณ์ในการรับสัญญาณดาวเทียมมาติดตั้ง ณ ตำแหน่ง บริเวณใกล้เคียงกับสถานีฐานเดิม (Base RTK) พร้อมทำการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบ Static นำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลด้วยโปรแกรม LEICA Geo Office V.5 โดยประมวลผลเส้นฐานโยงยึดกับสถานีอ้างอิงถาวรในระบบ VRS ของสำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายก สาขาองค์กร (OKRK) เป็น Base Station เช่นเดียวกับการประมวลผลสถานีฐาน (Base RTK) ซึ่งจะทำให้ระบบพิกัดและค่าความสูงทวงรีของทั้ง Base RTK และ Base Reference เป็นระบบที่อ้างอิงอยู่กับระบบพิกัดของกรมที่ดินเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.4 การประมวลผลพิกัดทางราบของสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference)

3.2.2.2 เนื่องจากไม่มีข้อมูลความสูงของ Antenna สถานีฐาน (Base RTK) ทางผู้วิจัยจึงทำการหาดังกล่าวโดยใช้ค่าความสูงต่างระหว่างความสูงเหนือทวงรีของสถานีฐาน (Base RTK) ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง Antenna กับความสูงเหนือทวงรีของสถานีฐานอ้างอิง ณ ตำแหน่งบนพื้น

ซึ่งอ้างอิงอยู่ในระบบพิกัดเดียวกัน ทำให้ได้ค่าความสูงสถานีฐาน (Base RTK) เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลแบบ RTK ด้วยซอฟต์แวร์ Grafnav V8.3 ต่อไป

3.3 การถ่ายค่าระดับจากหมุดระดับอ้างอิงกรมแผนที่ทหารมายังหมุดสถานีฐานอ้างอิง

จากการตรวจสอบระยะทางจากหมุดระดับอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร พบว่า ระยะทางจากหมุดระดับอ้างอิงของกรมแผนที่ทหารมาถึงบริเวณจุดที่มีการสุ่มเลือกจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด ขึ้นมานั้น มีระยะทางโดยประมาณ 15 กิโลเมตร ซึ่งหากใช้วิธีการถ่ายระดับด้วยกล้องระดับจะทำให้เสียเวลามากในการทำงาน ประกอบกับเส้นทางในการเดินระดับด้วยกล้องระดับมายังจุดตรวจสอบนั้น เป็นเป็นถนนแคบ มีรถบรรทุกวิ่งไปมา ไม่สะดวกและอันตราย ทางผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการถ่ายระดับจากหมุดระดับอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร มายังหมุดของสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference) ก่อน หลังจากนั้นจึงจะทำการถ่ายระดับด้วยกล้องระดับไปยังจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด อีกครั้งหนึ่ง

3.3.1 การถ่ายระดับจากหมุดระดับอ้างอิงของกรมแผนที่ทหารมายังสถานีฐานอ้างอิง (Base reference) ในพื้นที่ ด้วยวิธีการถ่ายระดับด้วยดาวเทียม (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และคณะ, 2547) ซึ่งให้ความถูกต้องดีกว่า 5 เซนติเมตร

3.3.1.1 นำอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม 3 ชุดมาติดตั้ง ณ สถานีฐานอ้างอิง (Base Reference), หมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 9 และหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 10 โดยหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารเป็นหมุดที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริกและเป็นหมุดอ้างอิงทางดิ่งในการถ่ายระดับไปยังหมุดสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference) โดยกำหนดให้มีระยะเวลาในการรับสัญญาณไม่ต่ำกว่า 1.5 ชั่วโมง



รูปที่ 3.5 การถ่ายระดับด้วยดาวเทียม

3.3.1.2 คำนวณค่า N ของหมุดหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 9 และหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 10 จากซอฟต์แวร์ Alltrans EGM2008 Calculator

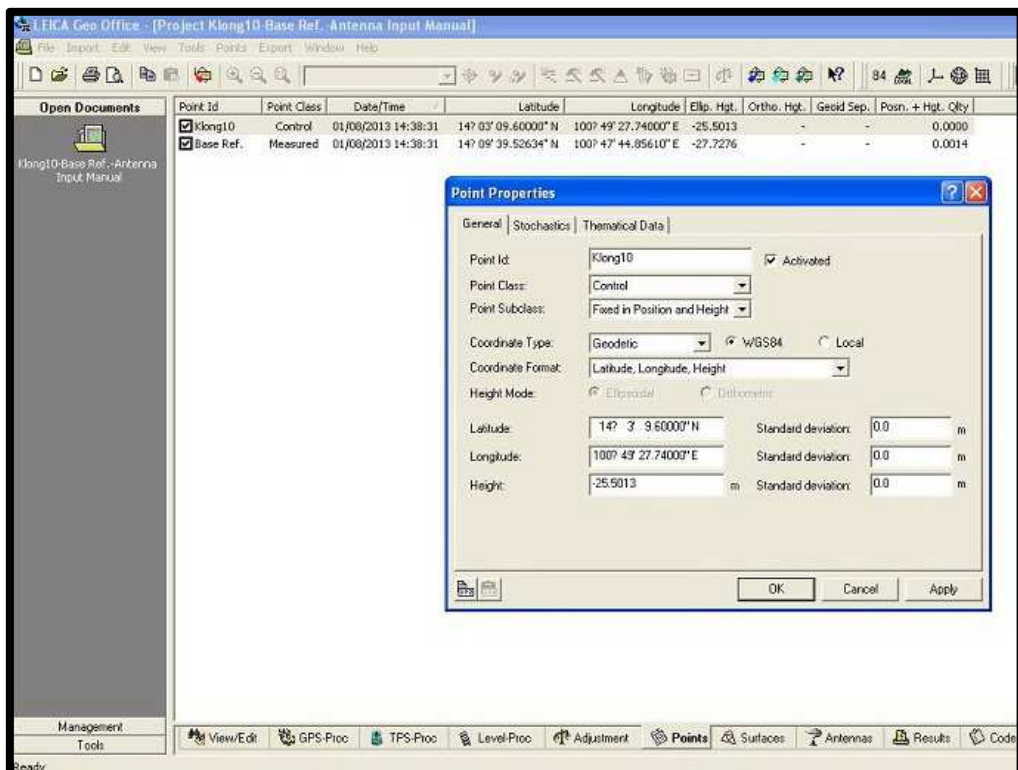
3.3.1.3 คำนวณค่าความสูงเหนือทรวงรีของของหมุดหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 9 และหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 10 โดยนำค่า N ที่คำนวณได้มาบวกกับค่าความสูงออร์โทเมตริก จากความสัมพันธ์ของสมการ $h = H + N$

3.3.1.4 นำข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมพร้อมกันทั้ง 3 จุดในรูปแบบ Static มาทำการประมวลผลเส้นฐานโดยเลือกประมวลผลเฉพาะเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันในช่วงของการรับสัญญาณ และกำหนดให้หมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 10 (แต่ให้ใช้ความสูงเหนือทรวงรีที่คำนวณได้เป็นค่าโยงยึด) เป็นจุดโยงยึดทางตั้ง (Fixed point only in height component) ซึ่งจากข้อมูลรังวัดสามารถสร้างเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันได้ทั้งหมด 2 เส้นฐาน ดังนี้

3.3.1.4.1 เส้นฐานที่ 1 จาก หมุดระดับคลอง 10 ไป หมุดระดับคลอง 9

3.3.1.4.2 เส้นฐานที่ 2 จาก หมุดระดับคลอง 10 ไป หมุดสถานีฐานอ้างอิง

3.3.1.5 คำนวณค่า N ของหมุดสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference) และหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 9 จากซอฟต์แวร์ Alltrans EGM2008 Calculator แล้วนำค่า N ที่ได้มาทอนค่าความสูงเหนือทรวงรีของหมุดทั้งสองเป็นค่าความสูงออร์โทเมตริก



รูปที่ 3.6 การปรับแก้โครงข่ายโดยกำหนดให้หมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 10 เป็นจุดโยงยึดทางตั้ง ในการทำระดับด้วยดาวเทียม

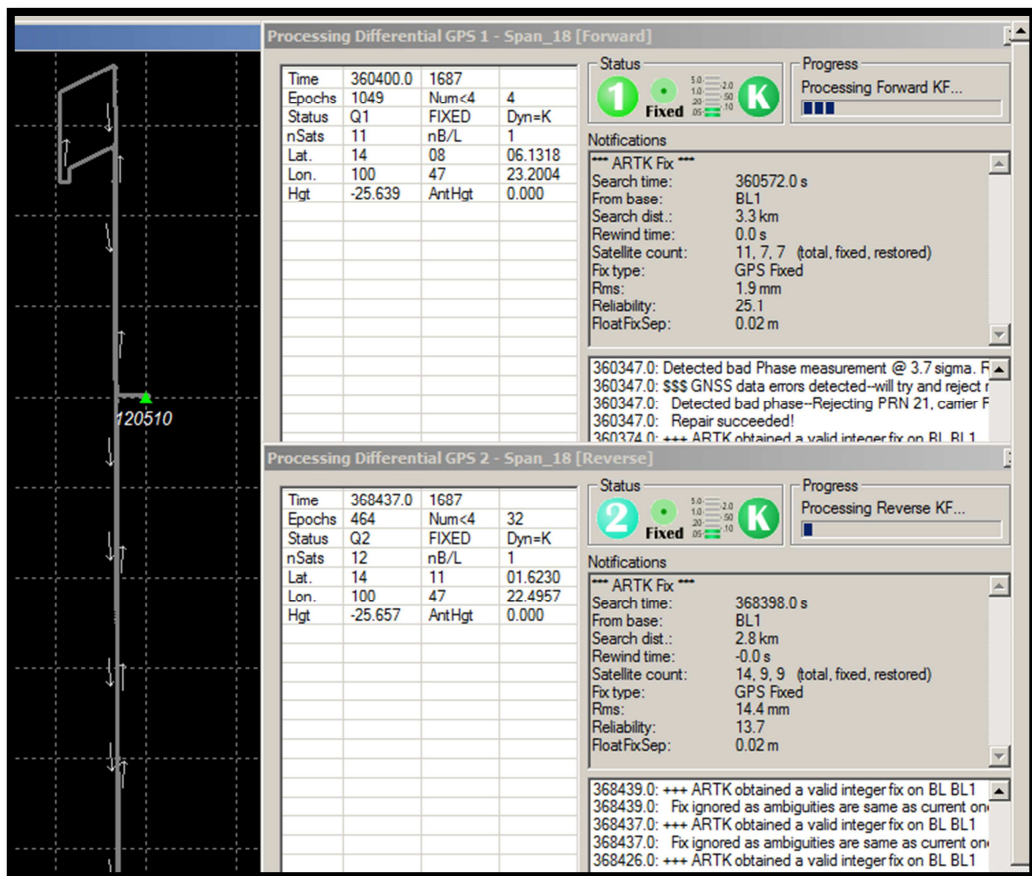
3.3.2 การยืนยันค่าความถูกต้องจากการรังวัดค่าระดับด้วยดาวเทียม

ตรวจสอบค่าความถูกต้องของการถ่ายระดับด้วยดาวเทียมจากการเปรียบเทียบค่าระดับอ้างอิงที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานที่ 1 ซึ่งเป็นมุมที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก ถือเป็นค่าที่ใช้สำหรับประเมินค่าความถูกต้องที่จะได้รับการทำระดับด้วยดาวเทียม ส่วนผลจากการประมวลผลเส้นฐานที่ 2 จะเป็นผลที่นำไปใช้งานจริง

3.4 ประมวลผลข้อมูลจากการรังวัด

3.4.1 ประมวลผลแบบจลน์ (RTK)

นำข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในพื้นที่บริเวณ รังสิต-นครนายก ซึ่งจัดทำโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ มาประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ Waypoint GrafNav v8.3 โดยกำหนดให้ Base station เป็นสถานีฐาน (Base RTK) ซึ่งเป็นจุดโยงยึดทั้งพิกัดทางราบและทางตั้ง โดยใช้ค่าพิกัดทางราบที่ทำการโยงยึดกับค่าพิกัดของกรมที่ดินเรียบร้อยแล้ว ส่วนทางตั้งใช้พิกัดที่ถ่ายระดับมาจากมุมระดับของกรมแผนที่ทหารรังสิตคลอง 10 (แต่ให้ใช้ความสูงเหนือทรวงรีเป็นค่าโยงยึดทางตั้ง)

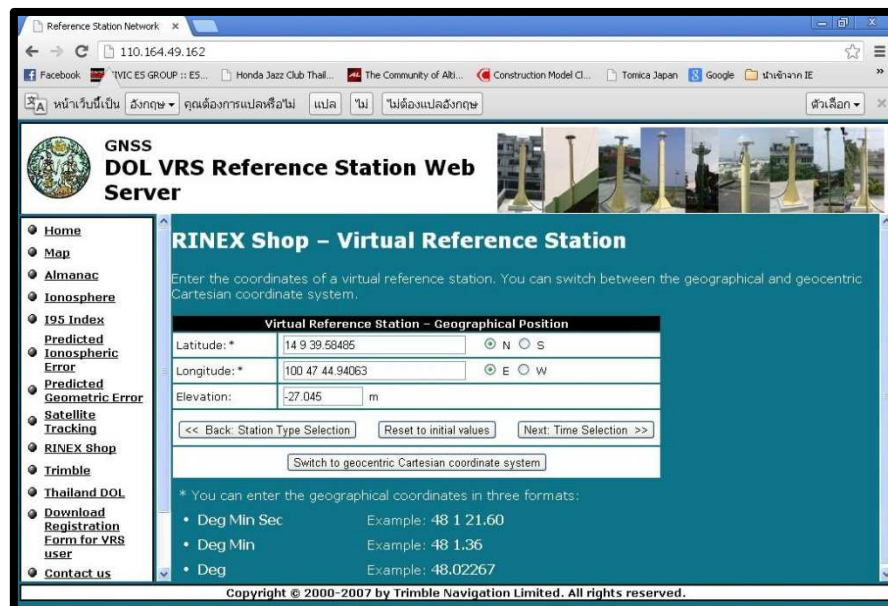


รูปที่ 3.7 การประมวลผลข้อมูลรังวัดดาวเทียมแบบจลน์ (RTK)

ด้วยซอฟต์แวร์ Waypoint GrafNav v8.3

3.4.2 การประมวลผลด้วยสถานีฐานเสมือน (VRS)

นำข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในพื้นที่บริเวณ รังสิต-นครนายก ซึ่งจัดทำโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ มาประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ LEICA Geo Office V.5 โดยกำหนดให้ Base station เป็นสถานีฐานเสมือน Virtual Reference Station (VRS) ที่ได้จาก ข้อมูลสถานีฐานเสมือนจากระบบ DOL VRS Reference Station ของกรมที่ดินผ่านทางเว็บไซต์ <http://110.164.49.162/> ในโหมดของ Virtual reference Station (VRS™) เพื่อสร้างข้อมูลค่าสังเกตสำหรับดาวเทียม GPS และ GLONASS ที่นำมาใช้เป็นสถานีฐาน (Base Station) ตามพิกัดสถานี 14 09 39.58485 N, 100 47 44.94063 E, -27.045 h โดยใช้ค่าพิกัดทางราบที่ได้จากระบบ VRS ซึ่งเป็นจุดเดียวกับของสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference) ส่วนทางดิ่งใช้พิกัดที่ถ่ายระดับด้วยดาวเทียมมาจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารรังสิตคลอง 10 (แต่ให้ใช้ความสูงเหนือทรวงรีเป็นค่าโยงยัดทางดิ่ง) เท่ากับ -26.6630 m.



รูปที่ 3.8 ข้อมูลสถานีฐานเสมือนจากระบบ DOL VRS Reference Station

3.4.3 การประมวลผลแบบจุดเดียว (PPP)

นำข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในพื้นที่บริเวณ รังสิต-นครนายก ซึ่งจัดทำโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ ไปทำการประมวลผลข้อมูล ในรูปแบบออนไลน์ของ Canadian Spatial Reference System (CSRS) Precise Point Positioning (PPP) Service ได้รับการพัฒนาโดย Geodetic Survey Division (GSD), Natural Resources Canada (NRCAN) เป็นการให้บริการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสแบบจุดเดียวในรูปแบบออนไลน์ที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย (Free online post-processing service) ด้วยการใช้อ้างอิงวงโคจรดาวเทียมความ

ละเอียดสูง (Precise orbits) และค่าแก้नाฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise satellite clock corrections) โดยสามารถประมวลผลข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียวและแบบสองความถี่ ได้ทั้งแบบสถิต (Static mode) และแบบจลน์ (Kinematic mode) สามารถแสดงค่าพิกัดได้ทั้งในระบบพื้นหลักฐานอ้างอิง North American Datum of 1983 (NAD83(CSR)) หรือ International Terrestrial Reference Frame (ITRF) ในการใช้บริการรูปแบบออนไลน์นี้ ผู้ใช้ บริการ จะ ต้อง ลง ทะ เบี ย น โด ย ผ่าน ทาง เวิร์บ ไช ต์ http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php โดยข้อมูลการรังวัด (GPS raw observation data) ที่ส่งไปประมวลผลจะอยู่ในรูปแบบ RINEX (Receiver Independent EXchange format) ภายหลังจากที่ผู้ใช้บริการได้ Upload ข้อมูลทั้งหมดแล้วระบบจะทำการประมวลผลและส่งผลลัพธ์กลับมาถึง E-mail ของผู้ใช้งาน



รูปที่ 3.9 การให้บริการประมวลผลข้อมูลรังวัดดาวเทียมในรูปแบบออนไลน์ของ CSRS-PPP

3.5 การถ่ายระดับด้วยกล้องระดับเพื่อทำการเปรียบเทียบผล

3.5.1 ทำการสุ่มเลือกจุดตรวจสอบจากชุดข้อมูลของการรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (RTK) ที่ประมวลผลแล้วด้วยวิธี RTK จำนวน 32 จุด จากชุดข้อมูลที่ประมวลผลได้ทั้งหมด 12,170 จุด โดยเลือกจุดที่สามารถ Fix Solution ได้ (สามารถหา Integer Ambiguity ได้) และประเภทของจุดที่เลือกจะครอบคลุมทุกแบบเพื่อสามารถเปรียบเทียบผลได้อย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย จุดที่อยู่บนถนนลาดยาง จุดที่อยู่บนถนนดิน จุดที่อยู่ใน อ.บ.ต. และจุดที่อยู่บนสะพาน แต่จุดที่อยู่บนถนนลาดยางใหม่เป็นจุดที่มีค่าระดับเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ในวันที่ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ (10 พ.ค. 55) ยังคงเป็นของถนนลาดยางเดิม แต่ในวันที่ทำการเช็คค่าระดับ (8 ม.ค. 56) ด้วยวิธีการรังวัดภาคพื้นดินด้วยกล้องระดับนั้น ถนนเดิมบางเส้นทางได้

