

การทดสอบความสามารถของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส โดยวิธีย้อนกลับแบบจลน์ในทันที
ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวของตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8



นายก่อไกล สรโยธิน

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

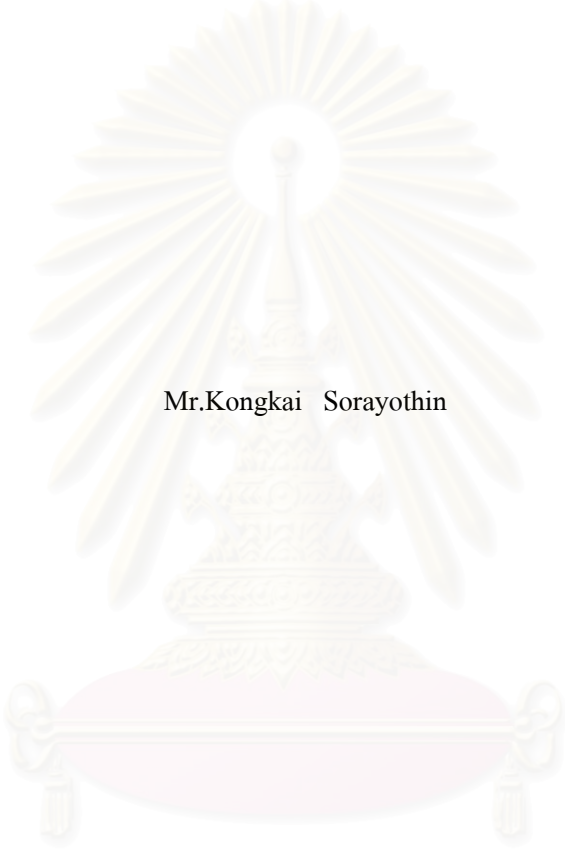
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE ASSESSMENT OF THE INVERSED REAL-TIME KINEMATIC GPS TECHNIQUE
FOR DETECTING VERTICAL MOVEMENTS OF THE RAMA 8 BRIDGE



Mr.Kongkai Sorayothin

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2006

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทดสอบความสามารถของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส โดยวิธี
ย้อนกลับแบบจลน์ในทันทีในการตรวจจับการเคลื่อนตัวของ
สะพานพระราม 8

โดย นายก่อไกล สรโยธิน

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ


อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาโท สาขา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริก ลาวันษ์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ทริศิริศักดิ์วงศ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชงทิศ ฉายากุล)

ก้องไกล สรโยธิน : การทดสอบความสามารถของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส โดยวิธีย้อนกลับแบบจลน์ในทันที ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวของสะพานพระราม 8. (PERFORMANCE ASSESSMENT OF THE INVERSED REAL-TIME KINEMATIC GPS TECHNIQUE FOR DETECTING VERTICAL MOVEMENTS OF THE RAMA 8 BRIDGE) อ. ที่ปรึกษา: ผศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 92 หน้า.

การติดตามเฝ้าระวังที่น่าเชื่อถือของข้อมูลแบบทันทีทันใด ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวและการโค้งงอของโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น เช่น สะพานช่วงยาว เป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากสำหรับวิศวกรโยธา หลายปีที่ผ่านมาการตรวจสอบพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของโครงสร้างต้องใช้เครื่องวัดความเร่ง และ เครื่องวัดความเร็ว ในการเฝ้าระวังติดตามพฤติกรรมของการเคลื่อนตัว ซึ่งเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ในปัจจุบันมีความสามารถในการให้ค่าพิกัดผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องอยู่ในระดับเซนติเมตร และมีความถี่ในการบันทึกข้อมูล 10 เฮิรตซ์ หรือดีกว่านั้น การศึกษาที่ผ่านมาได้มีการนำวิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที(RTK) มาใช้ในการเฝ้าระวังโครงสร้างมากมาย เมื่อไม่นานมานี้ได้มีนักวิจัยนำเสนอวิธีการหนึ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที ในลักษณะย้อนกลับ กล่าวคือ จุดสถานีฐานจะมีการเคลื่อนที่และจุดสถานีจรจะอยู่กับที่เพื่อใช้ในการติดตามเฝ้าระวังตรวจจับในสิ่งที่สนใจในทันทีทันใด

งานวิจัยนี้ต้องการที่จะประเมินความสามารถของวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันที และวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันทีลักษณะย้อนกลับ (Inversed RTK) เพื่อใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวของสะพานพระราม 8 ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีรังวัดแบบจลน์ในทันทีให้ผลลัพธ์ ที่ถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันทีลักษณะย้อนกลับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแบบจำลองเกิดการเคลื่อนตัวทางคัง นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีรังวัดแบบจลน์ในทันทีลักษณะย้อนกลับ นั้นให้ผลลัพธ์ที่ไม่น่าเชื่อถือ เมื่อโครงสร้างมีการเคลื่อนที่อย่างฉับพลันด้วยเหตุนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันทีลักษณะย้อนกลับควรนำข้อมูลดิบมาทำการประมวลผลภายหลังเสียก่อน ดังนั้นวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันทีลักษณะย้อนกลับ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวของสะพานพระราม 8

ภาควิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา ...2549.....




4670211221 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD: Inversed RTK / GPS / RTK

KONGKAI SORAYOTHIN: PERFORMANCE ASSESSMENT OF THE INVERSED REAL-TIME KINEMATIC GPS TECHNIQUE FOR DETECTING VERTICAL MOVEMENTS OF THE RAMA 8 BRIDGE. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHALERMCHON SATIRAPOD.Ph.D, 92 pp.

Real-time reliable monitoring of the dynamic and deflection behavior of flexible structures such as long span bridges is of great interest for civil engineer. For many years, monitoring the dynamic behavior of engineering structures has relied on measurements made by accelerometer and anemometer. GPS receivers with a capability of resolving motion at the centimeter level with sampling rates of 10 Hz and higher are now available. Previous studies demonstrated the feasibility of deploying Real-Time Kinematic (RTK) GPS method for the dynamic monitoring of structures. Recently, researcher has suggested a novel method based on the use of Real-Time Kinematic GPS technique in inversed mode – with mobile ‘base station’ and fixed ‘rover’ to monitor the movement of an interested entity in instantaneous mode.

This research aims to assess the performance of Real-Time Kinematic and Inversed Real-Time Kinematic GPS techniques for detecting vertical movement of the RAMA 8 bridge. Several tests conducted in this study confirmed that the RTK method produced more realistic results than the Inversed RTK method especially when the bridge model was non-stationary. It was also noticed that the Inversed RTK method gave unacceptable results when the bridge model was sharply moving. Furthermore, it was found that the Inversed RTK results could be improved by post-processing the raw data. Therefore, the Inversed RTK method is not recommended to be used for detecting the vertical movement of the RAMA 8 bridge.

DepartmentSurvey Engineering.....Student’s signature
Field of studySurvey Engineering.....Advisor’s signature
Academic year...2006.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ก็ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ ที่ได้ให้แนวทางในการดำเนินการวิจัย แก้ไขอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บข้อมูล

ขอขอบคุณอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์, รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ และอาจารย์ ดร. ชงทิศ ฉายากุล ที่ให้คำแนะนำในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส แบบ 2 ความถี่ ยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 มาใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท Keyence Thailand ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง Laser displacement มาใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ อาจารย์เมิน ,อาจารย์วุฒินันท์, อาจารย์อาทร ,อาจารย์ณรงค์(พี่หมู), อาจารย์วรพันธ์(พี่ไก่), อาจารย์กนกศักดิ์(พี่หนก) ,อาจารย์กฤษณา(เจ๊ตุ้), อาจารย์นิมิตร(พี่มิตร) , อาจารย์ณรงค์(พี่จิว) และนักศึกษสาขาวิศวกรรมสำรวจ รุ่น 1 และรุ่น 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ (เทคนิคกรุงเทพฯ) ที่ให้กำลังใจ กำลังงาน และแวะเวียนมาถามความคืบหน้าในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณครอบครัวสร โยธิน คุณแม่ปฎิมา คุณพ่อกั้ววาท พี่จ้อ น้องจี ตึก น้องจอห์น น้องเจฟฟ์ ที่เป็นกำลังใจ และเป็นแรงใจให้ต่อสู้กับความเหนื่อยล้า ในช่วงหัวเลี้ยวหัวต่อ ของการทำวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. จุดประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3. ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 การหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์.....	4
2.1.2 การทำงานรังวัดแบบเครื่องรับแบบรังวัด.....	5
2.1.2.1 วิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง.....	5
2.1.2.2 การรังวัดแบบจลน์ในทันที(Real Time Kinematic Survey).....	8
2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.3. แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	14
2.4. สมมุติฐานที่ใช้ในงานวิจัย.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	18
3.1. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	18
3.1.1. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส	
ยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 จำนวน 4 เครื่อง.....	18
3.1.2. เครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Displacement Sensors)	18
3.1.3. แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่ง	19
3.1.4. Wavelets toolbox.....	21
3.2. แนวทางการทดสอบความสามารถในการตรวจจับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่ง.....	21

3.2.1. การเปรียบเทียบวิธี RTK ดังเดิมกับวิธี Inversed RTK ในการ ตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองสะพาน.....	21
3.2.2. ทดสอบประสิทธิภาพของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับ การเคลื่อนตัวทางดิ่งของพระราม 8.....	22
3.2.3. ทดสอบค่าพิกัดที่ได้จากการทดสอบความน่าเชื่อถือของ วิธี Inversed RTK	24
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	25
4.1 การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยใช้แบบจำลองชุดเก่า.....	25
4.2 การทดสอบเปรียบเทียบวิธี RTK และวิธี Inversed RTK กับเครื่องวัดระยะเลเซอร์.....	29
4.3 การทดสอบเปรียบเทียบผลข้อมูลที่ได้จาก Real-time และข้อมูล Post-processing จากวิธี RTK และวิธี Inverse RTK	37
4.4 การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK เมื่อมีสถานีจร 3 จุด.....	44
4.5 การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัว ทางดิ่งของสะพานพระราม 8.....	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	57
5.1. สรุปผลการวิจัย.....	57
5.1.1. การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยใช้แบบจำลองชุดเก่า.....	57
5.1.2. การทดสอบเปรียบเทียบวิธี RTK และวิธี Inversed RTK กับเครื่องวัด ระยะเลเซอร์.....	57
5.1.3. การทดสอบเปรียบเทียบข้อมูล Real-time และข้อมูล Post-process จาก วิธี RTK และวิธี Inversed RTK.....	58
5.1.4. การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK เมื่อมีสถานีจร 3 จุด.....	58
5.1.5. การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับการ เคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8.....	58
5.2. ปัญหา และข้อเสนอแนะ.....	59
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก รูปแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งโดยแยกพิจารณาในขณะแบบจำลอง อยู่กับที่และเคลื่อนที่ของการทดลองที่ 3.....	63
ภาคผนวก ข รูปแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งโดยแยกพิจารณาในขณะแบบจำลอง อยู่กับที่และเคลื่อนที่ของการทดลองที่ 4.....	70

ภาคผนวก ก รูปแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางคิ่งที่ตรวจจับได้บนสะพานพระราม 8.....	89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	92



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบ สมมุติฐานเบื้องต้น.....	18.
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติการทดสอบความสามารถของวิธีการ Inversed RTK โดยใช้ แบบจำลองชุดเก่า	27
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบวิธี RTK กับวิธี Inversed RTK กับ เครื่องวัดระยะเลเซอร์.....	31
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูล real-time และ ข้อมูล post-process จากวิธีการ RTK และ Inversed RTK	39
ตารางที่ 4.4(ก) แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลจากจุดสถานีจรทั้ง 3 จุด ระหว่าง Real-time กับ Wavelets filltering จากวิธีการ Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ และขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ทางดิ่ง.....	46
ตารางที่ 4.4(ข) แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลจากจุดสถานีจรทั้ง 3 จุด ระหว่าง Real-time กับ Post-processing จากวิธีการ Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ และขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ทางดิ่ง.....	47
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลแบบ Real-time แบบ Post-processing และแบบ Wavelets filltering จากวิธีการ RTK และ Inversed RTK บนสะพานพระราม 8.....	56

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning).....	5
รูปที่ 2.2	การรังวัดดาวเทียมด้วยวิธีวัดเฟสของคลื่นส่ง.....	7
รูปที่ 2.3	การรังวัดดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที.....	9
รูปที่ 2.4	แสดงการเสียรูปจากแรงบิดของสะพานทาโคมา	10
รูปที่ 2.5	ลักษณะการทำงานของกรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ.....	14
รูปที่ 2.6	แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งเพื่อใช้ทดสอบสมมุติฐาน.....	15
รูปที่ 3.1	เครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Displacement Sensors).....	18
รูปที่ 3.2	แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งเพื่อทดสอบแบบเก่า.....	19
รูปที่ 3.3	แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งเพื่อทดสอบแบบใหม่.....	20
รูปที่ 3.4	การเปรียบเทียบ RTK ดั้งเดิมกับ Inversed RTK.....	22
รูปที่ 3.5	แสดงระยะตกท้องช้างมากที่สุดของสะพานพระราม 8.....	23
รูปที่ 3.6	ตำแหน่งจุดสถานีในการทดลองจริงที่สะพานพระราม 8.....	23
รูปที่ 3.7	การทดสอบผลกระทบต่อค่าพิกัดที่ได้จากวิธีการ Inversed RTK.....	24
รูปที่ 4.1	แสดงการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยใช้แบบจำลองชุดเก่า.....	26
รูปที่ 4.2	แสดงบริเวณที่ทำการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยใช้ แบบจำลองชุดเก่า ณ บริเวณสนามฟุตบอล คณะรัฐศาสตร์.....	26
รูปที่ 4.3	แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งครั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 1.....	27
รูปที่ 4.4	แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ครั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 1.....	28
รูปที่ 4.5	แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งครั้งที่ 2 ในการทดลองที่ 1.....	28
รูปที่ 4.6	แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ครั้งที่ 2 ในการทดลองที่ 1.....	28
รูปที่ 4.7	แสดงการทดสอบเปรียบเทียบวิธี RTK และวิธี Inversed RTK กับเครื่องวัดระยะเลเซอร์	29
รูปที่ 4.8	แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในการทดลองที่ 2.....	30
รูปที่ 4.9	แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในการทดลองที่ 2.....	30
รูปที่ 4.10	แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้จากเครื่องวัดระยะเลเซอร์ ในการทดลองที่ 2.....	30

รูปที่ 4.11 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1
ในการทดลองที่ 2.....32

รูปที่ 4.12 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร
ในการทดลองที่ 2.....32

รูปที่ 4.13 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2
ในการทดลองที่ 2.....32

รูปที่ 4.14 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร
ในการทดลองที่ 2.....33

รูปที่ 4.15 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์
เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 2.....33

รูปที่ 4.16 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์
เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตรในการทดลองที่ 2.....33

รูปที่ 4.17 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์
เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ในการทดลองที่ 2.....34

รูปที่ 4.18 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์
เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตรในการทดลองที่ 2.....34

รูปที่ 4.19 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK
เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 2.....34

รูปที่ 4.20 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK
เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ในการทดลองที่ 2.....35

รูปที่ 4.21 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK
เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ในการทดลองที่ 2.....35

รูปที่ 4.22 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK
เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ในการทดลองที่ 2.....35

รูปที่ 4.23 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูล Real-time และข้อมูล Post-processing
จากวิธี RTK และ Inversed RTK (วันที่ 6 มีนาคม 2550)37

รูปที่ 4.24 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในการทดลองที่ 3.....38

รูปที่ 4.25 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในการทดลองที่ 3...38

รูปที่ 4.26 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK และ Inversed RTK
ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3.....40

รูปที่ 4.27 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK และInversed RTK ในขณะที่ แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3.....	41
รูปที่ 4.28 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK และInversed RTK ในขณะที่ แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3.....	42
รูปที่ 4.29 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูล Real-time และข้อมูล Post-process จากวิธี RTK และ Inversed RTK (วันที่ 9 มีนาคม 2550)	43
รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ แบบ Real-time จากวิธี RTK และ Inversed RTK (วันที่ 9 มีนาคม 2550)	44
รูปที่ 4.31 แสดงการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK เมื่อมีสถานีจร 3 จุด.....	45
รูปที่ 4.32 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้อย่างต่อเนื่อง จากจุดสถานีจรที่ 1 แบบ Real-time แบบ Wavelets filltering และ Post- processing.....	48
รูปที่ 4.33 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time และ Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4.....	49
รูปที่ 4.34 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time และ Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4.....	50
รูปที่ 4.35 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time และ Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4.....	51
รูปที่ 4.36 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time และ Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4.....	52
รูปที่ 4.37 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 10 และ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4.....	53
รูปที่ 4.38 แสดงการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับ การเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8.....	54
รูปที่ 4.39 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real time ของวิธี RTK และInversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8.....	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสร้างอาคารสูง และสะพานช่วงยาวเป็นที่นิยมกันเนื่องจากเทคโนโลยีในการก่อสร้างและวิธีในการคำนวณที่ทันสมัยเอื้ออำนวย ให้มีการพัฒนาความรู้และเทคโนโลยีที่ใช้ในการก่อสร้างเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าสิ่งก่อสร้างเหล่านี้จะมีการออกแบบให้สามารถรับแรงต่าง ๆ ได้ แต่ก็มีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากการสั่นกร่อนของตัวโครงสร้างเอง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรืออาจเป็นการสั่นสะเทือน ที่เกิดจากน้ำหนักที่กระทำต่อองค์โครงสร้างเองทั้งภายนอกและภายใน เช่น ลม แผ่นดินไหว ยานพาหนะ และน้ำหนักตัวโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรที่จะตรวจสอบหาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสม่ำเสมอ และในการตรวจสอบดังกล่าวจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องสูง เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์และประเมินสภาพโครงสร้าง ซึ่งทำให้สามารถเตือนภัยล่วงหน้าหรือสังเกตการเปลี่ยนแปลง เพื่อหาวิธีป้องกันอันตรายที่จะเกิดได้

การรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ทำให้ผลลัพธ์ทางด้านหนึ่งเป็นค่าพิกัดใน 3 มิติ ปัจจุบันการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส สามารถแสดงผลของข้อมูลในระดับความถี่ 10 Hz หรือสูงกว่า ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาตรวจวัดการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง วิธีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที (Real-Time Kinematic) ซึ่งในที่นี้จะขอเรียกว่าวิธี RTK เป็นวิธีทำงานรังวัดดาวเทียม ซึ่งให้ค่าตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) โดยต้องใช้เครื่องรับแบบสองความถี่ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปเครื่องรับเครื่องหนึ่งจะถูกวางรับสัญญาณที่สถานีฐาน(Base Station) จุดนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ และเป็นจุดที่ทราบค่าพิกัด ส่วนเครื่องรับที่เหลือจะสามารถเคลื่อนที่ได้ในขณะที่เก็บข้อมูล ตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการทราบค่าพิกัดจุดเหล่านี้เรียกว่าสถานีจร(Roving Station) การหาตำแหน่งสามารถทำได้ทันทีในสนามโดยอาศัยการส่งข้อมูลผ่านวิทยุ หรืออุปกรณ์สื่อสารอื่น ๆ แล้วทำการประมวลผลภายในเครื่องรับสัญญาณเลย วิธี RTK นี้ สามารถให้ค่าความถูกต้องทางด้านหนึ่งในระดับเซนติเมตร (Rizos, 1997)

วิศวกร และนักวิจัยมากมาย ได้นำเทคโนโลยีการรังวัด ด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบ RTK ไปใช้ร่วมกับเครื่องมือต่างๆ เช่น เครื่องวัดความเร่ง (Accelerometers) เครื่องวัดความเร่งแบบ 3 แกน (Triaxial Accelerometers) เครื่องวัดระยะฮิเลคทรอนิกส์ เป็นต้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวัง และตรวจสอบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น อาคารสูง และ สะพานช่วงยาว ตามหลักการของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที (RTK) คือ ให้ตำแหน่ง

ของสถานีจรสามารถเคลื่อนที่ได้ ณ ตำแหน่งที่เราต้องการทราบค่าพิกัด ส่วนสถานีฐานจะไม่มี การเคลื่อนที่ และเป็นจุดที่ทราบค่าพิกัด แต่หลักการ ของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส แบบจลน์ ในทันทีลักษณะย้อนกลับ (Inversed Real-time kinematic) ซึ่งในที่นี้จะขอเรียกว่า วิธี Inversed RTK มีหลักการ เดียวกันกับวิธี RTK แต่แตกต่างกันที่ เครื่องรับที่จุดสถานีจรจะอยู่กับที่และ เครื่องรับที่สถานีฐานจะมีการเคลื่อนที่ การประยุกต์ใช้ก็คือ เมื่อเรานำเครื่องรับที่กำหนดให้เป็นจุด สถานีฐานไปตั้ง ณ ตำแหน่งที่เราต้องการทราบค่าการเคลื่อนที่ตัวทางดิ่ง เราก็เพียงแต่รอรับข้อมูล รังวัดดาวเทียมจีพีเอส และค่าพิกัดของจุดสถานีฐาน ที่เครื่องรับที่จุดสถานีฐานส่งมาให้เครื่องรับที่ จุดสถานีจร จากนั้นซอฟต์แวร์ที่อยู่ภายในเครื่องรับที่จุดสถานีจร ที่ทำการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ แล้วได้ผลลัพธ์ เป็นค่าพิกัดแบบทันทีทันใด ทำให้ผู้สังเกตที่อยู่ ณ ตำแหน่งที่สถานีจรตั้งอยู่ทราบ ว่า ณ ตำแหน่งสถานีจรเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดแนวคิด ในการศึกษาความเป็นไปได้ ในการประยุกต์ใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส โดยวิธี Inversed RTK ในการ ตรวจสอบการเคลื่อนที่ทางดิ่งของโครงสร้างสะพานช่วงยาว

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความสามารถของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส โดยวิธีย้อนกลับแบบจลน์ ในทันที (Inversed RTK) ในการเฝ้าระวังการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานในทางดิ่ง

1.3. ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1. ศึกษาความเหมาะสมของค่าการเคลื่อนที่ตัวทางดิ่งของโครงสร้างสะพานพระราม 8 ซึ่งวัดได้จากวิธีการ Inversed RTK
- 1.3.2. ศึกษาและวิเคราะห์ผลจากการทดลองที่ออกแบบไว้ โดยใช้วิธีการ Inversed RTK เป็นวิธีการพื้นฐานในการทำงานและสรุปผลการทดลอง ในการศึกษาความเหมาะสมของค่าการเคลื่อนที่ตัวทางดิ่ง และใช้วิธีการ Inversed RTK ในการปฏิบัติ เพื่อเก็บข้อมูล
- 1.3.3. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย
 - 1.3.3.1. ชุดข้อมูลค่าพิกัดที่ได้จากการทำ Inversed RTK และ RTK จากกร ทดลองที่ออกแบบไว้
 - 1.3.3.2. ข้อมูลที่ได้จากใช้เครื่องวัดระยะเลเซอร์
- 1.3.4. ใช้ Wavelets ในการกรองสัญญาณรบกวนของข้อมูลที่วัดจากเครื่องรับจีพีเอส นำ ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องรับจีพีเอสมาเปรียบเทียบกับวิเคราะห์ความถูกต้องกับข้อมูลต่างๆ ตามที่ได้ ออกแบบการทดลองไว้

1.4. วิธีดำเนินงานการวิจัย

- 1.5.1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2. ศึกษาวิธีการใช้อุปกรณ์เครื่องรังวัด จีพีเอส และ เครื่องวัดระยะทางเลเซอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประกอบวิจัย
- 1.5.3. สร้างแบบจำลองสะพานเพื่อใช้สำหรับการทดสอบสมมุติฐาน
- 1.5.4. ทำการทดลองเพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือ ของวิธีการ Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพาน
- 1.5.5. วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผล และข้อเสนอแนะ
- 1.5.6. เรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

- 1.4.1. ทำให้ทราบถึงการเคลื่อนตัวทางแนวตั้งของโครงสร้างสะพานพระราม 8 (ในช่วงทำการวิจัย)
- 1.4.2. สามารถนำข้อมูลที่มีการการรังวัดจากจีพีเอสด้วยวิธี Inversed RTK มาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนตัวทางดิ่งของโครงสร้างสะพานพระราม 8 ได้
- 1.4.3. ทำให้ทราบความสามารถของวิธี Inversed RTK ในการตรวจสอบการเคลื่อนตัวในทางดิ่งของสะพานช่วงยาวได้

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ลักษณะการอธิบายจะแบ่งเป็นส่วนของทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยวิธีย้อนกลับแบบจลน์ในทันที (Inversed RTK) จากนั้นจะเป็นการนำเสนอแนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

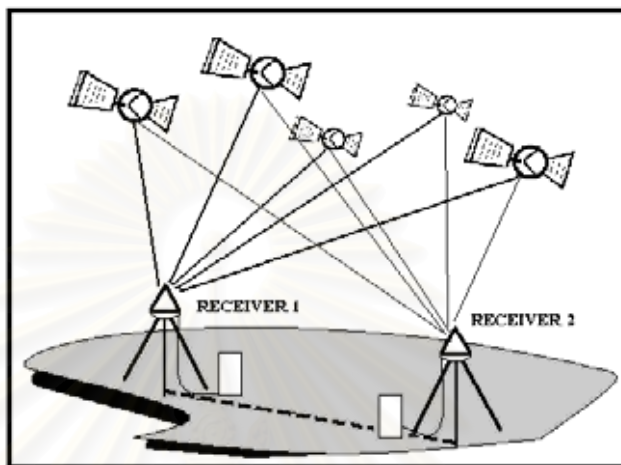
2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1. การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส เป็นการหาค่าพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณดาวเทียม ถูกพัฒนาขึ้นโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสได้เป็นที่รู้จัก และมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อได้เปรียบวิธีการสำรวจรังวัดแบบเดิม นั่นคือสามารถทำงานได้ทั้งกลางวันและกลางคืนตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่ขึ้นกับสถานที่และสภาพอากาศ มีความสะดวกในการทำงานเนื่องจากไม่จำเป็นต้องเลือกตำแหน่งหมุดให้มองเห็นกัน อีกทั้งไม่เสียค่าใช้จ่ายในการรับสัญญาณดาวเทียม มีแต่เพียงค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล นอกจากนี้ราคาของเครื่องรับสัญญาณในอนาคตรังวัดยังมีแนวโน้มลดลงในขณะที่ประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณสูงขึ้น เนื่องมาจากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสได้เป็นที่รู้จักและนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ทำให้ในปัจจุบันได้มีเอกสาร และหนังสือเกี่ยวกับระบบดาวเทียมจีพีเอสทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติออกเผยแพร่ให้ผู้ที่สนใจได้ศึกษาหาความรู้ โดยผู้ที่ต้องการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากชูเกียรติ วิเชียรดิเจริญ (2538), เกลิมชนม์ สติระพจน์ (2546) , Rizos (1997) โดยในบทนี้จะได้อธิบายเพียงเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเท่านั้น

การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning or Differential Positioning) เป็นวิธีการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกันระหว่างจุดสองจุด วัตถุประสงค์ของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์คือต้องการให้ความถูกต้องของตำแหน่งเครื่องรับดีขึ้นกว่าการหาตำแหน่งของจุดเดียว การทำงานโดยใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ ถ้าเริ่มต้นจากหมุดหลักฐานที่มีค่าพิกัดตำแหน่งสัมบูรณ์อยู่จุดอื่นๆ ที่สร้างขึ้นใหม่โดยวิธีทำงานแบบสัมพัทธ์จะมีค่าพิกัดตำแหน่งสัมบูรณ์ได้เช่นกัน การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ต้องใช้เครื่องรับแบบรังวัดตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป เครื่องรับอันหนึ่งจะ

วางรับสัญญาณที่หมุดหลักฐานซึ่งรู้หรือถือว่ารู้ตำแหน่งแล้ว หมุดหลักฐานนี้เรียกว่าสถานีฐาน (Base Station) เครื่องรับอื่นที่เหลือนำไปวางตามจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกับสถานีฐาน จุดเหล่านี้เรียกว่าจตุรีโมท หลักการทำงานของการทำงานแบบสัมพัทธ์คือเครื่องรับสถานีฐาน และที่จตุรีโมทจะต้องรังวัดไปยังดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และที่ระยะเวลาเดียวกัน(รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)

2.1.2. การทำงานรังวัดด้วยเครื่องรับแบบรังวัด

2.1.2.1. วิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง

ในการวัดเฟสของคลื่นส่ง จะทำการเปรียบเทียบเฟสของคลื่นส่งที่ส่งมาจากดาวเทียม กับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสร้างขึ้นมาเอง โดยที่เราจะทราบเพียงส่วนของคลื่นที่ไม่เต็มลูก หรือเรียกว่า “เฟส” ในส่วนของจำนวนลูกคลื่นเต็มลูก หรือที่เรียกว่า เลขปริศนา (Ambiguity) สามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยมีสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่ง (GPS Observation Equation) ดังนี้

$$\Phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_i^j(t) + N_i^j + f^j \Delta\delta_i^j(t) + \Delta r^j - d_{ion} + d_{trop} \quad \dots\dots 2.1$$

โดยที่

Φ_i^j	คือ	ค่า Carrier phase ที่วัดได้ในหน่วยของลูกคลื่นจากดาวเทียม j
λ	คือ	ความยาวคลื่น
ρ_i^j	คือ	ระยะทางระหว่างดาวเทียม j กับเครื่องรับสัญญาณ i (เมตร)
N_i^j	คือ	ค่า Ambiguity ระหว่างดาวเทียม j กับเครื่องรับสัญญาณ i

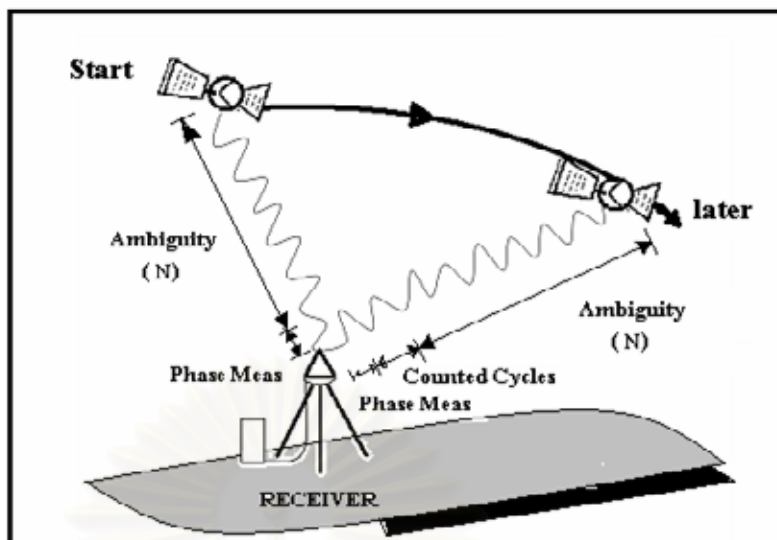
f	คือ	ความถี่ของสัญญาณจากความถี่ขม
Δr^j	คือ	ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม j
d_{ion}	คือ	ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (เมตร)
d_{trop}	คือ	ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
$\Delta \delta_i^j(t)$	คือ	ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม j และนาฬิกา

เครื่องรับสัญญาณ i

$$\text{โดยที่} \quad \Delta \delta_i^j(t) = \delta_i(t) - \delta^j(t) \quad \dots\dots 2.2$$

จากสมการที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่รับได้จากความถี่พีเอส มีค่าความคลาดเคลื่อนหลายชนิด เครื่องรับแบบรับวัดจะใช้วิธีการวัดเฟสของคลื่นส่งเพื่อให้ได้ตำแหน่งสัมพัทธ์ (ดังรูปที่ 2.2) ที่มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตร เครื่องรับแบบรับวัดประเภทนี้จะสร้างรหัส C/A ขึ้นมาเปรียบเทียบกับสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ เมื่อสามารถถอดรหัสจากสัญญาณได้ก็จะรู้ข้อมูลดาวเทียมซึ่งจำเป็นต่อการคำนวณตำแหน่ง ดังนั้นผลพลอยได้ในการถอดรหัสนี้คือ ซูโดเรนจ์ จากรหัส C/A ซึ่งนำมาคำนวณตำแหน่งสัมบูรณ์ของเครื่องรับได้เช่นเดียวกับเครื่องรับแบบนำหน ในการวัดเฟสของคลื่นส่งนี้เครื่องรับแบบรับวัดจะสร้างคลื่นที่มีความถี่เท่ากับคลื่นที่ส่งขึ้นมาเปรียบเทียบ ปริมาณที่วัดได้จึงเป็นค่าต่างเฟสระหว่างคลื่นส่งที่รับได้กับคลื่นที่สร้างโดยเครื่องรับ ปัญหาของการวัดเฟสแบบนี้ คือจำนวนลูกคลื่นเต็มลูกที่บอกระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ ไม่สามารถที่จะวัดได้โดยตรง ในเครื่องรับ จำนวนลูกคลื่นนี้เป็นเลขจำนวนเต็มที่ต้องใช้วิธีการประมวลผลเพื่อคำนวณว่ามีค่าเป็นเท่าไรเลขจำนวนนี้เรา เรียกว่า เลขปริศนา ภาษาอังกฤษมักใช้คำว่า Ambiguity หรือ Integer ใช้สัญลักษณ์เป็น N ถ้าช่องรับสัญญาณของเครื่องรับติดตามดาวเทียมอยู่ได้ตลอดเวลา ค่า N จากเครื่องรับไปยังดาวเทียมแต่ละดวงจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะเดียวกันค่าต่างเฟสที่เริ่มมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นหนึ่งลูกจะสามารถตรวจนับได้โดยเครื่องรับ ดังนั้นถ้าสามารถคำนวณหาค่า N เมื่อตอนเริ่มรับสัญญาณได้ ก็จะรู้ค่าจำนวนลูกคลื่นเต็มลูกที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ตลอดเวลา สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก เกลิมชนม์ สติระพจน์ (2546)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 การรังวัดดาวเทียมด้วยวิธีวัดเฟสของคลื่นส่ง