ถูกปรับปรุงด้วยการลาดยางใหม่ ดังนั้นจึงต้องทำการหาค่าต่างระหว่างถนนลาดยางใหม่และถนนลาดยางเก่าด้วย เพื่อนำมาใช้เป็นค่าออฟเซตในการปรับแก้ค่าก่อนจะนำไปเปรียบเทียบผล



รูปที่ 3.10 พื้นที่ที่ใช้ในการสุ่มเลือกจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด

3.5.2 ทำการกำหนดตำแหน่งจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุดที่คัดเลือกมาลงในพื้นที่ ด้วยวิธีการสำรวจแบบจลน์ในทันที (RTK) ในโหมดการทำงานแบบ Stake Out โดยนำอุปกรณ์ในการรับสัญญาณดาวเทียมมาติดตั้ง ณ ตำแหน่งหมุดสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference) พร้อมชุดอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณวิทยุ นำชุดอุปกรณ์การรับสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (RTK) เดินไปยังค่าพิกัดในตำแหน่งจุดตรวจสอบที่เลือกทีละจุดและทำเครื่องหมายด้วยสีสเปรย์ไว้จนครบหมดทั้ง 32 จุด สำหรับถ่ายระดับด้วยกล้องระดับมายังจุดตรวจสอบอีกครั้ง



รูปที่ 3.11 การทำ RTK โหมด Stake Out เพื่อหาและกำหนดตำแหน่งจุดตรวจสอบ

3.5.3 ถ่ายระดับด้วยกล้องระดับจากหมุดสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference) ซึ่งรู้ค่าความสูงออร์โทเมตริกไปยังตำแหน่งจุดตรวจสอบที่ทำเครื่องหมายไว้ทั้ง 32 จุด จะทำให้จุดตรวจสอบได้ค่าความสูงออร์โทเมตริก เพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับการประมวลผลข้อมูลต่อไป โดยใช้การถ่ายระดับด้วยวิธีการหาค่าต่างระดับ (Differential Leveling) แบบไปกลับด้วยกล้องระดับ โดยใช้เกณฑ์งานชั้นสาม



รูปที่ 3.12 การทำระดับภาคพื้นดินด้วยกล้องระดับ เพื่อหาค่าความสูงออร์โทเมตริกของจุดตรวจสอบที่เลือกไว้ทั้ง 32 จุด ที่ทำเครื่องหมายไว้ในพื้นที่

3.6 เปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริก

ทำการเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริกของจุดตรวจสอบที่สุ่มเลือกมาทั้ง 32 จุด โดยการเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าที่ได้จากการประมวลผลดาวเทียม กับ ค่าที่ได้จากการถ่ายระดับด้วยกล้องระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร

3.6.1 ค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการประมวลผลดาวเทียม โดยคำนวณค่า N ของจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุดที่เลือกไว้ จากนั้นนำค่า N ของแต่ละจุดที่ได้จากแบบจำลอง EGM2008 และ Local Geoid ไปทอนค่าความสูงเหนือทรวงรีของจุดที่มีค่าพิกัดเดียวกันกับจุดตรวจสอบที่ได้จากการประมวลผลนำผลด้วยวิธี RTK (Real-Time Kinematic), VRS (Virtual Reference Station) และ PPP (Precise Point Positioning) ไปเป็นค่าความสูงออร์โทเมตริก ด้วยสมการ $h = H+N$

3.6.2 ค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการเดินระดับด้วยกล้องระดับ เป็นค่าจากการถ่ายระดับจากสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference) ที่ทราบความสูงออร์โทเมตริกที่ได้มาจากการถ่ายระดับมาจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 10 ไปยังจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด ในพื้นที่ นำค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการถ่ายระดับภาคพื้นดินมาเปรียบเทียบผลกับค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการประมวลผลดาวเทียมทั้ง 3 วิธี

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ค่าพิกัดของสถานีฐาน (Base RTK) และสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference)

ข้อมูลทั้งสองตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลนั้นอ้างอิงอยู่ในระบบพิกัดเดียวกับข้อมูลจากการรังวัดของสถานีอ้างอิงถาวรในระบบ VRS ของกรมที่ดินประเทศไทย (DOL VRS Reference Station) สำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายก สาขาองค์กรักษ์ (OKRK) ซึ่งถูกกำหนดให้เป็น Base Station ในการประมวลผลเส้นฐาน จะได้ค่า Latitude , Longitude และค่า Ellipsoid height ซึ่งค่า Ellipsoid height ที่ปรากฏในตารางที่ 4.1 นั้น Base RTK จะอยู่ที่ตำแหน่งงานรับสัญญาณ ส่วน Base Reference จะอยู่ที่ตำแหน่งพื้นลานคอนกรีต (ความสูงเสอากาศ 1.4771 ม.)

ตารางที่ 4.1 ค่าพิกัดสถานีฐาน (Base RTK) และสถานีฐานอ้างอิง (Base reference)

Station	Latitude	Longitude	Ellip.h (m.)
Base RTK	14 09 39.58422N	100 47 45.02259E	-25.3947
Base reference	14 09 39.58485N	100 47 44.94063E	-27.045

4.2 การถ่ายระดับด้วยดาวเทียมมายังสถานีฐานอ้างอิง

4.2.1 ผลการคำนวณค่าความสูงเหนือทรงรีของหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 9 และหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 10 เพื่อใช้เป็นค่าโยงยึดทางตั้งในการถ่ายระดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าทางตั้งจากหมุดระดับอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร

Station	Orthometric (m.)	N (EGM2008)	Ellip.h (m.)
SBM.7650/42 คลอง 9	5.34459	-30.7374	-25.3928
SBM.7651/42 คลอง 10	5.15021	-30.6536	-25.5034

4.2.2 ผลจากการถ่ายระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 10 ไปยัง หมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร รังสิตคลอง 9 (เพื่อยืนยันความถูกต้อง) และหมุดสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference)

ผลลัพธ์จากการประมวลผลเส้นฐานที่ 1 (หมุดระดับ รังสิตคลอง 10 - หมุดระดับ รังสิตคลอง 9) ถือเป็นค่าที่ใช้สำหรับประเมินความถูกต้องที่ได้รับจากการทำระดับด้วยดาวเทียม เนื่องจากเป็นหมุดที่ทราบความสูงออร์โทเมตริก ส่วนผลจากเส้นฐานที่ 2 (หมุดระดับ รังสิตคลอง 10 – Base Reference) จะเป็นผลที่นำไปใช้งานจริง

ตารางที่ 4.3 ผลจากการถ่ายระดับด้วยดาวเทียมจากหมุดระดับ รังสิตคลอง 10

หมุด	ค่าระดับอ้างอิง (ม.)	ค่าระดับดาวเทียม (ม.)	ค่าต่าง (ม.)
SBM.7650/42 (คลอง 9)	5.34459	5.3391	0.0055
Base Reference	-	3.172	-

ผลจากการเปรียบเทียบค่าระดับที่หมุดระดับรังสิตคลอง 9 ในตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการหาค่าระดับด้วยดาวเทียมนั้นให้ค่าความถูกต้องในระดับหลายเซนติเมตรได้ เนื่องจากค่าความถูกต้องของค่าต่างความสูงที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานที่ 1 นั้นอยู่ประมาณ 0.17 เซนติเมตร ดังนั้นค่าความถูกต้องของการหาค่า N แบบสัมพัทธ์จากแบบจำลองความสูงยิปซอด์ จึงน่าจะอยู่ในระดับ 0.38 เซนติเมตร ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้การหาค่า N แบบสัมพัทธ์ได้ค่าความถูกต้องสูงน่าจะมาจากสภาพภูมิประเทศที่ทำงานนั้นค่อนข้างราบ ทางผู้วิจัยจึงเชื่อมั่นว่าค่าความสูงออร์โทเมตริกของ Base reference ที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียมจะมีค่าความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันกับค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดระดับ รังสิตคลอง 9 ที่ได้จากวิธีเดียวกัน ซึ่งค่าความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดระดับ รังสิตคลอง 9 หากนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์งานชั้น 3 ซึ่งมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ $12\text{mm}\sqrt{K}$ เมื่อ K เป็นระยะทางที่เดินระดับในหน่วยกิโลเมตร ซึ่งในระยะทางของเส้นฐานที่ 1 ในงานวิจัยนี้ มีค่าเท่ากับ 2.61 กิโลเมตร ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนของเส้นฐานที่ 1 ในเกณฑ์งานชั้น 3 จะอยู่ในระดับ 1.9 เซนติเมตร ซึ่งผลจากการถ่ายระดับด้วยดาวเทียมของเส้นฐานที่ 1 ถือว่ายอมรับได้เมื่อเทียบกับเกณฑ์งานชั้น 3

4.2.3 หาค่าความสูงของ Antenna ของสถานีฐานโดยใช้ค่าความสูงต่างระหว่างความสูงเหนือทรวงรีของสถานีฐานของการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง Antenna (-25.3947 เมตร) กับความสูงเหนือทรวงรีของสถานีฐานอ้างอิง ณ ตำแหน่งบนพื้น (-27.045 เมตร) ซึ่งอ้างอิงอยู่ในระบบพิกัดเดียวกัน ดังนั้นจะได้ค่าความสูงของ Antenna ของสถานีฐานดังกล่าวเท่ากับ 1.6503 เมตร

4.3 ผลการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัด

เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการใช้ค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรวงรี และพื้นผิวยิปซอด์ (Geoid-Ellipsoid Separation, N) จากแบบจำลองความสูงยิปซอด์ของพิภพ EGM2008 กับค่า N จาก Local Geoid จึงทำให้มีค่าความสูงทรวงรีจากการประมวลผลทั้งหมด 2 แบบ

4.3.1 ประมวลผลแบบจลน์ (RTK)

ผลจากการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในพื้นที่บริเวณ รังสิตนครนายก ซึ่งจัดทำโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำฯ ประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ Waypoint

GrafNav v8.3 ใช้ข้อมูลที่ได้จากรับสัญญาณทั้งหมด 2 ชุด ประกอบด้วย Span18 และ Span19 กำหนดให้ Base station เป็นสถานีฐาน (Base RTK) ซึ่งเป็นจุดโยงยึดทั้งพิกัดทางราบและทางตั้ง โดยใช้ค่าพิกัดทางราบที่ทำการโยงยึดกับค่าพิกัดของกรมที่ดินเรียบร้อยแล้ว ส่วนทางตั้งใช้พิกัดที่ถ่ายระดับมากจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารรังสิตคลอง 10 (แต่ให้ใช้ความสูงเหนือทงรีเป็นค่าโยงยึดทางตั้ง)



รูปที่ 4.1 เส้นทางการวิ่งรับข้อมูลของ Span18 (สีฟ้า) และ Span 19 (สีแดง)

4.3.1.1 จากการประมวลผลจะได้ว่า Span18 มีค่าพิกัดที่ Fix อยู่ที่ 79.6 % และพิกัดที่ Float อยู่ที่ 17.2 % ส่วน Span19 มีค่าพิกัดที่ Fix อยู่ที่ 62.5 % และพิกัดที่ Float อยู่ที่ 33.3 %

4.3.1.2 ผลการสุ่มเลือกจุดตรวจสอบจากการรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ที่ประมวลผลแล้ว จำนวน 32 จุด (จากทั้งหมด 12,170 จุด) ซึ่งเป็นจุดที่สามารถ Fix Solution ได้ (สามารถหา Integer Ambiguity ได้) ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบที่สุ่มเลือกจากการประมวลผลแบบจลน์ (RTK) จำนวน 32 จุด

No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Ellip.h (m.)		Description	Span
			EGM2008	Local		
1	14 09 52.0240	100 47 22.0559	-25.636	-24.744	ถนนลาดยางใหม่	18
2	14 09 50.1947	100 47 22.1196	-25.502	-24.610	ถนนลาดยางใหม่	18
3	14 09 48.2228	100 47 22.0737	-25.454	-24.562	ถนนลาดยางใหม่	18
4	14 09 45.8419	100 47 22.0786	-25.466	-24.574	ถนนลาดยางใหม่	18
5	14 09 43.4617	100 47 22.0808	-25.439	-24.547	ถนนลาดยางใหม่	18
6	14 09 43.4246	100 47 22.8043	-25.769	-24.877	ถนนลูกรัง	18
7	14 09 45.9038	100 47 22.8099	-25.818	-24.926	ถนนลูกรัง	18
8	14 09 48.2113	100 47 22.8152	-25.598	-24.706	ถนนลูกรัง	18

No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Ellip.h (m.)		Description	Span
			EGM2008	Local		
9	14 09 50.1509	100 47 22.7941	-25.539	-24.647	ถนนลูกรัง	18
10	14 09 52.0555	100 47 22.7955	-25.589	-24.697	ถนนลูกรัง	18
11	14 09 41.8490	100 47 23.4348	-25.767	-24.875	ถนนลาดยางใหม่	18
12	14 09 41.8477	100 47 25.4365	-25.754	-24.862	ถนนลาดยางใหม่	18
13	14 09 41.8361	100 47 26.9974	-25.657	-24.765	ถนนลาดยางใหม่	18
14	14 09 41.8395	100 47 30.1135	-25.702	-24.810	ถนนลาดยางใหม่	18
15	14 09 41.8236	100 47 42.7103	-25.671	-24.779	ถนนลาดยางใหม่	18
16	14 09 39.7355	100 47 45.6123	-25.684	-24.792	ถนนใน อบต.	18
17	14 09 39.9890	100 47 46.1039	-25.679	-24.787	ถนนใน อบต.	18
18	14 09 40.5396	100 47 46.3293	-25.723	-24.831	ถนนใน อบต.	18
19	14 09 41.4462	100 47 46.6190	-25.734	-24.842	ถนนใน อบต.	19
20	14 09 41.6240	100 47 46.6466	-25.751	-24.859	ถนนใน อบต.	19
21	14 09 41.8008	100 47 48.6872	-25.753	-24.861	ถนนลาดยางใหม่	19
22	14 09 41.8229	100 47 51.1769	-25.766	-24.874	ถนนลาดยางใหม่	19
23	14 09 41.8076	100 47 55.0705	-25.754	-24.862	ถนนลาดยางใหม่	19
24	14 09 41.7854	100 47 57.5973	-25.897	-25.005	ถนนลาดยางใหม่	19
25	14 09 41.7749	100 48 00.1241	-25.881	-24.989	ถนนลาดยางใหม่	19
26	14 09 41.7999	100 48 02.0222	-24.302	-23.410	สะพานข้ามคลอง	19
27	14 09 41.7910	100 48 02.5222	-24.252	-23.360	สะพานข้ามคลอง	19
28	14 09 43.2340	100 48 03.0189	-25.382	-24.490	ถนนลาดยางเดิม	19
29	14 09 45.3112	100 48 02.9985	-25.461	-24.569	ถนนลาดยางเดิม	19
30	14 09 47.5872	100 48 02.9929	-25.422	-24.530	ถนนลาดยางเดิม	19
31	14 09 49.8115	100 48 02.9938	-25.316	-24.424	ถนนลาดยางเดิม	19
32	14 09 52.4872	100 48 02.9943	-25.178	-24.286	ถนนลาดยางเดิม	19

4.3.2 การประมวลผลด้วยสถานีฐานเสมือน (VRS)

ผลจากการประมวลผลวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมแบบจอร์น ด้วยซอฟต์แวร์ LEICA Geo Office V.5 โดยกำหนดให้ Base station เป็นสถานีฐานเสมือน Virtual Reference Station (VRS) ที่ได้จากการดาวนโหลดข้อมูลสถานีฐานเสมือนจากระบบ DOL VRS Reference Station ของกรมที่ดิน ตามพิกัดสถานี 14 09 39.58485 N, 100 47 44.94063 E, -27.045 m. โดยใช้ค่าพิกัดทางราบที่ได้จากระบบ VRS ซึ่งเป็นจุดเดียวกับของสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference) ส่วนทาง

ดึงใช้พิกัดที่ถ่ายระดับด้วยดาวเทียมมาจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารรังสิตคลอง 10 (แต่ให้ใช้ความสูงเหนือทรวงรีเป็นค่าโยงยึดทางดึง) เท่ากับ -26.6630 m.