สาเหตุที่ทำให้เครื่องรับแบบรังวัดมีสมรรถนะที่ให้ความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตร คือ ประการแรกความยาวคลื่นของส่ง L_1 เพียง 19 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของรหัส C/A ซึ่งเทียบเท่า 300 เมตร ยิ่งไปกว่านี้เครื่องรับแบบรังวัดนี้วัดเฟสของคลื่นส่งซึ่งเป็นส่วนย่อยของคลื่นหนึ่งลูก จึงเปรียบเทียบได้จากการนำเอาไม้บรรทัดที่มีการแบ่งช่องสเกลที่ถี่ห่างต่างกันมากมาวัดระยะทาง ย่อมทำให้ความถูกต้องของระยะทางที่วัดได้มีความละเอียดที่ต่างกันมาก ระยะทางที่ได้จากการวัดเฟสคลื่นส่งมีความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร ประการที่สองการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ช่วยกำจัดความคลาดเคลื่อนมีระบบเช่น ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาบนดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ ให้หักล้างกันหมดไปและในขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลในซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลเส้นฐานจีพีเอส โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สองในการขจัดค่าความคลาดเคลื่อน และหลังจากที่ได้ใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สองแล้ว ยังสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และโทรโพสเฟียร์ที่หลงเหลือจากการใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สอง ได้โดยใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่มีอยู่ เช่น แบบจำลอง Klobuchar สำหรับลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบจำลอง Hopfield หรือ Saastamoinen สำหรับลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

สำหรับการคำนวณตำแหน่งสัมพัทธ์จากข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง โดยปกติจะเป็นการประมวลผลภายหลังการทำงานสนาม เพราะจะต้องนำข้อมูลจำนวนมากที่ได้จากการรับสัญญาณจากทั้งสองจุดมาประมวลผลร่วมกัน แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้ทำ

การแสดงตำแหน่งในทันทีในขณะที่กำลังรับสัญญาณ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที

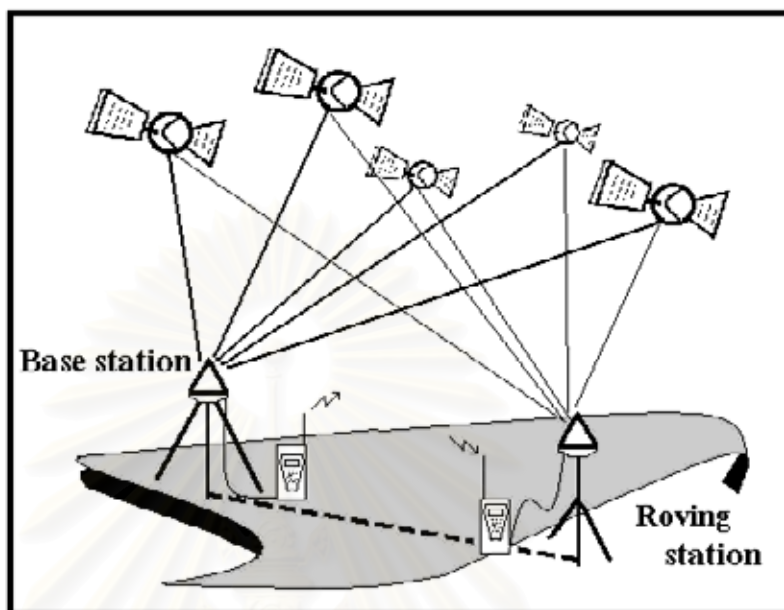
2.1.2.2. การรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematics Survey)

ด้วยความสามารถของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบสองความถี่ในปัจจุบัน ที่สามารถวัดแบบ 3 มิติ ให้มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตรหรือดีกว่า และยังสามารถบันทึกค่าพิกัดที่มีความถี่ของข้อมูลได้ทุก 0.1 วินาที หรือถี่กว่านั้น ทำให้มีการนำเอาเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง การเคลื่อนที่ของโครงสร้างทางวิศวกรรม ไม่ว่าจะเป็นสะพาน เขื่อน อาคารสูง หรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ การประยุกต์ใช้งานเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่นิยมกันมาก คือ การนำเอาเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสไปใช้วัดการเคลื่อนตัวของสะพาน ซึ่งผลการศึกษาที่ผ่านมาก็ได้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส เพื่อการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานแบบ 3 มิติโดยที่สะพานเหล่านั้นจะตกอยู่ภายใต้เงื่อนไขของแรงต่างๆ ที่มากระทำต่อตัวของสะพานไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักของตัวสะพานเอง น้ำหนักของยานพาหนะ หรือแรงลมที่กระทำทางด้านข้างของตัวสะพาน แรงต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อการเคลื่อนตัวของสะพานได้ในทั้งแกนราบ และแกนตั้ง ถ้าค่าการเคลื่อนตัวของสะพานที่เกิดขึ้นนี้สามารถถูกตรวจสอบได้ หรือถูกวัดค่าได้จะทำให้เกิดประโยชน์มากมายทั้งต่อทีมงานวิศวกรผู้ออกแบบและทีมงานที่ทำหน้าดูแลบำรุงรักษาสะพาน และหากสามารถให้ค่าการเคลื่อนตัวของสะพานได้ในทันทีทันใดก็จะทำให้ง่ายต่อการเฝ้าระวัง และติดตามพฤติกรรมของสะพาน วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสวิธีหนึ่ง ที่เรานำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจบการเคลื่อนตัวของสะพานที่สามารถให้ค่าพิกัดได้ทันทีก็คือวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส แบบจลน์ในทันที (Real-Time Kinematic, RTK)

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ (2538) ให้คำอธิบายเกี่ยวกับวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีดังนี้

“การรังวัดแบบจลน์ในทันที บางครั้งเรียกย่อๆ ว่า RTK เป็นวิธีการทำงานรังวัด ดาวเทียมที่ให้ค่าตำแหน่งสัมพัทธ์ได้ในขณะที่กำลังทำงานรังวัดอยู่ ตำแหน่งที่คำนวณได้นี้มีความถูกต้องถึงเซนติเมตร สำหรับการรังวัดแบบจลน์ในทันที (RTK) แม้ว่าจะสามารถให้ค่าตำแหน่งสัมพัทธ์ได้ในขณะที่กำลังทำงานรังวัดอยู่ในสนาม แต่การคำนวณยังคงยึดหลักการพื้นฐานที่เหมือนกับการรังวัดแบบอื่นๆ อยู่ นั่นคือ ประการที่หนึ่ง ต้องอาศัยข้อมูลการรังวัดจากทั้งสองจุดมาประมวลผลร่วมกันเพราะเป็นหาตำแหน่งสัมพัทธ์ และประการที่สอง คำนวณค่าเลขปริศนาที่ถูกต้องให้ได้ด้วยเงื่อนไขที่ต้องการอันแรก ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการเคลื่อนวิทยุที่จะใช้ในการส่งข้อมูลการวัดเฟสจากเครื่องรับที่สถานีฐานไปยังเครื่องรับที่จตุรีโมท สำหรับเครื่องรับที่จตุรีโมทจะต้องมีหน่วยประมวลผล และมีซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลสัญญาณอยู่ด้วย (ผังรูปที่ 2.3)

สำหรับเงื่อนไขที่สองการคำนวณค่าเลขปริศนาจะต้องเลือกใช้วิธีการวัดและขั้นตอนวิธีประมวลผลที่ให้คำตอบเร็วที่สุด ในปัจจุบันวิธีการที่ใช้คือ ค่าผสมของรหัส และคลื่นส่งในเครื่องรับแบบ 2 ความถี่ ที่มีรหัส P ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับที่การรังวัดสถิตอย่างเร็วใช้อยู่



รูปที่ 2.3 การรังวัดดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที

จุดสถานีฐานจะส่งข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นที่จะต้องใช้ในการประมวลผล เพื่อใช้ในการคำนวณหาเลขปริศนาให้ได้เร็ว และมีความถูกต้องมากที่สุด สำหรับข้อมูลที่สถานีฐานส่งมาได้แก่ ข้อมูล $L1$, $L2$, P_1 , P_2 ของดาวเทียมแต่ละดวงที่รับได้ รวมทั้งค่าพิกัดตั้งต้นของตัวสถานีฐาน โดยจะถูกจัดส่งมาในรูปแบบของเครื่องรับยี่ห้ออื่นๆ หรือรูปแบบมาตรฐาน RTCM (The Radio Technical Commission for Maritime Service) ให้กับเครื่องรับที่จุดสถานีจร ด้วยคลื่นวิทยุซึ่งในปัจจุบันคลื่นวิทยุที่นิยมใช้จัดส่งข้อมูล ซึ่งการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีนั้น ตำแหน่งที่จุดแรกจะต้องรอให้มีข้อมูลเพียงพอสำหรับการคำนวณเลขปริศนา ในกรณีที่รับสัญญาณได้ไม่ต่อเนื่อง ไม่จำเป็นต้องเดินทางย้อนกลับไปยังจุดที่ผ่านมาแล้ว เพียงแต่หยุดรอสักครู่เพื่อให้มีข้อมูลพอที่จะคำนวณเลขปริศนาได้ใหม่เช่นเดียวกับเมื่อเริ่มงานที่จุดแรก จากนั้นก็เดินทางต่อไปได้ตามปกติ

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตได้มีการตรวจสอบสภาพโครงสร้างขนาดใหญ่ไม่ว่าจะเป็นสะพานช่วงยาว อาคารสูง และเขื่อนขนาดใหญ่ การวัดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทำได้โดยใช้อุปกรณ์หลายชนิด เช่น เครื่องวัดความเร่ง ค่าที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์เป็นค่าจริงที่เกิดขึ้นกับตัวโครงสร้าง การวิเคราะห์และประมวลผล สามารถทำได้โดยการแปลงค่าความถี่ที่วัดได้ให้เป็นค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจริงกับตัวโครงสร้าง ซึ่งสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการศึกษาถึงพฤติกรรมของโครงสร้าง แต่ก็ยังไม่สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มาคำนวณหาการเคลื่อนตัว และแอมพลิจูดได้โดยตรง นั่นคือความพยายามที่จะเฝ้าระวังการเคลื่อนตัวหรือการสั่นสะเทือนของโครงสร้าง เพราะการวิบัติ (Failure) ของโครงสร้างขนาดใหญ่สามารถเกิดขึ้นได้เสมอ ทั้งสาเหตุจากการแผ่นดินไหว การออกแบบไม่ได้มาตรฐาน การเสื่อมสภาพขององค์โครงสร้างเอง ในการทำวิจัยนี้จะเน้นในส่วนของการศึกษาการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานช่วงยาว

ดังตัวอย่างการแกว่งของสะพานแวนทาโคมา (Tacoma) ในประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อปี 1940 เกิดลมพายุพัดที่มีความเร็ว 67.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พัดกระทำต่อโครงสร้างสะพานทำให้โครงสร้างสะพานเกิดการยึดอย่างหนักหน่วง (Extreme flexibility) ทำให้สะพานแวนทาโคมาเกิดการเสียรูปจากแรงบิดคังรูปที่ 2.4 และเกิดการวิบัติตามมาภายหลัง (Irvine, 1999) ด้วยเหตุนี้การเฝ้าระวัง และการตรวจสอบความปลอดภัยของโครงสร้างสะพานช่วงยาว เพื่อความปลอดภัยมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบสภาพของโครงสร้างอยู่เป็นระยะๆ อย่างสม่ำเสมอ และด้วยความสามารถของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่พัฒนาขึ้นในยุคในปัจจุบัน จึงเอื้ออำนวยต่อการนำเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสมาใช้ในการเฝ้าระวังการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานขนาดใหญ่



รูปที่ 2.4 แสดงการเสียรูปจากแรงบิดคังของสะพานทาโคมา (Irvine, 1999)

Ashkenazi et al.(1997) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการติดตามการเคลื่อนไหวของสะพานโดยใช้จีพีเอส โดยใช้การทำงานแบบ Kinematic Survey ในการเฝ้าระวัง การนำหน และการนำมาประยุกต์

ในงานวิศวกรรมให้เกิดขึ้นจริง ซึ่งการประยุกต์ใช้นี้รวมถึงการเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลง และการเคลื่อนที่แบบทันทีทันใด ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตร และเป็นแบบทันทีทันใด สัญญาณที่ถูกส่งออกมานั้นจะต้องใช้เครื่องรับสัญญาณ GPS แบบรับสัญญาณ 2 ความถี่ ได้แก่ UHF data link และ high speed portable processor ที่ยอมให้ประมวลผลแบบทันทีทันใด ซึ่งมีความถูกต้องของค่าพิกัดในระดับเซนติเมตร ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเคลื่อนที่ต่ำ เส้นฐานมีระยะทางสั้นๆ ตำแหน่งเครื่องรับที่สถานีจร (Receiving Station) จะมีค่าความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่า 5 มิลลิเมตรภายในไม่กี่วินาที ภายหลังจากเครื่องรับสามารถคำนวณค่า N ได้ กล่าวคือ การประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมในลักษณะของการเฝ้าระวัง และติดตามการเคลื่อนตัวของสะพานแขวนสายเคเบิล เหมาะสำหรับการเคลื่อนที่ไม่ถึง 1 เมตร ภายใต้อิทธิพลที่ไม่มากกระทำ หรือน้ำหนักกระทำจากการจราจร

การประมวลผลแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธี Kinematic Survey นี้ เครื่องรับสัญญาณควรติดตั้งในตำแหน่งที่เป็นจุดวิกฤตบนสะพานที่ต้องการติดตาม เฝ้าระวังการเคลื่อนตัวของสะพานอย่างใกล้ชิด ซึ่งการเฝ้าระวังแบบทันทีทันใด สามารถใช้เตือนเพื่อให้ระวังอันตรายที่จะเกิดจากการเคลื่อนตัวของสะพาน และคำนวณการผิดรูปร่างของตัว สะพานเองตลอดจนปัจจัยการเสื่อมลงของสะพานเอง ในระยะยาว รวมถึงการออกแบบสะพาน และวางแผนการจัดการจราจรในอนาคต Ashkenazi et al.(1997) ได้ทำการทดสอบค่ารับวัดด้วยดาวเทียม GPS แบบทันทีทันใด ณ ตำแหน่งจุดวิกฤตต่างๆ บนสะพาน 3 สะพานที่แตกต่างกัน ได้แก่ Humber, Nottingham Clifton, Dee โดยในการทดสอบจะเริ่มดำเนินการภายใต้น้ำหนักการจราจรที่แตกต่าง และความเร็วลมที่ไม่คงที่ซึ่งกระทำต่อตัวสะพาน

Lovse, J., et. al (1995) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเฝ้าระวังการผิดรูปร่างของโครงสร้าง เช่น สะพานช่วงยาว หอคอย และอาคารสูง มีจุดมุ่งหมายเพื่อวัดค่าการสั่นสะเทือนของโครงสร้าง ซึ่งนำเทคโนโลยีทางด้านจีพีเอสมาใช้ในการตรวจสอบ ร่วมกับเทคนิคแบบ Non-GPS มาใช้เป็นวิธีการในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของโครงสร้างรวมถึงการใช้เครื่องวัดความเร่งการวัดความสั่นสะเทือนด้วยเครื่องเลเซอร์ (Laser Interferometer) การวัดความสั่นสะเทือนด้วยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Distance Measurement) ในการวัดการสั่นสะเทือนของหอคอย Calgary ในแคนาดา ใช้การรับสัญญาณแบบ DGPS ภายใต้อิทธิพลของแรงลมกระทำ อัตราความถี่ในการสั่นของหอคอยที่วัดได้ประมาณ 0.3 Hz ตามแนวเหนือ – ใต้ และ แนวตะวันออก – ตะวันตก ซึ่งค่าอัตราความถี่ของการสั่นสะเทือน 0.3 Hz นี้ อยู่ภายใต้การทดลองเก็บค่าที่อยู่ในช่วง 0.1 HZ ถึง 10 Hz และเมื่อความสามารถของวิธีการรับวัดด้วยดาวเทียม GPS ถูกทดสอบ และพิสูจน์ว่าสามารถใช้งานได้อย่างจริง ในการเฝ้าระวัง และตรวจจับการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง มันจึงสามารถปรับให้เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดเป็นพื้นฐานไปได้โดยปริยาย วิธีการใหม่อีกหนึ่งซึ่งใช้การรับวัดด้วยดาวเทียม GPS มีจุดมุ่งหมายเพื่อการวัดค่าการเคลื่อนตัวโดยตรงจากสะพานแขวนช่วงยาว ภายใต้อิทธิพลของแรงลมกระทำ ในการทำงานในสนามได้นำวิธีการรับวัดด้วยดาวเทียม GPS ไปใช้ในการวัดสะพานแขวนช่วงยาว การ

เคลื่อนตัวแบบกึ่งอยู่นิ่ง (Semistatic Displacement) ของโครงเหล็ก(Grider) เป็นไปอย่างสมบูรณ์ สอดคล้องกับค่าการทำนาย และผลการทดสอบแรงลมที่มากกระทำ ปริมาณความความหนาแน่นของ ข้อมูลการวัดการเคลื่อนที่จากวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับการ วิเคราะห์ด้วยวิธีการ Finite Element และผลการทดสอบแรงสั่นสะเทือน การตอบสนองของคาน ขนาดใหญ่ต่อแรงลมที่กระทำแบบปั่นป่วน ถูกวัดด้วยเครื่องวัดความเร่ง และบันทึกไว้ เพื่อนำมา เปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากเครื่องรับสัญญาณ GPS ค่าความถี่แสดงออกมาได้ดีเมื่ออยู่ในช่วง ความถี่ต่ำ และความเข้มของค่าสูงสุดที่ประมาณการได้จากเครื่องวัดความเร่ง ก็ตรงกันกับค่าที่วัดได้ จาก GPS จึงทำให้สรุปได้ว่า วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS นี้ นั้นเชื่อถือได้ และมีประโยชน์ใน การที่สามารถตรวจวัดการเคลื่อนตัว ตลอดจนแสดงค่าพฤติกรรมที่เกิดขึ้นอย่างทันที กระทั่งขั้น ของสะพานช่วงยาวได้

Guo, J. and Ge(1997) ยังได้ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ และความถี่ของสิ่งก่อสร้างขนาดสูง ภายใต้อิทธิพลของแรงลมโดยใช้จีพีเอส เป็นการนำเสนอการทำงานด้วยจีพีเอสในวัดการเคลื่อนตัว และความถี่ ของอาคารสูงภายใต้อิทธิพลของแรงลมปะทะ งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการหาความถี่ และการเคลื่อนตัวของ อาคารสูง ตลอดจนสะพานช่วงยาว ภายใต้อิทธิพลของสภาวะอากาศที่เลวร้าย และขณะเกิดพายุได้ฝุ่น แต่เดิมนั้นเรามักใช้เครื่องวัดความเร่ง เครื่องวัดระยะด้วย Laser และกล้องประมวลผล (Total Station) แต่วิธีทั้งหลายก็มีข้อจำกัดไม่สามารถให้ค่าได้ หรือแสดงผลแบบทันทีทันใด(Real time) ความถี่พื้นฐานในการสั่นสะเทือนของอาคารสูง(320 เมตร) มีค่าอยู่ในช่วง 0.1Hz ถึง 10 Hz ซึ่งการ เคลื่อนตัวของอาคารจะขึ้นอยู่กับความสูง แรงลมปะทะ โครงสร้าง และวัสดุที่ใช้ทำอาคาร การ รังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่คนทั่วไปนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง สามารถใช้ แก้ปัญหาในเรื่องข้อจำกัดในข้างต้นได้

โดย Guo, J. and Ge(1997) ได้ทำการวัดค่าความถี่ และค่าการเคลื่อนตัวของ Diwang Tower ซึ่งมีความสูงถึง 324.16 เมตร โดยมีอีกกลุ่มจะใช้เครื่องวัดความเร่ง ในการวัดการเคลื่อนตัว ของตึกสูงนี้ ซึ่งเราสามารถนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่ากลุ่มที่ทำด้วย GPS ในวิธีการ Kinematic Survey โดยตรวจสอบจากผลลัพธ์ หลังจากประมวลผลภายหลังด้วยเครื่องรับจากข้อมูลที่รับมา เรา จะแบ่งการเคลื่อนที่ ที่วัดมาออกเป็น 2 แนวคือ เหนือ - ใต้ และ ออก - ตก และใช้ Fast Fourier Transform (FFT) ในการรับค่าความถี่ของการเคลื่อนที่ตำแหน่งใน 2 ทิศทางเพื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม อื่นๆ ผลลัพธ์ทั้ง 2 วิธีนั้นอยู่ในช่วงความแม่นยำของผลลัพธ์ประมาณ 10 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงว่าการ ใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ในวิธีการ Kinematic Survey โดยนำค่ามาคำนวณตรวจสอบโดย Software ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้ในงานวิศวกรรมโยธาได้

งานวิจัยที่มีการนำระบบจีพีเอสมาทำการวัดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ ดัง ตัวอย่างเช่น Roberts, et. al. (2000) ได้ทำการทดสอบเครื่องรับจีพีเอส ร่วมกับเครื่องวัดความเร่ง แบบ 3 แกน (Triaxial Accelerometer) ในการวัดการเคลื่อนตัวของสะพาน Nottingham โดยใช้

วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real-Time Kinematic) ทำการประมวลโดยใช้ Leica SKI-Pro Software สามารถนำเครื่องมือทั้งสองที่ให้ผลลัพธ์ของข้อมูลที่ต่างกันประมวลผลรวมกันในการวัดการเคลื่อนตัวของสะพาน Nottingham ทำให้ทราบการเคลื่อนที่มีความละเอียดถูกต้องมากขึ้น Cosser et al. (2004) ได้ทดลองหาค่าการเคลื่อนตัวของสะพานช่วงสั้นและช่วงยาวโดยใช้จีพีเอสเครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียว (Single frequency) ประมวลผลด้วย Software Kinpos และจีพีเอสเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ (Dual frequency) ประมวลผลด้วย Software SKI-Pro พบว่าค่าการเคลื่อนตัวทางแนวตั้งที่ทำการประมวลผลได้ภายหลังของทั้งสองแบบนี้ ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ต่างกันที่หน่วยมิลลิเมตร

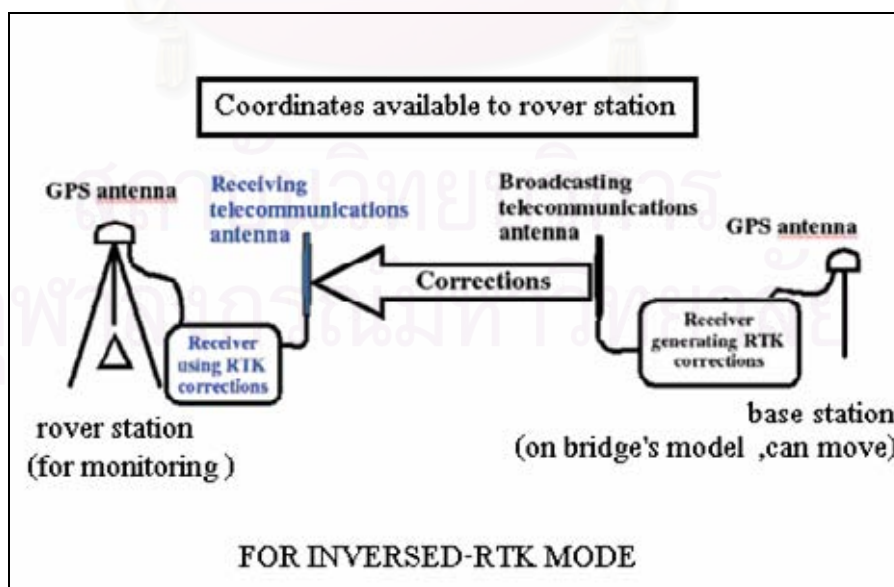
ในปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส นั้นสามารถประมวลผลข้อมูล ในระดับความถี่ 10 Hz หรือสูงกว่า ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำค่าที่อ่านได้มาใช้ในการเฝ้าระวังการเคลื่อนตัวของสะพานช่วงยาว Robert et al.(2004) ได้ทดลองใช้ Leica System 500 (10Hz) ในการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของสะพานเปรียบเทียบกับ JNS 100(50 Hz) ซึ่งมีความละเอียดมากกว่า Leica System 500 (10Hz) มาก ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าการเคลื่อนตัวทางตั้งของโครงสร้างสะพานนั้น แม้จะใช้เครื่องรับ 50 Hz หรือ 10 Hz ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ที่ได้นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันต่างกันที่หน่วยมิลลิเมตร

จนกระทั่ง Lambert and Santerre (2004) ได้เสนอวิธีการทำ Inversed RTK ในการทำการตรวจสอบนักกีฬาพายเรือแคนู ในการฝึกซ้อม โดยใช้เรือแคนูเป็นจุดสถานีฐาน (Base Station) และจตุรีโมท (Rover) อยู่ที่จุดที่ทราบค่าพิกัดซึ่งอยู่บนฝั่ง ซึ่งข้อดีก็คือนี้ทำให้โค้ชที่อยู่บนฝั่ง สามารถทราบค่าพิกัดของนักกีฬาขณะกำลังเคลื่อนที่ ได้ขณะนั้นจากการนั่งสังเกตการณ์อยู่บนฝั่ง

จากความสามารถของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งมีผู้นามาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบเฝ้าระวังการเคลื่อนตัวของโครงสร้างขนาดใหญ่ ประกอบกับวิธีการ Inversed RTK ที่ Lambert and Santerre (2004) ได้นำเสนอไว้ ทำให้ผู้วิจัยต้องการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำวิธีการ Inversed RTK มาใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางตั้งของสะพาน เนื่องจากข้อดีที่เห็นได้ชัดเจนคือ การได้มาของข้อมูลแบบทันทีทันใด ณ ตำแหน่งสถานีจรที่เครื่องรับตั้งอยู่

2.3. แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การที่จะทำให้ความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสอยู่ในระดับเซนติเมตร หรือดีกว่านั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรับวัด (Geodetic receiver) อย่างน้อย 2 เครื่อง ในการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสพร้อมกัน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการประมวลผลร่วมกัน ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่าวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning) วิธีการรับวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที(รูปที่ 2.1) ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ หลักการทำงานของวิธีการรับวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีก็คือ เครื่องรับที่สถานีฐาน (Base station) จะอยู่กับที่และคอยส่งค่ารับวัดซึ่งรับสัญญาณมาจากดาวเทียมจีพีเอสให้แก่สถานีจร (Roving station) ซึ่งในขณะที่สถานีจรเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งต่างๆ ก็จะสามารถคำนวณค่าพิกัดของตัวเอง ณ ตำแหน่งนั้นๆ ได้ โดยใช้ข้อมูลที่ส่งมาจากสถานีฐานมาประมวลผลร่วมกันแบบสัมพัทธ์ กับข้อมูลที่ตัวสถานีจรับได้ วิธีการส่งข้อมูลจากสถานีฐานไปยังสถานีจร สามารถทำได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะผ่านคลื่นวิทยุ คลื่นโทรศัพท์ หรืออินเทอร์เน็ต จากความต้องการที่จะให้ ได้มาซึ่งข้อมูลค่าพิกัดของจุดสถานีจรแบบทันทีทันใดของวิธีรับวัดแบบจลน์ในทันทีนี้เอง ทำให้เกิดความคิดที่จะทำการรับวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที ในลักษณะย้อนกลับ หรือวิธีแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ (ดังรูปที่ 2.5)ซึ่งวิธีการนี้อาศัยหลักการเดียวกันกับวิธีรับวัดแบบจลน์ในทันที แตกต่างกันตรงที่การติดตั้งเครื่องรับ เครื่องรับที่สถานีฐานจะถูกติดตั้งไว้ที่ที่จะมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น ส่วนเครื่องรับที่สถานีจรจะถูกติดตั้งไว้ที่จุดที่ไม่มีการเคลื่อนที่



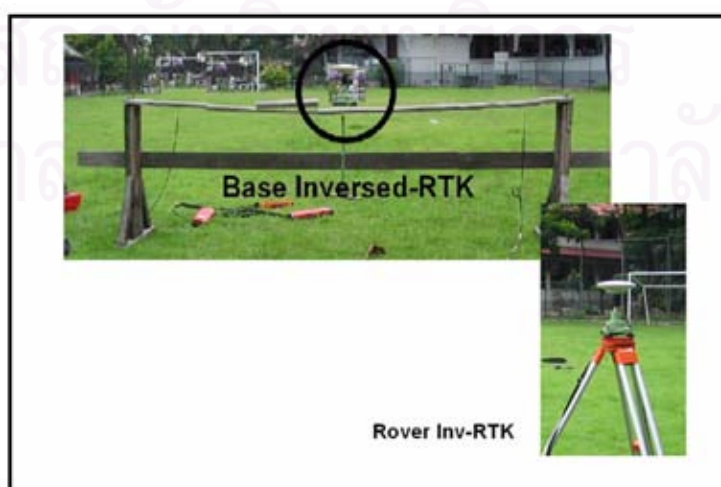
รูปที่ 2.5 ลักษณะการทำงานของวิธีการรับวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ

ข้อจำกัดของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับมีเพียงสิ่งเดียว คือ จุดที่เป็นสถานีฐานจะต้องมีการเคลื่อนตัวไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดกับค่าพิกัดเริ่มต้นของสถานีฐานทุกๆ 20 เมตรจะมีผลต่อค่าระยะทางระหว่างสถานีฐาน และสถานีจรที่คำนวณได้ผิดไป 1 ในล้านส่วน หรือ part per million (ppm) (Rizos,1997) อย่างไรก็ตามวิธีวัดจุดประสงค์ในการศึกษานี้คือการนำไปประยุกต์ใช้วัดค่าการเคลื่อนตัวของสะพานแวนดิง ซึ่งโดยทั่วไปการเคลื่อนตัวของสะพานในสามมิติจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำกว่า 1 เมตร ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากค่าพิกัดเริ่มต้นของสถานีฐานนั้นถือว่าน้อยมาก สามารถสรุปได้ว่าไม่มีผลต่อค่าความถูกต้องของระยะทางระหว่างสถานีฐานและสถานีจรที่คำนวณได้

2.4. สมมุติฐานที่ใช้ในงานวิจัย

สมมุติฐานที่สำคัญของวิธี Inversed RTK ที่เรานำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของทางดิ่ง ที่สำคัญก็คือ ค่าพิกัดของสถานีฐานซึ่งเป็นค่าพิกัดคงที่ แต่จริง ๆ แล้ว ที่ตำแหน่งสถานีฐานจะมีการเคลื่อนที่ทางดิ่งเกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อเครื่องรับที่สถานีฐานรับข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสในขณะที่ตำแหน่งจุดสถานีฐานมีการเคลื่อนที่ทางดิ่ง ข้อมูลเหล่านั้นก็จะถูกส่งไปประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของจตุรีโมท ซึ่งก็จะมีผลทำให้ค่าพิกัดของจตุรีโมทมีการเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตได้เมื่อจุดสถานีฐานมีการเคลื่อนตัวเกิดขึ้น

วิธี Inversed RTK จะน่าสนใจมากที่สุดหากนำมาใช้ตรวจจับการเคลื่อนที่ของสะพานช่วงยาวในทางดิ่ง เพราะผู้ที่ทำการตรวจสอบเพียงดูค่าพิกัดอยู่ที่จตุรีโมท จะทำให้ทราบว่ามีตำแหน่งสถานีฐาน นั้นมีการเปลี่ยนแปลงผิดจากปกติไปหรือไม่ ก็ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีจีพีเอสที่มีอยู่ในปัจจุบัน ทำให้เราสามารถคำนวณความถูกต้องทางตำแหน่งจากวิธี RTK ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการทดสอบค่าความถูกต้องที่ได้รับจากวิธี Inversed RTK ได้ในระดับเซนติเมตร



รูปที่ 2.6 แบบจำลองการเคลื่อนตัวของทางดิ่งเพื่อใช้ทดสอบสมมุติฐาน

ในการทดลองเบื้องต้นด้วยวิธี Inversed RTK บนแบบจำลองที่ทำด้วยไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.5 x 3 เมตร (ดังรูปที่ 2.6) และใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 ซึ่งมีระดับความถี่ของการจัดเก็บข้อมูล 10 Hz โดยทำการกำหนดให้จุดสถานีฐานอยู่ที่ระยะกึ่งกลางของแบบจำลอง แล้วติดตั้งเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสบนแบบจำลอง ส่วนตำแหน่งของจุดรีโมท จะใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสติดตั้งอยู่บน 3 ขา ซึ่งการทดสอบสมมุติฐานเบื้องต้น ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ชุด ในแต่ละชุดจะมีค่าความสูง ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่ง ประมาณ 1,000 ค่า และค่าความสูงในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนที่ทางดิ่ง อีกประมาณ 1,000 ค่า (ได้มาจากการทำให้แบบจำลองเกิดการเคลื่อนที่ทางดิ่ง โดยให้มีระยะความสูงทางดิ่งประมาณ 10 เซนติเมตร โดยใช้แรงมือกด) แล้วนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการทดสอบเบื้องต้นด้วยวิธี Inversed RTK กับแบบจำลองพบว่า เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งๆ ยังไม่ได้ทำการสั้น ค่าต่างของความสูง (Δh) ที่เปลี่ยนแปลงของข้อมูลชุดที่ 1, 2 และ 3 นั้น มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ดังตารางที่ 2.1) กรณีแบบจำลองอยู่กับที่ของการทดลองทั้ง 3 ชุด ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่า 0.009, 0.009 และ 0.009 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความสูงที่เครื่องรับตรวจจับได้ ในขณะที่แบบจำลองไม่มีการเคลื่อนที่ที่มีการเกาะกลุ่มกันของข้อมูล และมีค่าเป็นไปตามที่คาดหวังไว้เนื่องจาก Accuracy ในการประมวลผลเส้นฐานด้วยเครื่องรับ แบบ 2 ความถี่ ได้บ่งบอกไว้คือ 10 mm. +1 ppm. และสำหรับกรณีที่แบบจำลองเกิดการเคลื่อนที่ทางดิ่งพบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองทั้ง 3 ชุด มีขนาดเท่ากับ 0.036, 0.032 และ 0.027 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องรับที่สถานีจรสามารถตรวจจับการเคลื่อนที่ทางดิ่งของจุดสถานีฐานได้ แต่สาเหตุที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนไม่เท่ากัน อาจจะมาจากผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมความสูงของแบบจำลองให้มีการขึ้นลงที่แน่นอน

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานเบื้องต้น

ข้อมูล	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (meters)	
	แบบจำลองเมื่ออยู่กับที่	แบบจำลองเมื่อเคลื่อนที่ทางดิ่ง
ชุดที่ 1	0.009	0.036
ชุดที่ 2	0.009	0.032
ชุดที่ 3	0.009	0.027

จากการทดสอบสมมุติฐานกับแบบจำลองเบื้องต้น เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแบบจำลองในขณะที่อยู่กับที่ และในขณะที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ของชุดทดสอบทั้ง 3 แสดงให้เห็นว่า

วิธีการ Inversed RTK สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานช่วงยาวในแนวตั้ง เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าความถูกต้องของการเคลื่อนตัวในแนวตั้งสำหรับวิธี Inversed RTK นี้ จึงจำเป็นที่จะต้องมือที่มีความละเอียดในการวัดระยะมาใช้ตรวจสอบการเคลื่อนตัวทางแนวตั้ง สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Displacement Sensors) เพื่อนำค่าการเคลื่อนตัวทางตั้งที่ได้จากเครื่องวัดระยะเลเซอร์ ไปเปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวทางตั้งของแบบจำลองที่ทดสอบด้วยวิธีการ Inversed RTK



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ เป็นการกล่าวถึงวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที(Real-Time Kinematic, RTK) และการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ(Inversed Real-Time Kinematic, Inversed RTK) โดยใช้แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งสำหรับติดตั้งกับเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เปรียบเทียบผลการทดสอบการหาค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของทั้ง 2 วิธี เพื่อหาวิธีการที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดในการหาค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่ง สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของโครงสร้างสะพานพระราม 8

3.1. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 จำนวน 4 เครื่อง

สำหรับการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที(RTK) จำนวน 2 เครื่อง และการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ(Inversed RTK) จำนวน 2 เครื่อง แบ่งเป็นเครื่องรับที่สถานีฐาน(Base Station) และสถานีจร(Roving Station)

3.1.2. เครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Displacement Sensors)

เครื่องวัดระยะที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ ยี่ห้อ KEYENCE ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ตัวยิงลำแสง (Sensor Head) รุ่น FW – H07 พร้อมตัวควบคุม(Controller) Altra sonic FWV 20 และตัวแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็น ดิจิตอล รุ่น NR-600 เครื่องวัดระยะเลเซอร์ นี้ สามารถบันทึกความถี่ในการวัดระยะได้ถึง 10Hz และมีความละเอียดในการวัดระยะถึง 50 ไมโครเมตร (μm) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Displacement Sensors)

ซึ่งเครื่องวัดระยะเลเซอร์นี้ผู้วิจัยจะใช้ในการทดลองที่ 2 โดยที่จะนำห้วยิงแสงเลเซอร์ไปติดตั้งกับแบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบใหม่ ซึ่งได้ออกแบบไว้ เพื่อติดตั้งห้วยิงแสงเลเซอร์โดยเฉพาะ และเมื่อพร้อมที่จะเริ่มทำการทดสอบ ผู้วิจัยก็จะทำการเริ่มบันทึกค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจริง โดยค่าการเคลื่อนตัวที่ตรวจจับได้จากเครื่องวัดระยะเลเซอร์จะต้องถูกส่งมาแปลงสัญญาณที่ตัวควบคุม ก่อนที่จะแสดงผลพร้อมออกมาที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกค่าต่อไป

3.1.3. แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่ง

3.1.3.1. แบบจำลองเบื้องต้นเพื่อใช้ทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK

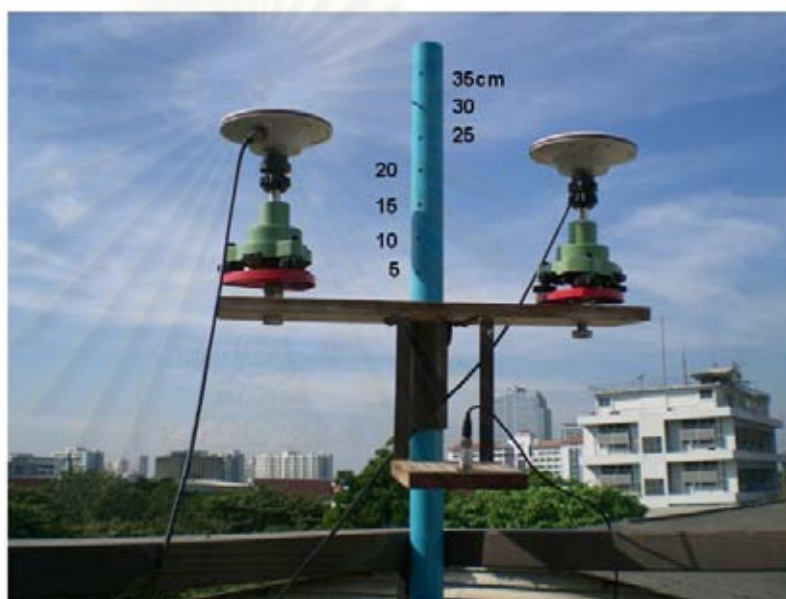
แบบจำลองนี้เป็นอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยประกอบขึ้นเองด้วยไม้เนื้อแข็ง ขนาด 0.5 x 3 เมตร (ดังรูปที่ 3.2) ซึ่งแบบจำลองอันนี้ต้องใช้แรงกดจากผู้ทดสอบ เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนตัวขึ้นลงทางดิ่ง โดยที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบให้คานไม้ของแบบจำลองอันนี้สามารถติดตั้งเครื่องรับได้ 3 จุดด้วยกัน คือ บริเวณปลายคาน ซ้าย, ขวา และ กึ่งกลางคาน



รูปที่ 3.2 แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งเพื่อทดสอบแบบเก่า

3.1.3.2. แบบจำลองเพื่อใช้สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวทางดิ่ง

ด้วยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที (RTK) และการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ (Inversed RTK) เป็นอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยประกอบขึ้นเองโดยใช้วัสดุเป็นท่อพีวีซียาว 2.00 เมตร วางในแนวตั้งจาก ส่วนบนทำการเจาะรูห่างกันช่องละ 5 เซนติเมตร และท่อเหล็กที่เชื่อมต่อกับไม้กระดานขนาด 4 นิ้ว x 24 นิ้ว x ½ นิ้ว สำหรับตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส และเครื่องวัดระยะเลเซอร์ ระยะจากฐานไม้กระดานถึงปลายท่อพีวีซีรวม 40 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งเพื่อทดสอบแบบใหม่

คุณสมบัติของแบบจำลองเพื่อใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่ง มีดังนี้

- ก. สามารถเลื่อนขึ้น-ลง ทางดิ่งได้ถึง 35 ซม.
- ข. สามารถติดตั้งห้วยิงแสงเลเซอร์ที่ใช้วัดระยะการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ไว้กับแบบจำลองได้
- ค. สามารถบ่งชี้ความน่าเชื่อถือของค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากวิธี Inversed RTK โดยการกำหนดความสูงของแบบจำลองเพื่อใช้ในการพิจารณา ช่วงความสูงที่แตกต่างกันไป
- ง. น้ำหนักเบา และเคลื่อนย้ายได้ง่าย

โดยขณะที่ทำการทดลองผู้วิจัยสามารถติดตั้งเครื่องรับสัญญาณบนคานไม้ ได้พร้อมกัน 2 เครื่อง และสามารถติดตั้งห้วยิงแสงเลเซอร์เข้ากับแบบจำลอง เมื่อผู้วิจัยต้องการยกแบบจำลองให้สูง ตามที่ได้ออกแบบไว้ ก็จะนำสลักที่ทำจากเหล็กเสียบเข้าไปในรูท่อพีวีซี

ซึ่งได้ทำการเจาะรูไว้ ที่ระดับความสูงที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการยกแบบจำลองขึ้น-ลง ทางดิ่งด้วยมือทั้ง 2 โดยขณะยกแบบจำลองขึ้นลงผู้วิจัยจะต้องพยายามรักษาความสูงในการยกแบบจำลอง และความถี่ในการยกให้คงที่มากที่สุด

3.1.4. Wavelets toolbox

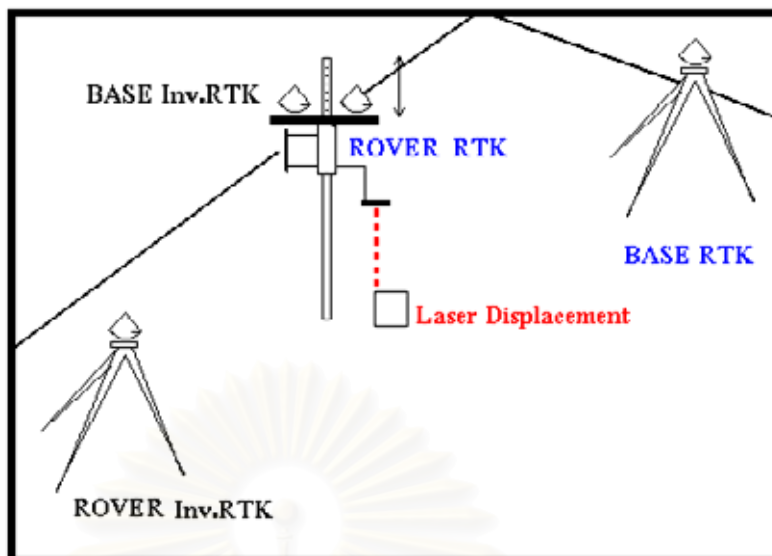
เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวน(noise) ที่เกิดขึ้นในข้อมูล ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งเครื่องมือดังกล่าว เป็นส่วนหนึ่งของ Toolbox ซึ่งอยู่ในโปรแกรม MATLAB 7.0

3.2. แนวทางการทดสอบความสามารถในการตรวจจับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่ง

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งเบื้องต้นดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 เพื่อนำไปใช้ทดสอบหาความสามารถในการตรวจจับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งระหว่างวิธี RTK และวิธี Inversed RTK เปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ได้จากผลการทดลอง ทดสอบความน่าเชื่อถือในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานด้วยวิธีการ Inversed RTK

3.2.1. การเปรียบเทียบวิธี RTK ดั้งเดิมกับวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองสะพาน

เปรียบเทียบวิธี RTK ดั้งเดิมกับวิธี Inversed RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณทั้งหมด 4 เครื่อง โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกเป็น RTK จะทำการติดตั้งเครื่องรับเครื่องแรกไว้บนแบบจำลองโดยกำหนดให้เป็นจุดสถานีจรและเครื่องรับเครื่องที่สองติดตั้งไว้บนขาตั้งกล้อง กำหนดให้เป็นจุดสถานีฐาน สำหรับชุดที่สองเป็น Inversed RTK จะทำการติดตั้งเครื่องรับเครื่องแรกไว้บนแบบจำลองกำหนดให้เป็นจุดสถานีฐาน และเครื่องรับเครื่องที่สองติดตั้งไว้บนขาตั้งกล้อง กำหนดให้เป็นจุดสถานีจร รูปที่ 3.4 ประกอบ



รูปที่ 3.4 การเปรียบเทียบ RTK ดั้งเดิมกับ Inversed RTK

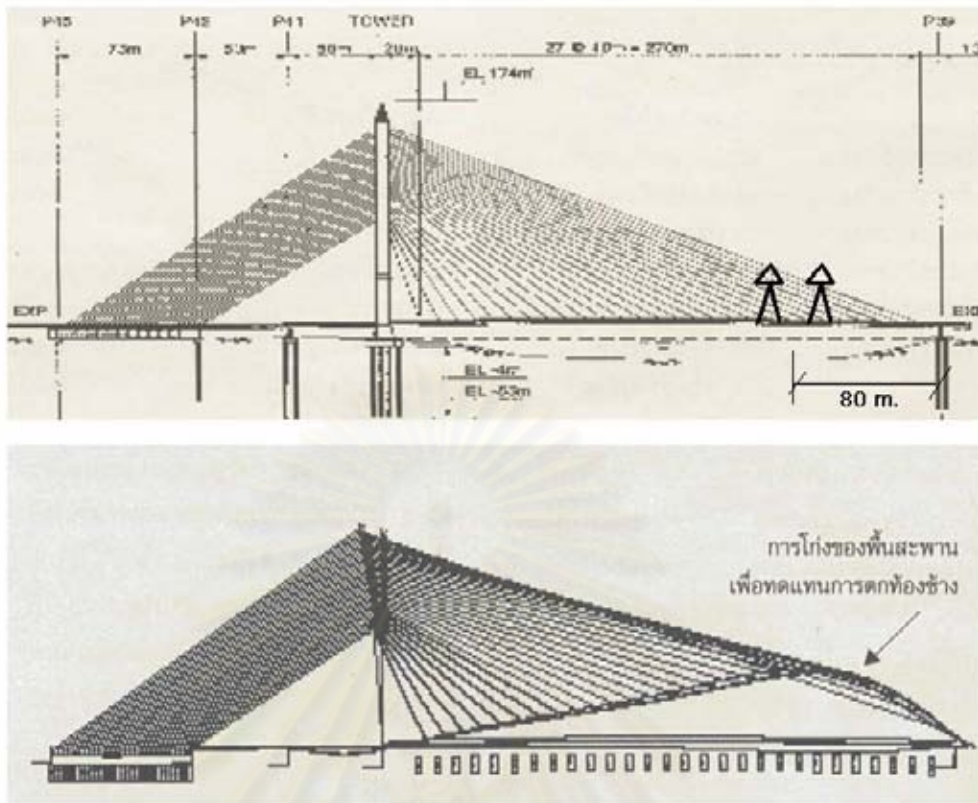
จากนั้นจะทำการวัดระยะทางการเคลื่อนที่ด้วยเครื่องวัดระยะทางเลเซอร์กับโมเดลสะพาน เพื่อวัดค่าต่างของความสูง (Δh) ที่เกิดขึ้นจริงขณะสันแบบจำลองเพื่อไว้เปรียบเทียบกับค่าต่างของความสูงจากชุด RTK กับต่างของความสูงที่ได้จากชุด Inversed RTK ว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่ แล้วจึงวิเคราะห์และสรุปผลภายหลัง

ผลที่คาดว่าจะได้รับ ทำให้ผู้ไม่เคยศึกษาวิธี Inversed RTK ได้เข้าใจในความเหมือนและความต่างของวิธี Inversed RTK และ RTK ทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าความสูงที่ได้จากวิธี Inversed RTK และ RTK ว่าวิธีใดจะให้ค่าที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับเครื่องวัดระยะเลเซอร์

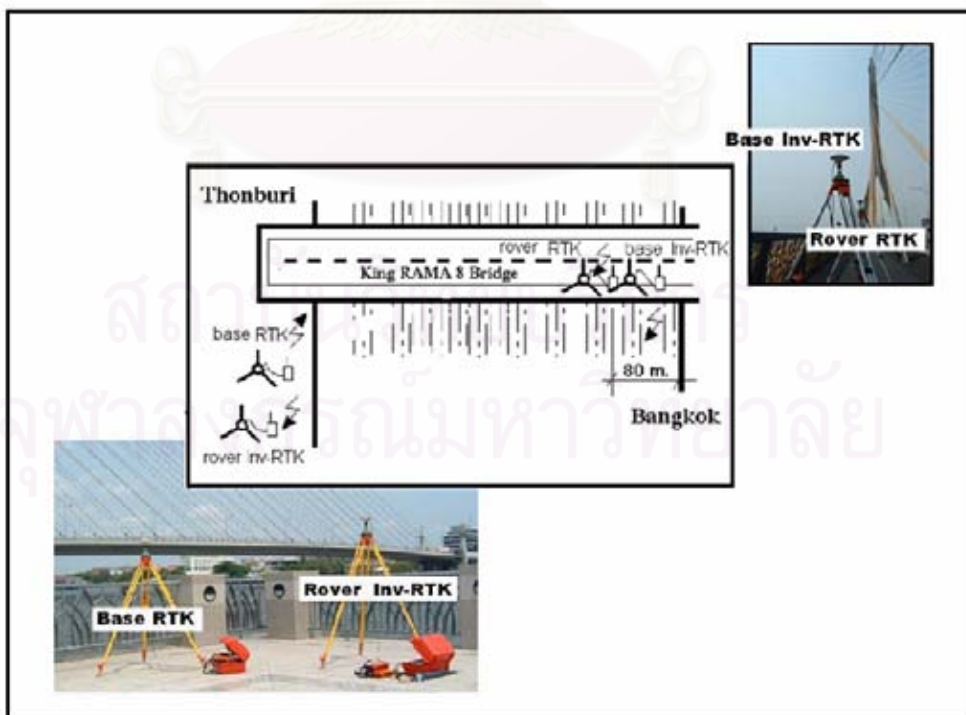
3.2.2. ทดสอบประสิทธิภาพของ Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัว ทางดึงของ

พระราม 8

กวีรัตน์ ศีประเสริฐวงศ์ (2547) อธิบายถึงระยะดักต้องช่างมากที่สุดตามการคำนวณออกแบบของสะพานพระราม 8 (ดังรูปที่ 3.5) คือ ที่ระยะ 80 เมตรจากฝั่งพระนครบนช่วงสะพานหลัก (Main Span) ดังนั้นในการทดสอบจริงเราจะทำการติดตั้งจุดสถานี RTK และจุดสถานี Inversed RTK ไว้บนสะพานพระราม 8 ที่ระยะทาง 80 เมตร (นับลวดสลิงเส้นที่ 9 จากปลายสุดบนฝั่งพระนคร) โดยเครื่องรับทั้งสองวางห่างกัน 2 เมตร พร้อมทั้งทำการติดตั้งเครื่องรับที่สถานีของวิธี RTK และสถานีฐานของวิธี Inversed RTK บนขาตั้งกล้อง ไว้ที่บริเวณสวนหลวง ร. 8 ซึ่งอยู่ติดริมแม่น้ำเจ้าพระยาทางฝั่งธนบุรี (ดังรูปที่ 3.6)



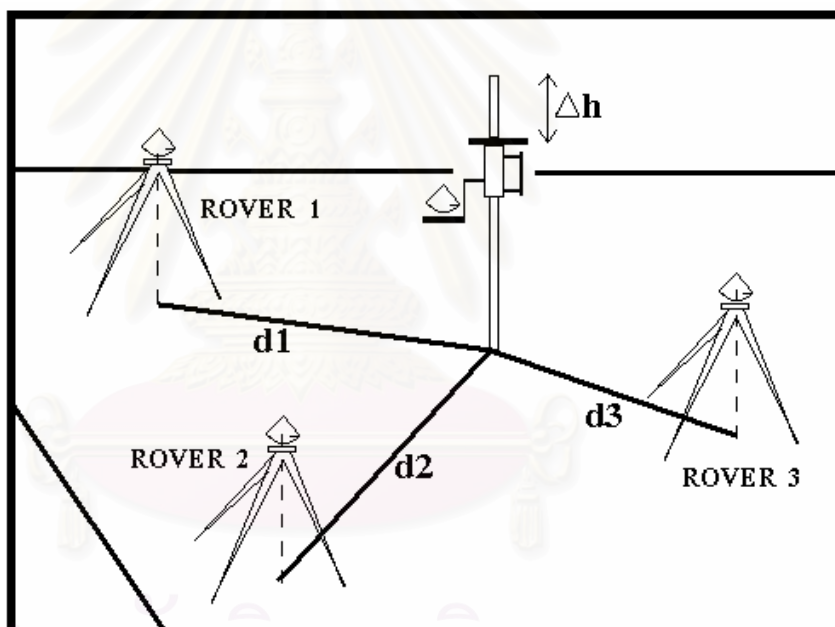
รูปที่ 3.5 แสดงระยะตอกตึงช้างมากที่สุดของสะพานพระราม 8



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งจุดสถานีในการทดลองจริงที่สะพานพระราม 8

3.2.3. ทดสอบค่าพิกัดที่ได้จากการทดสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการ Inversed RTK

การทดลองนี้ผู้วิจัยต้องการที่จะทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ตรวจจับได้จากจุดสถานีจรต่าง ๆ โดยรับข้อมูลจากจุดสถานีฐานเพียงเครื่องเดียวในขณะเวลาเดียวกัน พร้อมกันโดยต้องการที่จะแสดงให้เห็นถึงข้อดีของการได้มาซึ่งข้อมูลแบบทันทีทันใดที่เกิดการเคลื่อนตัวทางดิ่งของจุดสถานีฐานซึ่งอยู่บนแบบจำลองแล้วทำให้ ผู้ที่คอยสังเกตการณ์อยู่ที่จุดสถานีจรต่างที่กันทราบค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของสถานีฐานในทันทีทันใดโดยในการทดลองนี้ ผู้วิจัยจะใช้จุดสถานีจร จำนวน 3 สถานี ทำการติดตั้งบนขาตั้งกล้อง และใช้จุดสถานีฐาน 1 จุด ติดตั้งบนแบบจำลอง โดยกำหนดให้ระยะห่างของจุดสถานีฐานถ้าจุดสถานีจรทั้ง 3 มีระยะที่ใกล้เคียงกัน (ดังรูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 การทดสอบผลกระทบต่อค่าพิกัดที่ได้จากวิธีการ Inversed RTK

จากนั้นทำการยกแบบจำลองให้เคลื่อนตัวขึ้น-ลง ทางดิ่งโดยพยายามรักษาความสูงและความเร็วในการยก ให้สม่ำเสมอตลอดเวลาทำการทดลอง แล้วบันทึกผลลัพธ์พร้อมทั้งนำผลลัพธ์จากจุดสถานีจรทั้ง 3 มาพิจารณาค่าความสูงที่ตรวจจับได้จากข้อมูล Real-time, แล้วนำมากรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets (Chui, 1992) พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับข้อมูลดิบที่ผ่านการ post-processing ด้วยซอฟต์แวร์ SKI-PRO แล้วดำเนินการวิเคราะห์ และ สรุปผลภายหลังเพื่อหาวิธีการที่ทำให้ได้มาซึ่งค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถตรวจจับได้จากวิธี Inversed RTK

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการทดสอบสมมุติฐานกับแบบจำลองเบื้องต้น เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแบบจำลองในขณะที่อยู่กับที่ และในขณะที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง แสดงให้เห็นว่า วิธี Inversed RTK สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานช่วงยาวในแนวตั้ง เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าความถูกต้องของการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Displacement Sensors) ไปเปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวทางตั้งของแบบจำลองที่ทดสอบด้วยวิธี Inversed RTK ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง 5 กรณี ดังนี้

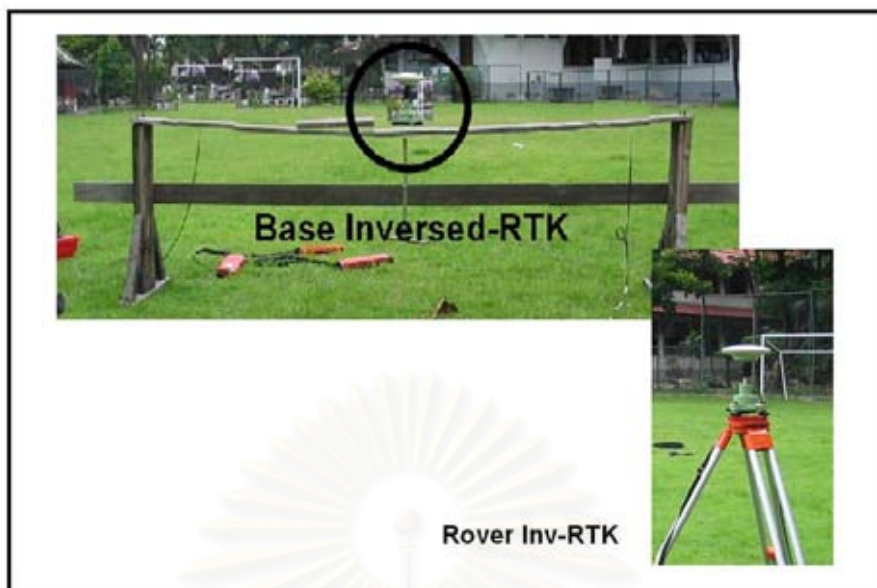
1. การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยใช้แบบจำลองชุดเก่า
2. การทดสอบเปรียบเทียบวิธี RTK และวิธี Inversed RTK กับเครื่องวัดระยะเลเซอร์
3. การทดสอบเปรียบเทียบผลที่ได้จาก Real-time และ Post-process ทั้งวิธี RTK และ

Inversed RTK

4. การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK เมื่อมีสถานีจร 3 จุด
5. การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางตั้งของสะพานพระราม 8

4.1 การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยใช้แบบจำลองชุดเก่า

การทดลองที่ 1 นี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 26 เมษายน 2549 ณ บริเวณสนามฟุตบอล คณะรัฐศาสตร์ โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส แบบ 2 ความถี่ ยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 จำนวน 2 เครื่อง โดยทำการทดสอบด้วยวิธี Inversed RTK กับแบบจำลองชุดเก่า ดังรูปที่ 3.2 (ในบทที่ 3) โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือ เมื่อแบบทดลองอยู่นิ่งกับที่ และแบบทดลองมีการเคลื่อนตัวทางตั้ง ซึ่งการเคลื่อนที่ทางตั้งนี้ได้จากการที่ผู้วิจัยทำการออกแรงกดแบบจำลองให้มีการเคลื่อนตัวทางตั้งในขณะที่ทำการทดสอบตลอดเวลา และใช้ความถี่ในการบันทึกข้อมูล 10 Hz ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยใช้แบบจำลองชุดเก่า



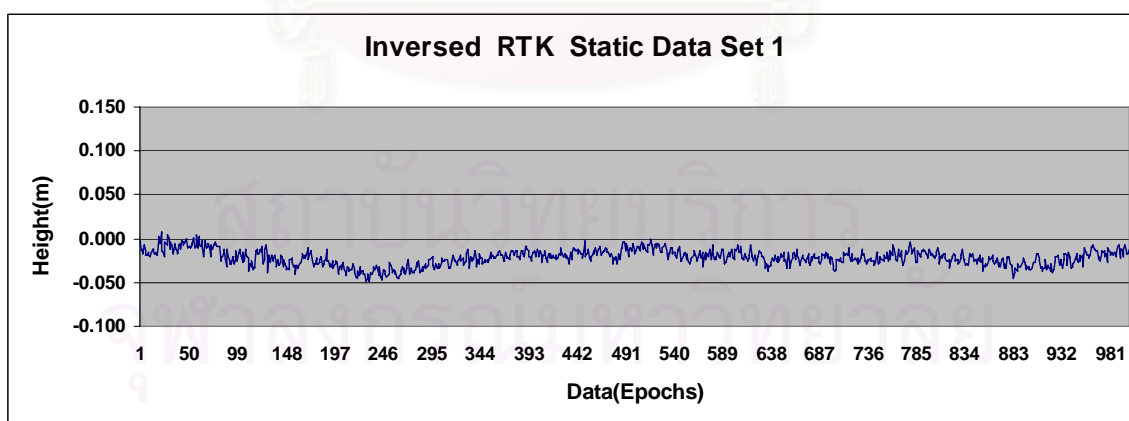
รูปที่ 4.2 แสดงบริเวณที่ทำการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยใช้แบบจำลองชุดเก่า ณ บริเวณสนามฟุตบอล คณะรัฐศาสตร์

ผลที่ได้จากการทดลองที่ 1 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของการทดสอบ ได้แก่ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด พิสัย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับค่าความสูงที่ตรวจจับได้จะแสดงดังรูปที่ 4.3 ถึง 4.6

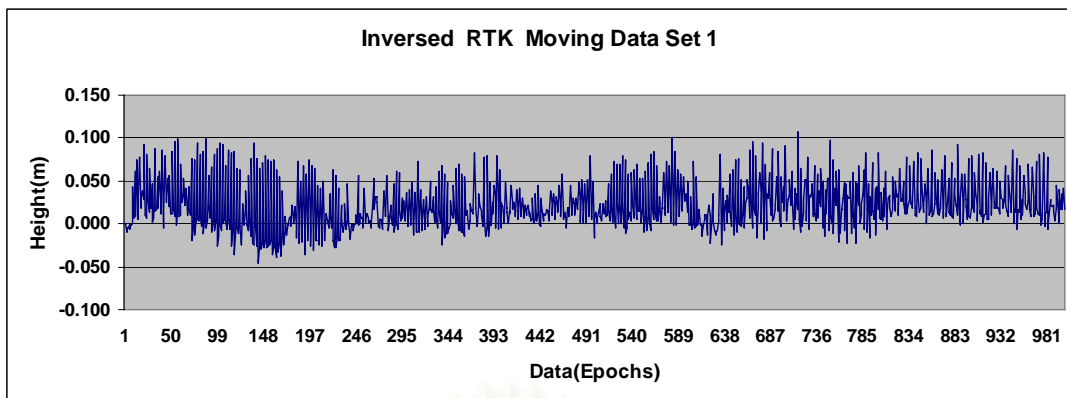
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติการทดสอบความสามารถของวิธีการ Inversed RTK โดยใช้แบบจำลองชุดเก่า

Inversed RTK	การทดสอบ	ค่าทางสถิติ (เมตร)			
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	พิสัย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ข้อมูลชุดที่ 1	แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่	-0.049	-0.007	0.056	0.009
	แบบจำลองเคลื่อนที่ทางดิ่ง	-0.046	-0.108	0.153	0.029
ข้อมูลชุดที่ 2	แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่	-0.011	-0.023	0.034	0.006
	แบบจำลองเคลื่อนที่ทางดิ่ง	-0.048	-0.108	0.155	0.027

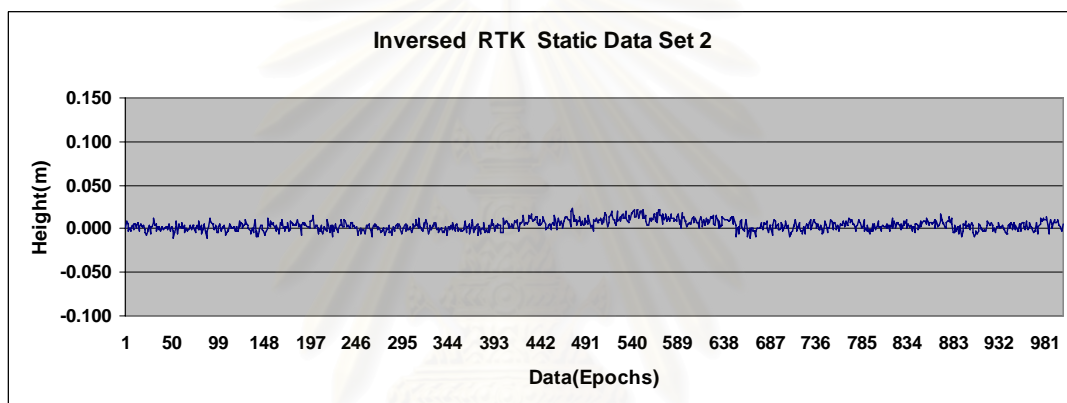
จากรูปที่ 4.3 และ 4.5 เป็นการทดสอบในขณะที่แบบทดลองอยู่หนึ่งกับที่นั้น ค่าความสูงที่ตรวจจับได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ เมื่อพิจารณาจากค่าทางสถิติจากตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าพิสัยที่ได้มีขนาด 0.056 และ 0.034 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากสภาวะแวดล้อมบริเวณรอบ ๆ สนามฟุตบอลคณะรัฐศาสตร์ เพราะรอบข้างนั้นมีอาคารสูงล้อมรอบอยู่ จึงทำให้ส่งผลต่อความสามารถในการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส(ดูรูปที่ 4.1 และ 4.2 ประกอบ) และเมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.009 และ 0.006 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าความสูงที่ตรวจจับได้ในขณะที่เครื่องรับที่จุดสถานีไม่มีการเคลื่อนที่นี้ ข้อมูลมีการเกาะกลุ่มกันและมีการกระจายตัวน้อย เป็นไปตามที่คาดหวังไว้ เนื่องจาก Accuracy ในการประมวลผลเส้นฐานด้วยเครื่องรับแบบ 2 ความถี่ ได้บ่งบอกไว้คือ 10 mm. + 1 ppm



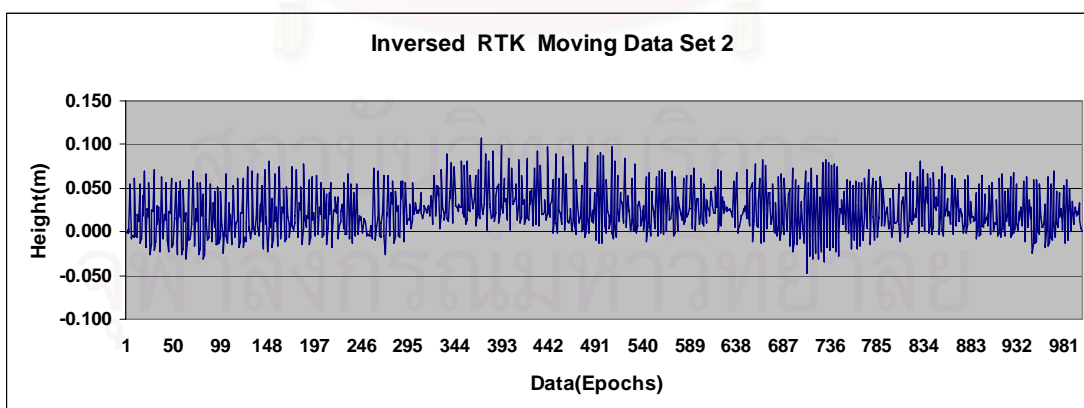
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งครั้งทั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 1



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ครั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 1



รูปที่ 4.5 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งครั้งที่ 2 ในการทดลองที่ 1



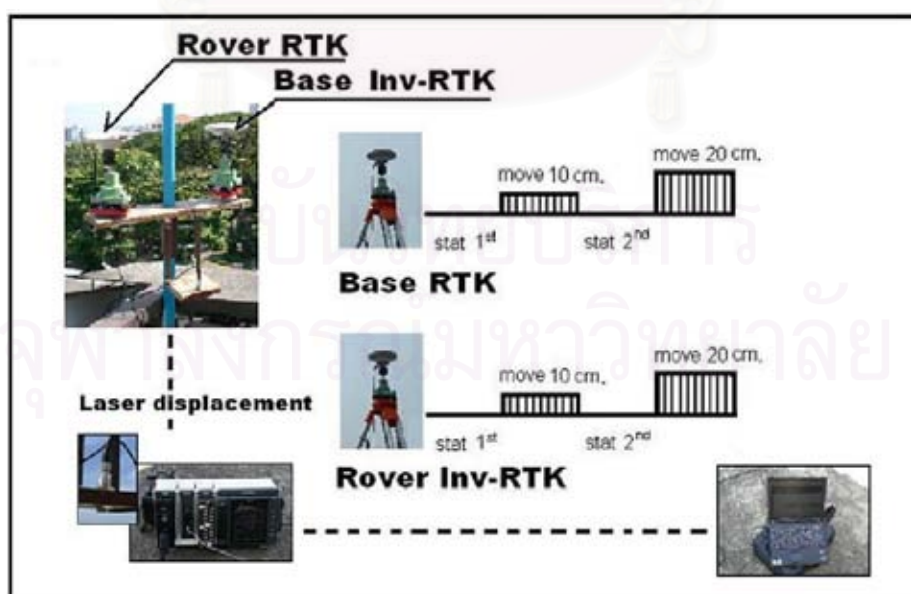
รูปที่ 4.6 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ครั้งที่ 2 ในการทดลองที่ 1

จากรูปที่ 4.4 และ 4.6 พบว่า ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนที่ตัวทางดิ่ง มีการเคลื่อนขยับแบบจำลอง ค่าที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับที่สถานีจร มีค่าพิสัยขนาดเท่ากับ 0.153 และ 0.155 เมตร

ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าพิสัยที่ได้ในขณะที่แบบจำลองอยู่กับที่ แสดงให้เห็นว่าค่าที่ตรวจจับได้ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่งนี้มีค่าที่สูงกว่ามาก และเมื่อพิจารณาถึงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.029 และ 0.027 เมตร ตามลำดับ แสดงว่าค่าความสูงที่ตรวจจับได้ในขณะที่สถานีจรมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ตามวิธี Inversed RTK นี้ส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณได้อย่างชัดเจน จากผลการทดลองนี้พบว่า ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้นั้น มีค่าคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ ซึ่งอาจเกิดจากบริเวณที่ทดสอบ มีตึกสูงล้อมรอบ หรือความไม่สม่ำเสมอในการเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งของแบบจำลอง ดังรูปที่ 4.2 ทำให้ผู้วิจัยได้ออกแบบจำลองเพื่อใช้ทดสอบการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบใหม่ ซึ่งสามารถควบคุมความสูงในการเคลื่อนตัวทางดิ่งได้ ซึ่งเกิดผลดีต่องานวิจัย และจะย้ายบริเวณการทดลองไปทดสอบที่ บริเวณสนามหญ้าหน้าพระบรมราชานุสาวรีย์ 2 รัชกาล และบนศาลฟ้าอาคารศาลวิชานนิตศ

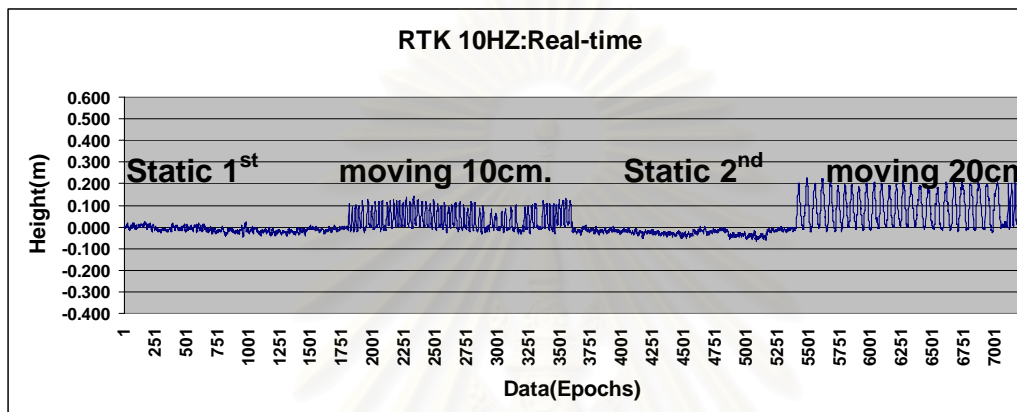
4.2 การทดสอบเปรียบเทียบวิธี RTK และวิธี Inversed RTK กับเครื่องวัดระยะเลเซอร์

การทดลองที่ 2 นี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2550 ณ บริเวณศาลฟ้าอาคารศาลวิชานนิตศ โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส แบบ 2 ความถี่ ยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 จำนวน 4 เครื่อง โดยแบ่งออกเป็น 2 คู่ คู่แรกเป็นวิธี RTK คู่ที่สองเป็นวิธี Inversed RTK โดยทำการทดสอบพร้อมกันกับเครื่องวัดระยะเลเซอร์ และใช้อัตราความถี่ในการบันทึกข้อมูล 10 Hz โดยทำการทดลองกับ Inversed RTK แบบจำลองอันใหม่ ซึ่งในการทดลองนี้จะกำหนดให้แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 0.10 และ 0.20 เมตร ดังรูปที่ 4.7

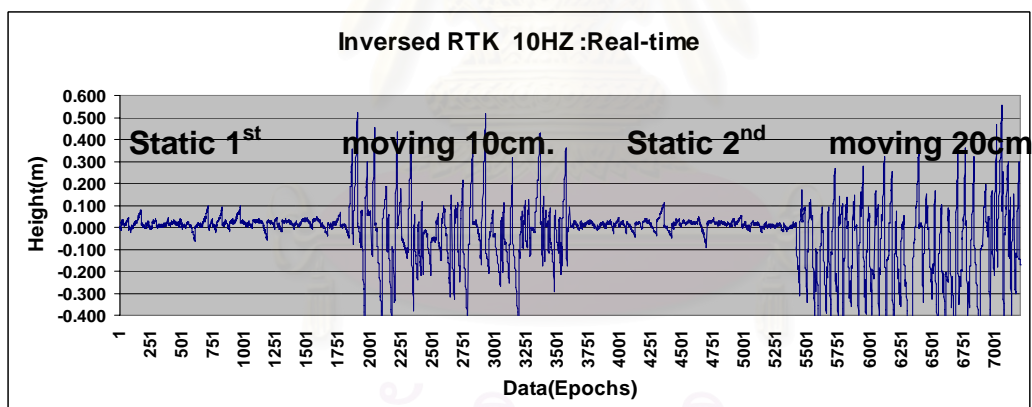


รูปที่ 4.7 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบวิธี RTK และวิธี Inversed RTK กับเครื่องวัดระยะเลเซอร์

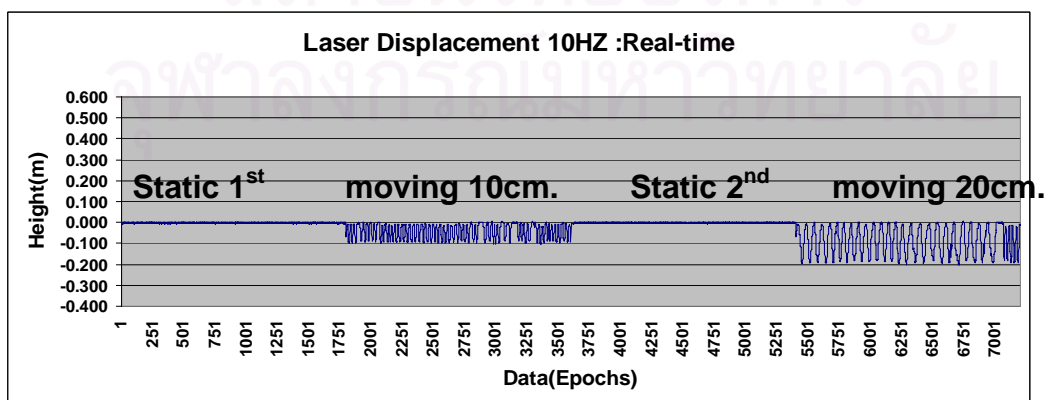
รูปแบบการทดลองนี้ ผู้วิจัยต้องการแสดงให้เห็นค่าความสูงที่เปลี่ยนแปลงไปจากการตรวจจับหาค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งด้วยวิธี RTK และ Inversed RTK ว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงใด โดยนำเครื่องวัดระยะเลเซอร์มาตรวจสอบระยะการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ผลการทดสอบแสดงข้อมูลทางดิ่งโดยรวมดังรูป 4.8, 4.9 และ 4.10 ในรูปดังกล่าว แสดงข้อมูลขณะเวลา (epoch) ที่ 1 ถึง 1750 เป็นผลการวัดในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 , ข้อมูลขณะเวลา (epoch) ที่ 1751 ถึง 3501แบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่ง 10 ซม. , ข้อมูลขณะเวลา (epoch) ที่ 3502 ถึง 5501 แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 , และข้อมูลขณะเวลา (epoch) ที่ 5502 ถึง 7001 แบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่ง 20 ซม.



รูปที่ 4.8 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.9 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในการทดลองที่ 2



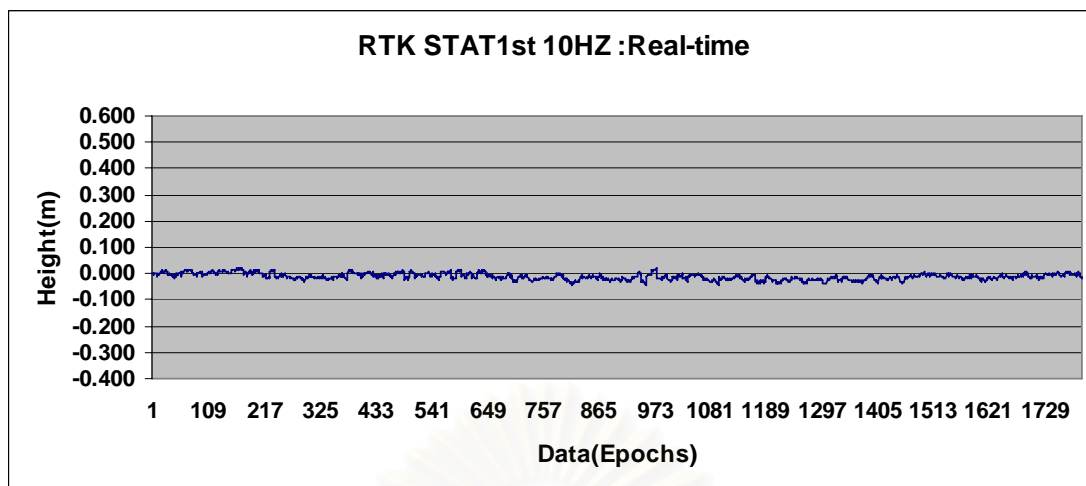
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้จากเครื่องวัดระยะเลเซอร์ ในการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 เป็นการอธิบายผลการทดลองที่ได้จากวิธี RTK เปรียบเทียบกับเครื่องวัดระยะเลเซอร์ วิธีการทดสอบจะเป็นการหาค่าความสูงที่ตรวจจับได้ของวิธี RTK, Inversed RTK และการใช้เครื่องวัดระยะเลเซอร์ โดยแต่ละวิธีจะทำการทดสอบ 4 ครั้ง ได้แก่ แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ 2 ครั้ง แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ซม. และแบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ซม. ผลที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 สำหรับค่าความสูงที่ตรวจจับได้ที่ได้จากวิธี RTK จะแสดงในรูปที่ 4.11 ถึง 4.14 ค่าความสูงที่ตรวจจับด้วยเครื่องวัดระยะ จะแสดงในรูปที่ 4.15 ถึง 4.18 และค่าความสูงที่ตรวจจับได้ที่ได้จากวิธี Inversed RTK จะแสดงในรูปที่ 4.19 ถึง 4.22

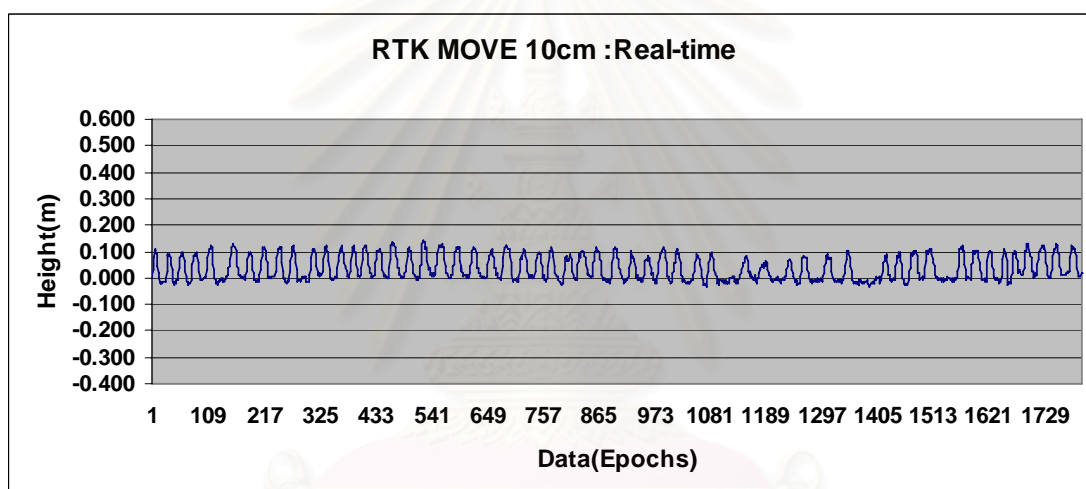
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบวิธี RTK กับวิธี Inversed RTK กับเครื่องวัดระยะเลเซอร์

วิธีการ	การทดสอบ	ค่าทางสถิติ(เมตร)			
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	พิสัย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
RTK	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1	-0.047	0.023	0.070	0.012
	แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ซม.	-0.034	0.140	0.174	0.046
	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 2	-0.051	0.026	0.077	0.012
	แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ซม.	-0.035	0.218	0.253	0.075
Inversed RTK	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1	-0.064	0.099	0.163	0.020
	แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ซม.	-0.557	0.515	1.073	0.164
	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 2	-0.102	0.101	0.202	0.020
	แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ซม.	-1.103	0.546	1.649	0.222
Laser displacement	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1	-0.008	0.002	0.010	0.001
	แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ซม.	-0.034	0.073	0.107	0.035
	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 2	-0.000	0.008	0.009	0.001
	แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ซม.	-0.136	0.073	0.209	0.069

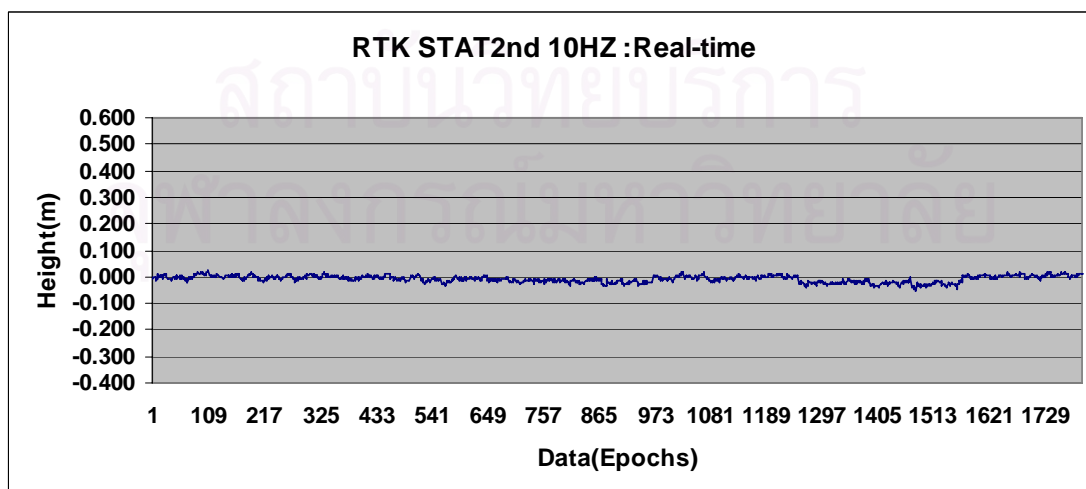
จากรูป 4.11 และ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบกับ รูปที่ 4.15 และ 4.17 พบว่าค่าพิสัยที่แสดงในตารางที่ 4.2 ของวิธีการ RTK ในขณะที่อยู่นิ่งมีขนาด 0.070 ถึง 0.077 เมตร ตามลำดับ และของเครื่องวัดระยะเลเซอร์ 0.010 และ 0.009 เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนของวิธีการ RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ทางดิ่งนั้นอยู่ในช่วง 7 ถึง 8 เซนติเมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากัน คือ 0.012 เมตร ซึ่งอยู่ในระดับเซนติเมตร เป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า ค่า noise จากการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส โดยการวัดเฟสของคลื่นส่งจะอยู่ในระดับเซนติเมตร



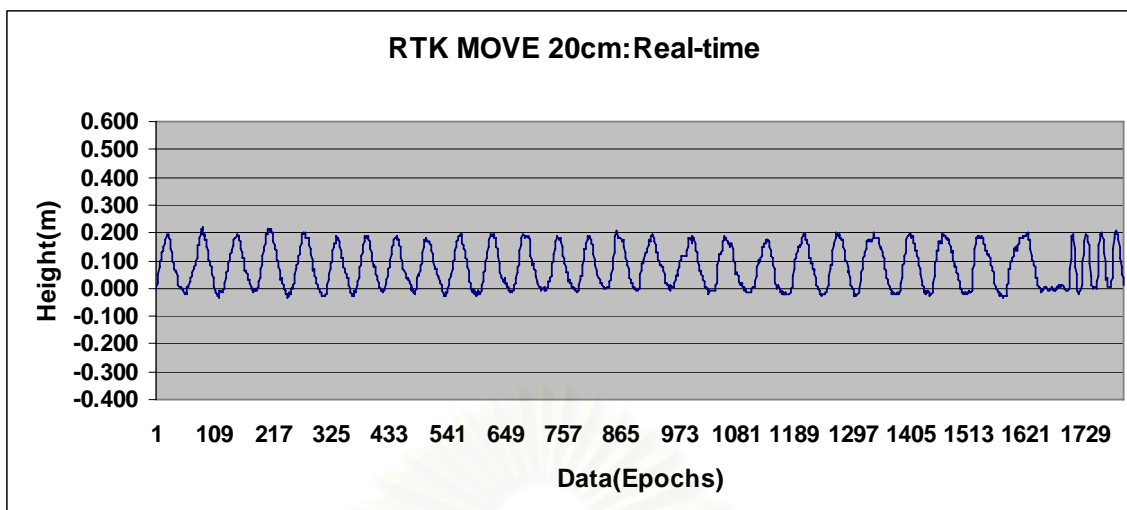
รูปที่ 4.11 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 2



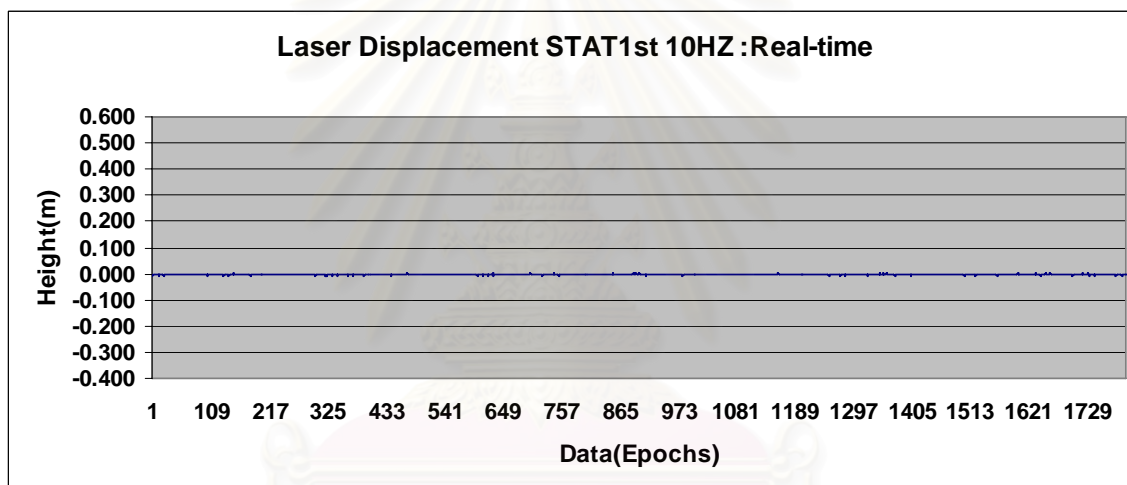
รูปที่ 4.12 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ในการทดลองที่ 2



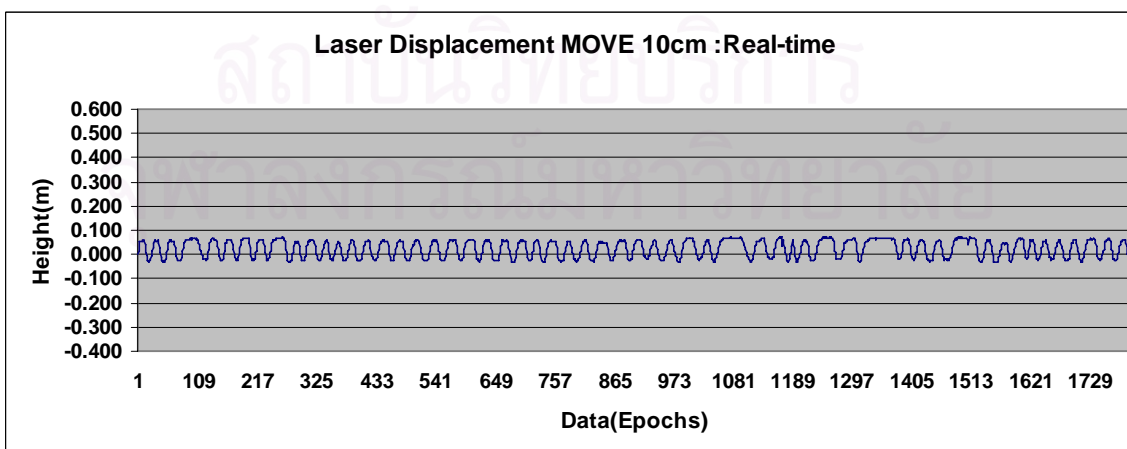
รูปที่ 4.13 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ในการทดลองที่ 2



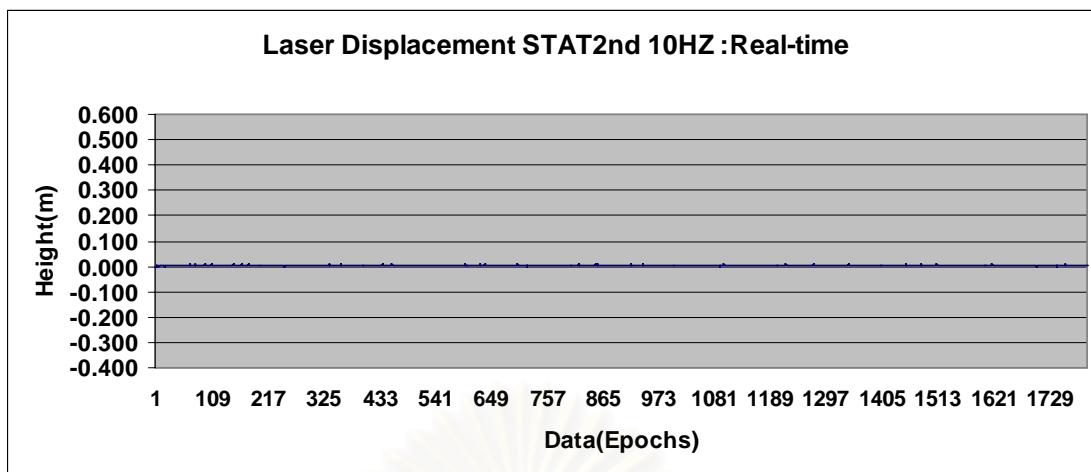
รูปที่ 4.14 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ในการทดลองที่ 2



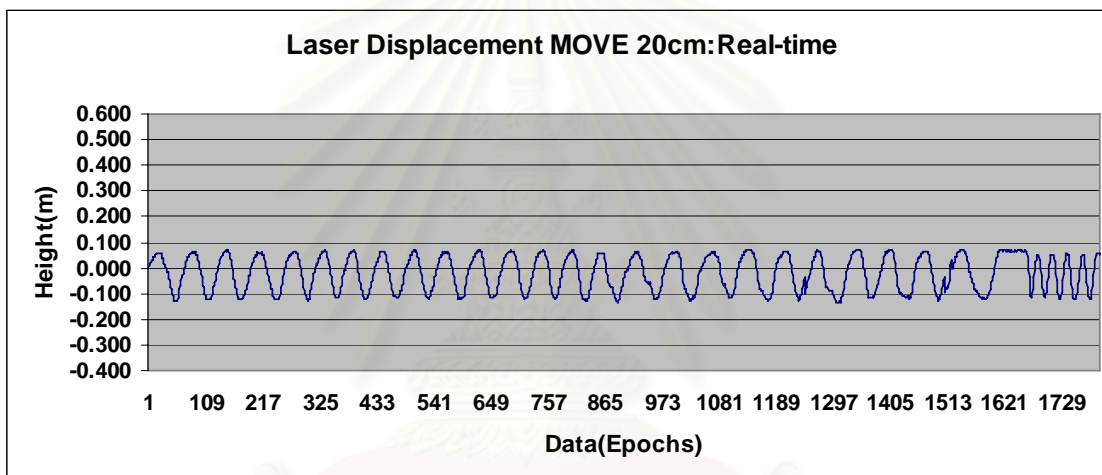
รูปที่ 4.15 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์ เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 2



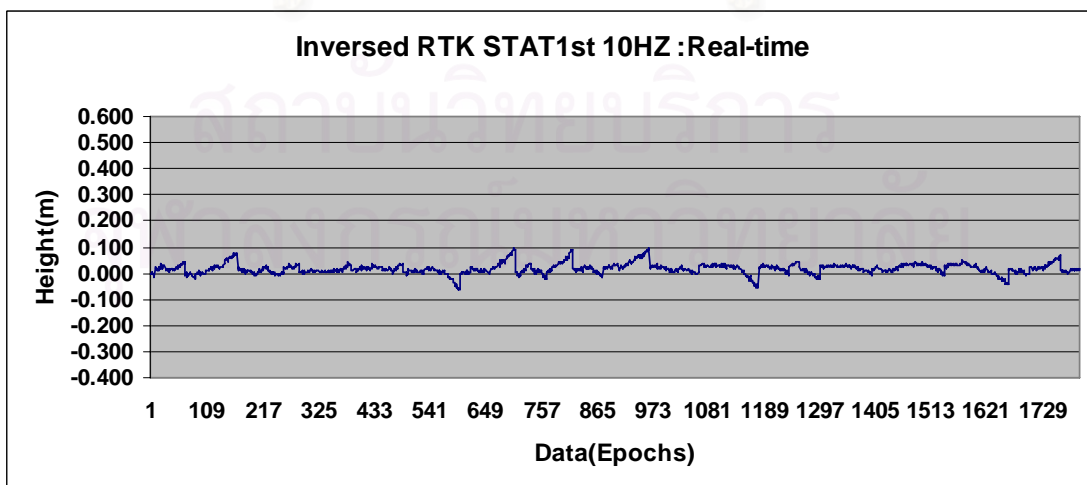
รูปที่ 4.16 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์ เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตรในการทดลองที่ 2



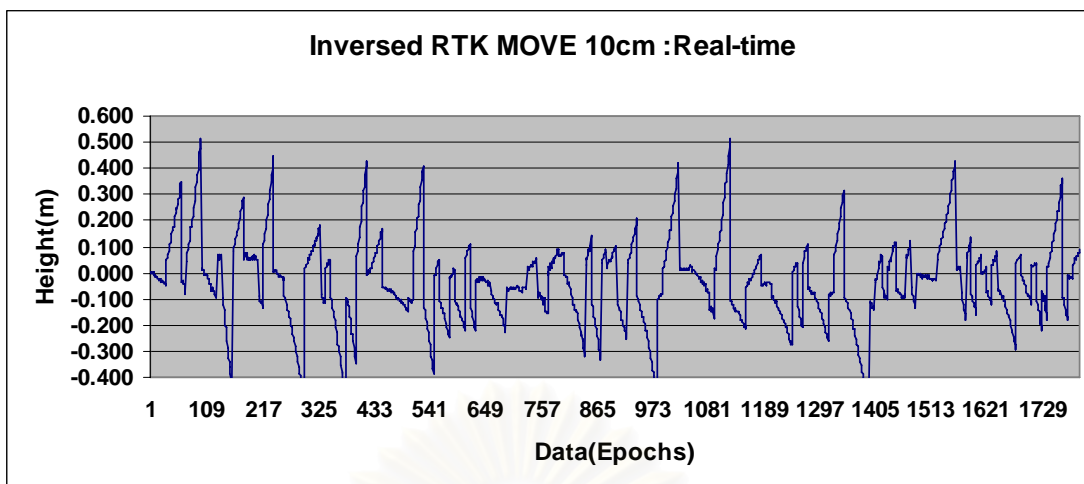
รูปที่ 4.17 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์
เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ในการทดลองที่ 2



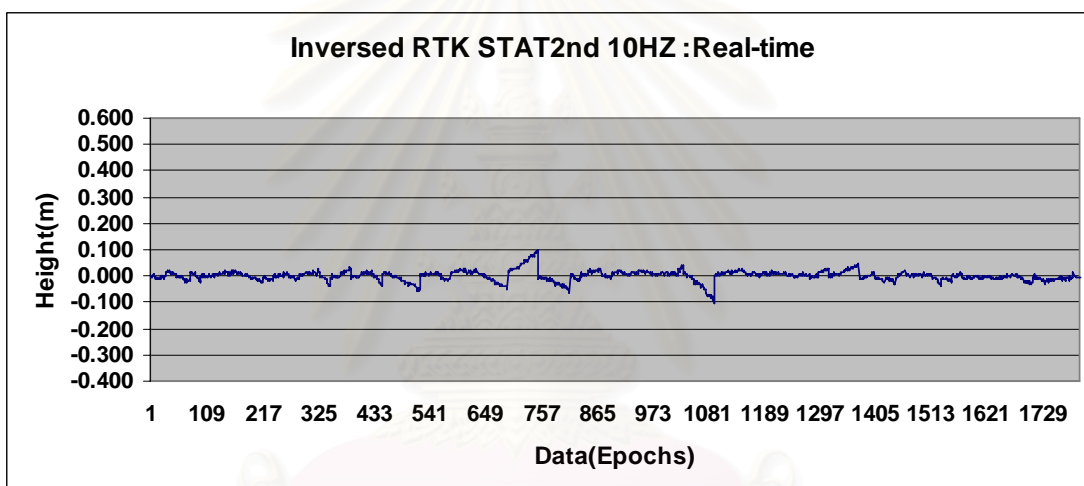
รูปที่ 4.18 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์
เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตรในการทดลองที่ 2



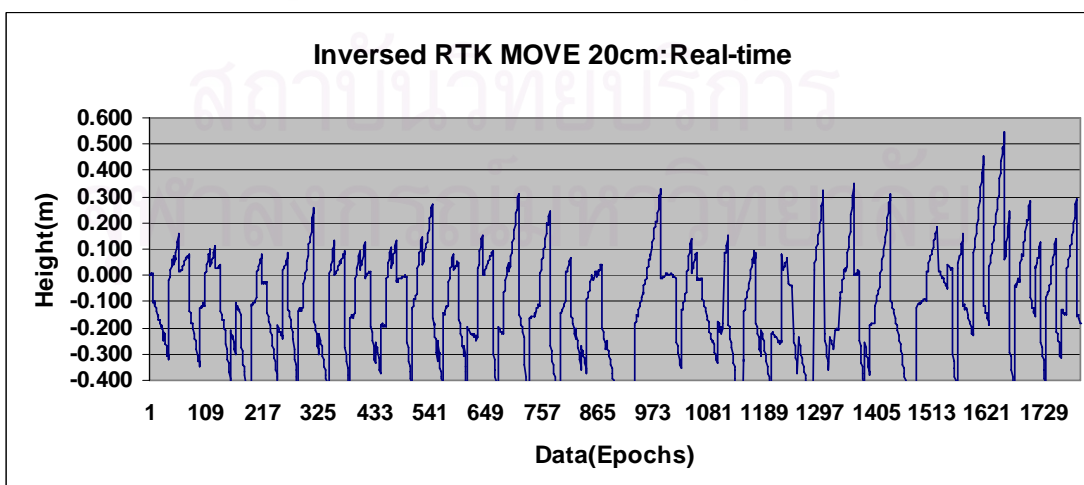
รูปที่ 4.19 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK
เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.20 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK
เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ในการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.21 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK
เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ในการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.22 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK
เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ในการทดลองที่ 2

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับของจุดสถานีจร ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 10 ซม. ดังรูปที่ 4.12 เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดระยะเลเซอร์ ดังรูปที่ 4.16 พบว่า ค่าพิสัยมีขนาด 0.174 และ 0.107 เมตร ตามลำดับ ซึ่งการเคลื่อนตัวจริงของแบบจำลองอันใหม่นี้ ผู้วิจัยสามารถควบคุมความสูงในการเคลื่อนที่ของแบบจำลองได้ แสดงให้เห็นว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ในวิธีการ RTK ในช่วง 7 ถึง 8 เซนติเมตร ซึ่งสาเหตุเกิดจากค่าคลาดเคลื่อนที่มีอยู่ในวิธีการรังวัดด้วยการวัดเฟสของคลื่น ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 0.046 และ 0.035 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่งจริงแต่ข้อมูลที่ได้จากวิธีเครื่องวัดระยะเลเซอร์ มีการเกาะกลุ่มกันดีกว่า วิธี RTK

จากนั้นเมื่อทำการพิจารณาค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับของจุดสถานีจร ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 0.20 เมตร ดังรูปที่ 4.14 เมื่อนำการทดลองมาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดระยะเลเซอร์ ดังรูปที่ 4.18 พบว่า ค่าพิสัยมีขนาด 0.253 และ 0.209 เมตร ตามลำดับ แสดงว่ามีค่าคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ในผลลัพธ์ที่ได้ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.075 และ 0.069 เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่งจริง

จะเห็นได้ว่าค่าความสูงที่ได้จากวิธี Inversed RTK จากรูปที่ 4.19 ถึง 4.22 เมื่อพิจารณาในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 0.10 และ 0.20 เมตร พบว่า ค่าพิสัยมีขนาดใหญ่ถึง 1.073 และ 1.649 เมตร จึงตั้งข้อสังเกตไว้ 2 ข้อคือ ข้อแรก การเคลื่อนที่ของจุดสถานีฐานส่งผลต่อความสามารถในการประมวลผลของเครื่องรับด้วยวิธี Inversed RTK ข้อที่สอง ความเข้มของแสงเลเซอร์, การกระจายของลำแสง อาจส่งผลต่อความสามารถในการประมวลผลเครื่องรับจีพีเอส ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองที่ 3 เพิ่มเติม เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบความสามารถของวิธี RTK และ Inversed RTK โดยจะนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการประมวลผลภายหลังด้วยซอฟต์แวร์ SKI-PRO ต่อไป

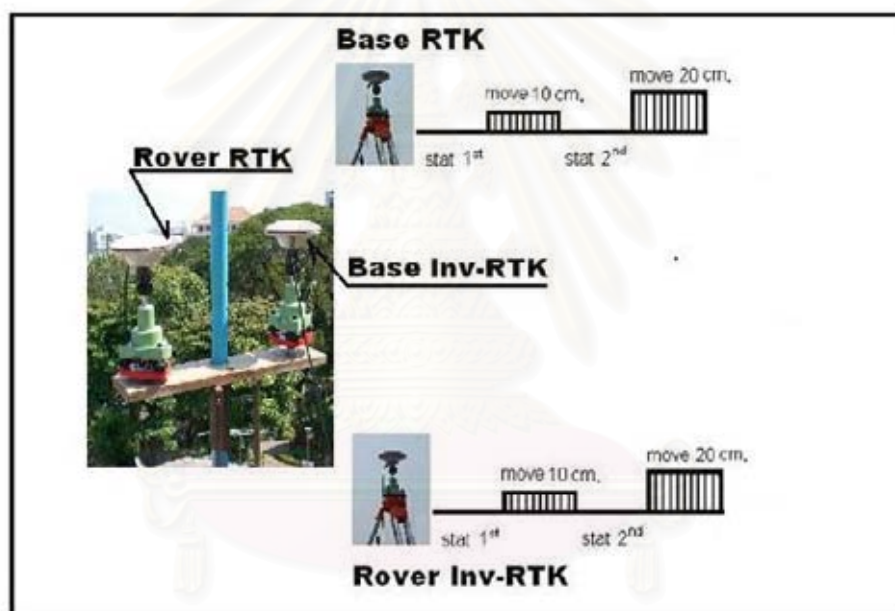
ซึ่งจากการทดลองนี้ สามารถสรุปได้ว่า วิธีการ RTK เมื่อพิจารณาที่ข้อมูลแบบ Real-time จะให้ค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัดระยะเลเซอร์ ส่วนวิธี Inversed RTK ผู้วิจัยจะทำการทดลองต่อไป โดยจะนำข้อมูลดิบที่ได้มาทำการประมวลผลภายหลัง เพื่อที่จะหาข้อสรุปว่าสาเหตุที่ทำให้ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ มีค่ากระโดดเป็นช่วงๆ เกิดจากการติดตั้งเครื่องวัดระยะเลเซอร์ หรือเป็นสาเหตุจากวิธีการในการประมวลผลของเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งจะแสดงในการทดลองที่ 3

สำหรับแบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ผู้วิจัยทำการสร้างขึ้นใหม่ เพื่อใช้ทดสอบการเคลื่อนตัวทางดิ่ง พบว่าการเคลื่อนที่จริงของแบบจำลองที่ตรวจจับได้ด้วยวิธีการ RTK สอดคล้องกับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากเครื่องวัดระยะเลเซอร์ กล่าวคือเมื่อตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งด้วยวิธีการ RTK โดยการขยับแบบจำลอง 10 และ 20 เซนติเมตร เมื่อใช้เครื่องวัดระยะเลเซอร์ ก็จะมีให้ค่าการเคลื่อนตัวมีระยะประมาณ 10 และ 20 เซนติเมตรเช่นกัน แสดงว่าเราสามารถควบคุมความสูงในการเคลื่อนที่ของ

แบบจำลองได้ ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไป ผู้วิจัยจะใช้วิธีการ RTK ในตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่ง แทนการใช้เครื่องวัดระยะเลเซอร์ในขณะทดลองจริงกับโครงสร้างสะพานพระราม 8

4.3 การทดสอบเปรียบเทียบผลข้อมูลที่ได้จาก Real-time และ Post-processing ทั้งวิธี RTK และ Inversed RTK

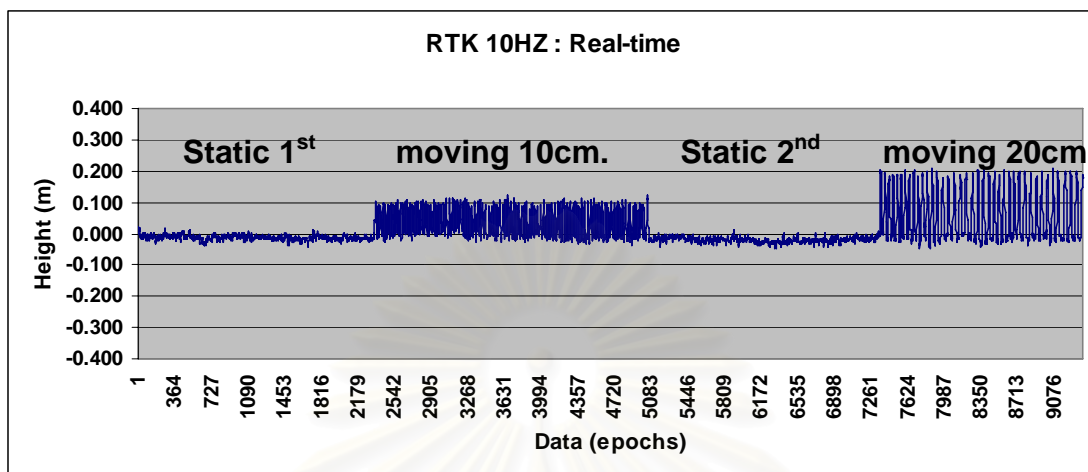
การทดลองที่ 3 นี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2550 ณ บริเวณคาดฟ้าอาคารศัลยวิธานนิเทศ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 จำนวน 4 เครื่อง โดยแบ่งออกเป็น 2 คู่ ทำการทดสอบพร้อมกันบนแบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่ง คู่แรกเป็นวิธี RTK และคู่ที่สองเป็นวิธี Inversed RTK โดยใช้อัตราส่วนความถี่ในการบันทึกข้อมูล 10 Hz ซึ่งในการทดลองนี้จะกำหนดให้แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 0.10 และ 0.20 เมตร ดังรูปที่ 4.23



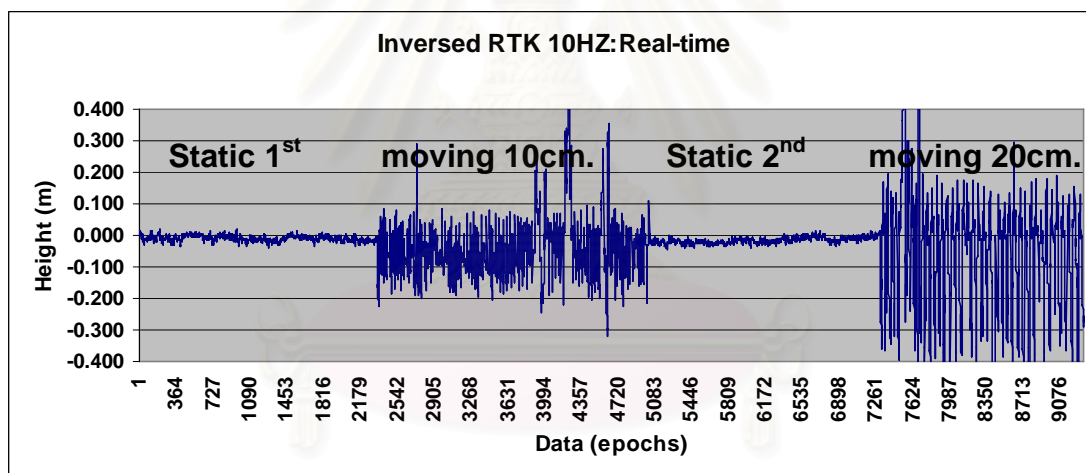
รูปที่ 4.23 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูล Real-time และข้อมูล Post-processing จากวิธี RTK และ Inversed RTK (วันที่ 6 มีนาคม 2550)

การทดลองที่ 3 นี้ผู้วิจัยต้องการทดสอบว่า การเคลื่อนที่ของจุดสถานีฐานส่งผลต่อความสามารถในการประมวลผลของเครื่องรับด้วยวิธี Inversed RTK หรือ การติดตั้งเครื่องวัดระยะเลเซอร์กับแบบจำลองนั้นมีผลต่อความสามารถในการรับสัญญาณจีพีเอสต่อเครื่องรับ (จากการตั้งข้อสังเกตในการทดลองที่ 2) ดังนั้นจึงได้ทำการแสดงผลข้อมูลแบบ Real-time และนำข้อมูลดิบที่ได้จากสถานีฐานและสถานีจร ของวิธี RTK และ Inversed RTK มาทำการประมวลผลภายหลัง Post-processing โดยใช้ซอฟต์แวร์ SKI-PRO ในการสรุปผลการทดสอบ โดยจะทำการทดสอบเหมือนการทดลองที่ 2 แต่จะไม่มีเครื่องวัด Laser displacement ดังรูปที่ 4.23 เมื่อผู้วิจัยทำการทดสอบแบบต่อเนื่อง ผลการทดสอบ

แสดงข้อมูลทางดิ่งโดยรวมดังรูป 4.24 และ 4.25 ในรูปดังกล่าวแบ่งออกเป็นแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ,แบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่ง 10 ซม. ,แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 , และแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่ง 20 ซม.



รูปที่ 4.24 แสดงค่าการเคลื่อนที่ทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในการทดลองที่ 3



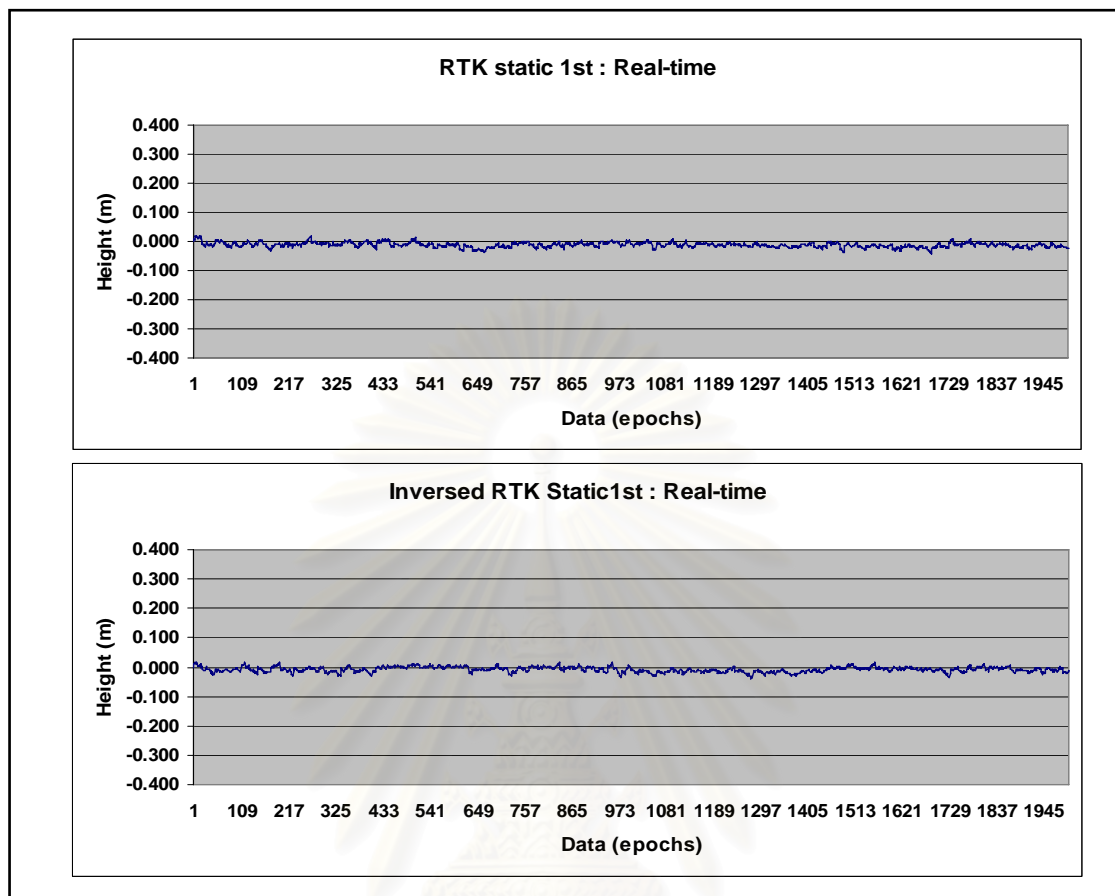
รูปที่ 4.25 แสดงค่าการเคลื่อนที่ทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 เป็นการอธิบายผลการทดลองที่ได้จากวิธี RTK เปรียบเทียบกับ วิธี Inversed RTK โดยจะนำข้อมูล Real-time และข้อมูล Post-processing ของวิธีการทั้ง 2 มาใช้ในการพิจารณา ซึ่งในขั้นตอนของการทำ Post-processing นั้น ผู้วิจัยจะนำข้อมูลดิบที่เครื่องรับที่จุดสถานีจร และจุดสถานีฐานบันทึกได้นำมาทำการประมวลผลภายหลังด้วยซอฟต์แวร์ SKI-PRO ซึ่งในขั้นตอนการประมวลผลภายหลังนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกข้อมูลจากจุดสถานีฐาน ซึ่งมีการเคลื่อนที่ทางดิ่งให้เป็น Rerence Station และข้อมูลจากจุดสถานีจร ซึ่งอยู่นิ่งกับที่ให้เป็น Rover Station จากนั้นจึงทำการ Post-processing และพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้ต่อไป

โดยในที่นี้จะทำการแยกแสดงผลการทดลองออกเป็น เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่ง และเมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูล real-time และข้อมูล post-processing จากวิธีการ RTK และ Inversed RTK

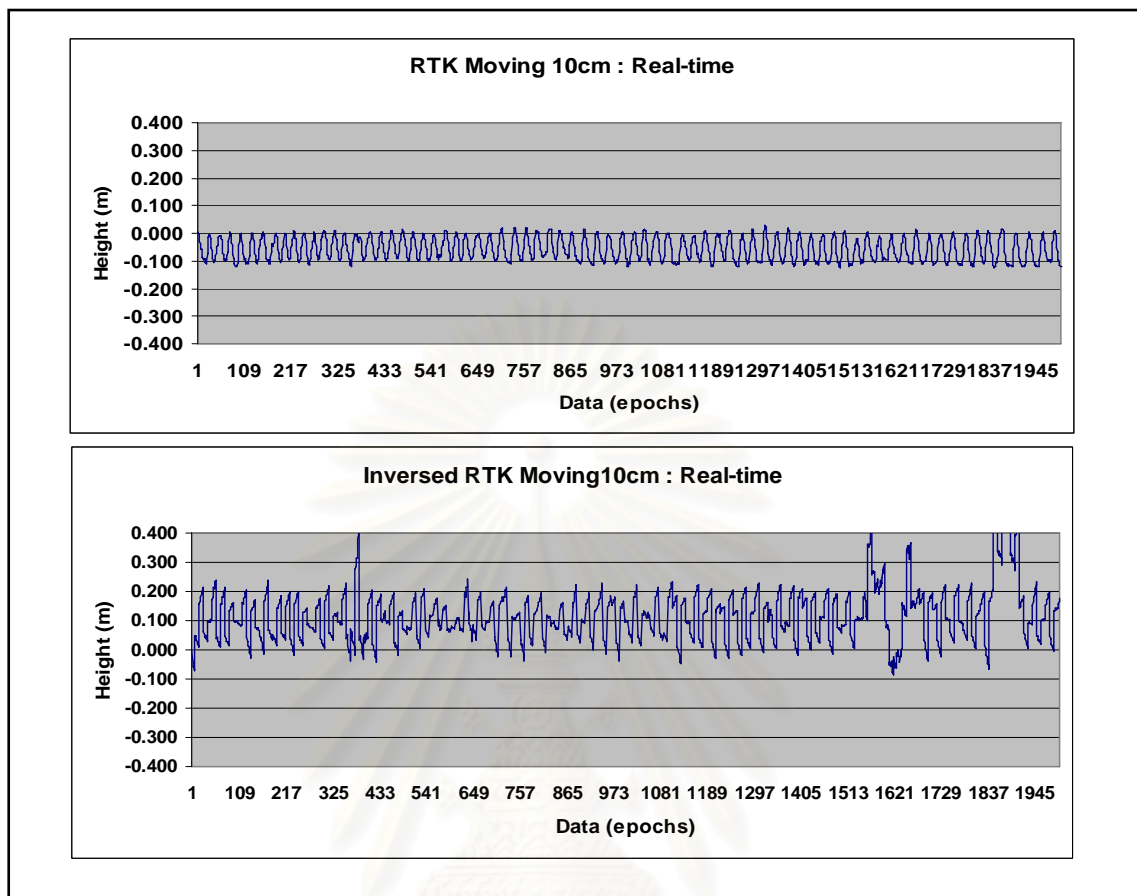
วิธีการ	ข้อมูล	เมื่อแบบจำลอง	ค่าทางสถิติ(เมตร)			
			ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	พิสัย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
RTK	Real-time	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1	-0.042	0.021	0.063	0.008
		แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ซม.	-0.125	0.027	0.152	0.041
		แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 2	-0.025	0.033	0.058	0.008
		แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ซม.	-0.245	0.013	0.257	0.080
	Post-processing	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1	-0.027	0.014	0.041	0.006
		แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ซม.	-0.126	0.021	0.147	0.041
		แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 2	-0.028	0.012	0.041	0.006
		แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ซม.	-0.236	0.001	0.237	0.079
Inversed RTK	Real-time	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1	-0.039	0.019	0.058	0.009
		แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ซม.	-0.087	0.764	0.851	0.099
		แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 2	-0.020	0.041	0.061	0.009
		แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ซม.	-0.752	0.991	1.742	0.195
	Post-processing	แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1	-0.028	0.015	0.044	0.007
		แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ซม.	-0.016	0.107	0.124	0.035
		แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 2	-0.015	0.031	0.047	0.008
		แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ซม.	-0.029	0.211	0.240	0.076



รูปที่ 4.26 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK และInversed RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3

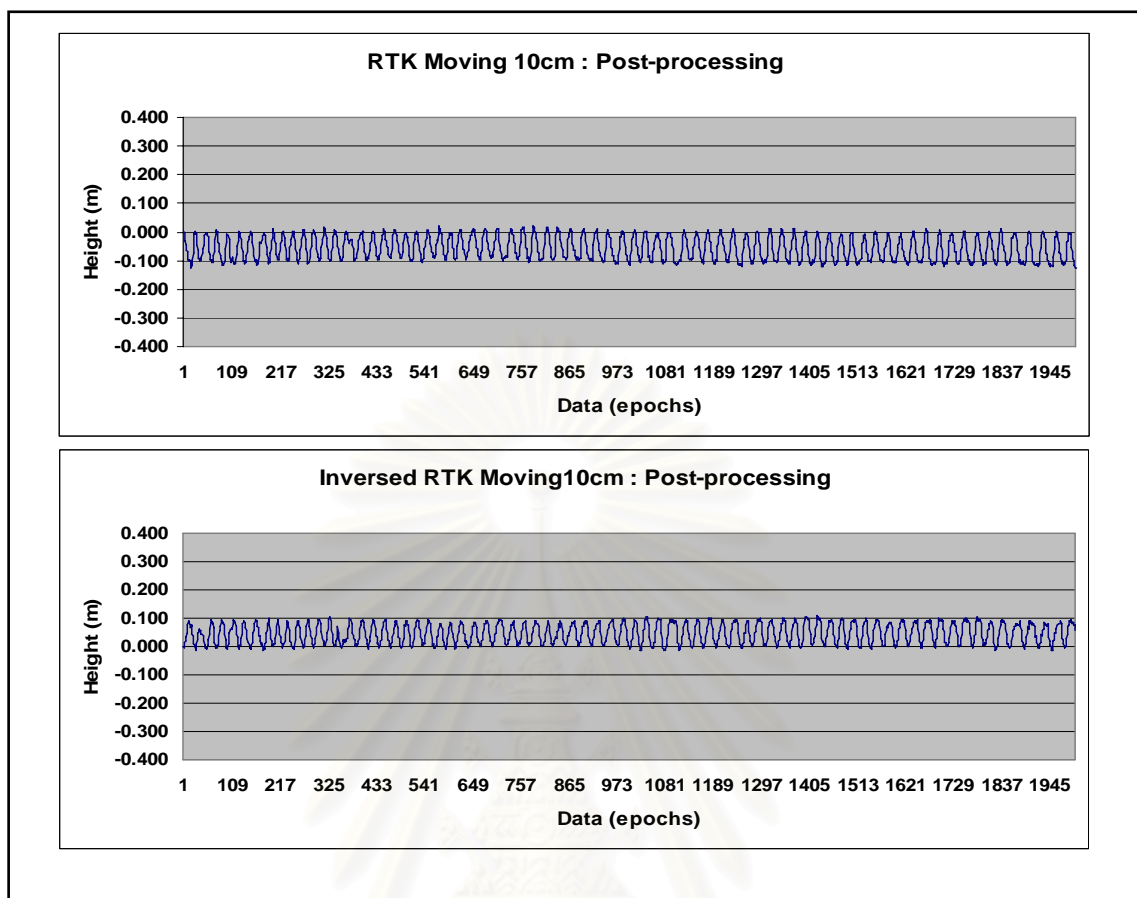
จากรูปที่ 4.26 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติดังตารางที่ 4.3 พบว่า ในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของวิธีการ RTK และInversed RTK เมื่อพิจารณาข้อมูลแบบ Real-time ค่าพิสัยมีขนาด 0.063 และ 0.058 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีขนาด 0.008 และ 0.009 เมตร ตามลำดับ แสดงว่าข้อมูลแบบ Real-time นั้น วิธีการทั้ง 2 ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.27 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK และ Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3

จากรูปที่ 4.27 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติดังตารางที่ 4.3 พบว่าในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 0.10 เมตร ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของวิธีการ RTK และ Inversed RTK เมื่อพิจารณาข้อมูลแบบ Real-time ค่าพิสัยมีขนาด 0.152 และ 0.851 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีขนาด 0.041 และ 0.099 เมตร ตามลำดับ แสดงว่า เมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่งจริง วิธีการทั้ง 2 นี้สามารถตรวจจับได้ แต่ค่าที่ได้จากวิธีการ RTK นั้นจะใกล้เคียงการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจริงมากกว่าวิธีการ Inversed RTK



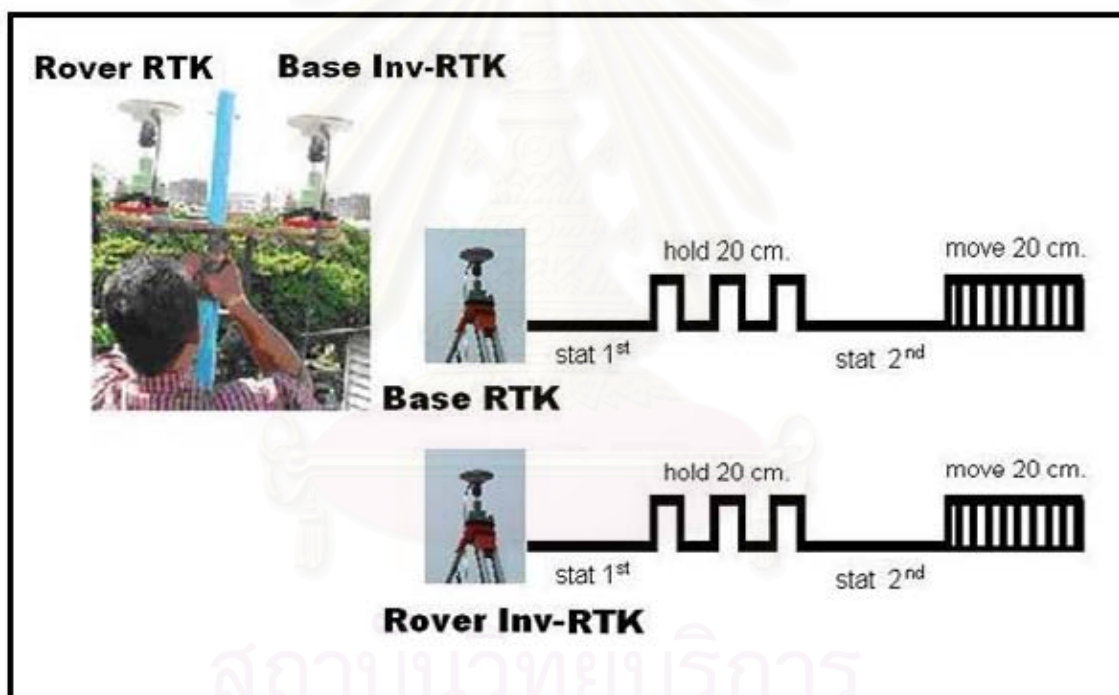
รูปที่ 4.28 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK และ Inversed RTK ในขณะที่ใช้แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3

จากรูปที่ 4.28 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ ดังตารางที่ 4.3 พบว่า ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 0.10 เมตร ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของวิธีการ RTK และ Inversed RTK เมื่อนำข้อมูลดิบมาพิจารณาแบบ Post-processing ค่าพิสัยมีขนาด 0.147 และ 0.124 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีขนาด 0.041 และ 0.035 เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการนำข้อมูลดิบของวิธีการ Inversed RTK มาทำการ Post-processing จะทำให้ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้มีความน่าเชื่อถือมากกว่าข้อมูลแบบ Real-time

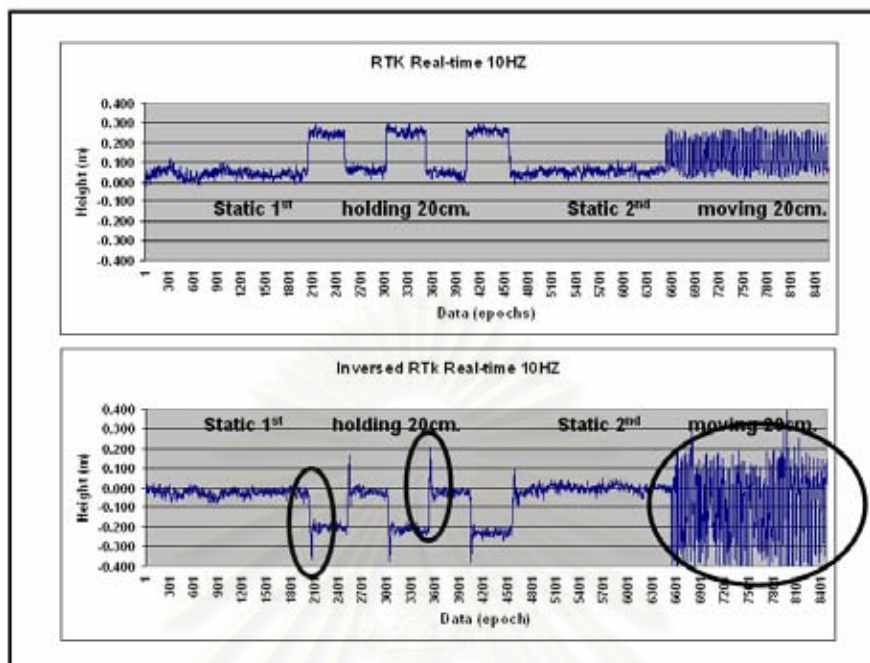
ซึ่งในการทดลองที่ 3 นี้ ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งข้อมูลเป็น 2 รูปแบบดังที่กล่าวในข้างต้น และได้แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของกราฟในภาคผนวก ก พร้อมทั้งนำข้อมูลทางสถิติ แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ซึ่งจากการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ตั้งข้อสังเกตว่า การเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบจับปล้นของจุดสถานีฐาน ซึ่งติดตั้งอยู่บนแบบจำลอง มีผลต่อวิธีการที่ใช้ในการประมวลผลตำแหน่งของตัวสถานีฐานเอง การนำวิธี Inversed RTK ไปตรวจสอบการเคลื่อนตัวอย่างจับปล้น โดยพิจารณาข้อมูลแบบ Real-time ควรใช้

ข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing จะทำให้ผลลัพธ์ของวิธี Inversed RTK มีความน่าเชื่อถือใกล้เคียงกับวิธี RTK

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลการทดลองว่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบฉับพลันของจุดสถานีฐาน มีผลต่อวิธีการที่ใช้ในการประมวลผล โดยทำการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 9 มี.ค. 50 ณ บริเวณศาลฟ้าอาคารศัลยวิธานนิเทศ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 จำนวน 4 เครื่อง โดยแบ่งออกเป็น 2 คู่ แล้วทำการทดสอบพร้อมกันบนแบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่ง คู่แรกเป็นวิธี RTK และคู่ที่สองเป็นวิธี Inversed RTK โดยใช้อัตราความถี่ในการบันทึกข้อมูล 10 Hz ซึ่งในการทดลองนี้ได้กำหนดให้แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ระดับความสูง 0.20 เมตร ใน 2 ลักษณะ คือ เคลื่อนที่ 0.20 เมตร ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 แสดงการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูล Real-time และข้อมูล Post-process จากวิธี RTK และ Inversed RTK (วันที่ 9 มีนาคม 2550)

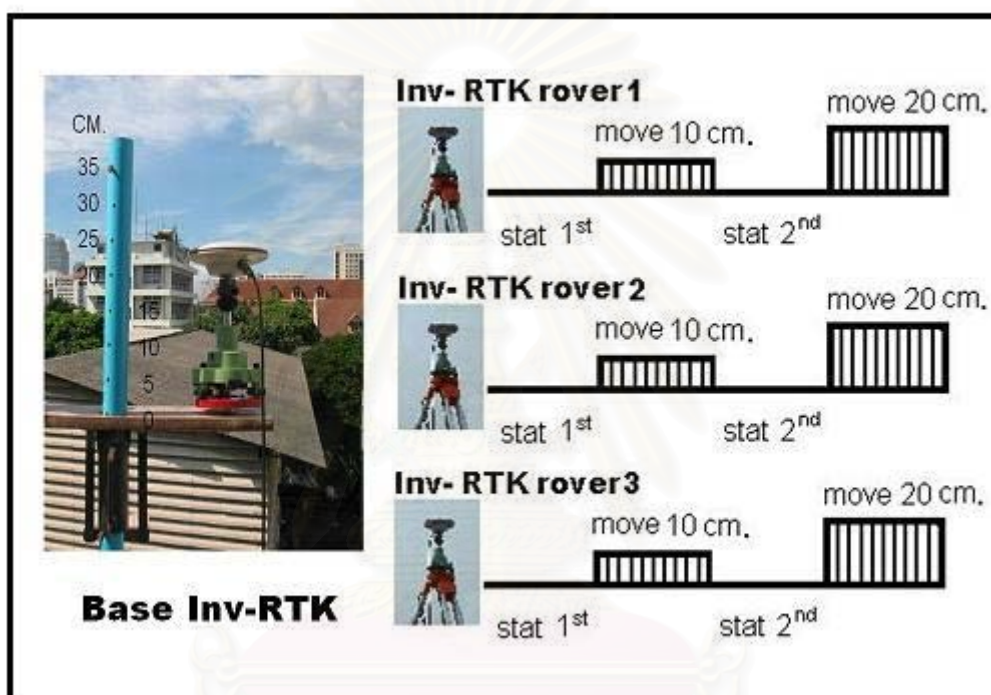


รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ แบบ Real-time จากวิธี RTK และ Inversed RTK (วันที่ 9 มีนาคม 2550)

เมื่อพิจารณาที่ข้อมูลแบบ Real-time ของวิธี RTK และ Inversed RTK พบว่าค่าพิสัยตลอดทุกช่วงการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ได้จากวิธี Inversed RTK เมื่อจุดสถานีฐานมีการเคลื่อนตัวทางดิ่งขึ้นอย่างฉับพลัน ดังรูปที่ 4.30 พบว่าค่าพิสัยที่สถานีตรวจจับได้นั้นมีค่ากระโดดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดก่อนจะเป็นปกติ ซึ่งจากผลการทดสอบดังรูปที่ 4.25 และ 4.30 นี้ ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การเคลื่อนตัวทางดิ่งอย่างฉับพลันและการเคลื่อนตัวทางดิ่งของจุดสถานีฐาน ของวิธี Inversed RTK นี้ มีผลต่อความสามารถในการประมวลผลของเครื่องรับสัญญาณ ด้วยวิธี Kinematic Survey ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลดิบ มาทำการประมวลผลภายหลังแล้วสรุปดังตารางที่ 4.3 และข้อสรุปอีกข้อที่ได้ก็คือ เครื่องวัด Laser displacement ไม่ได้ส่งผลต่อความสามารถในการรับสัญญาณของเครื่องรับในวิธี Inversed RTK ดังผลการทดสอบค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้เมื่อพิจารณารูปที่ 4.25 และ 4.9 มีรูปแบบของค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ผิดเพี้ยนที่แฝงอยู่คล้ายคลึงกันและ เมื่อพิจารณาข้อมูล Real-time ในขณะแบบจำลองมีการเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตรของวิธี Inversed RTK พบว่า ค่าความสูงที่ตรวจจับได้จากวิธี วิธี Inversed RTK มีค่าพิสัยขนาด 1.742 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้เมื่อพิจารณาข้อมูล Real-time เมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตรของวิธี Inversed RTK มีค่าพิสัยเท่ากับ 1.649 เมตร แสดงว่า เครื่องวัด Laser displacement ไม่ได้ส่งผลต่อความสามารถในการรับสัญญาณของเครื่องรับในวิธี Inversed RTK

4.4 การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK เมื่อมีสถานีจร 3 จุด

การทดลองที่ 4 นี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2550 ณ บริเวณสนามฟุตบอล หน้าพระบรมราชานุสาวรีย์ 2 รัชกาล โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 จำนวน 4 เครื่อง โดยกำหนดให้เป็นจุดสถานีฐาน 1 เครื่อง และเป็นจุดสถานีจร 3 เครื่อง ทำการทดสอบพร้อมกันทั้ง 4 เครื่อง โดยใช้อัตราความถี่ในการบันทึกข้อมูล 10 Hz ซึ่งในการทดลองนี้ จะกำหนดให้แบบจำลองมีการเคลื่อนที่ทางดิ่ง 0.10 และ 0.20 เมตร ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 แสดงการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK เมื่อมีสถานีจร 3 จุด

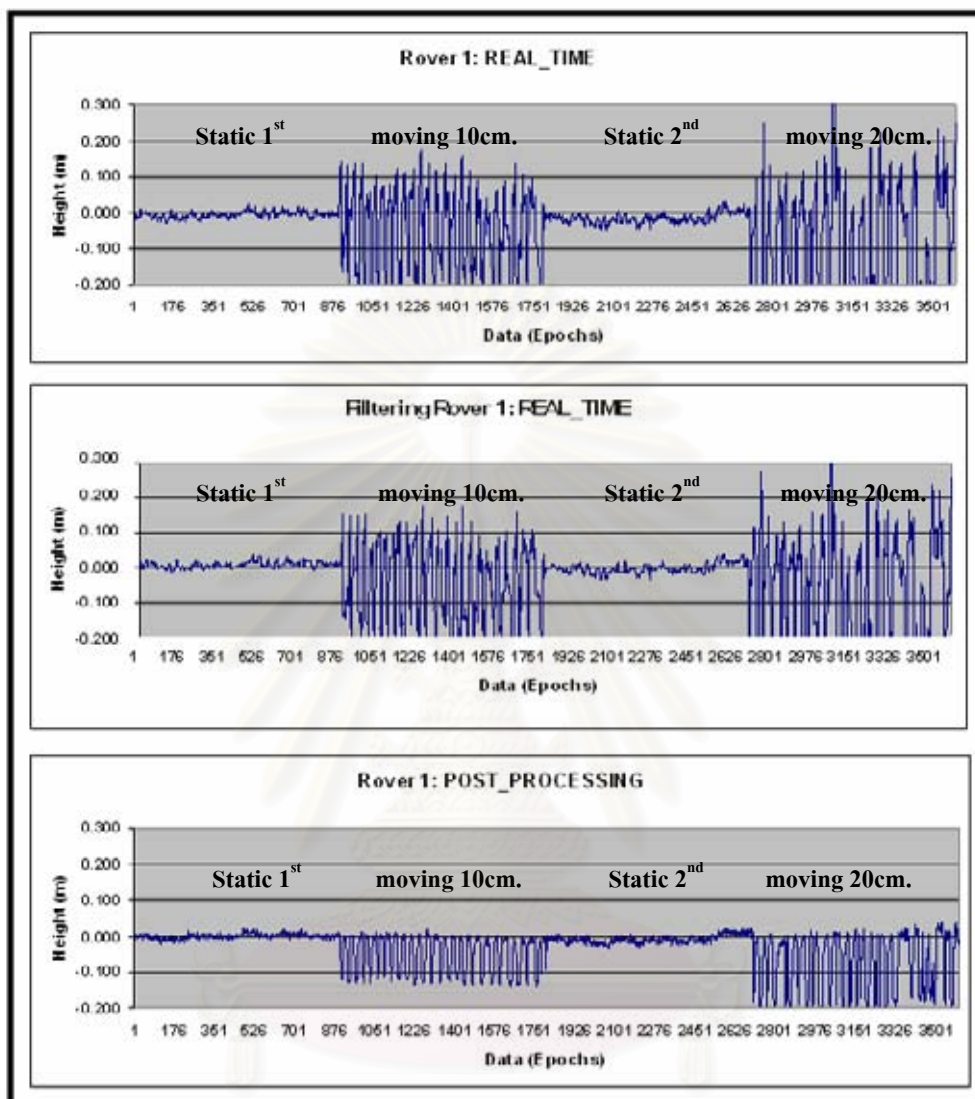
ผู้วิจัยต้องการที่จะทดสอบความสามารถของจุดสถานีจรทั้ง 3 จุด ซึ่งทำการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสพร้อมกัน โดยมีระยะห่างจากจุดสถานีจร ถึงจุดสถานีฐานใกล้เคียงกับระยะที่จะไปทดลองจริงที่สะพานพระราม 8 และใช้ข้อมูลจากจุดสถานีฐานจุดเดียวกัน โดยในการทดลองนี้ผู้วิจัย จะนำค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจสอบได้แบบ Real-time ไปทำการกรองสัญญาณด้วยวิธี wavelets เพื่อที่จะทดสอบดูว่าค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ถูกกรองสัญญาณรบกวนออกไปแล้ว จะได้ผลลัพธ์เป็นอย่างไรที่ผู้วิจัยคาดหวังหรือไม่ การทดลองนี้จะทำการแยกผลการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือ เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ และแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ผู้วิจัยได้แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากข้อมูล Real-time กับ Wavelets filtering สรุปได้ดังตารางที่ 4.4(ก) และแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากข้อมูล Real-time กับ Post processing สรุปได้ดังตารางที่ 4.4(ข)