4.3.2.1 จากการประมวลผลจะได้ว่า Span18 มีค่าพิกัดที่ Fix อยู่ที่ 63.4 % ส่วน Span19 มีค่าพิกัดที่ Fix อยู่ที่ 67.2 %

4.3.2.2 ผลการเลือกจุดตรวจสอบจากการรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ที่ประมวลผลแล้ว จำนวน 32 จุด (จากทั้งหมด 12,170 จุด) ซึ่งเป็นจุดที่มีค่าพิกัดเดียวกันกับ 32 จุดที่เลือกมาจากการประมวลผลแบบจลน์ (RTK) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบจากการประมวลผลแบบ VRS จำนวน 32 จุด

No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Ellip.h (m.)		Description	Span
			EGM2008	Local		
1	14 09 52.02	100 47 22.05	-25.776	-24.884	ถนนลาดยางใหม่	18
2	14 09 50.19	100 47 22.11	-25.668	-24.776	ถนนลาดยางใหม่	18
3	14 09 48.22	100 47 22.07	-25.601	-24.709	ถนนลาดยางใหม่	18
4	14 09 45.84	100 47 22.07	-25.611	-24.719	ถนนลาดยางใหม่	18
5	14 09 43.46	100 47 22.08	-25.624	-24.732	ถนนลาดยางใหม่	18
6	14 09 43.42	100 47 22.80	-25.879	-24.987	ถนนลูกรัง	18
7	14 09 45.90	100 47 22.80	-25.927	-25.035	ถนนลูกรัง	18
8	14 09 48.21	100 47 22.81	-25.698	-24.806	ถนนลูกรัง	18
9	14 09 50.15	100 47 22.79	-25.647	-24.755	ถนนลูกรัง	18
10	14 09 52.05	100 47 22.79	-25.680	-24.788	ถนนลูกรัง	18
11	14 09 41.84	100 47 23.43	-25.826	-24.934	ถนนลาดยางใหม่	18
12	14 09 41.84	100 47 25.43	-25.816	-24.924	ถนนลาดยางใหม่	18
13	14 09 41.83	100 47 26.99	N.A.	N.A.	ถนนลาดยางใหม่	18
14	14 09 41.83	100 47 30.11	N.A.	N.A.	ถนนลาดยางใหม่	18
15	14 09 41.82	100 47 42.71	N.A.	N.A.	ถนนลาดยางใหม่	18
16	14 09 39.73	100 47 45.61	N.A.	N.A.	ถนนใน อบต.	18
17	14 09 39.98	100 47 46.10	N.A.	N.A.	ถนนใน อบต.	18
18	14 09 40.53	100 47 46.32	N.A.	N.A.	ถนนใน อบต.	18
19	14 09 41.44	100 47 46.61	N.A.	N.A.	ถนนใน อบต.	19
20	14 09 41.62	100 47 46.64	N.A.	N.A.	ถนนใน อบต.	19
21	14 09 41.80	100 47 48.68	-25.870	-24.978	ถนนลาดยางใหม่	19
22	14 09 41.82	100 47 51.17	-25.884	-24.992	ถนนลาดยางใหม่	19

No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Ellip.h (m.)		Description	Span
			EGM2008	Local		
23	14 09 41.80	100 47 55.07	-25.878	-24.986	ถนนลาดยางใหม่	19
24	14 09 41.78	100 47 57.59	-25.979	-25.087	ถนนลาดยางใหม่	19
25	14 09 41.77	100 48 00.12	-25.994	-25.102	ถนนลาดยางใหม่	19
26	14 09 41.79	100 48 02.02	-24.388	-23.496	สะพานข้ามคลอง	19
27	14 09 41.79	100 48 02.52	-24.403	-23.511	สะพานข้ามคลอง	19
28	14 09 43.23	100 48 03.01	-25.579	-24.687	ถนนลาดยางเดิม	19
29	14 09 45.31	100 48 02.99	-25.650	-24.758	ถนนลาดยางเดิม	19
30	14 09 47.58	100 48 02.99	-25.595	-24.703	ถนนลาดยางเดิม	19
31	14 09 49.81	100 48 02.99	-25.476	-24.584	ถนนลาดยางเดิม	19
32	14 09 52.48	100 48 02.99	-25.324	-24.432	ถนนลาดยางเดิม	19

หมายเหตุ* N.A. คือจุดที่ไม่สามารถ Fix Solution ได้

4.3.3 การประมวลผลแบบจุดเดียว (PPP)

ผลจากการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสแบบจลน์ ในรูปแบบออนไลน์ของ Canadian Spatial Reference System (CSRS) Precise Point Positioning (PPP) Service ผ่านทางเว็บไซต์ http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php โดยข้อมูลการรังวัด (GPS raw observation data) ที่ส่งไปประมวลผลทั้ง 2 ชุดข้อมูล จะอยู่ในรูปแบบ RINEX (Receiver Independent EXchange format) ภายหลังจากที่ได้ Upload ข้อมูลทั้งหมดแล้ว ระบบจะทำการประมวลผลและส่งผลลัพธ์กลับมาถึง E-mail ของผู้ใช้งาน

4.3.3.1 ผลการเลือกจุดตรวจสอบจากการรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ที่ประมวลผลแล้ว จำนวน 32 จุด (จากทั้งหมด 12,170 จุด) ซึ่งเป็นจุดที่มีค่าพิกัดเดียวกันกับ 32 จุดที่เลือกมาจากการประมวลผลแบบจลน์ (RTK) และ VRS ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบจากการประมวลผลแบบ PPP จำนวน 32 จุด

No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Ellip.h (m.)		Description	Span
			EGM2008	Local		
1	14 09 52.02	100 47 22.05	-25.697	-24.806	ถนนลาดยางใหม่	18
2	14 09 50.19	100 47 22.11	-25.498	-24.607	ถนนลาดยางใหม่	18
3	14 09 48.22	100 47 22.07	-25.455	-24.564	ถนนลาดยางใหม่	18
4	14 09 45.84	100 47 22.07	-25.525	-24.634	ถนนลาดยางใหม่	18
5	14 09 43.46	100 47 22.08	-25.491	-24.600	ถนนลาดยางใหม่	18

No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Ellip.h (m.)		Description	Span
			EGM2008	Local		
6	14 09 43.42	100 47 22.80	-25.566	-24.675	ถนนลูกรัง	18
7	14 09 45.90	100 47 22.80	-25.747	-24.856	ถนนลูกรัง	18
8	14 09 48.21	100 47 22.81	-25.650	-24.759	ถนนลูกรัง	18
9	14 09 50.15	100 47 22.79	-25.561	-24.670	ถนนลูกรัง	18
10	14 09 52.05	100 47 22.79	-25.729	-24.838	ถนนลูกรัง	18
11	14 09 41.84	100 47 23.43	-25.694	-24.803	ถนนลาดยางใหม่	18
12	14 09 41.84	100 47 25.43	-25.603	-24.712	ถนนลาดยางใหม่	18
13	14 09 41.83	100 47 26.99	-25.630	-24.739	ถนนลาดยางใหม่	18
14	14 09 41.83	100 47 30.11	-25.594	-24.703	ถนนลาดยางใหม่	18
15	14 09 41.82	100 47 42.71	-25.221	-24.330	ถนนลาดยางใหม่	18
16	14 09 39.73	100 47 45.61	-25.758	-24.867	ถนนใน อบต.	18
17	14 09 39.98	100 47 46.10	-25.682	-24.791	ถนนใน อบต.	18
18	14 09 40.53	100 47 46.32	-25.544	-24.653	ถนนใน อบต.	18
19	14 09 41.44	100 47 46.61	-23.561	-22.670	ถนนใน อบต.	19
20	14 09 41.62	100 47 46.64	-23.561	-22.670	ถนนใน อบต.	19
21	14 09 41.80	100 47 48.68	-23.515	-22.624	ถนนลาดยางใหม่	19
22	14 09 41.82	100 47 51.17	-23.530	-22.639	ถนนลาดยางใหม่	19
23	14 09 41.80	100 47 55.07	-23.432	-22.541	ถนนลาดยางใหม่	19
24	14 09 41.78	100 47 57.59	-23.603	-22.712	ถนนลาดยางใหม่	19
25	14 09 41.77	100 48 00.12	-23.531	-22.640	ถนนลาดยางใหม่	19
26	14 09 41.79	100 48 02.02	-22.149	-21.258	สะพานข้ามคลอง	19
27	14 09 41.79	100 48 02.52	-22.150	-21.259	สะพานข้ามคลอง	19
28	14 09 43.23	100 48 03.01	-23.201	-22.310	ถนนลาดยางเดิม	19
29	14 09 45.31	100 48 02.99	-23.283	-22.392	ถนนลาดยางเดิม	19
30	14 09 47.58	100 48 02.99	-23.271	-22.380	ถนนลาดยางเดิม	19
31	14 09 49.81	100 48 02.99	-23.154	-22.263	ถนนลาดยางเดิม	19
32	14 09 52.48	100 48 02.99	-23.045	-22.154	ถนนลาดยางเดิม	19

หมายเหตุ* ค่าความสูงทรวงรีที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธี PPP มีการปรับแก้ค่าต่างระหว่างความสูงทรวงรีของ กรมแผนที่ทหาร และ กรมที่ดินเรียบร้อยแล้ว (-0.783 สำหรับค่า N(EGM2008) และ 0.108 สำหรับค่า N(Local Geoid))

4.4 ผลการเดินระดับภาคพื้นดินของจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด ด้วยกล้องระดับ

ทำการกำหนดตำแหน่งจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุดในพื้นที่จริง ด้วยวิธีการสำรวจแบบจลน์ไนท์ (RTK) ในโหมดการทำงานแบบ Stake Out จากนั้นทำเครื่องหมายตำแหน่งจุดตรวจสอบด้วยสีสเปรย์ และทำระดับด้วยกล้องระดับไปยังจุดตรวจสอบเหล่านั้น โดยถ่ายระดับจากหมุดสถานีฐานอ้างอิง (Base Reference) ซึ่งรู้ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้มาจากการทำระดับด้วยดาวเทียมจากหมุดระดับอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร (คลอง 10) ด้วยวิธีการหาค่าต่างระดับ (Differential Leveling) แบบไปกลับด้วยกล้องระดับ โดยใช้เกณฑ์งานชั้น 3 จะทำให้จุดตรวจสอบทั้ง 32 จุดมีค่าความสูงออร์โทเมตริกที่อ้างอิงอยู่กับค่าของหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความสูงออร์โทเมตริก จากการเดินระดับภาคพื้นดิน ของจุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด

No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Orthometric Height (m.)	Span
1	14 09 52.02	100 47 22.05	3.165	18
2	14 09 50.19	100 47 22.11	3.253	18
3	14 09 48.22	100 47 22.07	3.359	18
4	14 09 45.84	100 47 22.07	3.344	18
5	14 09 43.46	100 47 22.08	3.304	18
6	14 09 43.42	100 47 22.80	3.115	18
7	14 09 45.90	100 47 22.80	2.984	18
8	14 09 48.21	100 47 22.81	3.258	18
9	14 09 50.15	100 47 22.79	3.229	18
10	14 09 52.05	100 47 22.79	3.050	18
11	14 09 41.84	100 47 23.43	3.010	18
12	14 09 41.84	100 47 25.43	3.105	18
13	14 09 41.83	100 47 26.99	3.101	18
14	14 09 41.83	100 47 30.11	3.106	18
15	14 09 41.82	100 47 42.71	3.080	18
16	14 09 39.73	100 47 45.61	3.165	18
17	14 09 39.98	100 47 46.10	3.206	18
18	14 09 40.53	100 47 46.32	3.095	18
19	14 09 41.44	100 47 46.61	3.039	19
20	14 09 41.62	100 47 46.64	3.050	19
21	14 09 41.80	100 47 48.68	3.025	19

No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Orthometric Height (m.)	Span
22	14 09 41.82	100 47 51.17	2.976	19
23	14 09 41.80	100 47 55.07	3.009	19
24	14 09 41.78	100 47 57.59	2.910	19
25	14 09 41.77	100 48 00.12	2.895	19
26	14 09 41.79	100 48 02.02	4.506	19
27	14 09 41.79	100 48 02.52	4.476	19
28	14 09 43.23	100 48 03.01	3.307	19
29	14 09 45.31	100 48 02.99	3.263	19
30	14 09 47.58	100 48 02.99	3.304	19
31	14 09 49.81	100 48 02.99	3.440	19
32	14 09 52.48	100 48 02.99	3.563	19

4.5 ค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการประมวลผล

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธี RTK (Real-Time Kinematic), VRS (Virtual Reference Station) และ PPP (Precise Point Positioning), จะเป็นค่า Latitude, Longitude, Ellipsoidal Height ซึ่งเป็นความสูงเหนือทรวงรี (Ellipsoidal Height) ยังไม่ใช่ค่าความสูงออร์โทเมตริก จึงจะต้องมีการแปลงค่าก่อน ซึ่งการแปลงค่าจากความสูงเหนือทรวงรีไปเป็นความสูงออร์โทเมตริกนั้นจำเป็นต้องทราบค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรวงรี และพื้นผิวย็อยด์ (Geoid-Ellipsoid Separation, N) ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ค่า N จากแบบจำลองความสูงย็อยด์ของพิภพ EGM2008 กับค่า N จากความสูงย็อยด์ท้องถิ่น (Local Geoid) มาใช้ ซึ่งจะทำให้จุดตรวจจุดสอบทั้ง 32 จุดมีค่าความสูงออร์โทเมตริก ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการประมวลผล

No.	RTK		VRS		PPP		Span
	EGM2008	Local Geoid	EGM2008	Local Geoid	EGM2008	Local Geoid	
1	3.245	3.245	3.105	3.105	3.184	3.183	18
2	3.378	3.379	3.212	3.213	3.382	3.382	18
3	3.426	3.426	3.279	3.279	3.425	3.424	18
4	3.413	3.412	3.268	3.267	3.354	3.352	18
5	3.439	3.438	3.254	3.253	3.387	3.385	18
6	3.070	3.069	2.960	2.959	3.273	3.271	18
7	3.022	3.022	2.913	2.913	3.093	3.092	18
8	3.243	3.243	3.143	3.143	3.191	3.190	18

No.	RTK		VRS		PPP		Span
	EGM2008	Local Geoid	EGM2008	Local Geoid	EGM2008	Local Geoid	
9	3.302	3.303	3.194	3.195	3.280	3.280	18
10	3.253	3.254	3.162	3.163	3.113	3.113	18
11	3.109	3.108	3.050	3.049	3.182	3.180	18
12	3.120	3.118	3.058	3.056	3.271	3.268	18
13	3.215	3.213	N.A.	N.A.	3.242	3.239	18
14	3.167	3.164	N.A.	N.A.	3.275	3.271	18
15	3.184	3.179	N.A.	N.A.	3.634	3.628	18
16	3.129	3.123	N.A.	N.A.	3.055	3.048	18
17	3.134	3.127	N.A.	N.A.	3.131	3.123	18
18	3.090	3.083	N.A.	N.A.	3.269	3.261	18
19	3.079	3.072	N.A.	N.A.	5.252	5.244	19
20	3.062	3.055	N.A.	N.A.	5.252	5.244	19
21	3.096	3.089	2.979	2.972	5.334	5.326	19
22	3.080	3.073	2.962	2.955	5.316	5.308	19
23	3.088	3.079	2.964	2.955	5.410	5.400	19
24	2.942	2.933	2.860	2.851	5.236	5.226	19
25	2.956	2.946	2.843	2.833	5.306	5.295	19
26	4.495	4.484	4.409	4.398	6.648	6.636	19
27	4.544	4.534	4.393	4.383	6.646	6.635	19
28	3.414	3.404	3.217	3.207	5.595	5.584	19
29	3.336	3.326	3.147	3.137	5.514	5.503	19
30	3.376	3.366	3.203	3.193	5.527	5.516	19
31	3.483	3.473	3.323	3.313	5.645	5.634	19
32	3.622	3.612	3.476	3.466	5.755	5.744	19

หมายเหตุ* ค่าความสูงออร์โทเมตริกมีการปรับแก้ค่าออฟเซตของความสูงจากพื้นถึงเสาอากาศรับสัญญาณบนรถ 2.088 ม. และค่าต่างระหว่างถนนลาดยางเก่าและใหม่ 0.038 ม.แล้ว

4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร

4.6.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากการประมวลผลโดยใช้ค่า N จาก EGM2008

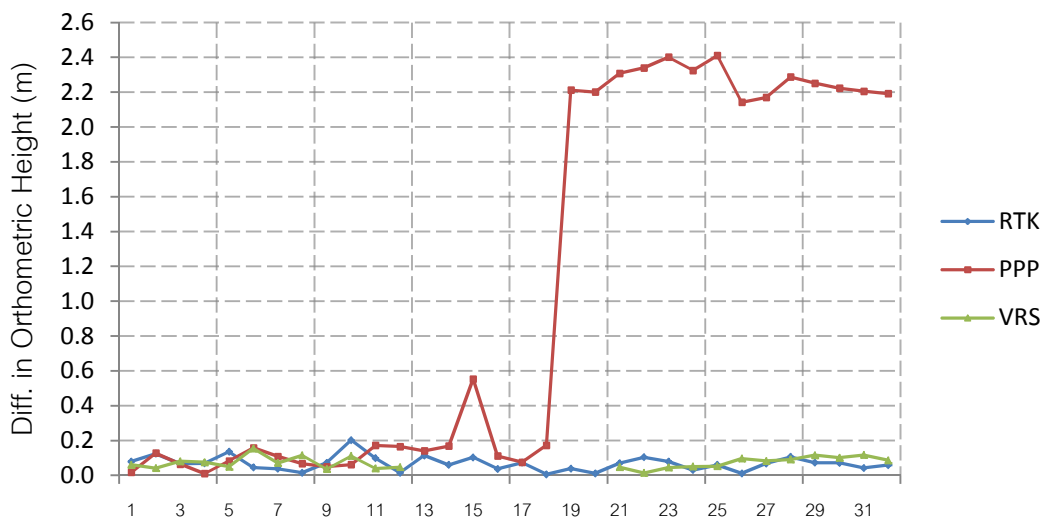
จากการเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการประมวลผลที่จุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด จากการรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์และการเดินระดับภาคพื้นดิน โดยใช้ค่า N จาก

EGM2008 ในการแปลงค่าความสูงทรงรีที่ได้จากการประมวลผลไปเป็นความสูงออร์โทเมตริก
ได้ผลดังตาราง 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วย
ดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร กรณีใช้ค่า N (EGM2008)

No.	Diff. in Orthometric Height (EGM2008)					
	RTK		VRS		PPP	
	Diff.	Ab(Diff.)	Diff.	Ab(Diff.)	Diff.	Ab(Diff.)
1	-0.080	0.080	0.061	0.061	-0.018	0.018
2	-0.125	0.125	0.042	0.042	-0.128	0.128
3	-0.067	0.067	0.081	0.081	-0.065	0.065
4	-0.069	0.069	0.076	0.076	-0.01	0.01
5	-0.135	0.135	0.05	0.05	-0.083	0.083
6	0.045	0.045	0.155	0.155	-0.158	0.158
7	-0.038	0.038	0.071	0.071	-0.109	0.109
8	0.015	0.015	0.115	0.115	0.067	0.067
9	-0.073	0.073	0.036	0.036	-0.05	0.05
10	-0.203	0.203	-0.111	0.111	-0.062	0.062
11	-0.099	0.099	-0.04	0.04	-0.172	0.172
12	-0.015	0.015	0.047	0.047	-0.166	0.166
13	-0.114	0.114	N.A.	N.A.	-0.141	0.141
14	-0.061	0.061	N.A.	N.A.	-0.168	0.168
15	-0.104	0.104	N.A.	N.A.	-0.553	0.553
16	0.036	0.036	N.A.	N.A.	0.111	0.111
17	0.072	0.072	N.A.	N.A.	0.076	0.076
18	0.005	0.005	N.A.	N.A.	-0.173	0.173
19	-0.040	0.040	N.A.	N.A.	-2.212	2.212
20	-0.012	0.012	N.A.	N.A.	-2.201	2.201
21	-0.071	0.071	0.047	0.047	-2.308	2.308
22	-0.104	0.104	0.014	0.014	-2.34	2.34
23	-0.079	0.079	0.045	0.045	-2.401	2.401
24	-0.032	0.032	0.051	0.051	-2.325	2.325
25	-0.061	0.061	0.053	0.053	-2.41	2.41
26	0.011	0.011	0.097	0.097	-2.142	2.142

No.	Diff. in Orthometric Height (EGM2008)					
	RTK		VRS		PPP	
	Diff.	Ab(Diff.)	Diff.	Ab(Diff.)	Diff.	Ab(Diff.)
27	-0.068	0.068	0.083	0.083	-2.17	2.17
28	-0.107	0.107	0.091	0.091	-2.287	2.287
29	-0.073	0.073	0.116	0.116	-2.251	2.251
30	-0.072	0.072	0.101	0.101	-2.223	2.223
31	-0.043	0.043	0.117	0.117	-2.205	2.205
32	-0.059	0.059	0.087	0.087	-2.192	2.192
Max		0.20		0.16		2.41
Min		0.01		0.01		0.01
SD		0.04		0.03		1.08
Avg		0.07		0.07		1.06



รูปที่ 4.2 ค่าคลาดเคลื่อนความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ เทียบกับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร กรณีใช้ค่า N (EGM2008)