ตารางที่ 4.4(ก) แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลจากจุดสถานีจริงทั้ง 3 จุด ระหว่าง Real-time กับ Wavelets filltering จากวิธีการ Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ และขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ทางดิ่ง

วิธีการ Inversed RTK	ข้อมูล Real-time	ค่าทางสถิติ (m)															
		แบบจำลองอยู่นิ่งครั้งที่ 1				แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ชม.				แบบจำลองอยู่นิ่งครั้งที่ 2				แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ชม.			
		Max	Min	Range	SD.	Max	Min	Range	SD.	Max	Min	Range	SD.	Max	Min	Range	SD.
Rover 1	Real-time	0.025	-0.031	0.056	0.009	0.123	-0.489	0.612	0.117	0.043	-0.039	0.082	0.014	1.796	-0.459	2.255	0.250
	filltering Real-time	0.000	-0.095	0.095	0.009	0.122	-0.471	0.593	0.114	0.044	-0.033	0.077	0.013	1.735	-0.557	2.292	0.245
Rover 2	Real-time	0.015	-0.037	0.052	0.009	0.257	-0.299	0.556	0.117	0.055	-0.023	0.078	0.013	0.149	-1.416	1.564	0.225
	filltering Real-time	0.000	-0.101	0.101	0.009	0.262	-0.290	0.552	0.114	0.054	-0.023	0.077	0.013	0.150	-1.483	1.633	0.221
Rover 3	Real-time	0.023	-0.030	0.053	0.009	0.273	0.237	0.510	0.115	0.032	-0.041	0.073	0.012	0.300	-0.555	0.855	0.183
	filltering Real-time	0.000	-0.063	0.063	0.009	0.266	-0.222	0.488	0.112	0.027	-0.045	0.072	0.012	0.311	-0.541	0.852	0.179

ตารางที่ 4.4(ข) แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลจากจุดสถานีจริงทั้ง 3 จุด ระหว่าง Real-time กับ Post-processing จากวิธีการ Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ และขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ทางดิ่ง

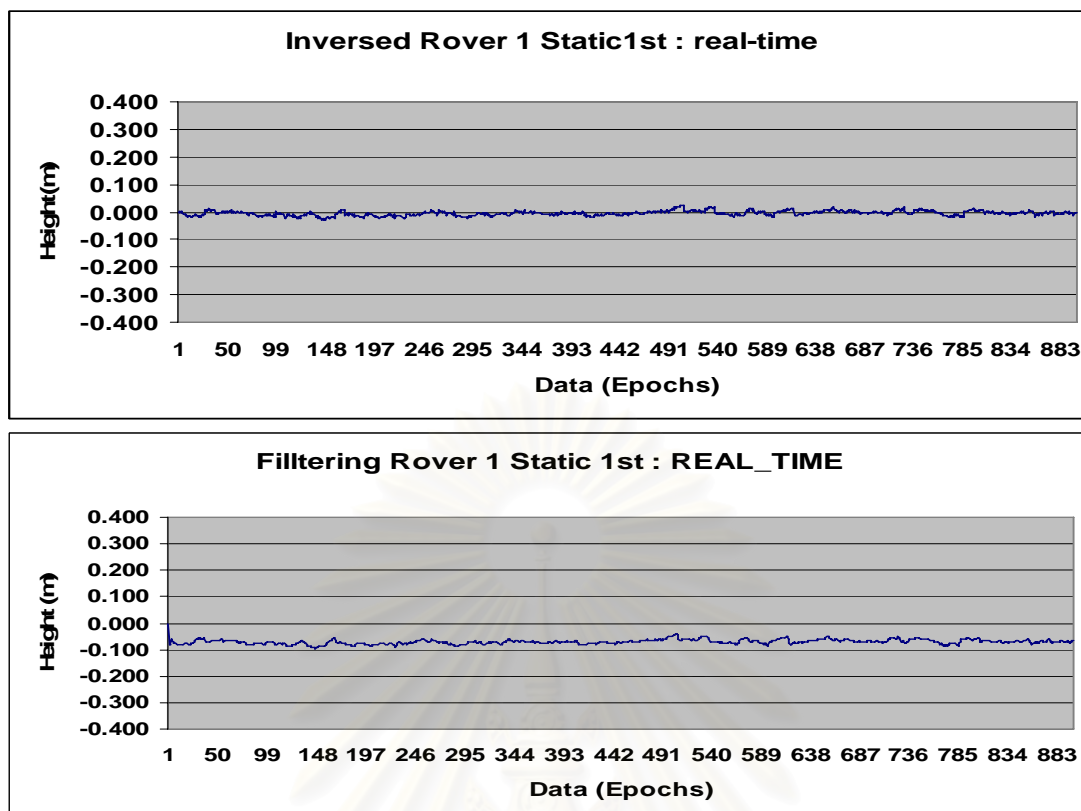
วิธีการ Inversed RTK	ข้อมูล Real-time	ค่าทางสถิติ (m)															
		แบบจำลองอยู่นิ่งครั้งที่ 1				แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ชม.				แบบจำลองอยู่นิ่งครั้งที่ 2				แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 ชม.			
		Max	Min	Range	SD.	Max	Min	Range	SD.	Max	Min	Range	SD.	Max	Min	Range	SD.
Rover 1	Real-time	0.025	-0.031	0.056	0.009	0.123	-0.489	0.612	0.117	0.043	-0.039	0.082	0.014	1.796	-0.459	2.255	0.250
	Post-processing	0.022	-0.020	0.042	0.007	0.069	-0.090	0.159	0.051	0.037	-0.026	0.063	0.011	0.226	-0.032	0.258	0.081
Rover 2	Real-time	0.015	-0.037	0.052	0.009	0.257	-0.299	0.556	0.117	0.055	-0.023	0.078	0.013	0.149	-1.416	1.564	0.225
	Post-processing	0.020	-0.029	0.049	0.008	0.014	-0.150	0.164	0.052	0.038	-0.022	0.060	0.010	0.048	-0.217	0.265	0.082
Rover 3	Real-time	0.023	-0.030	0.053	0.009	0.273	0.237	0.510	0.115	0.032	-0.041	0.073	0.012	0.300	-0.555	0.855	0.183
	Post-processing	0.026	-0.072	0.098	0.008	0.131	-0.026	0.158	0.052	0.040	-0.014	0.054	0.009	0.152	-0.110	0.262	0.082



รูปที่ 4.32 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางคิ่งที่ตรวจจับได้อย่างต่อเนื่อง จากจุดสถานีจรวดที่ 1

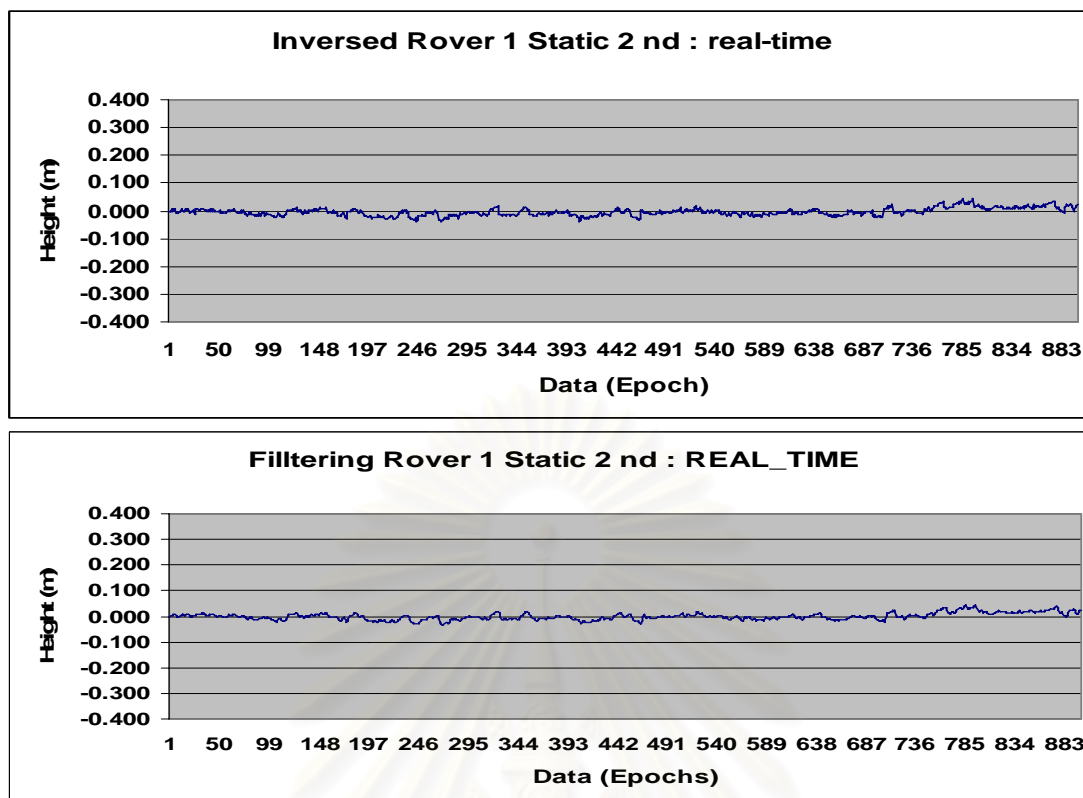
แบบ Real-time แบบ Wavelets filtering และ Post-processing

จากรูปที่ 4.32 พบว่าจากข้อมูลแบบ Real-time ที่เครื่องรับจุดสถานีจรวดตรวจจับได้เมื่อนำมากรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets ผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการนำข้อมูลมาทำการ Post-processing จะเห็นได้ชัดเจนว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing จะให้ค่าพิสัยที่ใกล้เคียงค่าการเคลื่อนตัวทางคิ่งของแบบจำลองซึ่งในที่นี้ก็คือ 0.10 และ 0.20 เมตร



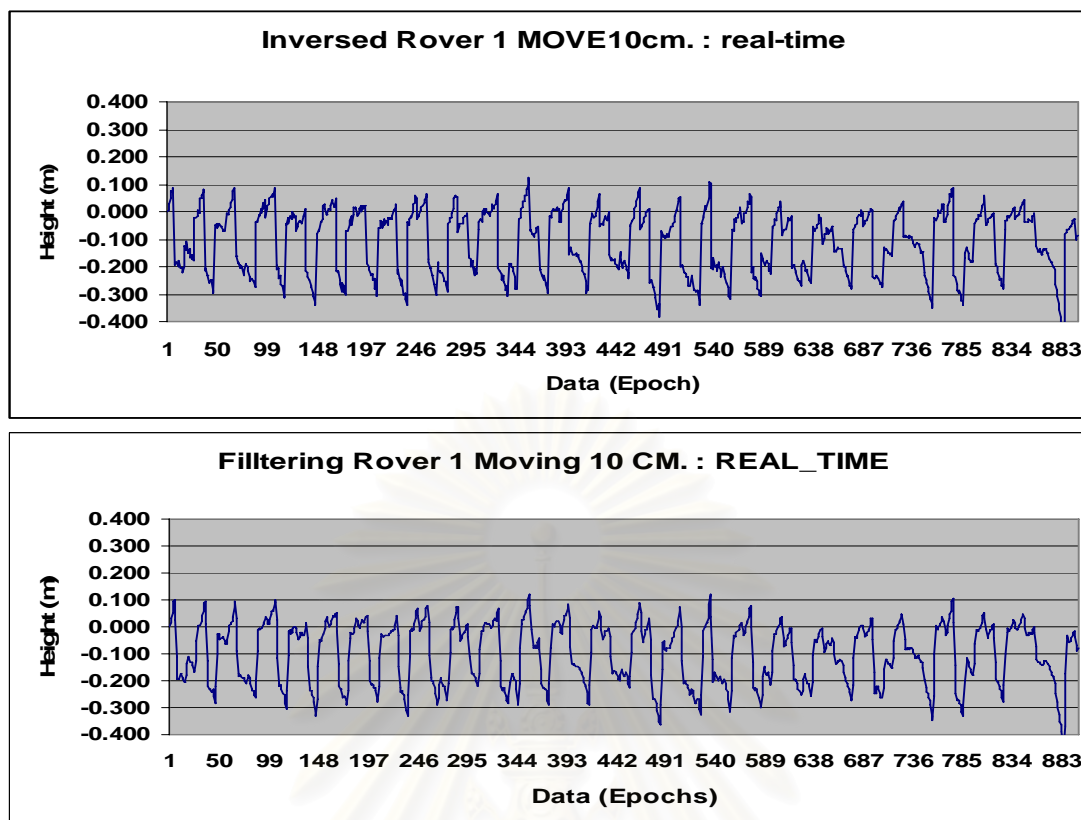
รูปที่ 4.33 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time และ Wavelets filltering ในขณะที่ยานจอดอยู่กับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4

จากรูปที่ 4.33 เป็นรูปแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real-time ของแบบจำลองเมื่ออยู่กับที่ ครั้งที่ 1 จากจุดสถานีจรที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติจากตารางที่ 4.4(ก) พบว่า ค่าพิสัยก่อนการกรองสัญญาณมีขนาด 0.056 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.009 เมตร ส่วนค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real-time ในขณะที่ยานจอดอยู่กับที่ครั้งที่ 1 ผ่านการกรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets มีค่าพิสัยขนาด 0.095 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.009 เมตร และจากรูปที่ 4.34 เป็นรูปแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real-time ของแบบจำลองอยู่กับที่ครั้งที่ 2 จากจุดสถานีจรที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ จากตารางที่ 4.4(ก) พบว่า ค่าพิสัยก่อนการกรองสัญญาณมีขนาด 0.082 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.014 เมตร ส่วนค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real-time ในขณะที่ยานจอดอยู่กับที่ครั้งที่ 2 เมื่อผ่านการกรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets มีค่าพิสัยขนาด 0.077 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.013 เมตร



รูปที่ 4.34 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time และ Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4

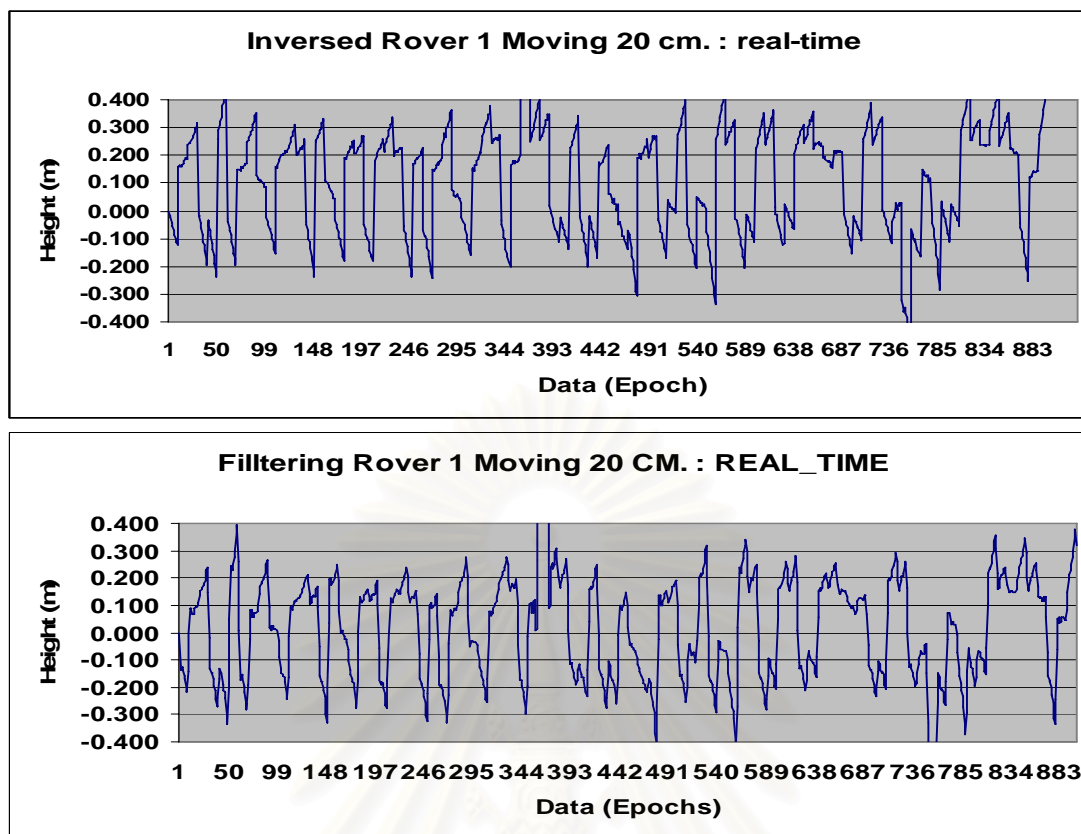
ซึ่งจากผลการทดลองดังรูปที่ 4.33 และ 4.34 ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ แสดงให้เห็นว่าวิธีการ wavelets ที่เราใช้ในการกรองสัญญาณสามารถกรองข้อมูลซึ่งมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ให้มีความถูกต้องได้ใกล้เคียงกับข้อมูลแบบ Real-time



รูปที่ 4.35 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time และ Wavelets filtering ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 10 เซนติเมตร ของสถานีจอร์ 1 ในการทดลองที่ 4

จากรูปที่ 4.35 เป็นรูปแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real-time ของแบบจำลองเมื่อมีการเคลื่อนตัว 0.10 เมตร จากจุดสถานีจอร์ที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติจากตารางที่ 4.4(ก) พบว่า ค่าพิสัยก่อนการกรองสัญญาณมีขนาด 0.612 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.117 เมตร ส่วนค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real-time เมื่อผ่านการกรองสัญญาณด้วยวิธี wavelets มีค่าพิสัยขนาด 0.593 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.114 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

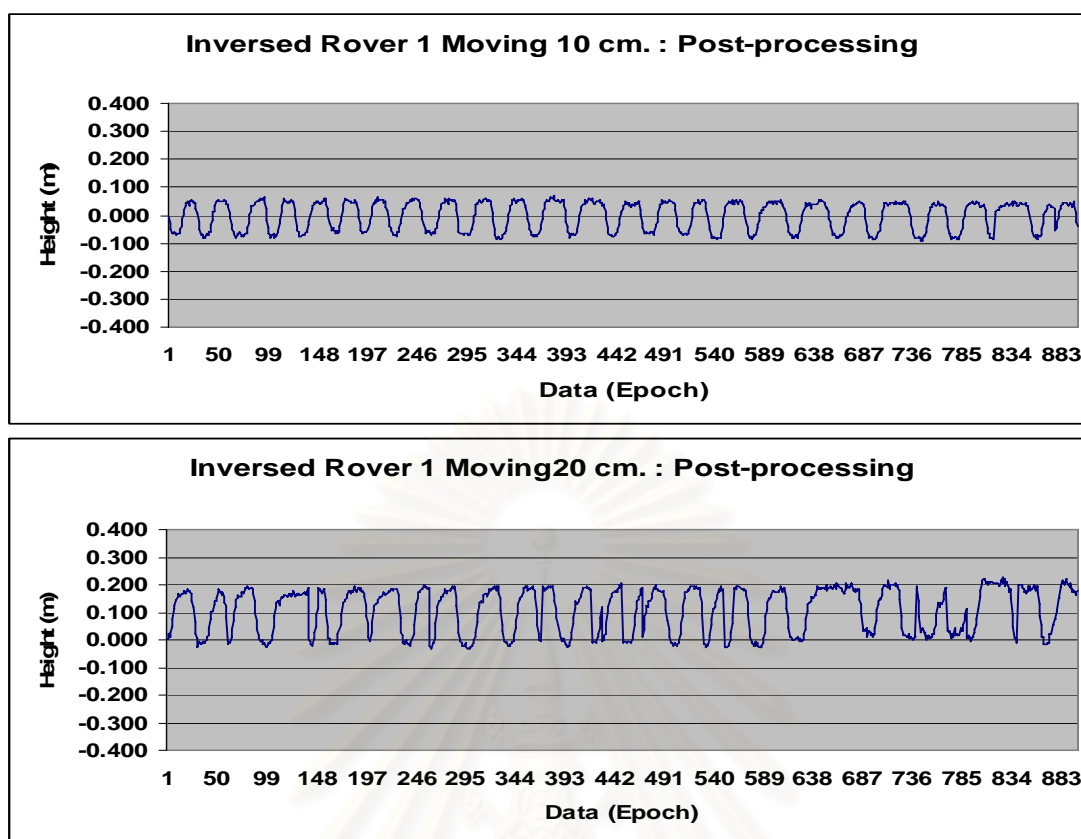


รูปที่ 4.36 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time และ Wavelets filtering ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4

จากรูปที่ 4.36 เป็นรูปแสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real-time ของแบบจำลอง เมื่อมีการเคลื่อนตัว 0.20 เมตร จากจุดสถานีจรที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ จากตารางที่ 4.4(ก) พบว่า ค่าพิสัยก่อนกรองสัญญาณ มีขนาด 2.255 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.250 เมตร ส่วนค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real-time เมื่อผ่านการกรองสัญญาณด้วยวิธี wavelets มีค่าพิสัยขนาด 2.292 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.245 เมตร

ซึ่งจากผลการทดลองจากรูปที่ 4.35 และ 4.36 แสดงให้เห็นว่า การนำข้อมูลความสูงที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับแบบ Real-time มากรองสัญญาณด้วยวิธี wavelets พบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานภายหลังจากการกรองสัญญาณจะได้ค่าผลลัพธ์ที่ดีขึ้น แต่ความถูกต้องทางดิ่งที่ได้ยังแฝงด้วยค่าคลาดเคลื่อนอยู่มาก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลดิบจากจุดสถานีจรที่ 1 เมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนตัว 0.10 เมตร และ 0.20 เมตร มาทำการ Post-processing ดังรูปที่ 4.37 พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าพิสัยขนาด 0.159 และ 0.258 เมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.051 และ 0.087 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.37 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง 10 และ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 1

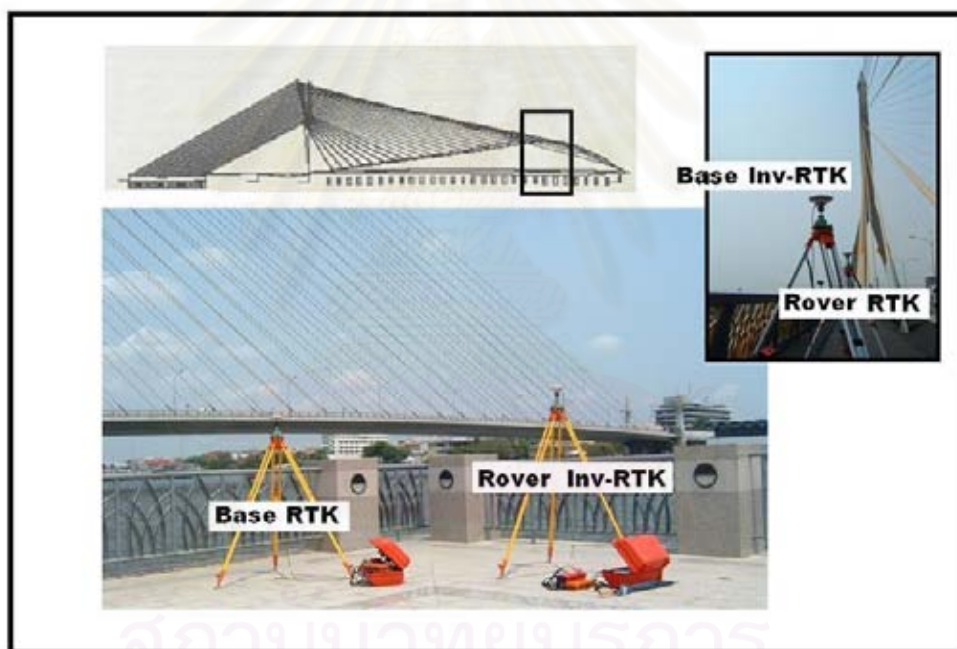
ในการทดลองที่ 4

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้ แสดงรูปภาพที่ได้ทำการแบ่งไว้เป็นช่วง คือ เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1 แบบจำลองมีการเคลื่อนที่ 0.10 เมตร แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 และแบบจำลองมีการเคลื่อนที่ 0.20 เมตร โดยการแยกพิจารณาเป็น 3 รูปแบบก็คือ ข้อมูล Real-time ข้อมูลที่ผ่านการกรองสัญญาณด้วยวิธี wavelets และข้อมูลที่ทำกร Post-processing สามารถดูรูปภาพ ได้ที่ภาคผนวก ข สำหรับค่าทางสถิติสามารถดูประกอบได้ในตารางที่ 4.4(ข) ซึ่ง จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า การนำวิธี wavelets มากรองสัญญาณ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ทำให้ข้อมูลที่ผ่านการกรองสัญญาณ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ดีขึ้นเท่านั้น แต่ยังไม่ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่แม่นยำเหมือนเดิม แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่า ไม่ได้หมายความว่า ข้อมูลที่ตรวจจับได้นั้นจะมีค่าดีกว่า ข้อมูลที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าเสมอไป เราต้องพิจารณาค่าพิสัย ประกอบการตัดสินใจด้วย ซึ่ง สาเหตุที่นั่นเกิดจากวิธีการในการคำนวณของวิธี RTK จะไม่รองรับวิธี Inversed RTK ในกรณีนี้จุดสถานีฐานมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ดังผลการสรุปในการทดลองที่ 3 ดังนั้นหากต้องการนำข้อมูลการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากวิธีการ Inversed RTK มาใช้ควรนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ก่อน และข้อสรุปอีกข้อที่ได้จากการทดลองนี้ก็คือ แสดงให้เห็น ข้อดีของวิธีการ Inversed RTK ในการได้มา

ซึ่งข้อมูลการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากจุดสถานีฐาน 1 จุด แล้วสามารถตรวจจับเห็นค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสถานีฐาน จากจุดสถานีจรทั้ง 3 แห่งได้

4.5 การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8

การทดลองที่ 5 นี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองที่สะพานพระราม 8 เมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2550 ณ สะพานพระราม 8 โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบ 2 ความถี่ ยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 จำนวน 4 เครื่อง โดยแยกใช้อัตราความถี่ในการบันทึกข้อมูล 10 Hz ซึ่งในการทดลองนี้ เราได้ทำการตั้งจุดสถานีจรของวิธี RTK และจุดสถานีฐานของวิธี Inversed RTK บนขาตั้งกล้องที่ระยะ 80 เมตรจากฝั่งพระนคร บริเวณทางเท้าบนตัวสะพานพระราม 8 และทำการตั้งจุดสถานีฐานของวิธี RTK และจุดสถานีจรของวิธี Inversed RTK บนขาตั้งกล้อง บริเวณลานโล่ง ด้านข้างสะพานพระราม 8 ฝั่งธนบุรี ดังรูปที่ 4.38

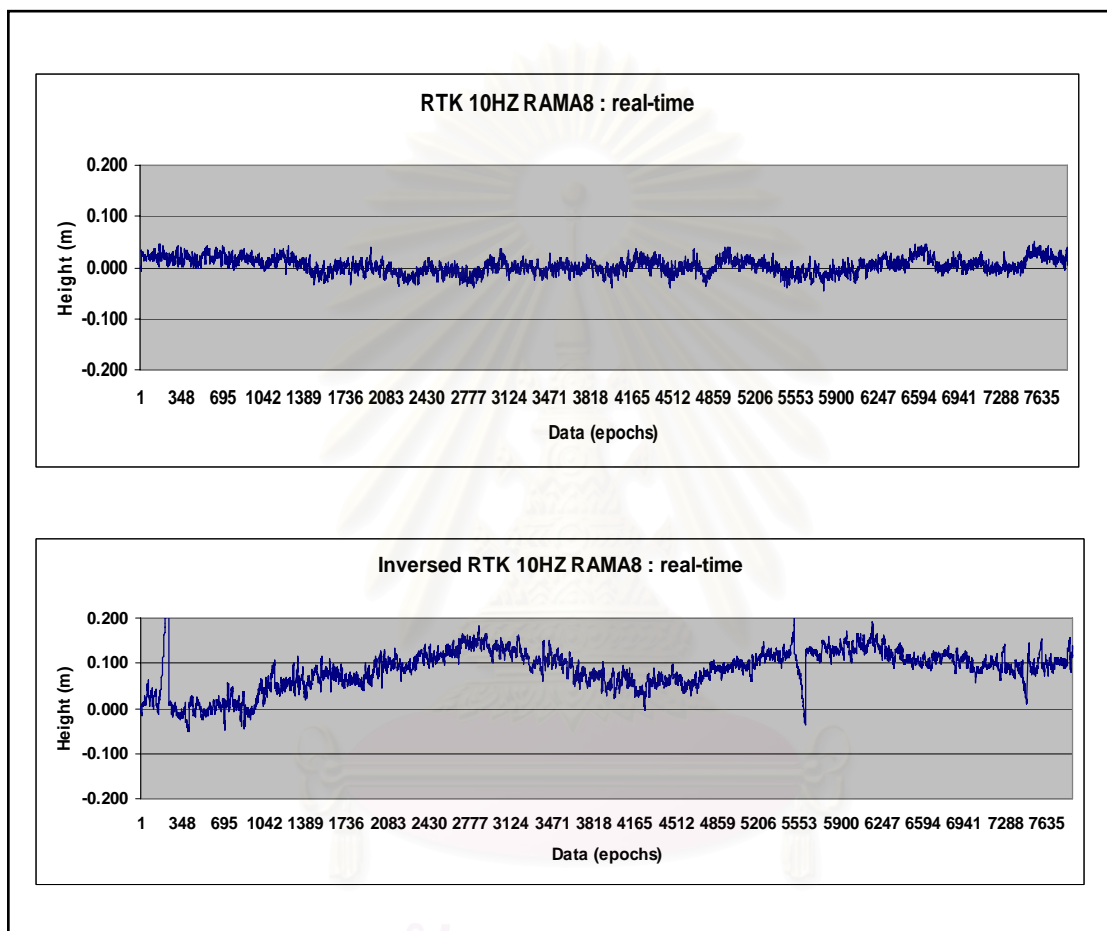


รูปที่ 4.38 แสดงการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK

ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8

การทดลองนี้ ผู้วิจัยต้องการที่จะทดสอบความสามารถของวิธี RTK และ Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8 เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.39 ซึ่งเป็นข้อมูลแบบ Real-time พบว่า ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากวิธี Inversed RTK นั้นยังมีค่าคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ และเมื่อพิจารณาค่าทางสถิติดังตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าพิสัย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธี Inversed RTK มีขนาดเท่ากับ 0.407 และ 0.045 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางสถิติของวิธี RTK มีขนาดเท่ากับ 0.095 และ 0.015 เมตร ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากวิธี RTK แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 3 ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ จากการทดลองที่

ผ่านมานั้นพบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบที่สะพานพระราม 8 นี้ มีค่าที่สูงกว่าค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ (0.008 เมตร) แต่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ ต่ำกว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนที่ 0.10 เมตร (0.014 เมตร) แสดงให้เห็นว่า วิธี RTK สามารถตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8 ได้จริง แต่ค่าที่ตรวจจับได้นั้นไม่ สามารถบอกได้ว่ามีค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งเท่าไร บอกได้เพียงว่ามีการเคลื่อนตัวทางดิ่งไม่เกิน 0.10 เมตร



รูปที่ 4.39 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real time ของวิธี RTK และInversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8

จากข้อมูลทางสถิติของวิธี RTK ดังตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อเรานำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ค่าพิสัยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีขนาดลดลง และเมื่อนำข้อมูลจากการ Post-processing มาทำการกรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets ค่าพิสัย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.083 และ 0.013 เมตร ตามลำดับ และจากข้อมูลทางสถิติของวิธี Inversed RTK ดังตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อเรานำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ค่าพิสัย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีขนาด

ลดลง และเมื่อนำข้อมูลจากการ Post-processing มาทำการกรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets ค่าพิสัย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.210 และ 0.045 เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าทางสถิติการทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลแบบ Real-time แบบ Post-processing และแบบ Wavelets filtering จากวิธีการ RTK และ Inversed RTK บนสะพานพระราม 8

วิธีการ	ข้อมูล	ค่าทางสถิติ (ม.)			
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าพิสัย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
RTK	Real-time	-0.044	0.051	0.095	0.015
	Post-processing	-0.060	0.034	0.094	0.014
	Wavelets filtering	-0.052	0.031	0.083	0.013
Inversed RTK	Real-time	-0.051	0.356	0.407	0.095
	Post-processing	-0.055	0.166	0.222	0.046
	Wavelets filtering	-0.078	0.132	0.210	0.045

เช่นเดียวกับวิธี Inversed RTK ซึ่งมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.045 เมตร ก็อยู่ในช่วงที่แบบจำลองอยู่นิ่ง (0.009 เมตร) และแบบจำลองมีการเคลื่อนที่ 0.10 เมตร (0.099 เมตร) แสดงว่าวิธี Inversed RTK สามารถตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8 ได้จริง แต่ค่าที่ตรวจจับได้นั้นไม่สามารถบอกได้ว่ามีค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งเท่าไร บอกได้แต่เพียงว่า มีการเคลื่อนตัวทางดิ่งไม่เกิน 0.10 เมตร

เพื่อเป็นการหาข้อสรุปในการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK และ RTK ในการตรวจสอบการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8 ผู้วิจัยจะนำข้อมูลดิบที่ได้จากวิธี Inversed RTK และ RTK ไปทำการ Post-processing แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปทำการกรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets และวิเคราะห์ค่าทางสถิติต่อไป

ผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าวิธีการ Inversed RTK นั้น สามารถตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งได้ แต่ข้อมูลแบบ Real-time ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่ง เพราะจากค่าทางสถิติดังตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการนำข้อมูลดิบที่ได้มาทำการ Post-processing แล้วก็นำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการ Post-processing มากรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets ดูรูปภาพได้ที่ภาคผนวก ค ค่าผลลัพธ์ที่ได้ก็ยังคงมีค่าคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ ซึ่งเป็นผลมาจากวิธีการในการประมวลผลของเครื่องรับเอง เมื่อจุดสถานีฐานเกิดการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ดังนั้นวิธี Inversed RTK นี้ สามารถแสดงให้เห็นทราบว่า จุดสถานีฐานนั้นเกิดการเคลื่อนตัวจริงแต่ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจะไม่สามารถบอกค่าได้ บอกได้แต่เพียงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งนั้นมีขนาดไม่เกิน 0.10 เมตร วิธีการ RTK ก็ได้ข้อสรุปเช่นเดียวกัน คือ บอกได้ว่าสะพานมีการเคลื่อนตัวจริง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

หลังจากวิเคราะห์ผลการทดสอบวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม สำหรับการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลอง เพื่อให้ได้ค่าพิกัดทางดิ่ง ทำให้เกิดแนวคิดในการทดสอบการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8 ด้วยวิธีที่ให้ค่าความน่าเชื่อถือที่ยอมรับได้ ในบทนี้จึงเป็นการกล่าวถึงบทสรุป และค่าทางสถิติของการทดสอบในรูปแบบต่าง ๆ วิธีการทดสอบหาการเคลื่อนตัว และค่าพิกัดทางดิ่งของโครงสร้างสะพานพระราม 8

5.1. สรุปผลการวิจัย

5.1.1. การทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยใช้แบบจำลองชุดเก่า

การทดลองที่ 1 เป็นการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือ เมื่อแบบทดลองอยู่นิ่งกับที่ และแบบทดลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ผลที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าพิสัยที่ได้ในขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนที่ มีค่าไม่สอดคล้องกับความสูงที่เกิดขึ้นจริงของแบบจำลอง ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่ง มีค่าที่เป็นไปตามทฤษฎีของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งในการประมวลผลเส้นฐานด้วยเครื่องรับแบบ 2 ความถี่ ได้บ่งบอกไว้คือ 10 mm. + 1 ppm แต่เมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่งส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้อย่างชัดเจน

5.1.2. การทดสอบเปรียบเทียบวิธี RTK กับวิธี Inversed RTK กับเครื่องวัดระยะเลเซอร์

การทดลองที่ 2 เป็นการทดสอบด้วยวิธี RTK เปรียบเทียบกับเครื่องวัดระยะเลเซอร์ วิธีการทดสอบจะเป็นการหาค่าความสูงที่ตรวจจับได้ของวิธี RTK , วิธี Inversed RTK และการใช้เครื่องวัดระยะเลเซอร์ โดยแต่ละวิธีจะทำการทดสอบ 4 ครั้ง ได้แก่ แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ 2 ครั้ง แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 ซม. และ 20 ซม. ผลที่ได้จากการทดลอง คือ วิธี RTK จะให้ค่าพิสัยที่ใกล้เคียงกับเครื่องวัดระยะเลเซอร์ มากกว่าวิธี Inversed RTK เนื่องจากเราสามารถควบคุมค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งได้ จึงทำให้พบว่าวิธี Inversed RTK มีค่าความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่แฝงอยู่

5.1.3. การทดสอบเปรียบเทียบผลที่ได้จาก Real-time และ Post-process ทั้งวิธี RTK และ Inversed RTK

การทดลองที่ 3 เป็นการทดสอบด้วยวิธี RTK เปรียบเทียบกับวิธี Inversed RTK โดยจะนำข้อมูล Real-time และใช้ข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ของวิธีการทั้ง 2 มาใช้ในการพิจารณา โดยในที่นี้จะทำการแยกผลการทดลองออกเป็น เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่ง และแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ผลที่ได้จากการทดลอง คือ การเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบนับปล้นของจุดสถานีฐาน ซึ่งติดตั้งอยู่บนแบบจำลอง มีผลต่อวิธีการที่ใช้ในการประมวลผลตำแหน่งของตัวสถานีฐานเอง ดังนั้นการนำวิธี Inversed RTK ไปตรวจสอบการเคลื่อนตัวทางดิ่งอย่างนับปล้น ควรใช้ข้อมูลดิบมาทำ Post-processing จะทำให้ผลลัพธ์ของวิธี Inversed RTK มีความน่าเชื่อถือใกล้เคียงกับวิธี RTK

5.1.4. การทดสอบความสามารถของวิธีการ Inversed RTK เมื่อมีสถานีจร 3 จุด

การทดลองที่ 4 เป็นการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK เมื่อมีสถานีจร 3 จุด โดยในที่นี้จะทำการแยกผลการทดลองออกเป็น เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่ง และแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ผลที่ได้จากการทดลอง คือการนำข้อมูลข้อมูลดิบมาทำ Post-processing จะให้ค่าผลลัพธ์ ที่ใกล้เคียงกับค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจริงและให้ค่าที่น่าเชื่อถือมากกว่าการนำข้อมูลแบบ Real-time มาทำการกรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ดีขึ้น แต่ค่าพิสัยที่ได้ยังแฝงด้วยความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ ดังนั้นหากต้องการนำข้อมูลการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากวิธีการ Inversed RTK มาใช้ควรนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ก่อนและข้อสรุปอีกข้อที่ได้จากการทดลองนี้ก็คือ แสดงให้เห็นข้อดีของวิธี Inversed RTK ในการได้มาซึ่งข้อมูลการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากจุดสถานีฐาน 1 จุด แล้วสามารถตรวจจับเห็นค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสถานีฐาน จากจุดสถานีจรทั้ง 3 แห่งได้

5.1.5. การทดสอบความสามารถของวิธีการ Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8

การทดลองที่ 5 เป็นการทดสอบวิธี RTK เปรียบเทียบกับวิธี Inversed RTK มีลักษณะการทดสอบคล้ายกับวิธีการทดลองที่ 3 และการทดลองที่ 4 โดยจะนำข้อมูล Real-time และใช้ข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ Post-processing มาทำการกรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets เพราะผลลัพธ์ที่ได้จากการกรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets ก็คือข้อมูลที่ผ่านการกรองสัญญาณไม่ว่าจะเป็นข้อมูลแบบ real-time หรือ ข้อมูลแบบ post-processing จะให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ดีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า noise ที่เราได้จากการกรองสัญญาณ

จะทำให้ค่าความสูงที่ตรวจจับได้ เมื่อผ่านการกรองสัญญาณมีการเกาะกลุ่มกันของข้อมูลที่ดีขึ้นเท่านั้น (ดูตารางที่ 4.4 (ก)) แต่รูปกราฟของการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ผ่านการกรองสัญญาณยังมีรูปแบบการเคลื่อนตัวทางดิ่งของรูปกราฟที่คล้ายคลึงกับสัญญาณก่อนกรอง ดังนั้นในการทดลองที่ 5 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบจริงที่สะพานพระราม 8 จึงได้นำข้อมูลดิบจากวิธีการ RTK และ Inversed RTK มาทำการ Post-processing ด้วยซอฟต์แวร์ SKI-PRO ก่อนจะนำไปกรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets เพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์การเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ดีที่สุด ผลที่ได้จากการทดลองก็คือผลลัพธ์แบบ Real-time ที่ได้จากวิธี Inversed RTK ไม่เหมาะสม ที่จะใช้ในการเฝ้าระวังการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8 สาเหตุมาจากการประมวลผลของจุดสถานีฐานซึ่งทำงานอยู่บนพื้นฐานของวิธี Kinematic Survey นั้นไม่รองรับการทำงานในขณะที่จุดสถานีฐานในวิธี Inversed RTK มีการเคลื่อนตัวทางดิ่งเกิดขึ้น

5.2. ปัญหา และข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่พบจากการทำการทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งก็คือ

- 1) การตั้งค่าช่องสัญญาณวิทยุของวิธี RTK และ Inversed RTK นั้นต้องใช้คนละช่องสัญญาณกัน เมื่อทำการทดสอบพร้อมกันทั้งสองวิธี
- 2) ควรทำการล้างข้อมูล ที่ไม่จำเป็นในแผ่นการ์ดบันทึกข้อมูล ของเครื่องรับสัญญาณ เพราะ ถ้าใช้อัตราความถี่ในการบันทึกข้อมูลในระดับ 10 Hz จำนวนข้อมูลจะมีมาก จนทำให้หน่วยความจำในการ์ดบันทึกเต็มได้
- 3) ในการบันทึกข้อมูลลงในการ์ดความจำ ในเครื่องรับควรเลือกทำการบันทึกทั้งข้อมูลแบบ real-time และข้อมูลดิบที่รีจิสเตอร์ได้จากดาวเทียมจีพีเอส
- 4) ควรวางแผนการทำงานก่อนว่าวันที่จะทำการทดลองนั้น มีช่วงเวลาใดบ้างที่มีจำนวนดาวเทียมที่ดีที่สุด
- 5) การเคลื่อนที่ของแบบจำลองในทางดิ่งเกิดจากใช้แรงคนยก ดังนั้นหากสามารถควบคุมความถี่ในการยกขึ้นลง และความสูงในการยกแบบจำลองขึ้นลงได้ ซึ่งอาจจะใช้แบบจำลองที่มีมอเตอร์หรือวงจรควบคุมความถี่ และ ความสูงในการยกขึ้นลง ผลลัพธ์ ที่ได้คงจะให้ค่าเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้และค่าทางสถิติที่น่าเชื่อถือได้กว่านี้

สำหรับข้อเสนอแนะก็คือ การทดลองทดสอบความสามารถของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางราบ โดยอาจจะทดสอบ โดยให้จุดสถานีฐานของ Inversed RTK เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง หรือ เคลื่อนที่เป็นวงกลม เพื่อทดสอบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองเคลื่อนตัวทางราบนั้นจะให้ผลลัพธ์เหมือนกันหรือดีกว่าในขณะที่แบบจำลองของวิธี Inversed RTK เคลื่อนตัวทางดิ่ง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กวีรัตน์ ศีประเสริฐวงศ์. 2547. เกร็ดความรู้บางประการในการออกแบบสะพานพระราม 8. สารสภากวีศวก. (พฤศจิกายน – ธันวาคม 2547) :4-5.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2546. การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสเบื้องต้น. กรุงเทพฯ:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. 2538. เอกสารประกอบการฝึกอบรม การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS. (มปท.), (อัครานา)

ภาษาอังกฤษ

- Ashkenazi, V., H. Dodson, T. Moore & G.W. Roberts. 1997. Monitoring the movements of bridges by GPS. 10th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation. Kansas City, Missouri, 16-19 September, 1165-1172.
- Chui , C.K.1992. An Introduction to Wavelets . Academic Press , Inc .,Boston.
- Cosser,E. , G.W.Roberts.,X.Meng and A.H.Dodson.2004. Single frequency GPS for Bridges Deflection Monitoring;progress and results. 1st FIG Internation Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering. 28 June – 1 July , Nottingham , England.
- Guo, J., & S. Ge.1997. Research of displacement and frequency of tall building under wind loading using GPS. 10th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation. Kansas City, Missouri, 16-19 September, 1385-1388.
- Irvine , T. 1999. The TACOMA Narrows Bridge Failure Revision A , 29 December .
- Lamberts , M .,and Santerre ,R., Speed Check Performance Monitoring with RTK GPS . GPS World. 15 (February 2004) :14-23.
- Lovse, J., W.F. Teskey, G. Lachapelle & M.E. Cannon.1995.Dynamic deformation monitoring of tall structures using GPS technology. Journal of Surveying Engineering. 121(1), 35-40..
- Rizos, C.1997. Principles and practice of GPS surveying. Monograph 17, School of surveying and Spatial information system, The University of New South Wales, 555pp.

- Roberts,G.W.,X.Meng ., and A .H.Dodson. 2000. The Use of Kinimatic GPS and Triaxial Accelerometers to Monitor the Deflection of Large Bridges. 10th Symposium on Deformation Measurements. Int. Federation of Surveyors. Commission6 - Engineering Surveys, Working Crop 6.1 ,Orange, California, USA 19-22 March 2001.
- Roberts,G.W.,X.Meng ., E.Cosser.,and A .H.Dodson. 2004. High Frequency Deflection Monitoring of Bridges by GPS. The 2004 International Symposium on GNSS/GPS. 6-8 December ,Sydney , Australia.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



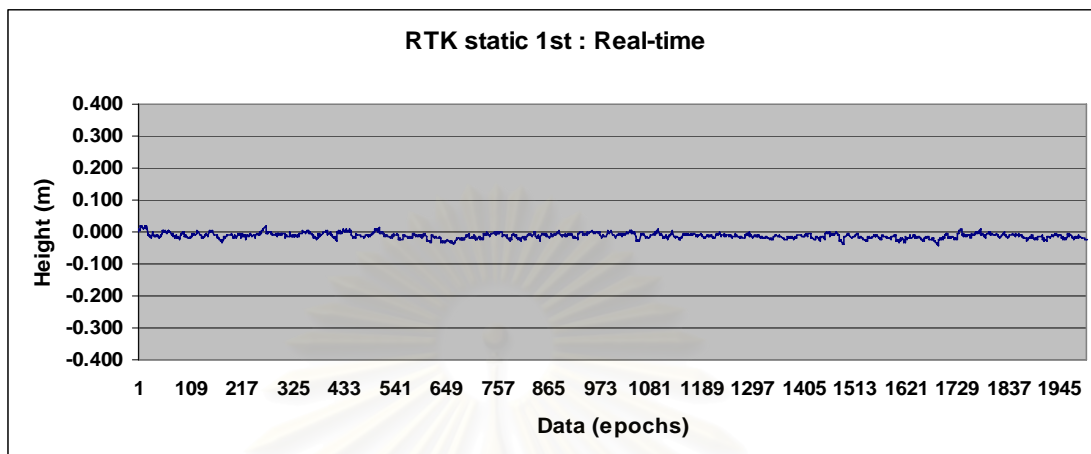
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

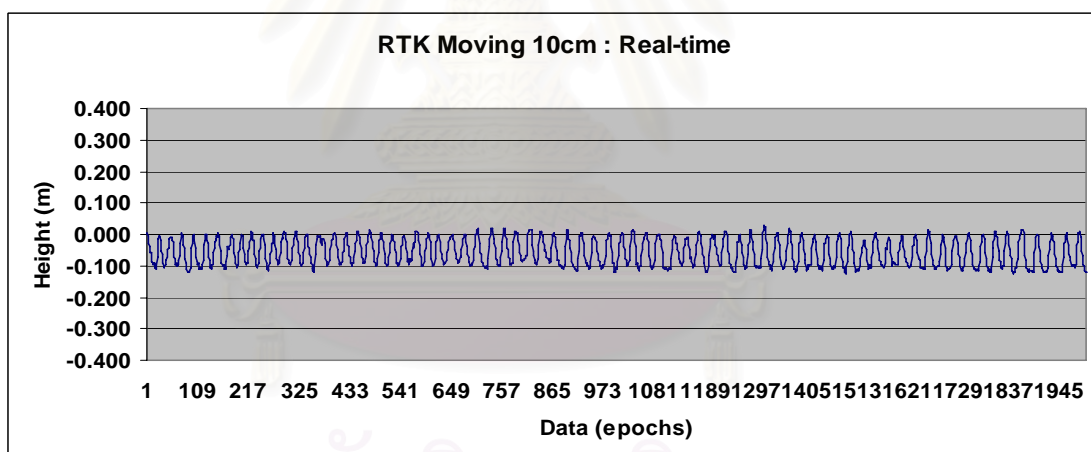


ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

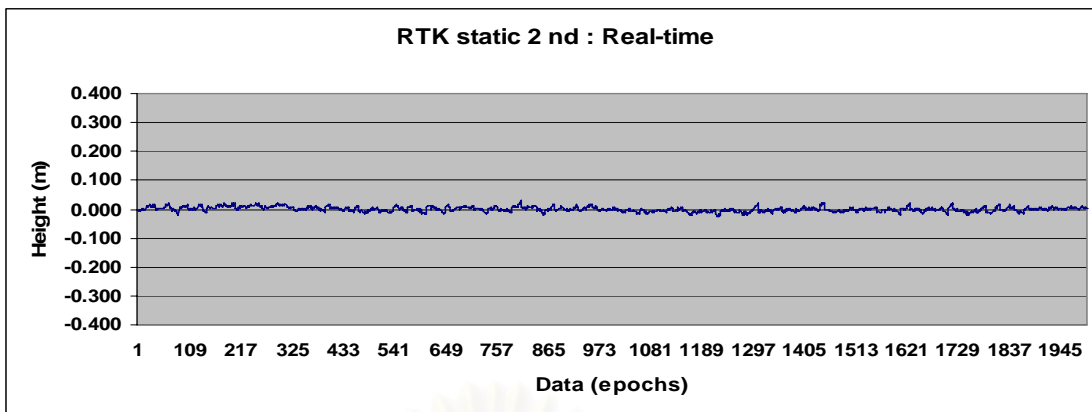


รูปที่ ก1 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1 ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3

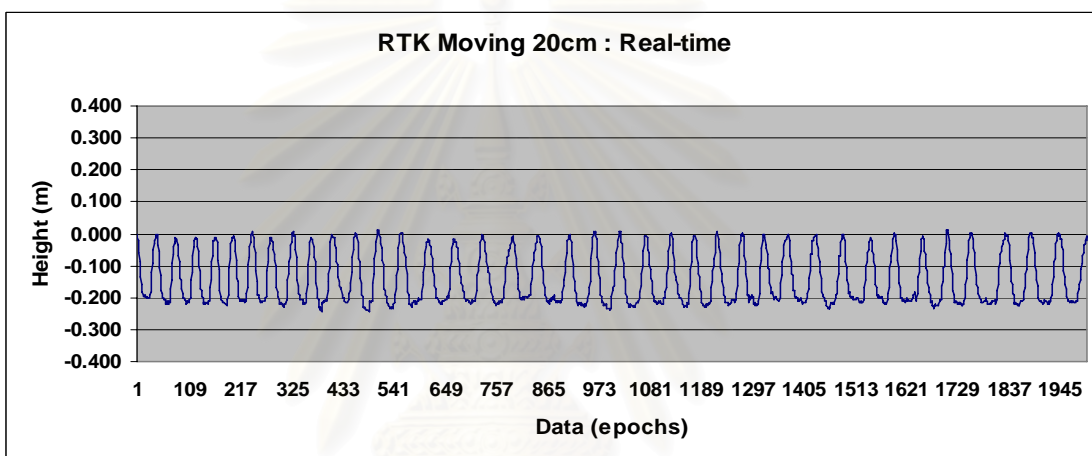


รูปที่ ก2 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3

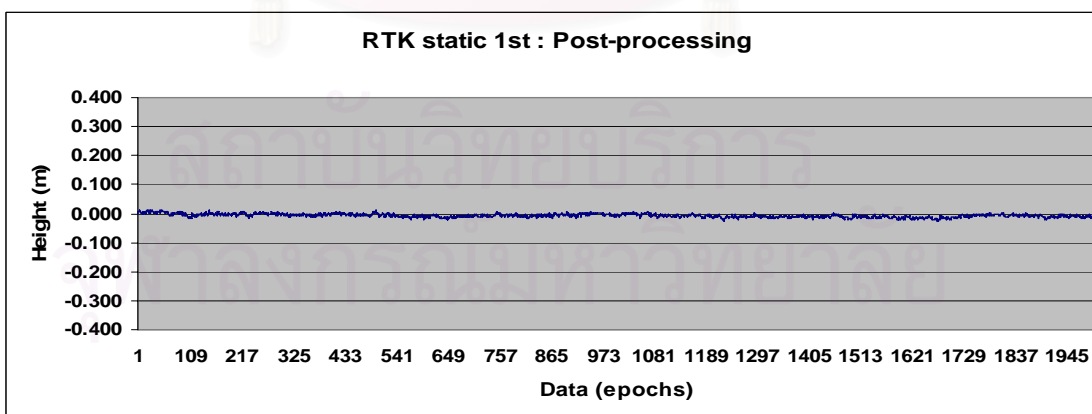
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



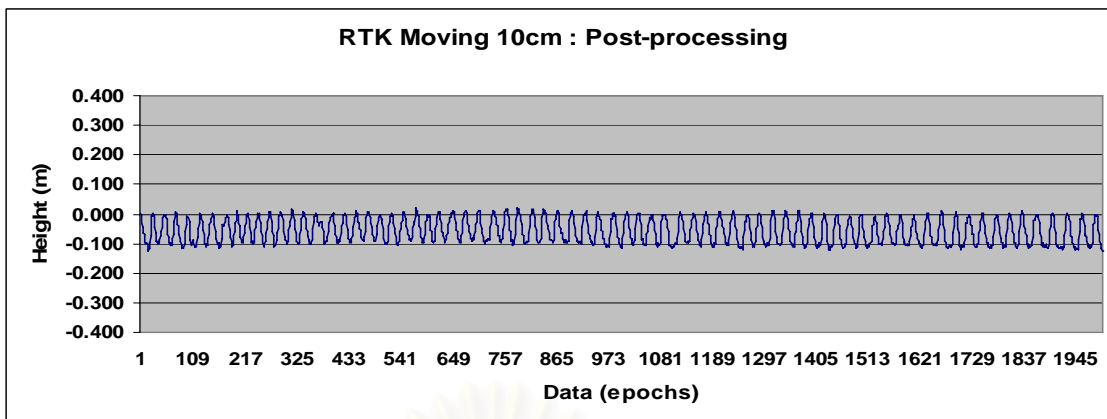
รูปที่ ก3 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่2 ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3



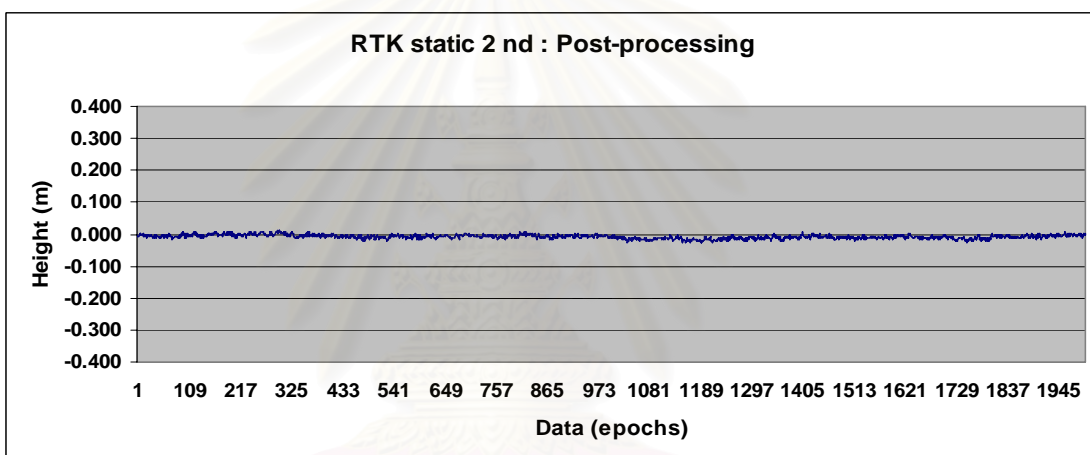
รูปที่ ก4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3



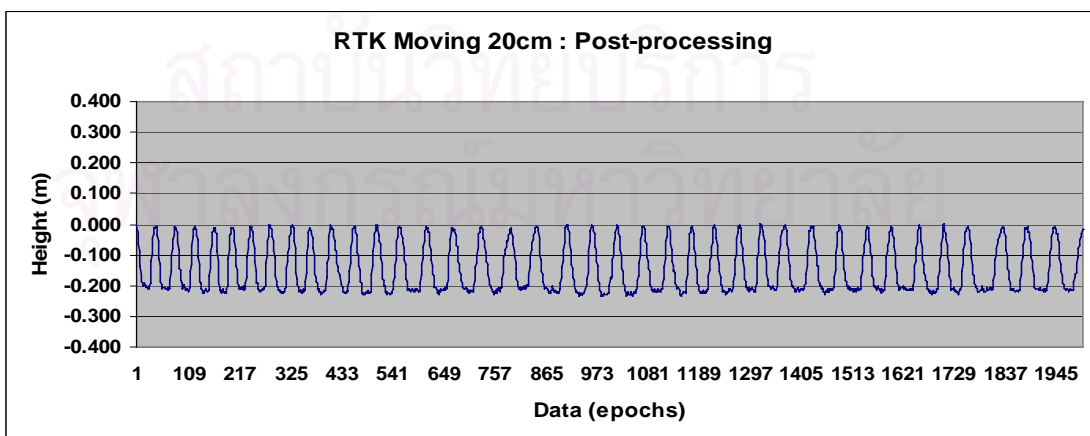
รูปที่ ก5 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่1 ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3



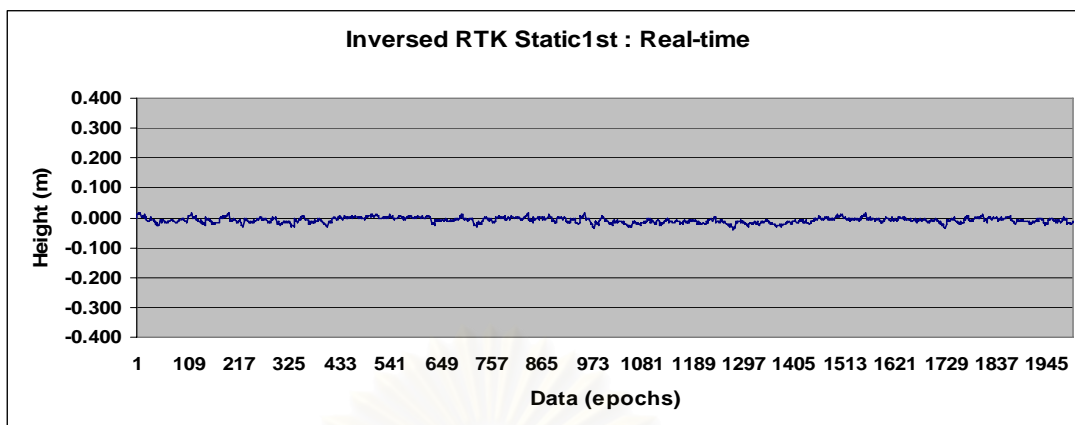
รูปที่ ก6 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3



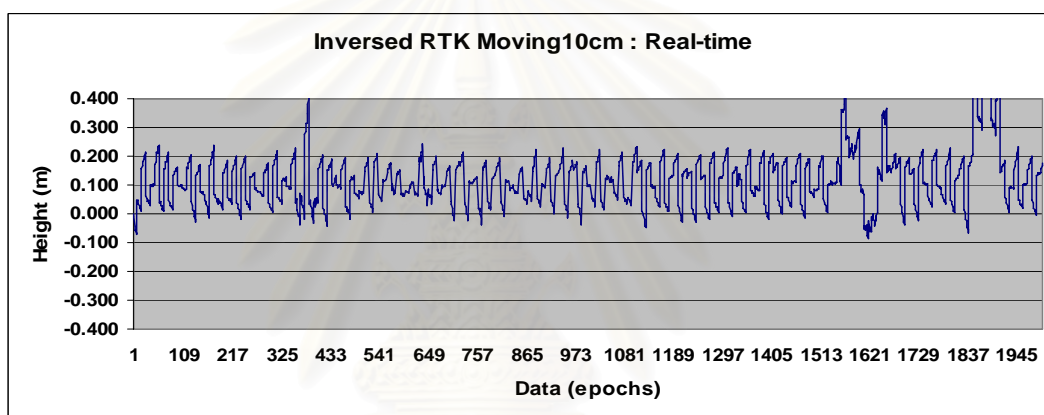
รูปที่ ก7 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 2 ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3



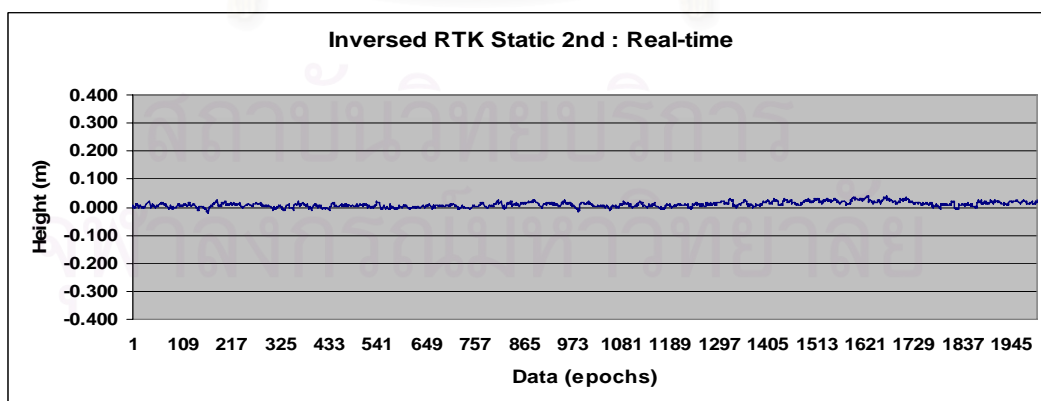
รูปที่ ก8 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3



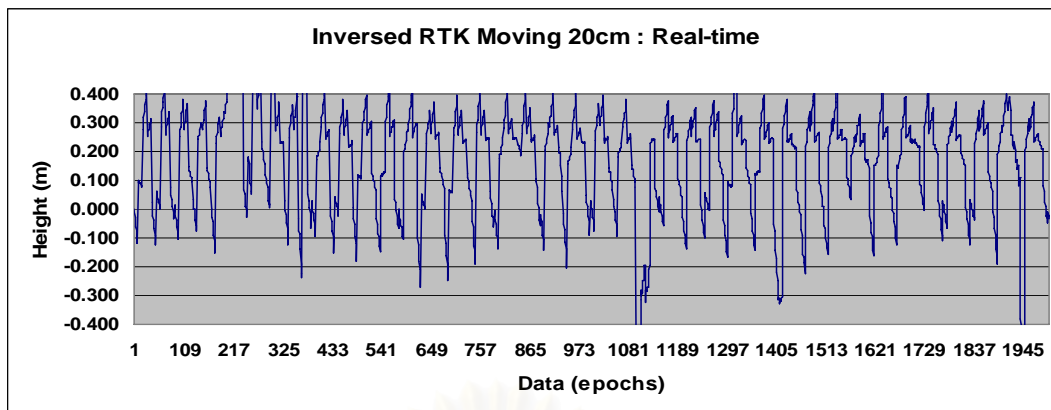
รูปที่ ก9 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1 ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3



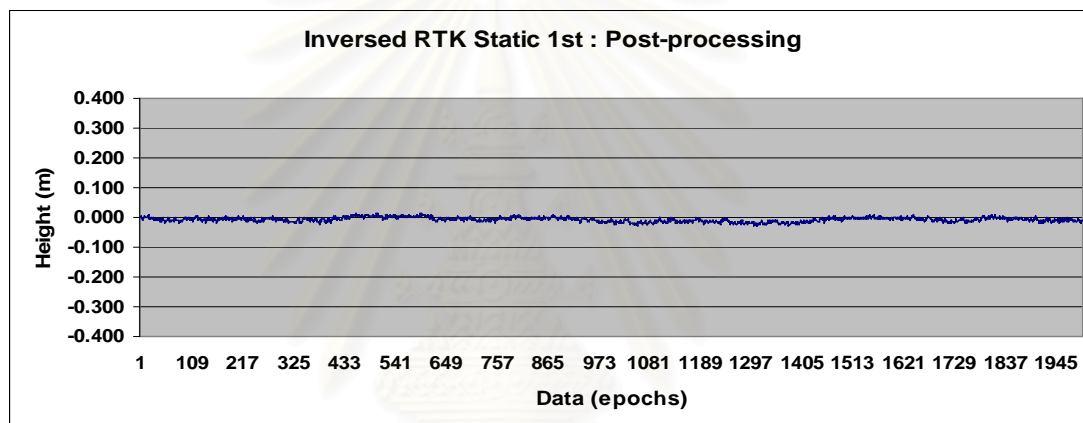
รูปที่ ก10 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3



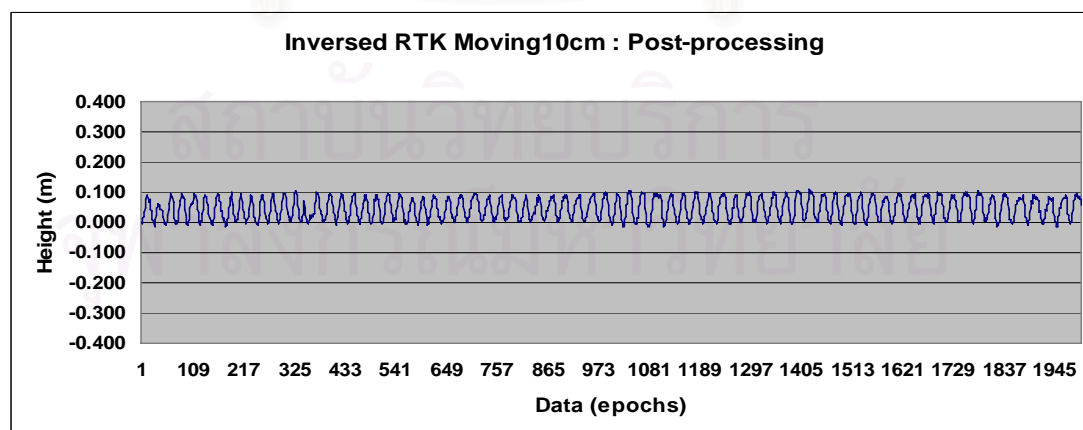
รูปที่ ก11 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 2 ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3



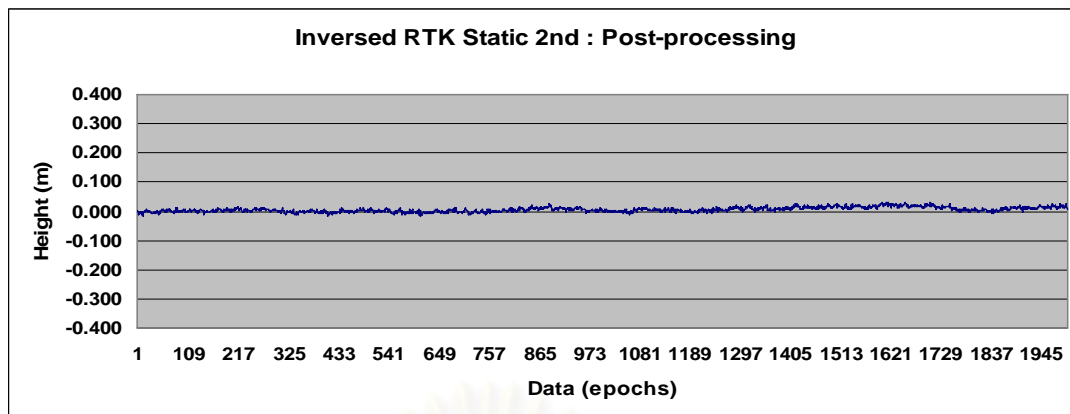
รูปที่ ก12 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองที่ 3