4.6.1.1 ค่าจากการประมวลผลด้วยวิธี RTK จะมีค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.20 ม. และมีค่า SD ประมาณ 0.04 ม. เนื่องจากจุดที่ทำการเลือกมาใช้เป็นจุดที่มีสามารถ Fix Solution ได้หมดทุกค่า (สามารถหา Integer Ambiguity ได้)

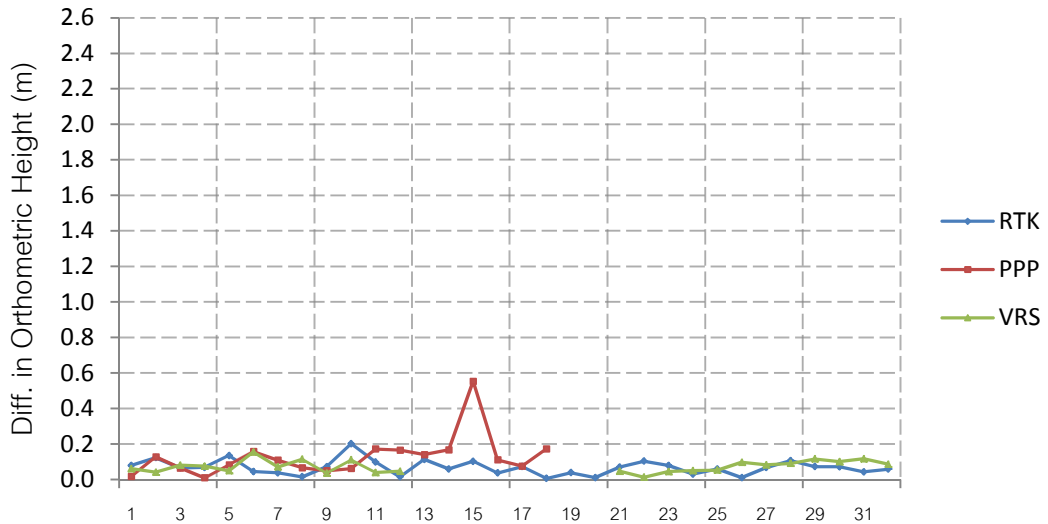
4.6.1.2 ค่าจากการประมวลผลด้วยวิธี VRS จะมีค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.16 ม. และมีค่า SD ประมาณ 0.03 ม. และในการประมวลผลด้วยวิธี VRS นี้ทางผู้วิจัยได้ทำการตัดจุดที่ไม่สามารถ Fix Solution ออกไป (จุดที่ 13-20) ไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผล

4.6.1.3 ค่าจากการประมวลผลด้วยวิธี PPP จะมีค่าออฟเซตจากผลต่างของค่าความสูงเหนือทรวงรีของกรมที่ดิน กับความสูงเหนือทรวงรีของกรมแผนที่ทหารอยู่ประมาณ -0.783 ม. ซึ่งจะต้องนำค่านี้ไปทำการปรับแก้ก่อน เพื่อให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกันทั้งหมด แต่จะเห็นได้ว่า ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธี PPP นี้ให้ค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 2.41 ม. ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ สาเหตุน่าจะเกิดจากค่าความถูกต้องของการประมวลผลแบบ kinematic ผ่านระบบออนไลน์ PPP นั้น ความถูกต้องของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการรับสัญญาณ ซึ่งข้อมูลของจุดที่ 19 - 32 นั้น เป็นช่วงข้อมูลของการรับสัญญาณ ของ Span19 ซึ่งมีระยะเวลาในการรับข้อมูลเพียง 44 นาที 12 วินาที เท่านั้น จึงทำให้ค่าคลาดเคลื่อนที่ออกมา มีค่าสูง ส่วนช่วงของชุดข้อมูลที่ 1 - 18 เป็นช่วงข้อมูลของการรับสัญญาณของ Span18 ซึ่งมีระยะเวลาในการรับข้อมูล 2 ชั่วโมง 38 นาที 34 วินาที ประกอบกับจุดตรวจสอบที่เลือกมาเป็นช่วงเวลาตั้งแต่ประมาณ 1.5 ชั่วโมงไปแล้ว จึงมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า (Natural Resources Canada. CSRS-PPP Service, 2010) จะเห็นได้ว่า ค่า Expected Accuracy ของการประมวลผล PPP ในแบบ kinematic นั้น ค่าความถูกต้องจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการรับสัญญาณ ซึ่งถ้าระยะเวลาในการรับสัญญาณน้อยกว่า 1 ชั่วโมง จะให้ค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับ 0.80 ม. ในที่นี้ถ้าหากตัดชุดข้อมูลของ Span19 ที่มีระยะเวลาในการรับสัญญาณที่น้อยกว่า 1 ชั่วโมงออกไป จะทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของการประมวลผลแบบ PPP สูงสุดอยู่ที่ 0.55 ม. และค่า SD ประมาณ 0.12 ม.

4.6.1.4 เนื่องจากมีจุดที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากผลการเปรียบเทียบหลายจุดทางผู้วิจัยจึงลองตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหาออกเพื่อดูผลของความคลาดเคลื่อนอีกครั้ง ประกอบด้วยชุดข้อมูลที่ 19 - 32 ของการประมวลผลด้วย PPP ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่รับสัญญาณในเวลาน้อยเกินไป และชุดข้อมูลที่ 13 - 20 ของการประมวลผลด้วย VRS ที่ไม่สามารถ Fix Solution ได้ ค่าความคลาดเคลื่อนแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร (ตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหาออก) กรณีใช้ค่า N (EGM2008)

RTK		VRS		PPP	
Max	0.20	Max	0.16	Max	0.55
Min	0.01	Min	0.01	Min	0.01
SD	0.04	SD	0.03	SD	0.12
Avg	0.07	Avg	0.07	Avg	0.13



รูปที่ 4.3 ค่าคลาดเคลื่อนความสูงออร์โธเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ เทียบกับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร (ตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหาออก) กรณีใช้ค่า N (EGM2008)

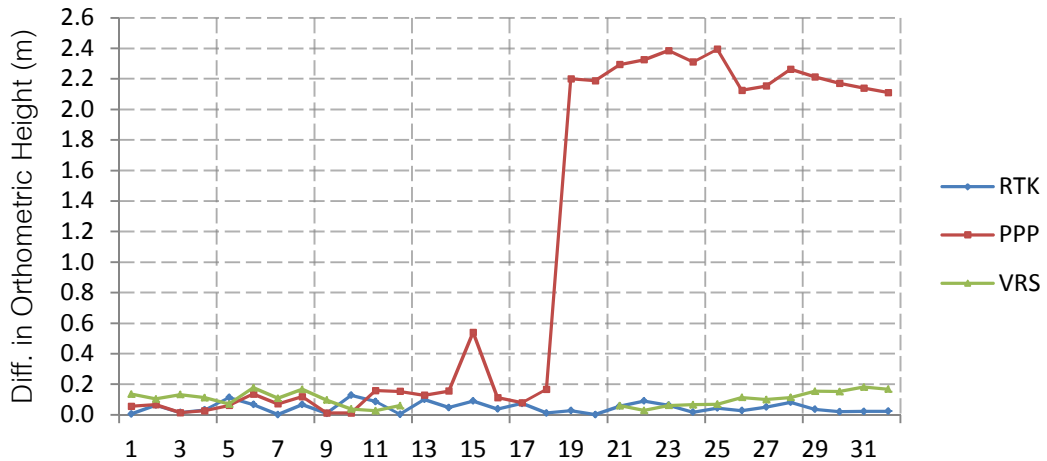
4.6.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากการประมวลผลโดยใช้ค่า N จาก ความสูงย่อยยัดท้องถิ่น (Local Geoid)

จากการเปรียบเทียบค่าความสูงออร์โธเมตริกจากการประมวลผลที่จุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด จากการรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์และค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร โดยใช้ค่า N จาก Local Geoid ในการแปลงค่าความสูงทรงรีที่ได้จากการประมวลผลไปเป็นความสูงออร์โธเมตริกได้ผลดังตาราง 4.11

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างความสูงออร์โธเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร กรณีใช้ค่า N (Local Geoid)

No.	Diff. in Orthometric Height (Local Geoid)					
	RTK		VRS		PPP	
	Diff.	Ab(Diff.)	Diff.	Ab(Diff.)	Diff.	Ab(Diff.)
1	-0.080	0.080	0.060	0.060	-0.018	0.018
2	-0.126	0.126	0.040	0.040	-0.129	0.129
3	-0.067	0.067	0.080	0.080	-0.065	0.065
4	-0.068	0.068	0.077	0.077	-0.008	0.008
5	-0.134	0.134	0.051	0.051	-0.081	0.081
6	0.046	0.046	0.156	0.156	-0.156	0.156
7	-0.038	0.038	0.071	0.071	-0.108	0.108
8	0.015	0.015	0.115	0.115	0.068	0.068

No.	Diff. in Orthometric Height (Local Geoid)					
	RTK		VRS		PPP	
	Diff.	Ab(Diff.)	Diff.	Ab(Diff.)	Diff.	Ab(Diff.)
9	-0.074	0.074	0.034	0.034	-0.051	0.051
10	-0.204	0.204	-0.113	0.113	-0.063	0.063
11	-0.098	0.098	-0.039	0.039	-0.170	0.170
12	-0.013	0.013	0.049	0.049	-0.163	0.163
13	-0.112	0.112	N.A.	N.A.	-0.138	0.138
14	-0.058	0.058	N.A.	N.A.	-0.165	0.165
15	-0.099	0.099	N.A.	N.A.	-0.548	0.548
16	0.042	0.042	N.A.	N.A.	0.117	0.117
17	0.079	0.079	N.A.	N.A.	0.083	0.083
18	0.012	0.012	N.A.	N.A.	-0.166	0.166
19	-0.033	0.033	N.A.	N.A.	-2.205	2.205
20	-0.005	0.005	N.A.	N.A.	-2.194	2.194
21	-0.064	0.064	0.053	0.053	-2.301	2.301
22	-0.097	0.097	0.021	0.021	-2.332	2.332
23	-0.070	0.070	0.054	0.054	-2.391	2.391
24	-0.023	0.023	0.059	0.059	-2.316	2.316
25	-0.051	0.051	0.062	0.062	-2.400	2.400
26	0.022	0.022	0.108	0.108	-2.130	2.130
27	-0.058	0.058	0.093	0.093	-2.159	2.159
28	-0.097	0.097	0.100	0.100	-2.277	2.277
29	-0.063	0.063	0.126	0.126	-2.240	2.240
30	-0.062	0.062	0.111	0.111	-2.212	2.212
31	-0.033	0.033	0.127	0.127	-2.194	2.194
32	-0.049	0.049	0.097	0.097	-2.181	2.181
Max		0.20		0.16		2.40
Min		0.01		0.02		0.01
SD		0.04		0.04		1.08
Avg		0.07		0.08		1.06



รูปที่ 4.4 ค่าคลาดเคลื่อนความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ เทียบกับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร กรณีใช้ค่า N (Local Geoid)

4.6.2.1 ค่าจากการประมวลผลด้วยวิธี RTK จะมีค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.20 ม. และมีค่า SD ประมาณ 0.08 ม. เนื่องจากจุดที่ทำกรเลือกมาใช้เป็นจุดที่มีสามารถ Fix Solution ได้หมดทุกค่า (สามารถหา Integer Ambiguity ได้)

4.6.2.2 ค่าจากการประมวลผลด้วยวิธี VRS จะมีค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.16 ม. และมีค่า SD ประมาณ 0.04 ม. และในการประมวลผลด้วยวิธี VRS นี้ทางผู้วิจัยได้ทำการตัดจุดที่ไม่สามารถ Fix Solution ออกไป (จุดที่ 13-20) ไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผล

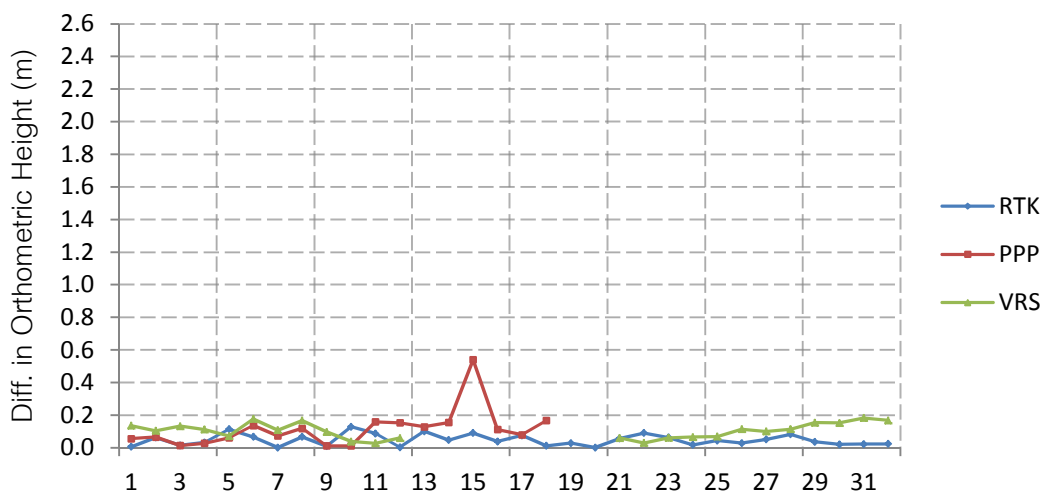
4.6.2.3 ค่าจากการประมวลผลด้วยวิธี PPP จะมีค่าออฟเซตจากผลต่างของค่าความสูงเหนือทรงรีของกรมที่ดิน กับความสูงเหนือทรงรีของกรมแผนที่ทหารอยู่ประมาณ +0.108 ม. ซึ่งจะต้องนำค่านี้ไปทำการปรับแก้ก่อน เพื่อให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกันทั้งหมด แต่จะเห็นได้ว่า ค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธี PPP นี้ให้ค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 2.40 ม. ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ สาเหตุน่าจะเกิดจากค่าความถูกต้องของการประมวลผลแบบ kinematic ผ่านระบบออนไลน์ PPP นั้น ความถูกต้องของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการรับสัญญาณ ซึ่งข้อมูลของจุดที่ 19 - 32 นั้น เป็นช่วงข้อมูลของการรับสัญญาณ ของ Span19 ซึ่งมีระยะเวลาในการรับข้อมูลเพียง 44 นาที 12 วินาที เท่านั้น จึงทำให้ค่าคลาดเคลื่อนที่ออกมา มีค่าสูง ส่วนช่วงของชุดข้อมูลที่ 1 - 18 เป็นช่วงข้อมูลของการรับสัญญาณของ Span18 ซึ่งมีระยะเวลาในการรับข้อมูล 2 ชั่วโมง 38 นาที 34 วินาที ประกอบกับจุดตรวจสอบที่เลือกมาเป็นช่วงเวลาตั้งแต่ประมาณ 1.5 ชั่วโมงไปแล้ว จึงมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า (Natural Resources Canada. CSRS-PPP Service, 2010) จะเห็นได้ว่า ค่า Expected Accuracy ของการประมวลผล PPP ในแบบ kinematic นั้น ค่าความถูกต้องจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการรับสัญญาณ ซึ่งถ้าระยะเวลาในการรับสัญญาณน้อยกว่า 1 ชั่วโมง จะให้ค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับ

0.80 ม. ในที่นี้ถ้าหากตัดชุดข้อมูลของ Span19 ที่มีระยะเวลาในการรับสัญญาณที่น้อยกว่า 1 ชั่วโมงออกไป จะทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของการประมวลผลแบบ PPP สูงสุดอยู่ที่ 0.55 ม. และค่า SD ประมาณ 0.12 ม.

4.6.2.4 เนื่องจากมีจุดที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากผลการเปรียบเทียบหลายจุด ทางผู้วิจัยจึงลองตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหาออกเพื่อดูผลของความคลาดเคลื่อนอีกครั้ง ประกอบด้วยชุดข้อมูลที่ 19 - 32 ของการประมวลผลด้วย PPP ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่รับสัญญาณในเวลาที่ย่อยเกินไป และชุดข้อมูลที่ 13 - 20 ของการประมวลผลด้วย VRS ที่ไม่สามารถ Fix Solution ได้ ค่าความคลาดเคลื่อนแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร (ตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหาออก) กรณีใช้ค่า N (Local Geoid)

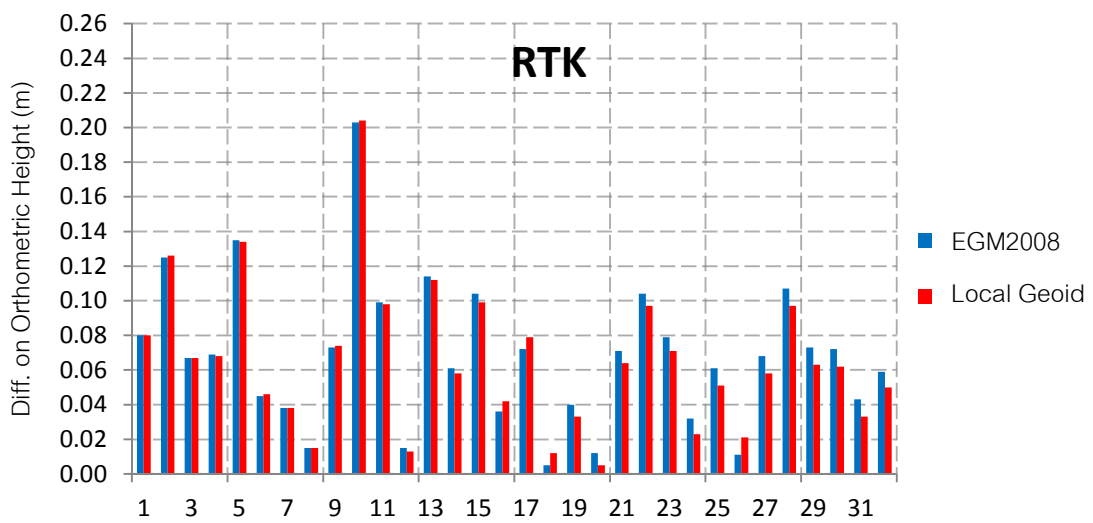
RTK		VRS		PPP	
Max	0.20	Max	0.16	Max	0.55
Min	0.01	Min	0.02	Min	0.01
SD	0.04	SD	0.04	SD	0.12
Avg	0.07	Avg	0.08	Avg	0.13



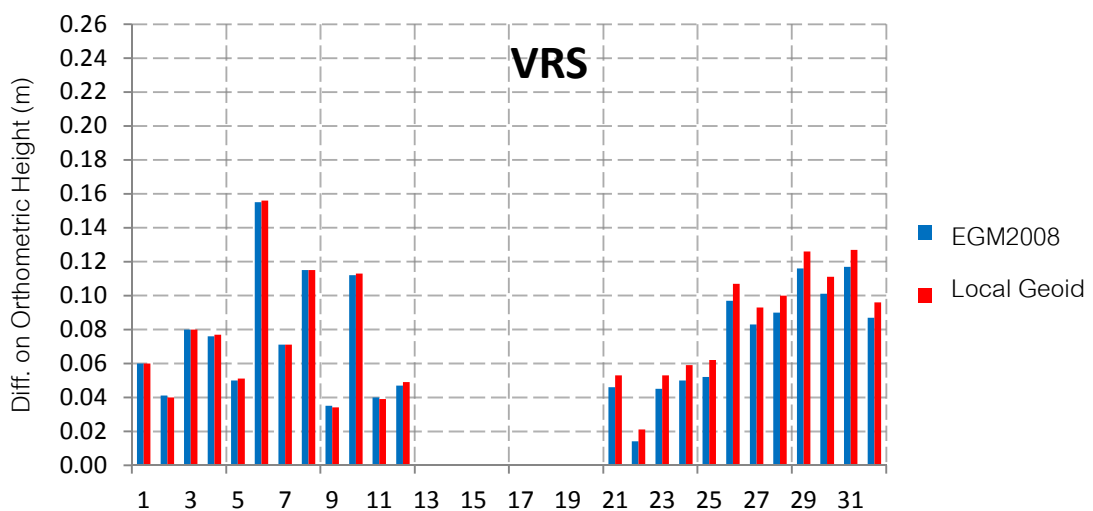
รูปที่ 4.5 ค่าคลาดเคลื่อนความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ เทียบกับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร (ตัดชุดข้อมูลที่มีปัญหาออก) กรณีใช้ค่า N (Local Geoid)

4.6.3 เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนระหว่างการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารโดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ (EGM2008,Local Geoid)

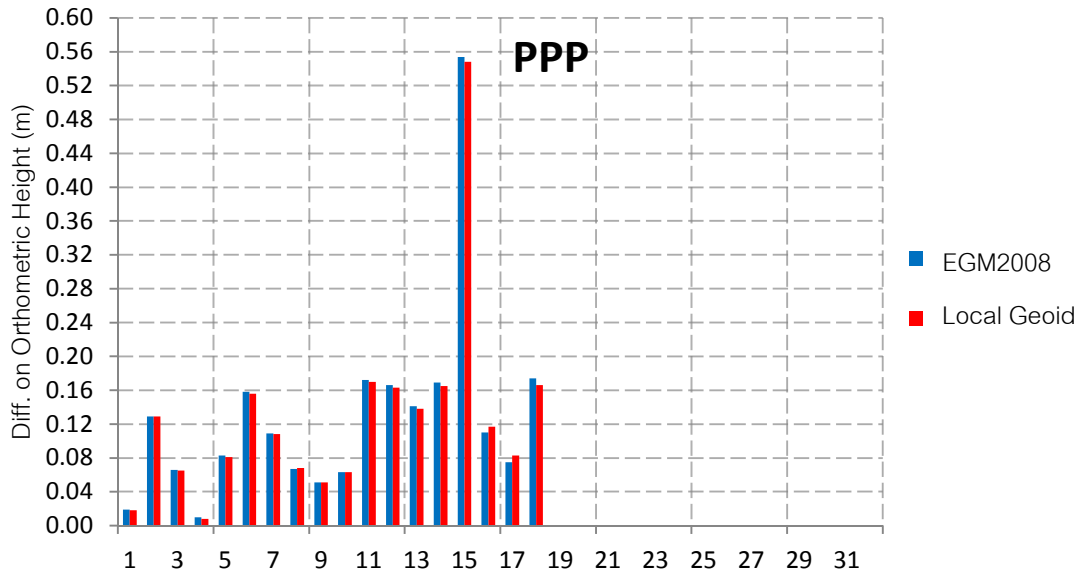
เนื่องจากงานวิจัยนี้ เลือกใช้ค่า N จากแบบจำลองความสูงยี่ออยด์ของพิภพ EGM2008 กับค่า N จากความสูงยี่ออยด์ท้องถิ่น (Local Geoid) เมื่อเปรียบเทียบค่าต่างระหว่างการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร ของการประมวลผลโดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ ได้ผลดังรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ รูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร ด้วยวิธี RTK, VRS และ PPP โดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ (EGM2008,Local Geoid)



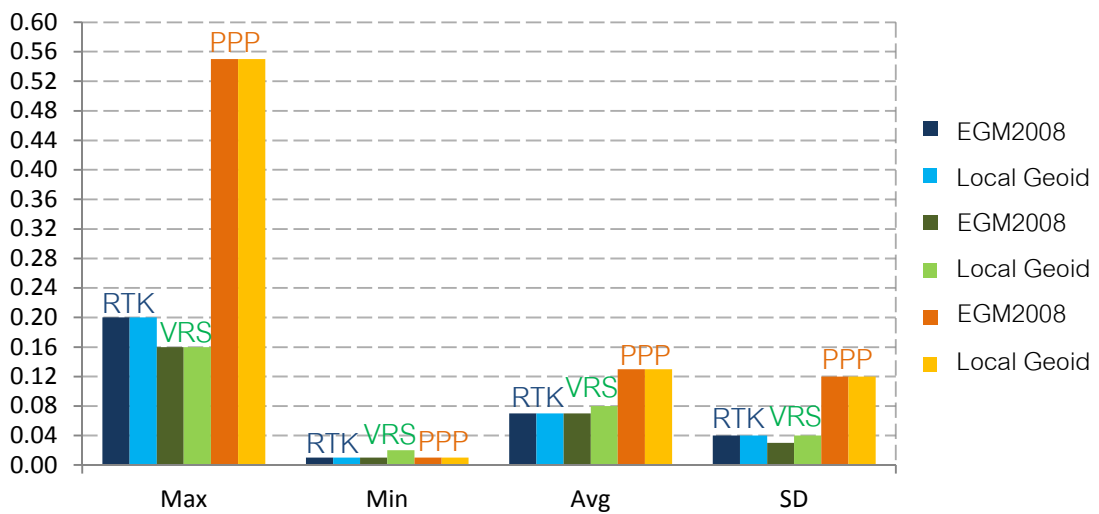
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารโดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ ด้วยวิธี RTK



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารโดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ ด้วยวิธี VRS



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารโดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ ด้วยวิธี PPP



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และค่าระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร ด้วยวิธี RTK, VRS และ PPP โดยใช้ค่า N ทั้ง 2 แบบ (EGM2008,Local Geoid)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

จากการทำวิจัยในหัวข้อ การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน สามารถสรุปงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 ผลการศึกษา

จากการที่นำข้อมูลข้อมูลการรังวัดแบบเคลื่อนที่ด้วยดาวเทียมนำหน ในพื้นที่บริเวณ รั้งสิต-นครนายก ที่ดำเนินการและจัดทำโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร(องค์การมหาชน) ที่อยู่บริเวณพื้นที่ซึ่งวงรั้งสิต-นครนายก มาทำการประมวลผลแบบภายหลัง (Post-processing) ด้วยวิธีการรังวัดแบบจลน์ (RTK) ,วิธีสถานีฐานเสมือน (VRS) และวิธีประมวลผลแบบจุดเดียว ด้วยซอฟต์แวร์ Waypoint GrafNav v8.3 , LEICA Geo Office V.5 และประมวลผลแบบออนไลน์ตามลำดับ โดยใช้ค่าพิกัดทางราบอ้างอิงอยู่ในระบบพิกัดเดียวกับข้อมูลจากการรังวัดของสถานีอ้างอิงถาวรในระบบ VRS ของกรมที่ดินประเทศไทย (DOL VRS Reference Station) และค่าพิกัดทางตั้ง อ้างอิงอยู่ในระบบพิกัดเดียวกับข้อมูลค่าความสูงออร์โทเมตริกจากหมุดระดับอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร จากนั้นได้ทำการสุ่มเลือกจุดตรวจสอบจำนวน 32 จุด จากข้อมูลทำการประมวลผลแล้วด้วยวิธี RTK และทำการถ่ายค่าระดับโดยใช้กล้องระดับด้วยวิธีการหาค่าต่างระดับ (Differential Leveling) แบบไปกลับด้วยกล้องระดับ โดยใช้เกณฑ์งานชั้น 3 ยังจุดตรวจสอบที่กำหนดไว้ เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ กับค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ถ่ายระดับมาจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหาร ที่จุดตรวจสอบทั้ง 32 จุด สำหรับประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ค่าความถูกต้องของการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ โดยใช้ค่า N ของ EGM2008 ในการประมวลผลและแปลงค่าความสูงเหนือทงรีเป็นค่าความสูงออร์โทเมตริก

5.1.1.1 วิธี RTK มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.07 เมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.20 เมตร มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.01 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 เมตร

5.1.1.2 วิธี VRS มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.07 เมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.16 เมตร มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.01 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.03 เมตร

5.1.1.3 วิธี PPP มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.13 เมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.55 เมตร มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.01 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.12 เมตร

5.1.2 ค่าความถูกต้องของการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ โดยใช้ค่า N จากความสูงเยื่อออยด์ท้องถิ่น (Local Geoid) ในการประมวลผลและแปลงค่าความสูงเหนือทรวงรีเป็นค่าความสูงออร์โทเมตริก

5.1.2.1 วิธี RTK มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.07 เมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.20 เมตร มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.01 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 เมตร

5.1.2.2 วิธี VRS มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.08 เมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.16 เมตร มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.02 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 เมตร

5.1.2.3 วิธี PPP มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.13 เมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.55 เมตร มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.01 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.12 เมตร

5.1.3 ค่าความถูกต้องทางสถิติของการใช้ค่า N จาก EGM2008 และ ค่า N จาก Local Geoid เมื่อนำค่าทางสถิติมาเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลที่ใช้ค่า N จาก EGM2008 และ ค่า N จาก Local Geoid จะพบว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจาก EGM2008 และข้อมูลที่ได้จากความสูงเยื่อออยด์ท้องถิ่น ให้ความถูกต้องในระดับที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากพื้นที่ที่ทำการทดสอบมีพื้นที่ไม่กว้างมากนัก และเป็นพื้นที่ที่ค่อนข้างราบ จึงทำให้ผลของการใช้ค่า N จากทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

5.1.4 ค่าความถูกต้องทางสถิติของการประมวลผลแบบ RTK และ VRS จะเห็นได้ว่าค่าทางสถิติของทั้งสองวิธี อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่ในโหมดของการประมวลผลด้วยวิธี PPP จะให้ค่าคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าทั้งสองวิธีข้างต้น เนื่องจากระยะเวลาในการรับสัญญาณที่น้อยเกินไป ประกอบกับเป็นการรับสัญญาณแบบจลน์ จึงทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของวิธี PPP มีค่าสูงกว่าวิธีอื่น

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับจากการรังวัดแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการประมวลผลข้อมูลหาพิกัดทางดิ่งที่ให้ความถูกต้อง และรวดเร็วสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานสำรวจด้านต่างๆ ที่ต้องการความถูกต้องในระดับเดซิเมตร

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของถนนบางเส้นโดยการลาดยางแอสฟัลท์ใหม่ เนื่องจากช่วงระยะเวลาที่ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียม(10 พ.ค.55) กับช่วงเวลาที่ยังทำงานภาคสนามในการถ่ายระดับจากหมุดระดับของกรมแผนที่ทหารไปยังจุดตรวจจสอบถนน (8 ม.ค. 56) มีช่วงเวลาที่ห่างกัน และช่วงเวลานั้น มีการปรับปรุงผิวหน้าถนนใหม่ ทำให้ระดับถนนเดิมมีการเปลี่ยนแปลงจึงต้องทำการรังวัดเพื่อหาค่าต่างดังกล่าวเพื่อนำมาปรับแก้ก่อนทำการเปรียบเทียบผล ทำให้เกิดความล่าช้าและผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือน้อยลง

5.2.2 ไม่มีข้อมูลความสูงของเสาอากาศ ของสถานีฐานของการรังวัดด้วยตามเทียมแบบจลน์ ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลเนื่องจากทางสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ ซึ่งเป็นผู้เก็บข้อมูลการรังวัด ดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ในครั้งนี้ ไม่ได้มีการวัดความสูงเสาอากาศสถานีฐาน (Base RTK) ไว้ จึงต้องใช้วิธีการอื่นในการหาค่าดังกล่าวแทน ทำให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือน้อยลง

5.2.3 แบตเตอรี่ของอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณวิทยุสำหรับการทำงาน RTK ในโหมด Stake Out เกิดชำรุดไม่สามารถใช้งานได้ จึงต้องแก้ปัญหาด้วยการเชื่อมต่อไฟจากแบตเตอรี่รถยนต์แทน ทำให้เกิดความล่าช้าและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 จากผลสรุปของงานวิจัย ผู้วิจัยเห็นว่า วิธีหาค่าความสูงออร์โทเมตริกแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหนที่ให้ความถูกต้องสูงและรวดเร็ว น่าจะเป็นวิธี RTK และ VRS ซึ่งให้ค่าความถูกต้องในเกณฑ์ที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนวิธี PPP นั้น ผู้วิจัยมีความเห็นว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง และหากต้องการให้ค่าคลาดเคลื่อนลดลง จะต้องใช้ระยะเวลาในการรับสัญญาณที่นานขึ้น ซึ่งอาจจะไม่สะดวกต่อการนำไปใช้ทำงานจริง

5.3.2 หากจะเลือกใช้วิธีสถานีฐานเสมือนที่ได้จากระบบ DOL VRS จะต้องตรวจสอบด้วยว่า ในวันที่ทำการรังวัดรับสัญญาณนั้น ระบบ DOL VRS ข้อมูลมีการรับสัญญาณครบถ้วนสมบูรณ์พอหรือไม่สำหรับการสร้างสถานีฐานเสมือน เนื่องจากระบบ DOL VRS อาจมีการปิดระบบเพื่อบำรุงรักษาในบางครั้ง อาจทำให้ไม่มีข้อมูลในวันนั้นๆ ได้ ดังนั้น ระหว่างวิธี RTK และ VRS ผู้วิจัยเห็นว่า วิธี RTK น่าจะสะดวกและเหมาะสมต่อการทำงานมากกว่า

5.3.3 ข้อควรระวังในการประเมินค่าความถูกต้องของข้อมูลที่ประมวลผลด้วยวิธี PPP คือ จะมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงเหนือทรงรีของกรมแผนที่ทหาร กับค่าความสูงที่ได้จากการประมวลผลแบบออนไลน์ จะต้องมีการปรับแก้ข้อมูลให้อยู่ในระบบอ้างอิงเดียวกันก่อนที่จะนำมาเปรียบเทียบ และข้อมูลที่รังวัดหากจะประมวลผลด้วยวิธีนี้ ควรจะต้องใช้ค่าที่มีการรับสัญญาณตั้งแต่ 1 ชั่วโมงขึ้นไป เพื่อความถูกต้องที่มากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การยืนยันความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน เป็นผลพลอยได้จากการรังวัดทำแผนที่ด้วยยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ ถือเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจและมีความสำคัญเพราะสามารถนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าพิกัดทางดิ่ง ที่ต้องการความรวดเร็วและมีความถูกต้องอยู่ในระดับเซนติเมตรถึงเดซิเมตร ทั้งยังช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานสนามอีกด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2546. การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสเบื้องต้น. (แปลและเรียบเรียง).

พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

เฉลิมชนม์ สติระพจน์, สุทธิพงศ์ วิญญูประดิษฐ์, บรรเจิด พละการ, วิชัย เยี่ยงวีรชน

และอิทธิ ตริสิริสต์ยวงส์. 2547. การหาค่าระดับเหนือน้ำทะเลปานกลางของสถานีวัดน้ำ

ในอ่าวไทยด้วยจีพีเอส. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9,

โรงแรมริเจนท์ ซะอ่า เพชรบุรี. 19-21 พฤษภาคม.

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2549. ซอฟต์แวร์ประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง.

โครงการสิ่งประดิษฐ์ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2551. เอกสารประกอบคำบรรยาย เรื่อง การรังวัดด้วยระบบดาวเทียม

จีพีเอส. การฝึกอบรมการรังวัดหมุดหลักฐานแผนที่โดยระบบดาวเทียมจีพีเอส.

สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน. 24-27 พฤศจิกายน.

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2552. เอกสารคำสอนวิชาการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง.

ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดำรงห์ ประสงค์กิจ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2555. การคำนวณหาพิกัดโดยวิธีการประมาณ

ค่าภายในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา

แห่งชาติ ครั้งที่ 17, โรงแรม เซ็นทารา แกรนด์แอนคอนเวนชันเซ็นเตอร์ อุดรธานี.

9-11 พฤษภาคม.

ธันช สุชวิมลเสวี. 2547. ความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสร่วมกับ

แบบจำลองความสูงยี่ออย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9,

โรงแรมริเจนท์ ซะอ่า เพชรบุรี. 19-21 พฤษภาคม.

ธันช สุชวิมลเสวี, อรรถวุฒิ ศรีกมลศิริศักดิ์, ณัฐกิตติ์ ดำรงอุตสาหกรรมกิจ. 2553. การศึกษา

เปรียบเทียบความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS โดยประยุกต์ใช้

แบบจำลองภูมิศักราชภาพของพิภพ ค.ศ.1996 และ ค.ศ.2008. การประชุมวิชาการ

วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 12-14 พฤษภาคม.

ธันช สุชวิมลเสวี, พีระวิทย์ สิริเวชพันธุ์, ประเสริฐษา ญาคำ, วราวุฒิ ชัยมีแรง, ปรียาพร โภษา.

2554. การประเมินความถูกต้องของการให้บริการประมวลผลข้อมูลจากการรังวัดด้วย

ดาวเทียมระบบจีพีเอสในรูปแบบออนไลน์. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 76 ปีที่ 24

เมษายน - มิถุนายน

ธีรทัต เจริญกาต้ญญตา และเฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2552. การประเมินค่าความถูกต้องจากการ
รังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอส
ระบบแรกในประเทศไทย : ผลการศึกษาเบื้องต้น. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศ
และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2552, ณ อิมแพ็ค คอนเวนชันเซ็นเตอร์ เมืองทอง
ธานี จังหวัดนนทบุรี. 16 – 18 ธันวาคม.

สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่, กรมที่ดิน. 2553. ระบบโครงข่าย GNSS DOL VRS Reference
Station. มหาดไทย, กระทรวง. กรมที่ดิน. แหล่งที่มา : <http://110.164.49.162/>

อรุณ บุรีรักษ์. 2554. การศึกษาการหาวิถีของยานพาหนะโดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Ayhan, M.E. 1993. Geoid determination in Turkey (TG-91). Bulletin Geodesique. 67.
10-22.

Fotopoulos, G., Kotsakis, C. and Sideris, M.G. 2003. How Accurately Can We
Determine Orthometric Height Differences from GPS and Geoid Data?.
Journal of Surveying Engineering (ASCE). 129(1). 1-10.

Holloway, R.D. 1988. The Integration of GPS heights into the Australian Height Datum.
UNISURV S-33. School of Geomatic Engineering (formerly Surveying).
The University of New South Wales. 151pp.

Kadir, M., Ses, S., Omar, K. and Fashir, H. 2003. Evaluation of Local Height Datum
Inconsistency for GPS/Levelling Application in Peninsular Malaysia,
Geomatics Research Australasia. 78. 1-17.

Kearsley, A.H.W. 1988. The determination of the geoid-ellipsoid separation for GPS
Leveling. Australian Surveyor. 34(1). 11-18.

Martensson, S. 2002. Height Determination by GPS - Accuracy with Respect to
Different Geoid Models in Sweden. Paper presented at the FIG XXII International
Congress. Washington, D.C. U.S.A. 19-26 April.

Mitchell, H.L. 1990. GPS heighting and the A.H.D. Rept. by the GPS Heighting Study
Group, Australian GPS Users Group. 77pp.

NASA 2005. EGM's official web site, Available from:

<http://cddisa.gsfc.nasa.gov/926/egm96/egm96.html> [Jan 10, 2005]

Naser El-Sheimy, "Emerging land-based mobile mapping systems", Department of Geometric engineering, University of Calgary, Alberta, Canada, 2004

NASM. 2005. National Air and Space Museum web site.

Available from : <http://www.nasm.si.edu/exhibitions/gps/> [Jan 10, 2005]

National Geospatial-Intelligence Agency, Office of GEOINT Sciences. Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). Available from: <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>

Natural Resources Canada. CSRS-PPP Service. Result Validation and Expected

Accuracy Available from: http://www.geod.nrcan.gc.ca/userguide/result_e.php [October 11, 2010]

Natural Resources Canada. Online Database (CSRS Online Database) (Online).

Available from: http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php [October 11, 2010]

NGA. 2011. Information Analytical Center. Russian space agency. [Online].

Available from : <https://www1.nga.mil> [2011, February 2]

Rizos, C. 1997. Principles and Practice of GPS Surveying. Monograph 17.

The University of New South Wales. School of Geomatic Engineering.

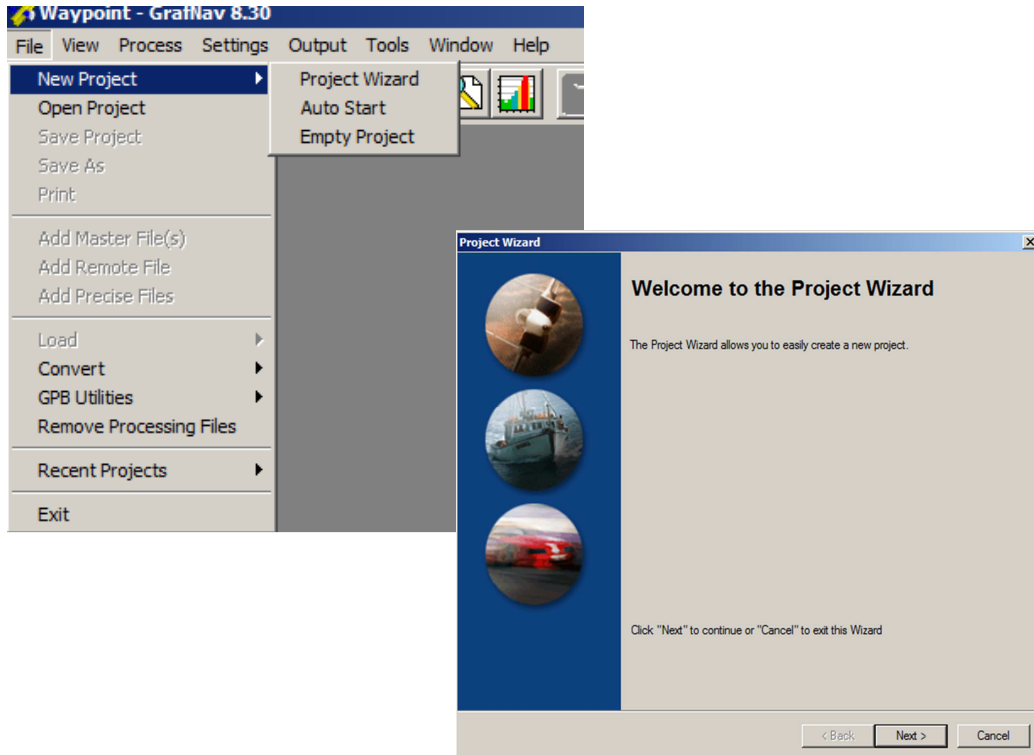
Wichiencharoen, C. 1998. Orthometric Heights from GPS: Experience of Thailand.

Proceedings of the at 3rd International Symposium on GPS Technology. Tainan. Taiwan. 10-11 November.

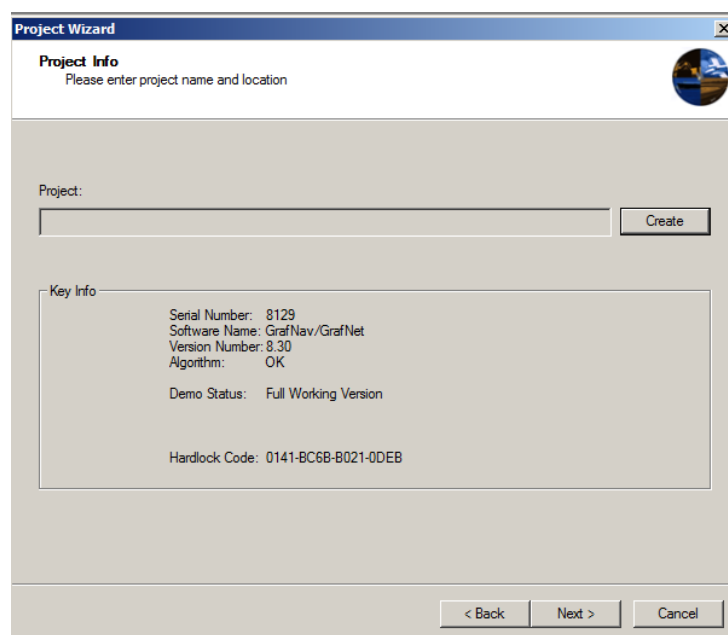
ภาคผนวก

การใช้งานโปรแกรม Waypoint GrafNav v8.3

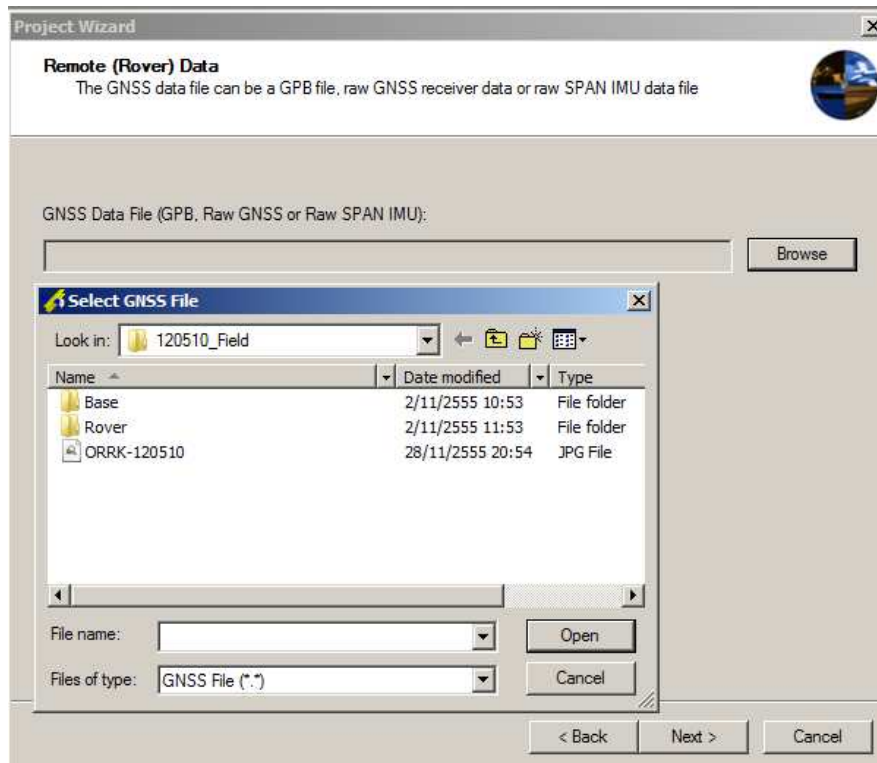
1. เริ่มจากเปิดโปรแกรม สร้างโปรเจคใหม่



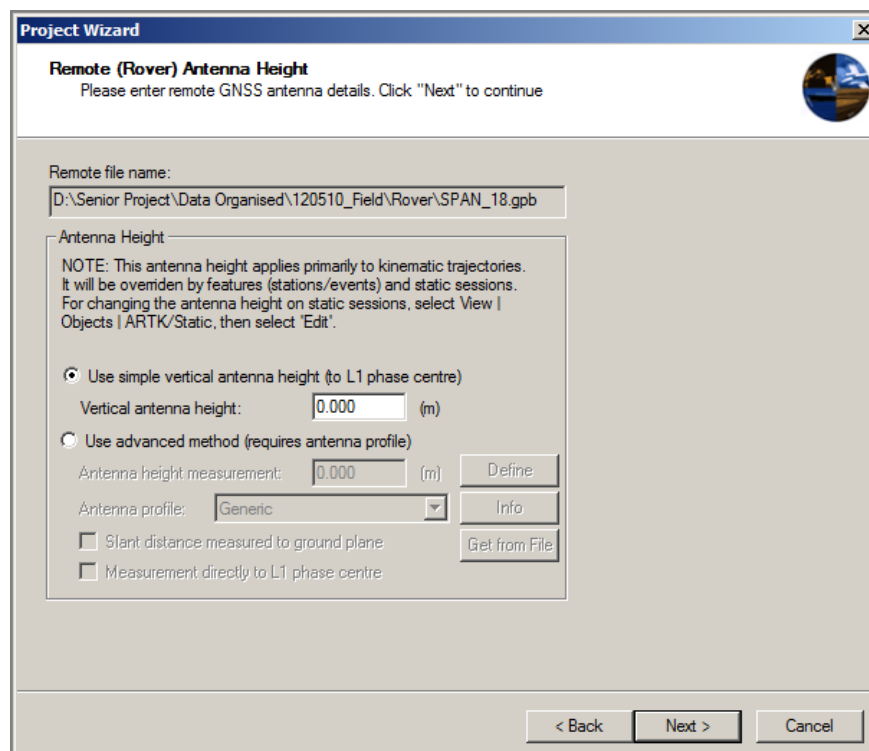
2. สร้างโปรเจคพร้อมตั้งชื่อ ไว้ใน ไดเรกตอรี ที่ต้องการ เพื่อใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล



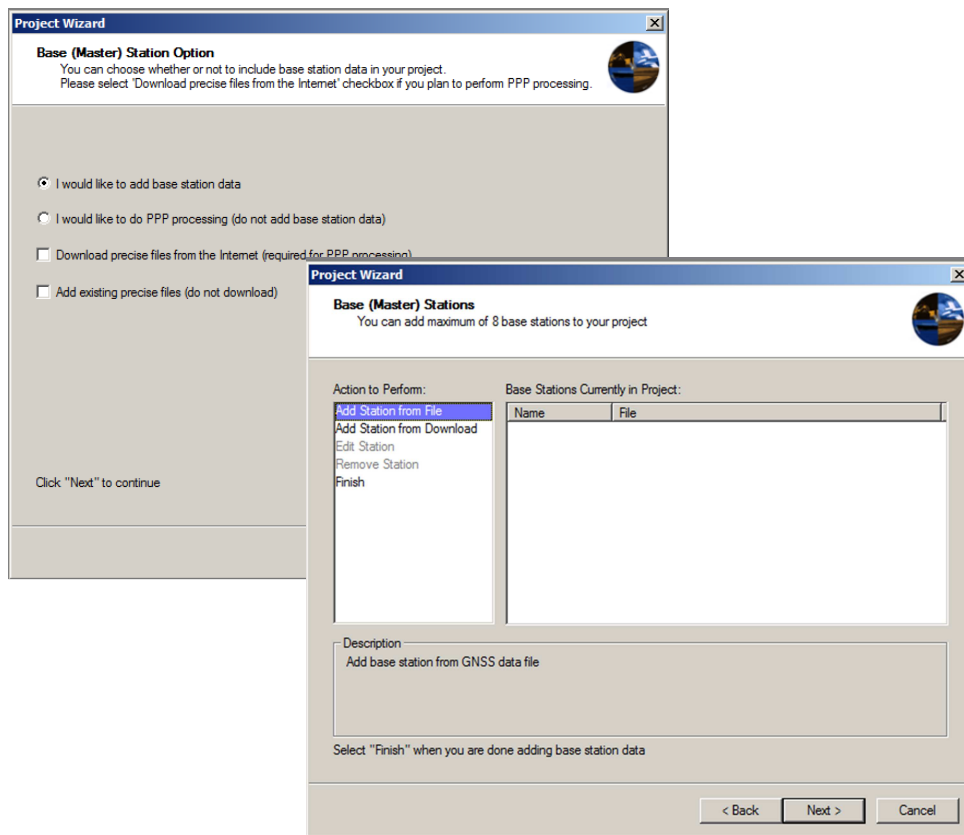
3. ทำการเลือกไฟล์ Rover จากแฟ้มที่เก็บไว้ โดยคลิก Browse



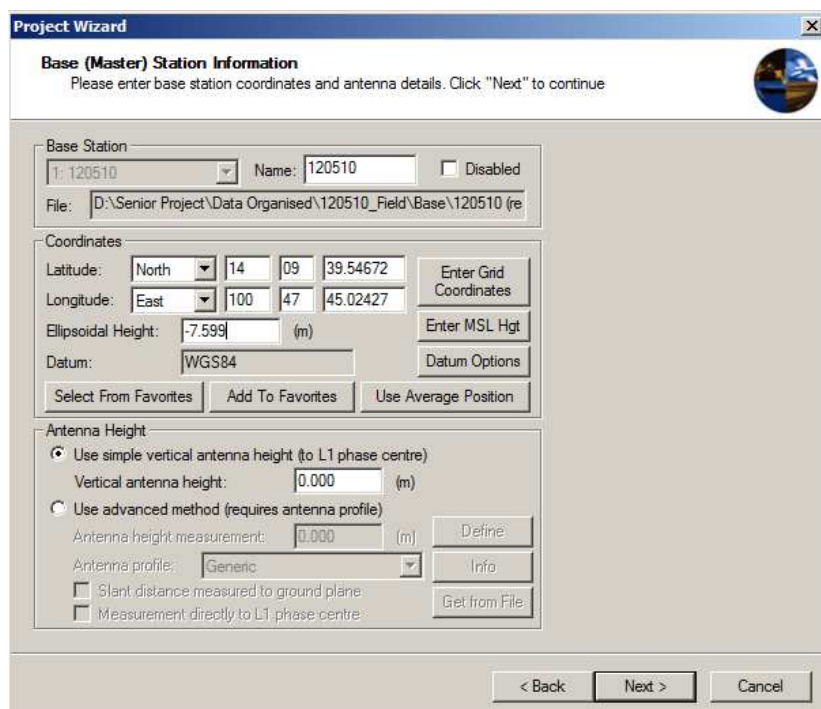
4. จะมีช่องให้ใส่ค่าออฟเซตทางดิ่ง ของ Antenna แต่เราใส่เป็น 0



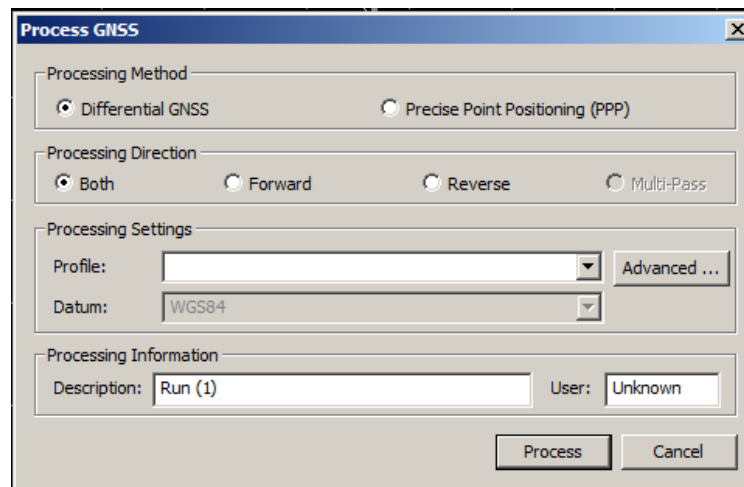
5. เลือกวิธีที่จะใส่ไฟล์ Base ในที่นี้เลือกเป็นวิธี add ไฟล์จากในเครื่อง



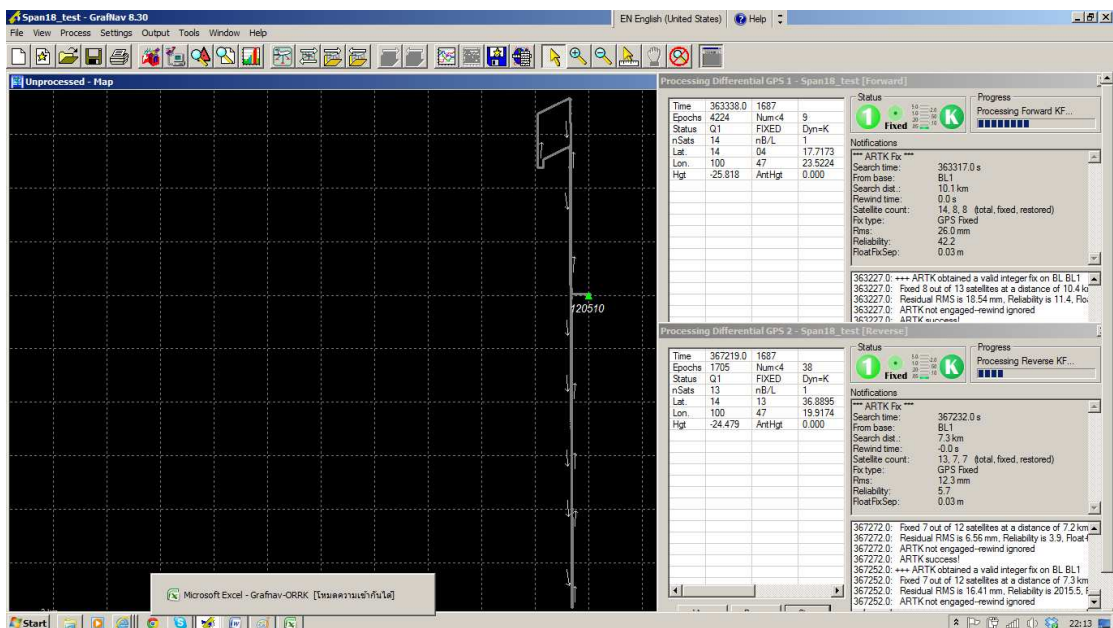
6. กำหนดค่า พิกัด Base ที่ได้จากการประมวลผลเทียบกับองค์ริกษ์ (OKRK) สำหรับทางราบ และการประมวลผลเทียบหมุดกรมแผนที่ทหาร สำหรับทางตั้ง



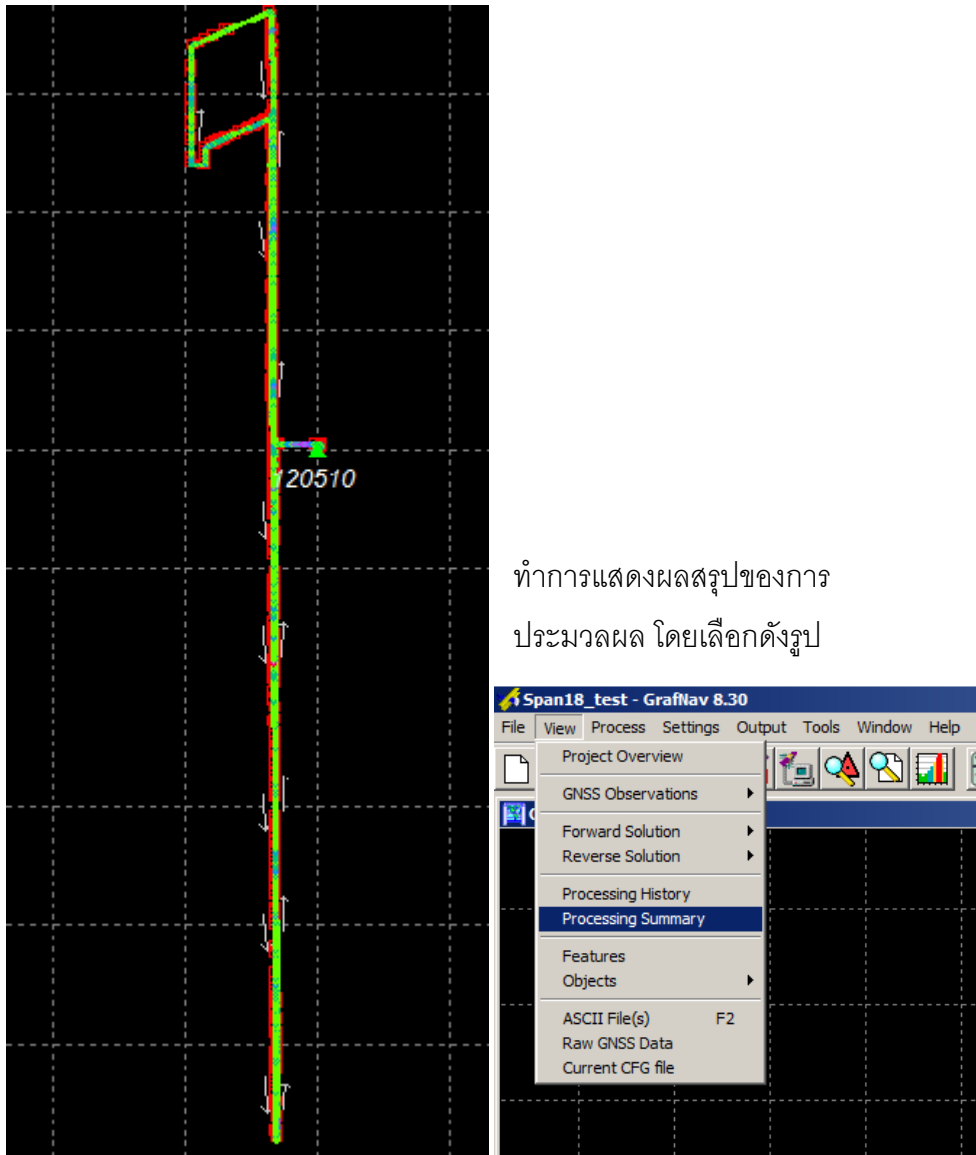
9. เลือก Process ตามด้วย Process GNSS จะมีรูปแบบวิธีการ Process ให้เลือก โดยเลือกแบบสัมพัทธ์ และ แบบสองทิศทาง Forward+Reverse



10. เลือก Process แล้วรอให้โปรแกรมประมวลผล จนกว่าจะเสร็จ

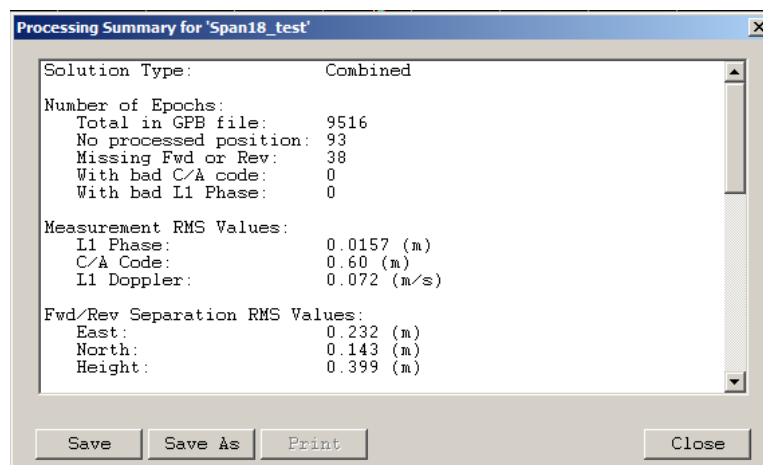


11. เสร็จการประมวลผลจะได้รูปเส้นทางดังนี้

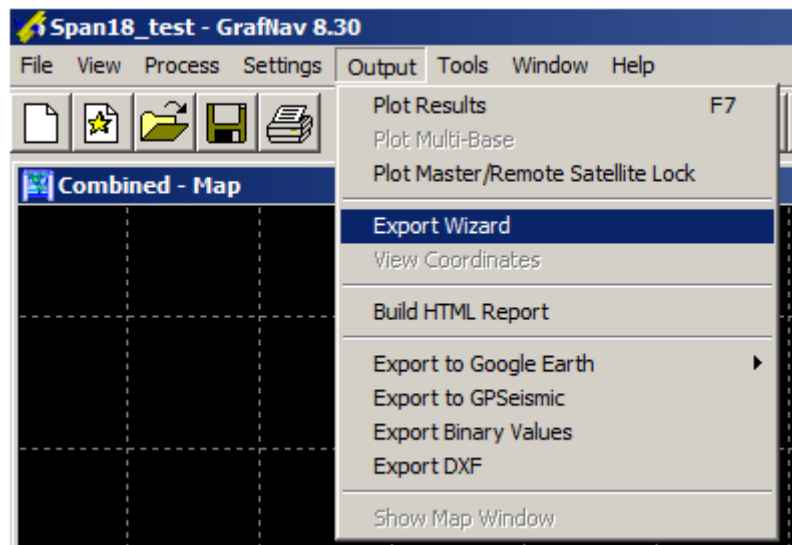


ทำการแสดงผลสรุปของการ
ประมวลผล โดยเลือกดังรูป

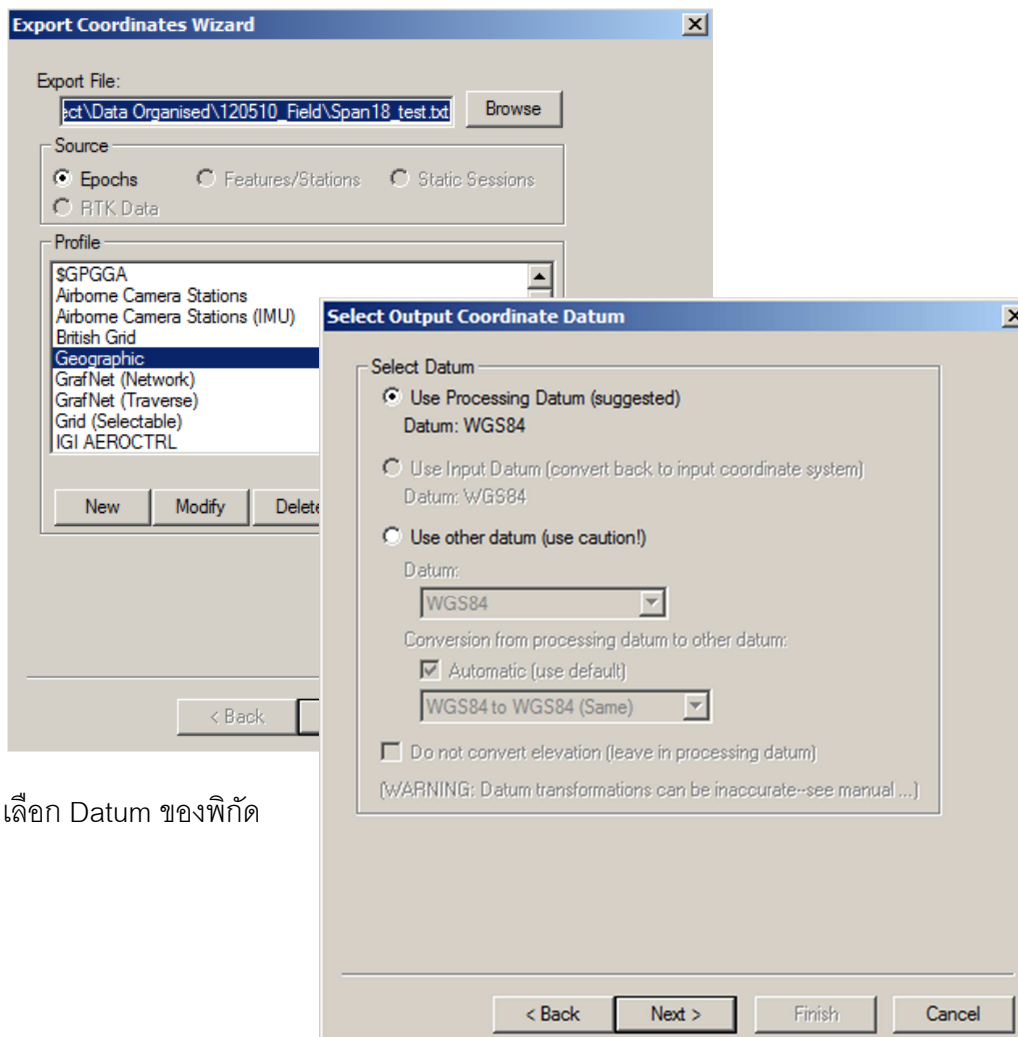
12. ได้ไฟล์แสดงผลสรุปของการประมวลผล จากนั้นให้ Save ไว้ในไดเรกทอรีที่ต้องการ



13. ทำการเลือกรูปแบบเพื่อ Export ไฟล์ที่ประมวลผลเรียบร้อยแล้ว



14. ทำการเลือกรูปแบบค่าพิกัดที่จะให้แสดง และที่อยู่ของไฟล์ที่ต้องการ Save ไว้ โดยเลือก Browse



เลือก Datum ของพิกัด

15. กำหนด Scale และ Sd/Covariance Value

Estimated Accuracy Scaling

Scale estimated SD/covariance values

SD scale factor

For position: 1.0000 No scaling (1-sigma) Change ...

For velocity: 1.0000 No scaling (1-sigma) Change ...

Other settings

Increase position SD/covariance on kinematic float solutions

< Back Next > Finish Cancel

16. เลือกจำนวน Epoch ที่ต้องการแสดง

Select Epoch Sampling Mode

Sampling Mode

Export every epoch

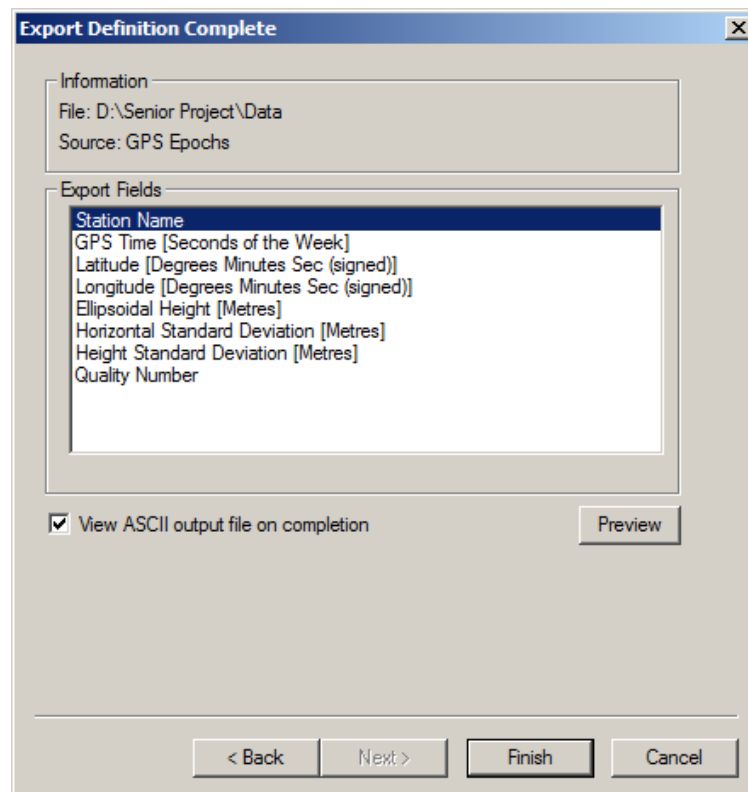
Reduce to lower sampling rate
Interval: 0.000 (sec)

Interpolate to higher sampling rate
Interval: 0.000 (sec)
Maximum time: 60 (sec)

Use distance dependent sampling
Distance: 0.000 (m)

< Back Next > Finish Cancel

17. เลือก Finish เพื่อให้ได้ไฟล์ผลการประมวลผล



18. จะได้ไฟล์ผลลัพธ์ที่ต้องการแสดงบนหน้าจอ

D:\Senior Project\Data Organised\120510_Field\Span18_test.txt

Project: Span18_test
 Program: GrafNav Version 8.30.1123
 Profile: Geographic
 Source: GPS Epochs(Combined)
 ProcessInfo: Run (1) by Unknown on 02/06/2013 at 22:13:40

Datum: WGS84, (processing datum)
 Master 1: Name 120510, Status ENABLED
 Antenna height 0.000 m, to L1-PC (Generic)
 Position 14 09 39.58422, 100 47 45.02259, -26.079 m (WGS84, Ellipsoidal hgt)
 Remote: Antenna height 0.000 m, to L1-PC (Generic)

SD/Covariance Scaling Settings:
 Position: No scaling (1-sigma)
 Velocity: No scaling (1-sigma)
 Increase SD on kinematic float: No

Station	GPSTime (sec)	Latitude (+/-D M S)	Longitude (+/-D M S)	H-Ell (m)	SDHori (m)	SDHeig (m)	Q
1-K	359369.00	14 09 39.50620	100 47 45.34412	-25.700	0.028	0.039	1
2-K	359370.00	14 09 39.50854	100 47 45.34478	-25.688	0.029	0.040	1
3-K	359371.00	14 09 39.51205	100 47 45.34543	-25.689	0.032	0.045	2
4-K	359372.00	14 09 39.52371	100 47 45.34838	-25.661	0.030	0.043	1
5-K	359373.00	14 09 39.55108	100 47 45.35866	-25.677	0.029	0.042	2
6-K	359374.00	14 09 39.59493	100 47 45.38850	-25.633	0.028	0.043	2
7-K	359375.00	14 09 39.64414	100 47 45.44088	-25.647	0.030	0.046	2

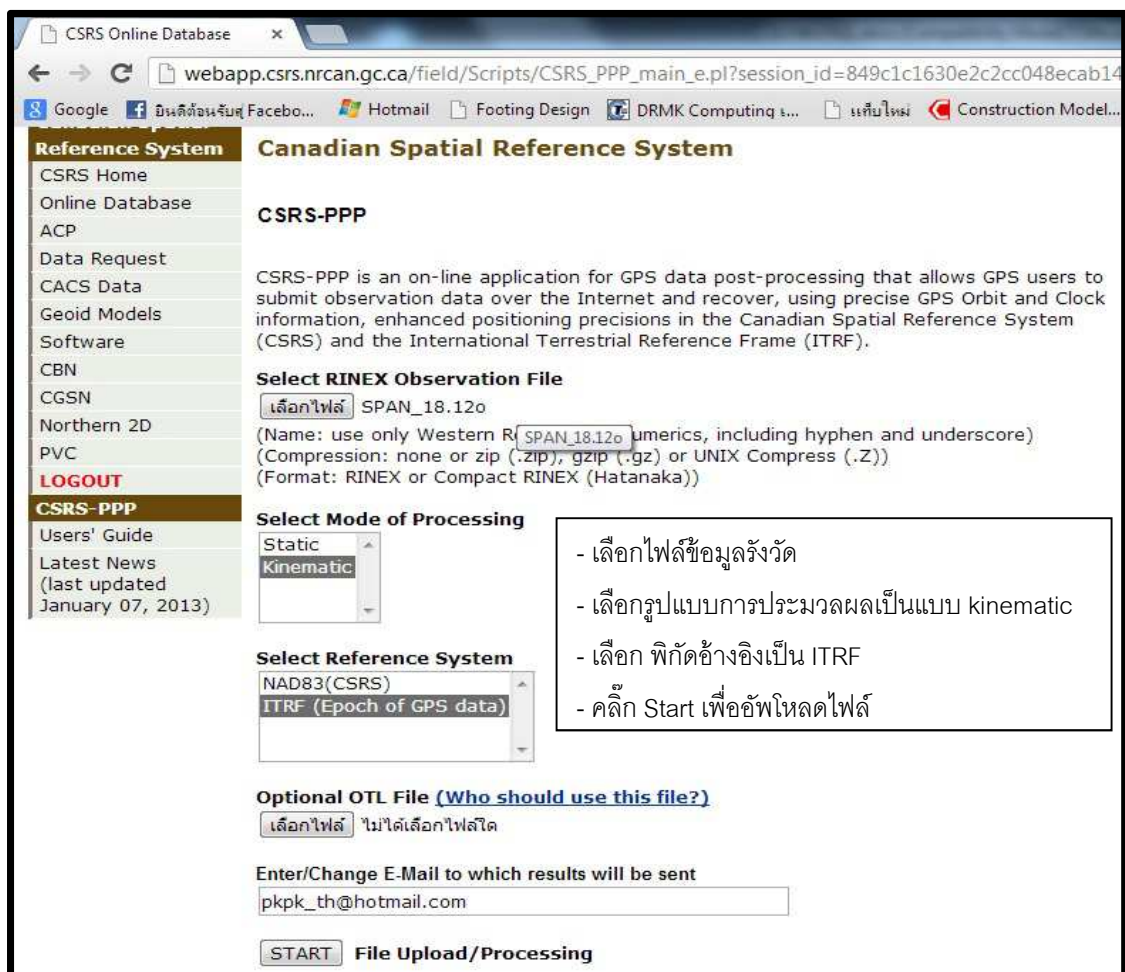
Row: 1 Col: 1 TotalRows: 9442 F3-Find Text, Right Click for more options

การประมวลผลด้วยวิธี PPP ผ่านเว็บออนไลน์


1. เข้าไปที่เว็บไซต์ http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php




2. ทำการ Login และเลือกแถบเมนูด้านซ้าย CSRS-PPP



3. ระบบจะส่งผลการประมวลผลกลับมาที่อีเมลที่เราทำการสมัครเอาไว้



CSRS-PPP (V 1.05 05211)



Span18

Data Start	Data End	Duration of Observations
2012-05-10 03:49:29.000	2012-05-10 06:28:04.000	2h 38m 35.00s
Apri / Aposteriori Phase Std		Apri / Aposteriori Code Std
0.015m / 0.007m		2.0m / 0.836m
Observations	Frequency	Mode
Phase and Code	L1 and L2	Kinematic
Elevation Cut-Off	Rejected Epochs	Observation & Estimation Steps
10.000 degrees	1.49 %	1.00 sec / 1.00 sec
Antenna Model	APC to ARP	ARP to Marker
	Ant. not in PPP (0 m)	0.000 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

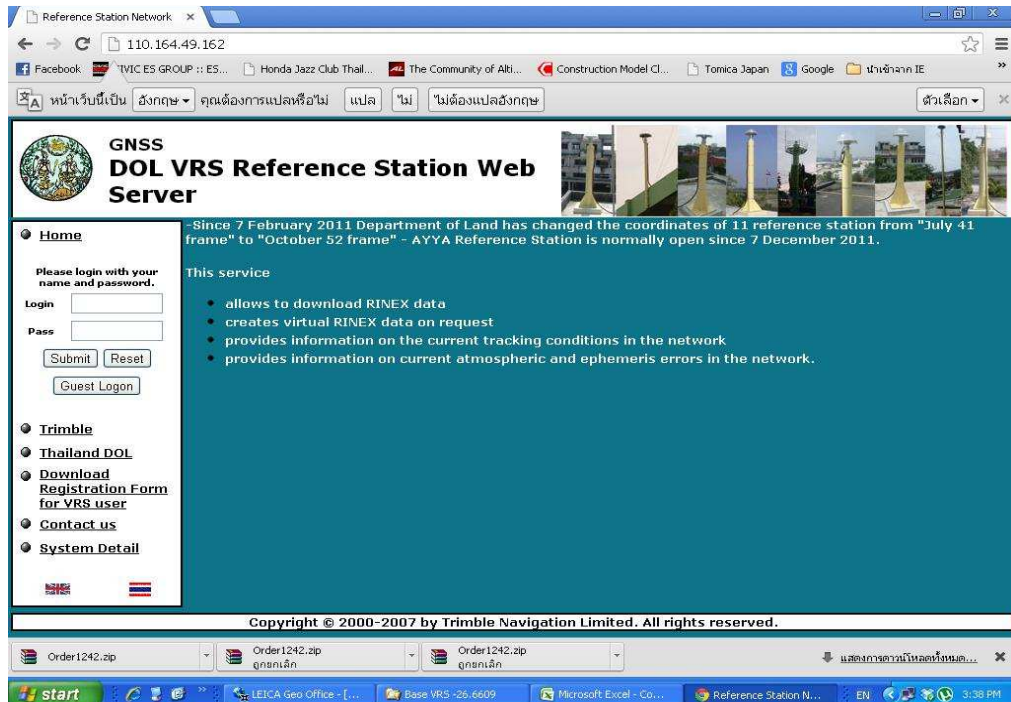
Estimated ITRF Positions for SPAN_18.12o can be found in SPAN_18.12o.pos file

4. ไฟล์ผลลัพธ์แสดงผลดังรูป

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	latitude_de	longitude_e	ellipsoidal_h	decimal_hc	day_of_ye	year	ortho_heig	rcvr_clk_ns	
2	14.16097	100.7959	-24.939	3.82472	131	2012	UUU	-21.289	
3	14.16097	100.7959	-24.912	3.825	131	2012	UUU	-21.47	
4	14.16097	100.7959	-24.892	3.82528	131	2012	UUU	-21.811	
5	14.16098	100.7959	-24.888	3.82556	131	2012	UUU	-22.271	
6	14.16098	100.7959	-24.915	3.82583	131	2012	UUU	-22.544	
7	14.161	100.7959	-24.904	3.82611	131	2012	UUU	-22.817	
8	14.16101	100.796	-24.913	3.82639	131	2012	UUU	-23.048	
9	14.16102	100.796	-24.933	3.82667	131	2012	UUU	-23.296	
10	14.16104	100.796	-24.975	3.82694	131	2012	UUU	-23.659	
11	14.16105	100.796	-25.027	3.82722	131	2012	UUU	-24.093	
12	14.16106	100.796	-24.968	3.8275	131	2012	UUU	-23.971	
13	14.16107	100.7961	-24.881	3.82778	131	2012	UUU	-23.584	
14	14.16107	100.7961	-24.831	3.82806	131	2012	UUU	-23.663	
15	14.16107	100.7961	-24.858	3.82833	131	2012	UUU	-24.167	
16	14.16108	100.7961	-24.875	3.82861	131	2012	UUU	-24.671	
17	14.16108	100.7961	-24.868	3.82889	131	2012	UUU	-24.89	
18	14.16109	100.7961	-24.869	3.82917	131	2012	UUU	-25.029	
19	14.16109	100.7961	-24.89	3.82944	131	2012	UUU	-25.317	
20	14.16111	100.7961	-24.899	3.82972	131	2012	UUU	-25.465	

การขอไฟล์สถานีเสมือน VRS เว็บไซต์กรมที่ดิน

1. ขอรับบริการข้อมูลสถานีฐานเสมือนเพื่อใช้ประกอบการประมวลผลข้อมูล โดยเข้าไปที่เว็บไซต์ <http://110.164.49.162/> ของกรมที่ดิน และทำการ Login (ต้องกรอกข้อมูลขอใช้บริการก่อน)



2. คลิกที่ RINEX Shop เลือกหัวข้อ Virtual reference Station (VRS™)



3. ระบุตำแหน่งที่ต้องการขอข้อมูลสถานีฐานเสมือน

The screenshot shows the 'RINEX Shop - Virtual Reference Station' page. The page title is 'RINEX Shop - Virtual Reference Station'. Below the title, there is a text input area for coordinates and a table for 'Virtual Reference Station - Geographical Position'.

Virtual Reference Station - Geographical Position	
Latitude: *	14 9 39.58485 <input type="radio"/> N <input type="radio"/> S
Longitude: *	100 47 44.94063 <input type="radio"/> E <input type="radio"/> W
Elevation:	-27.045 m

Navigation buttons: << Back: Station Type Selection, Reset to initial values, Next: Time Selection >>

Switch to geocentric Cartesian coordinate system

* You can enter the geographical coordinates in three formats:

- Deg Min Sec Example: 48 1 21.60
- Deg Min Example: 48 1.36
- Deg Example: 48.02267

Copyright © 2000-2007 by Trimble Navigation Limited. All rights reserved.

4. ระบุวันเวลาที่ต้องการให้ตรงกับวันที่รับข้อมูล

The screenshot shows the 'RINEX Shop - Date & Time Selection' page. The page title is 'RINEX Shop - Date & Time Selection'. Below the title, there is a text input area for the observation period and a table for 'Observation Period'.

Observation Period	
Date:	10 May 2012
Start time:	0 h 0 m 0 s
Duration:	24 h 0 m
Interval:	1 s
Time system:	GPS [GPS time = Local time - xx hour(s) (summer time)] [GPS time = Local time - yy hour(s) (winter time)]
	<input checked="" type="checkbox"/> Include Broadcast ephemeris

Navigation buttons: << Back: VRS Position, Reset to initial values, Next: Add to order >>

Copyright © 2000-2007 by Trimble Navigation Limited. All rights reserved.

5. ระบบแสดงรายละเอียดสถานีฐานเสมือนที่ต้องการ

GNSS DOL VRS Reference Station Web Server

RINEX Shop – Your current Order

The following RINEX data files are currently in your order. You may add further data files, remove files or proceed with delivery options and data generation.

Station	Start time	End time	Duration (min.)	Interval (sec.)	Epochs	Eph.	Action
VRS	05/10/12 12:00 AM	12:00 AM	1440	1	86400	yes	Choose action... >>
Total:			1440		86400		

All times are in the GPS time system.

Copyright © 2000-2007 by Trimble Navigation Limited. All rights reserved.

6. ระบุรูปแบบวิธีการที่จะรับไฟล์สถานีฐานเสมือน และชนิดของไฟล์

GNSS DOL VRS Reference Station Web Server

RINEX Shop – Delivery Options

You can choose to either download the generated RINEX files or to send them to you by e-mail. In the latter case you don't have to wait until the files are generated, which may take some time, depending on the amount of requested data.

- Download the data
 - Notify me by e-mail when the data is generated
- or
- Send me the data by e-mail
 - One single e-mail containing all files
 - Multiple e-mails, one for each file

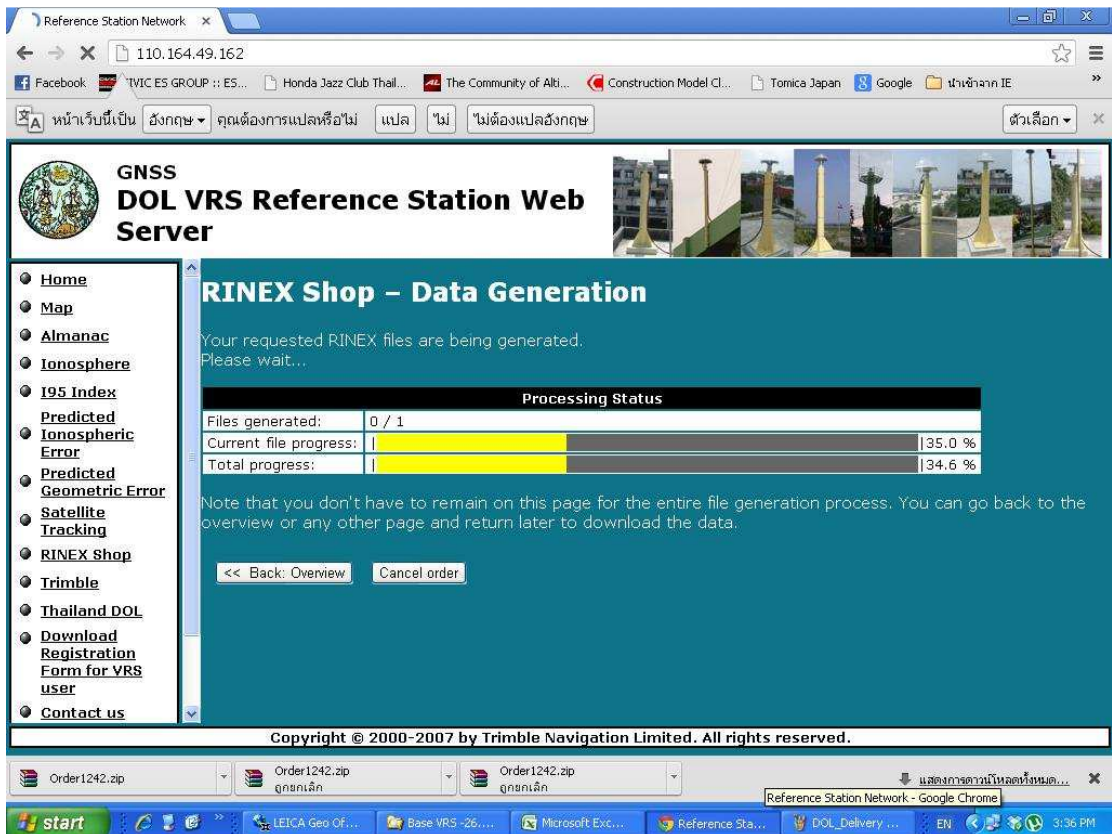
Choose the file format (all files will be packed into a single ZIP archive):

File format:

- Compact RINEX (Hatanaka)
- RINEX

Copyright © 2000-2007 by Trimble Navigation Limited. All rights reserved.

7. รวบรวมสร้างไฟล์สถานีฐานเสมือน



Reference Station Network

110.164.49.162

Facebook TWIC ES GROUP :: ES... Honda Jazz Club Thai... The Community of Aki... Construction Model Cl... Tomica Japan Google หน้าเข้าจาก IE

หน้าเว็บนี้เป็น อังกฤษ > คุณต้องการแปลหรือไม่ แปล ไม่ ไม่ต้องแปลอังกฤษ > ตัวเลือก > X

GNSS DOL VRS Reference Station Web Server

RINEX Shop – Data Generation

Your requested RINEX files are being generated. Please wait...

Processing Status	
Files generated:	0 / 1
Current file progress:	135.0 %
Total progress:	134.6 %

Note that you don't have to remain on this page for the entire file generation process. You can go back to the overview or any other page and return later to download the data.

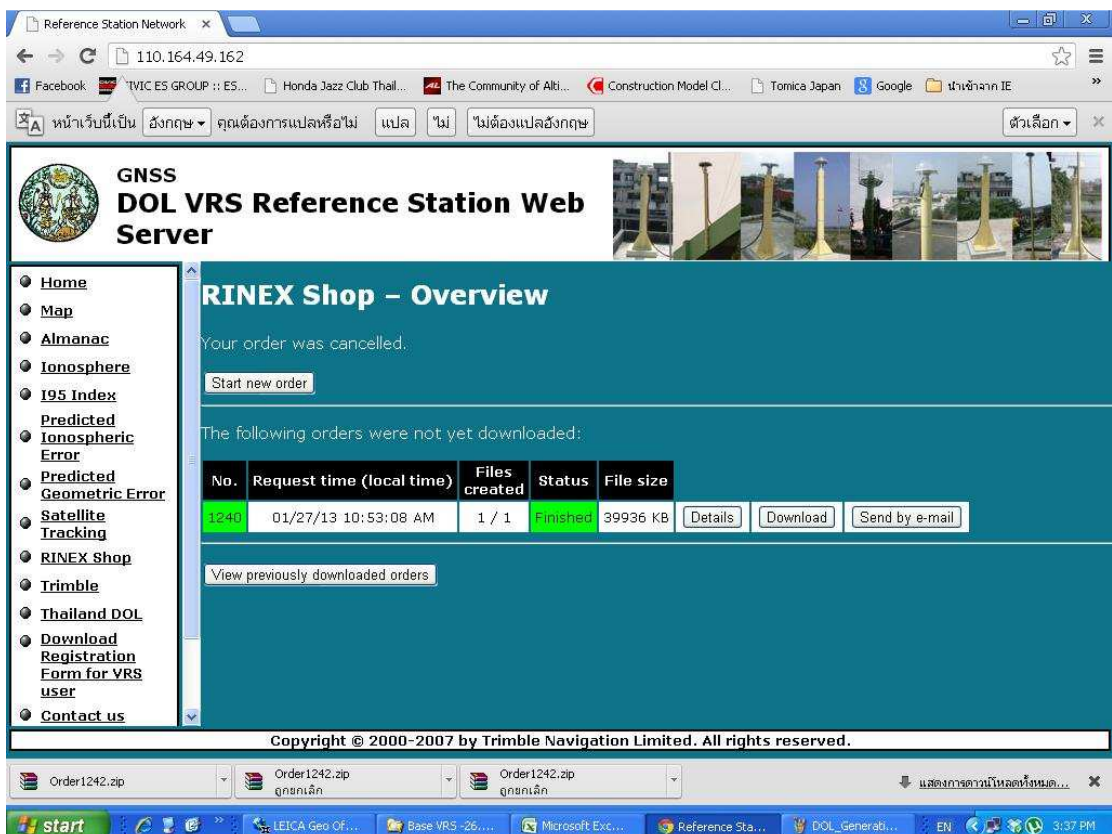
<< Back: Overview Cancel order

Copyright © 2000-2007 by Trimble Navigation Limited. All rights reserved.

Order1242.zip Order1242.zip ถูกยกเลิก Order1242.zip ถูกยกเลิก

start LEICA Geo Of... Base VRS -26... Microsoft Exc... Reference Sta... DOL_Delivery ... EN 3:36 PM

8. เลือก Download ข้อมูลหรือ ให้ระบบส่งให้ทาง E-Mail



Reference Station Network

110.164.49.162

Facebook TWIC ES GROUP :: ES... Honda Jazz Club Thai... The Community of Aki... Construction Model Cl... Tomica Japan Google หน้าเข้าจาก IE

หน้าเว็บนี้เป็น อังกฤษ > คุณต้องการแปลหรือไม่ แปล ไม่ ไม่ต้องแปลอังกฤษ > ตัวเลือก > X

GNSS DOL VRS Reference Station Web Server

RINEX Shop – Overview

Your order was cancelled.

Start new order

The following orders were not yet downloaded:

No.	Request time (local time)	Files created	Status	File size	
1240	01/27/13 10:53:08 AM	1 / 1	Finished	39936 KB	Details Download Send by e-mail

View previously downloaded orders

Copyright © 2000-2007 by Trimble Navigation Limited. All rights reserved.

Order1242.zip Order1242.zip ถูกยกเลิก Order1242.zip ถูกยกเลิก

start LEICA Geo Of... Base VRS -26... Microsoft Exc... Reference Sta... DOL_Generati... EN 3:37 PM

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ:	นายโชคชัย ตระกลกุล
วันเดือนปีเกิด:	3 ธันวาคม พ.ศ. 2520
คุณวุฒิทางการศึกษา:	
พ.ศ. 2543	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
พ.ศ. 2555	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประสบการณ์ทำงาน:	
พ.ศ. 2543-2544	วิศวกรโยธา บ.พจน์เจริญยิ่ง จก.
พ.ศ. 2544-2548	วิศวกร แผนกก่อสร้างและติดตั้ง ฝ่ายบริการเทคนิค บ.ทีพีไอ คอนกรีต จก.
พ.ศ. 2548-2554	Asst.Supervisor แผนกก่อสร้างและติดตั้ง ฝ่ายบริการเทคนิค บ.ทีพีไอ คอนกรีต จก.
พ.ศ. 2554-ปัจจุบัน	Supervisor แผนกก่อสร้างและติดตั้ง ฝ่ายบริการเทคนิค บ.ทีพีไอ คอนกรีต จก.
รางวัลที่ได้รับ:	-

ผลงานทางวิชาการ: บทความตีพิมพ์

1. โชคชัย ตระกลกุล, เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2556. การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18. โรงแรมดิเอ็มเพลส จังหวัดเชียงใหม่. 8-10 พฤษภาคม