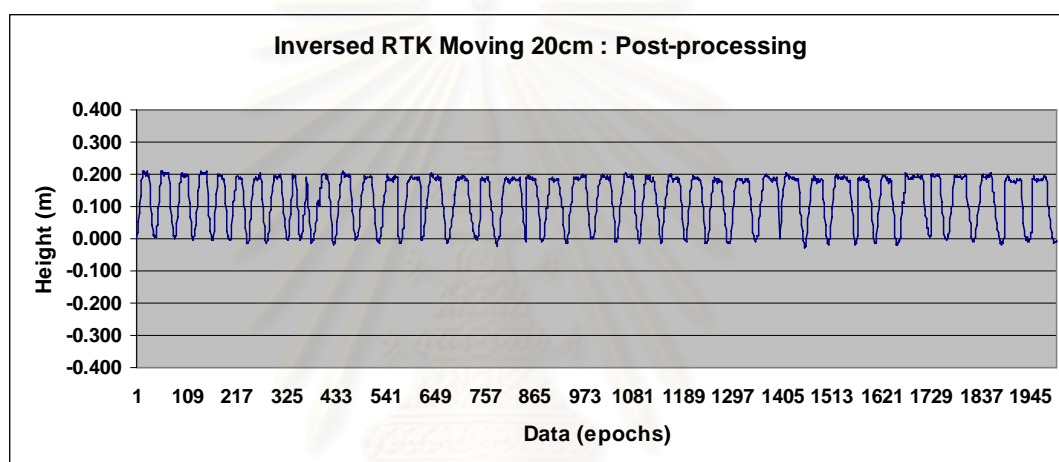
รูปที่ ก13 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1 ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3



รูปที่ ก14 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3



รูปที่ ก15 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลอง
 อยู่ร่วมกับที่ ครั้งที่2 ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3



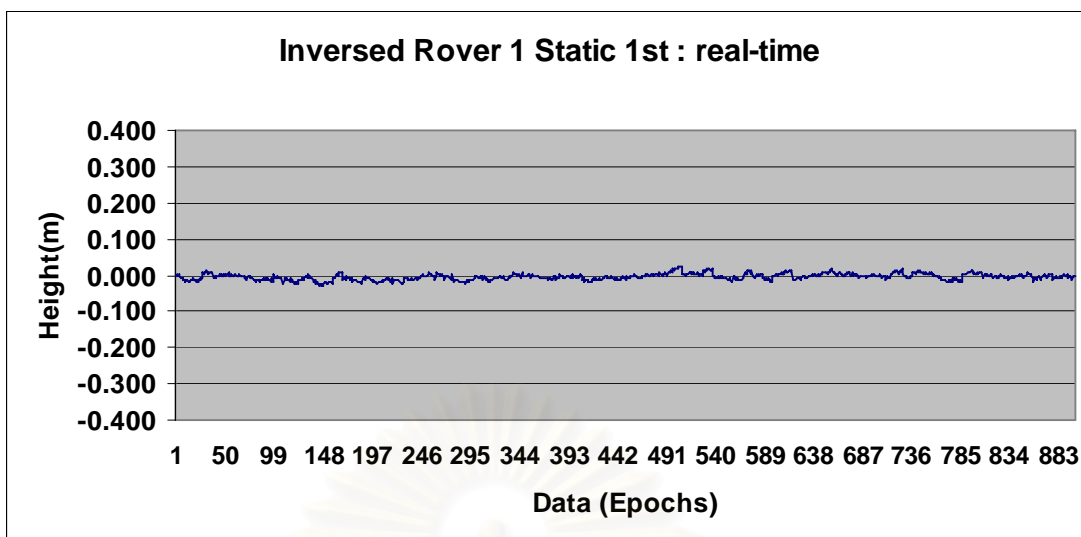
รูปที่ ก16 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ด้วยวิธี Inversed RTK ในขณะที่แบบจำลอง
 เคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ข้อมูลแบบ Post-processing ในการทดลองที่ 3

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

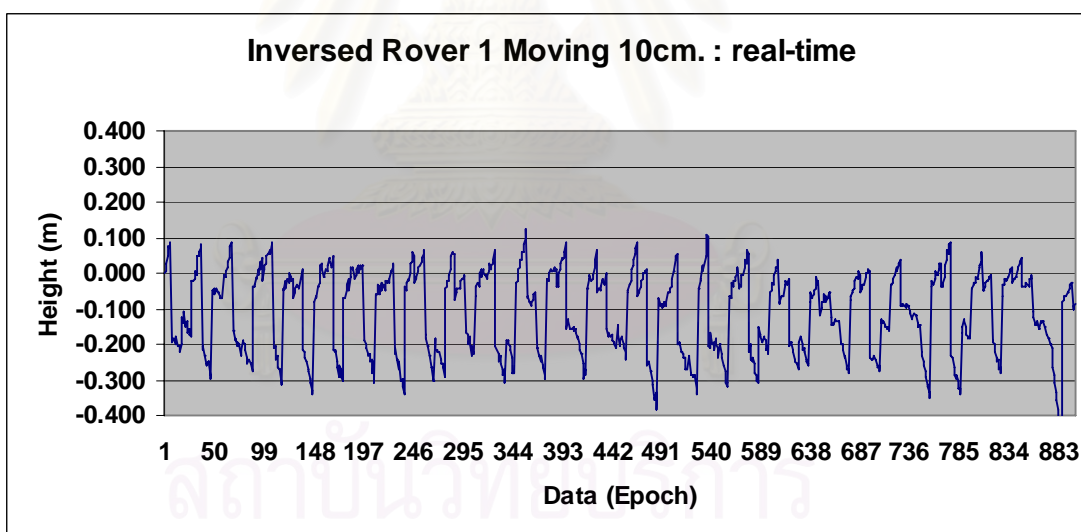


ภาคผนวก ข

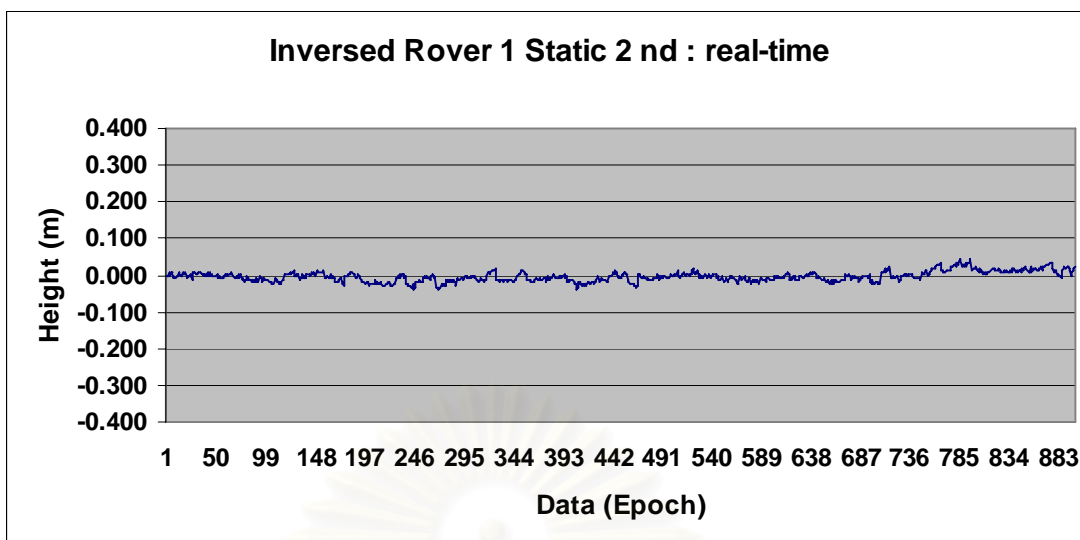
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



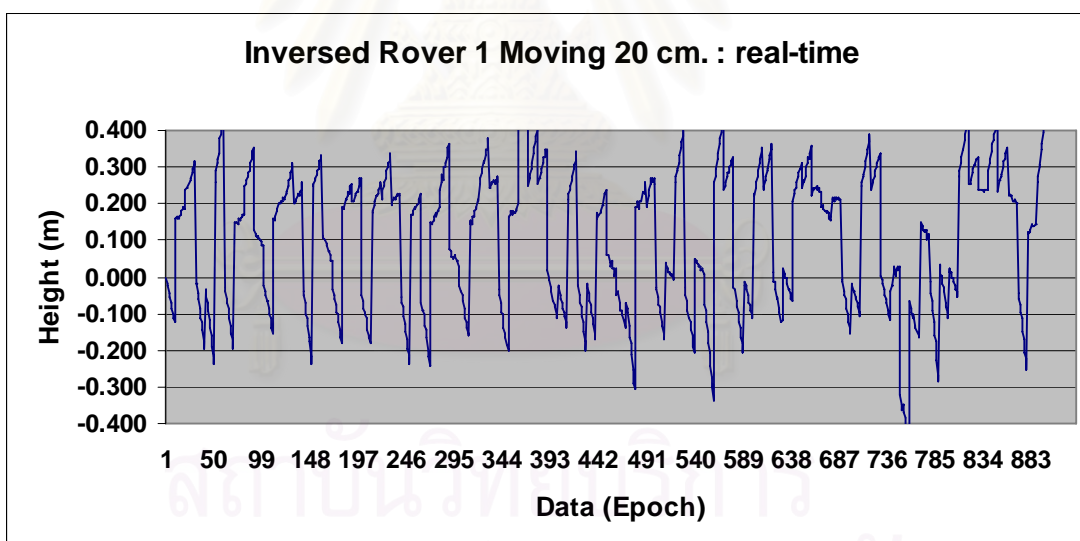
รูปที่ ข1 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



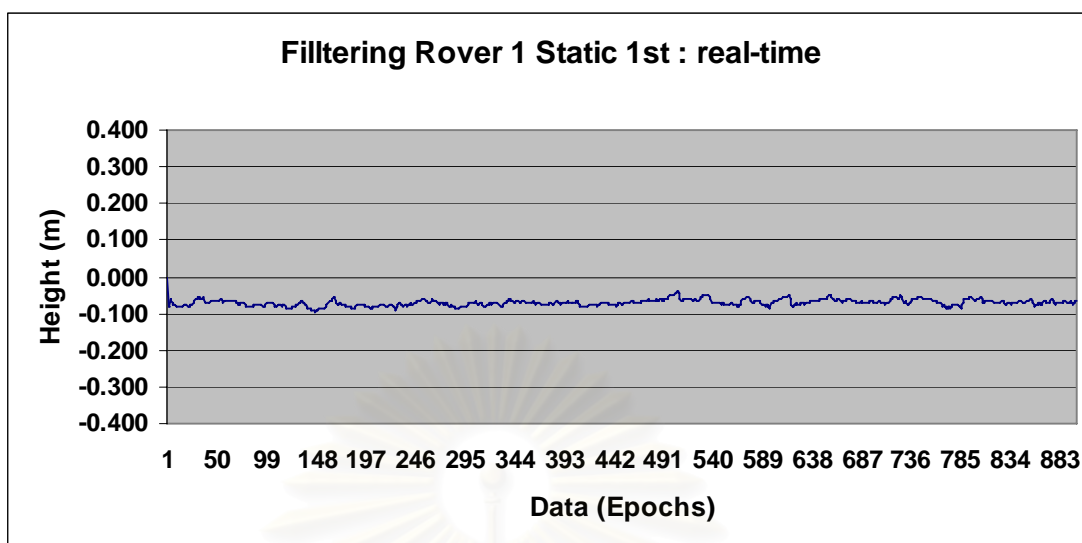
รูปที่ ข2 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



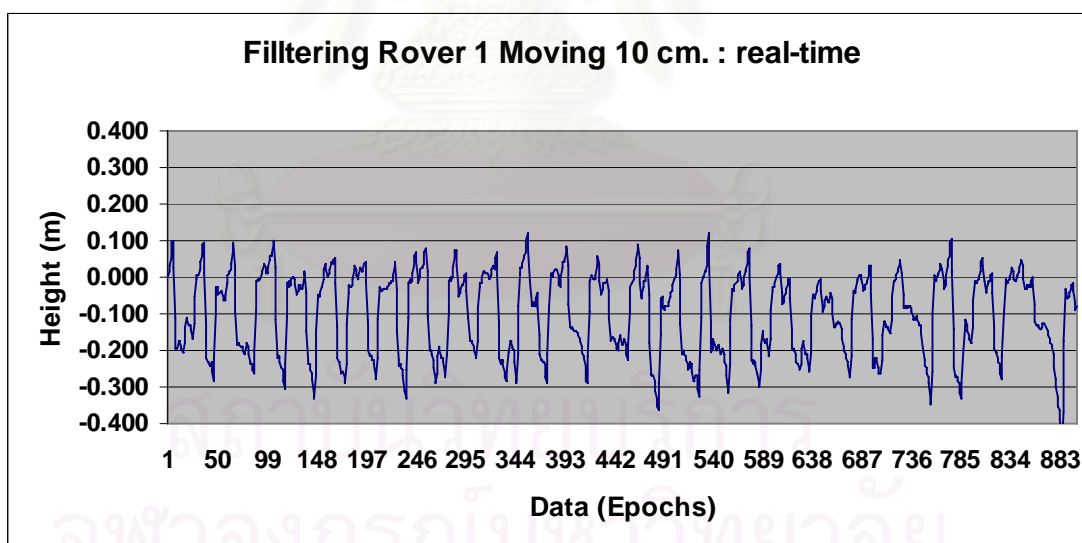
รูปที่ ข3 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



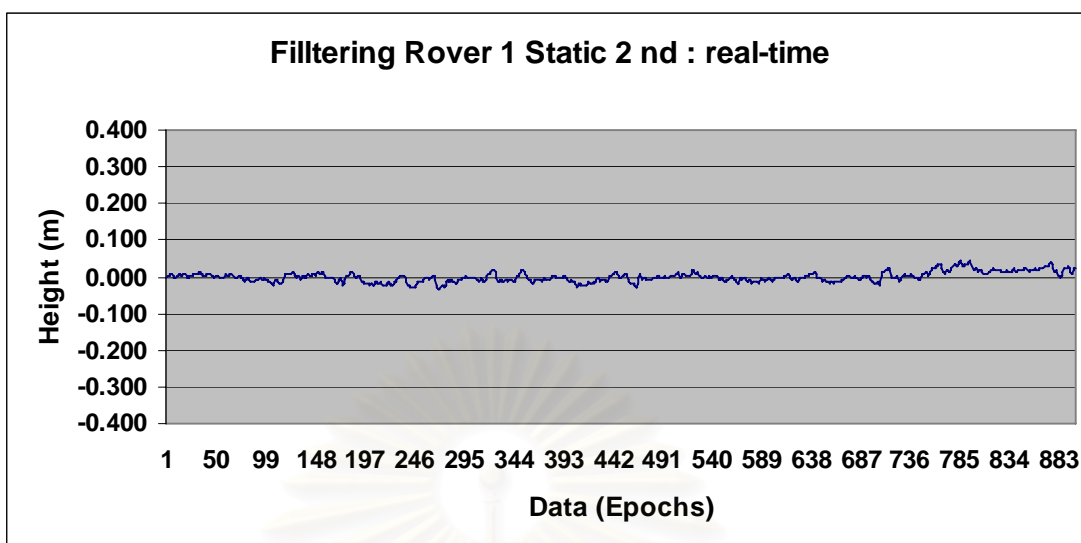
รูปที่ ข4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



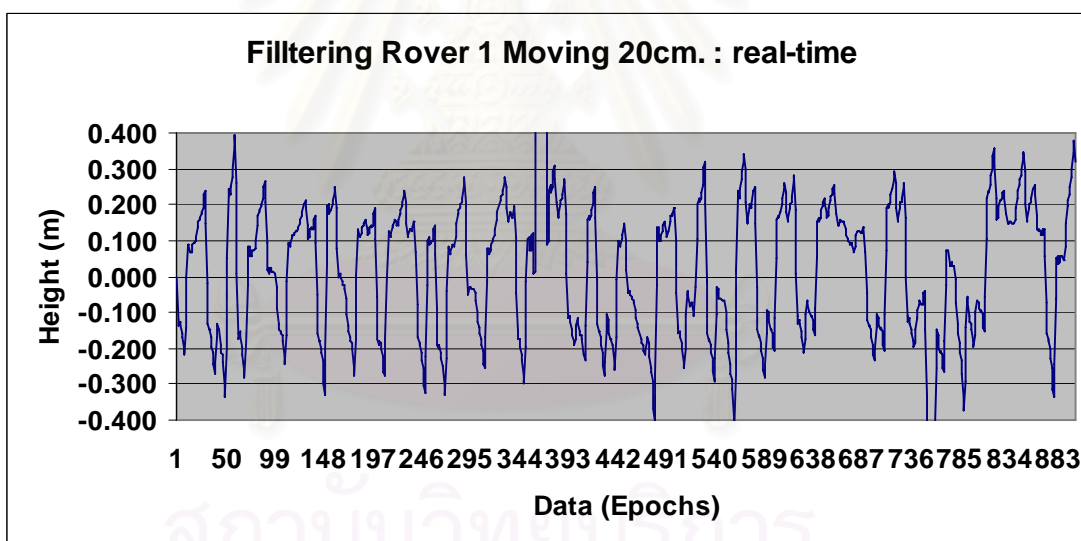
รูปที่ ข5 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filtering ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



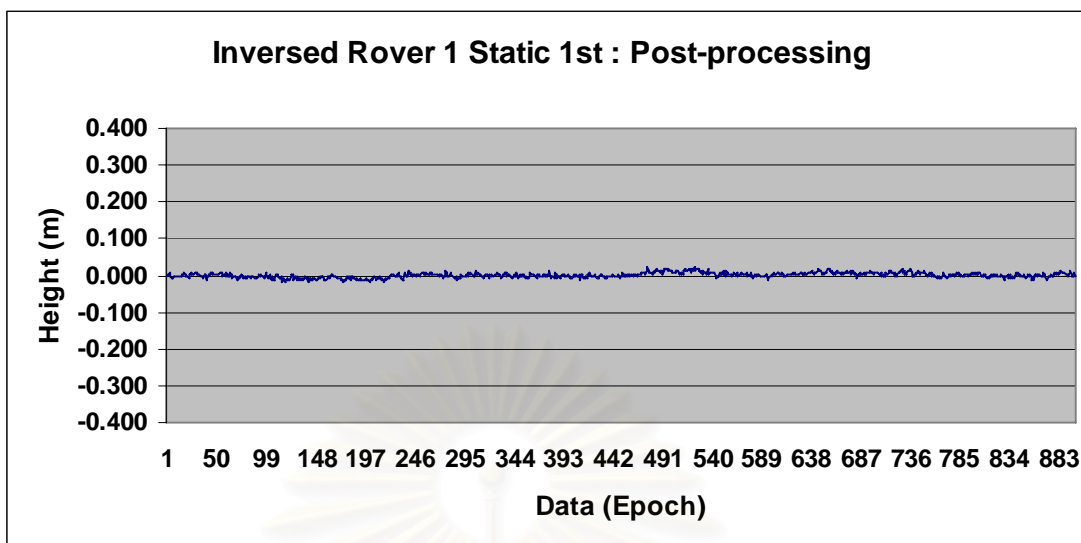
รูปที่ ข6 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filtering ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



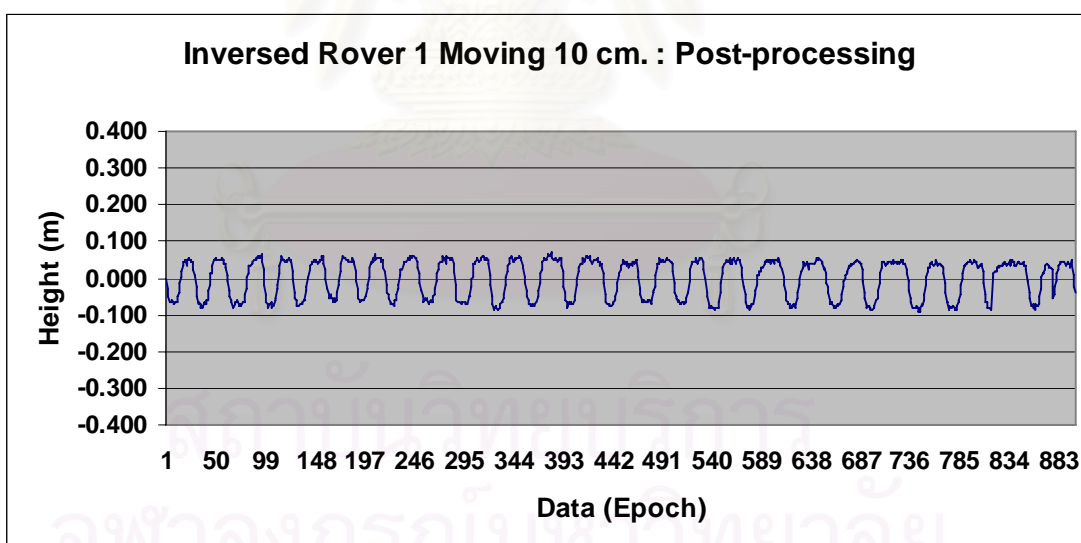
รูปที่ ข7 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางคิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



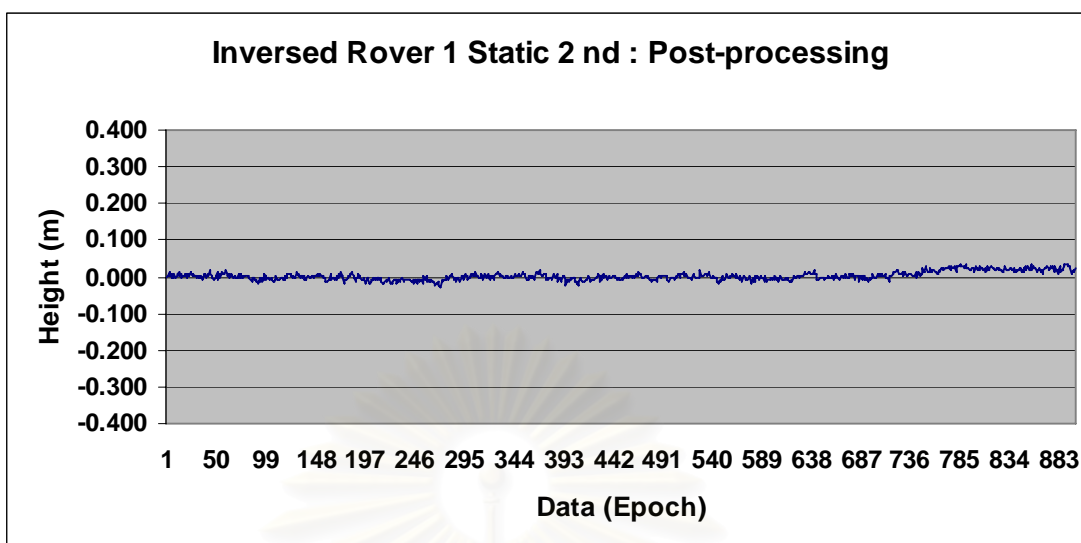
รูปที่ ข8 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางคิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



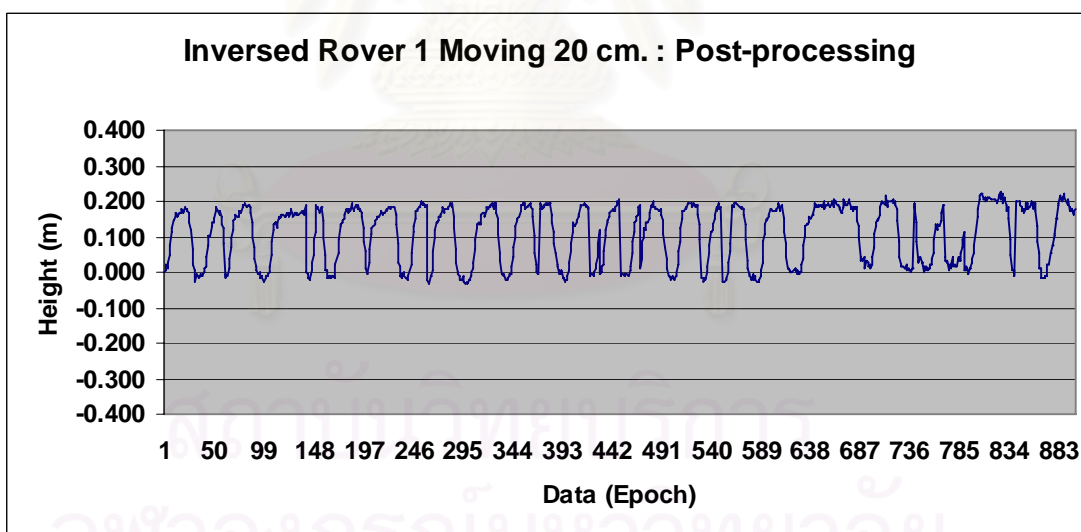
รูปที่ ข9 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



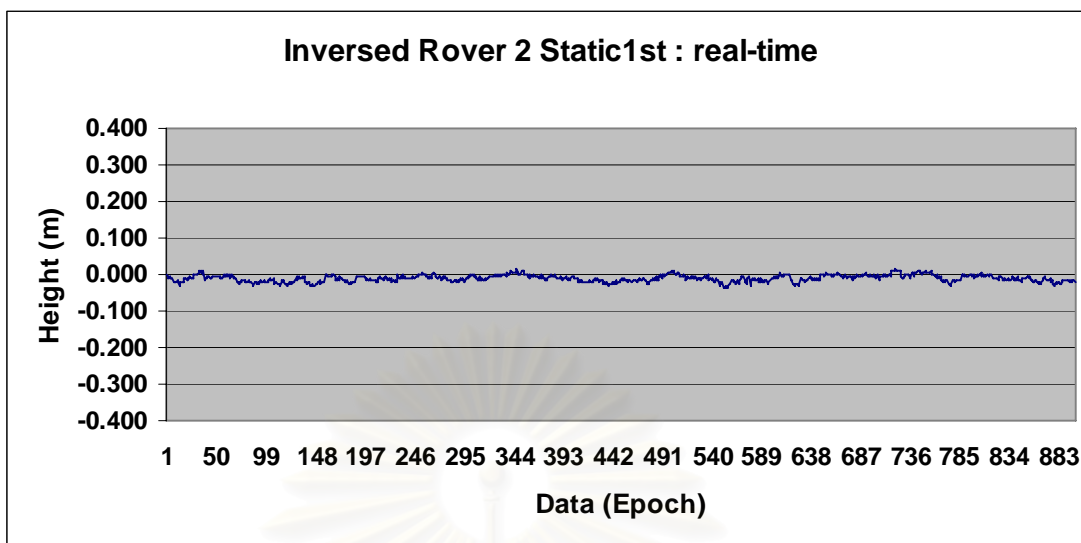
รูปที่ ข10 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



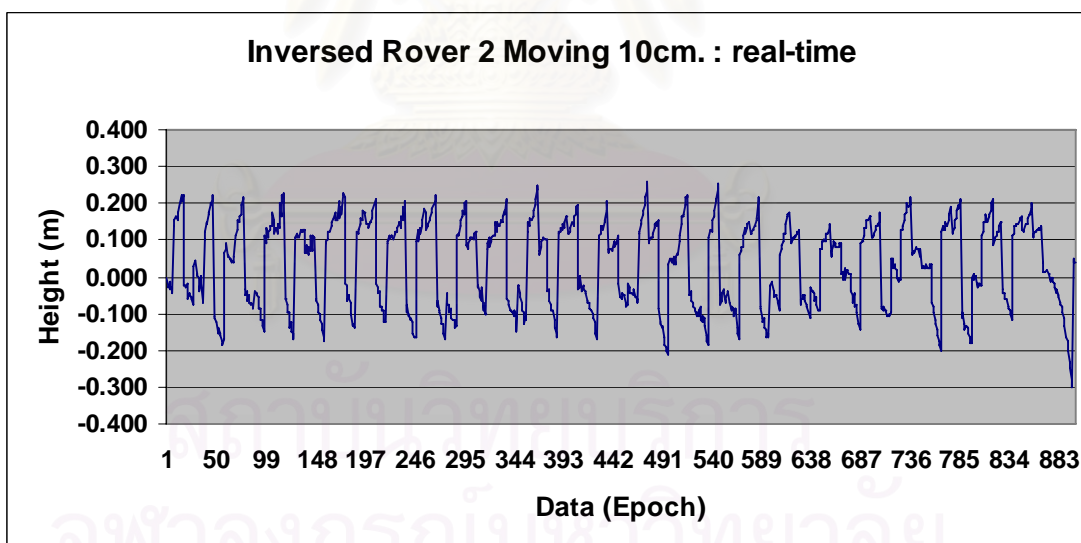
รูปที่ ข11 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองอยู่ร่วมกับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



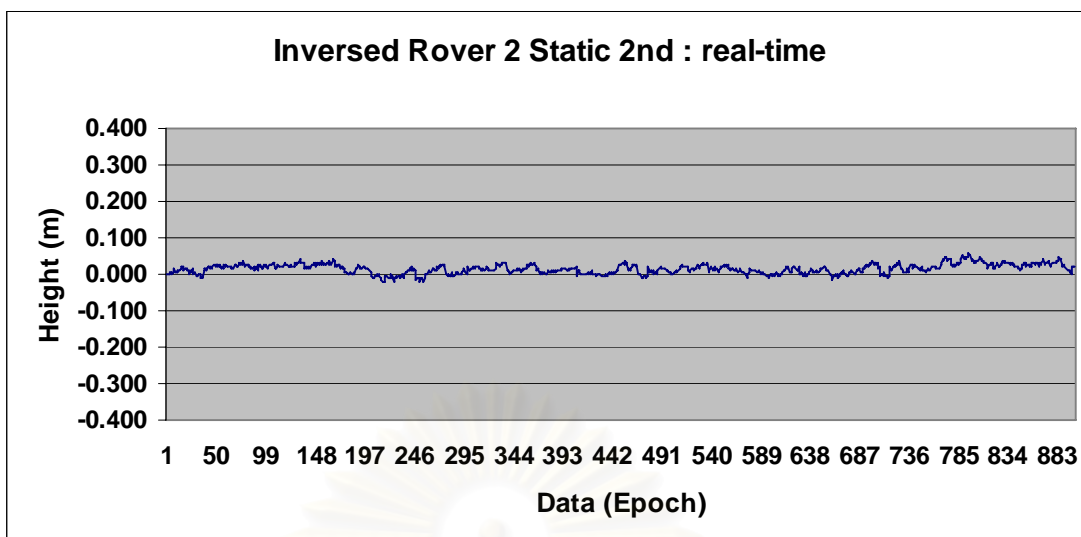
รูปที่ ข12 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 1 ในการทดลองที่ 4



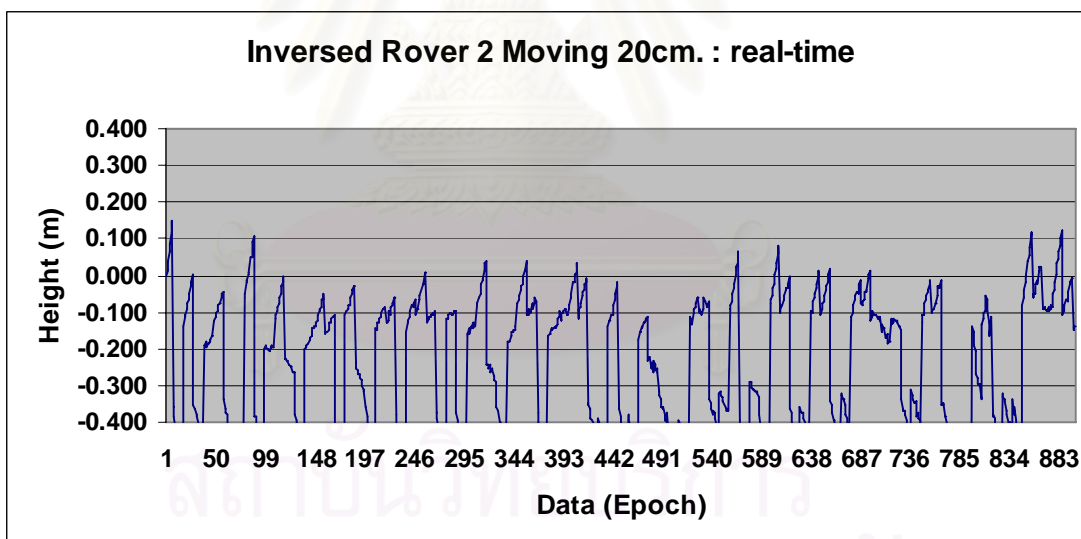
รูปที่ ข13 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



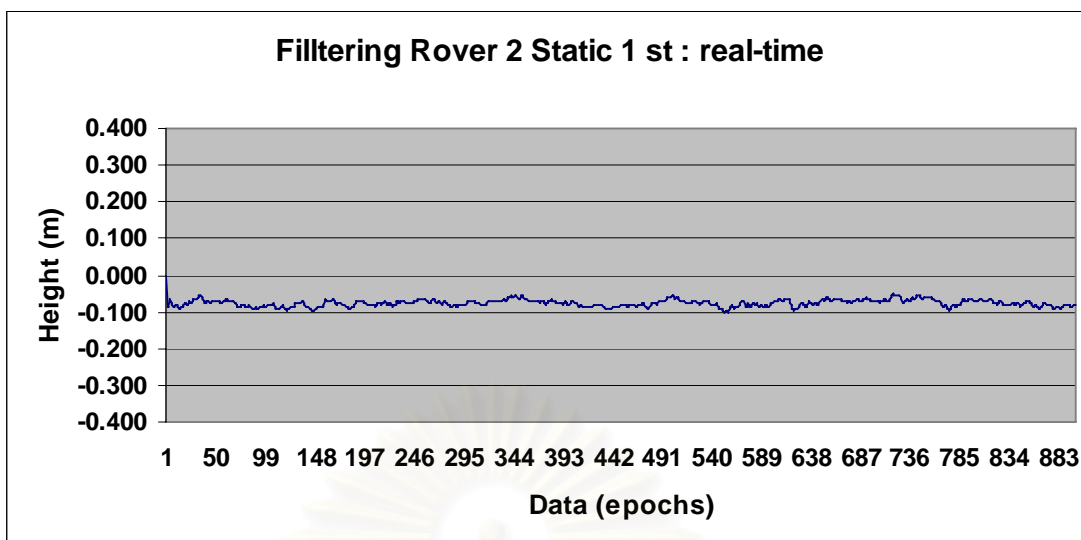
รูปที่ ข14 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



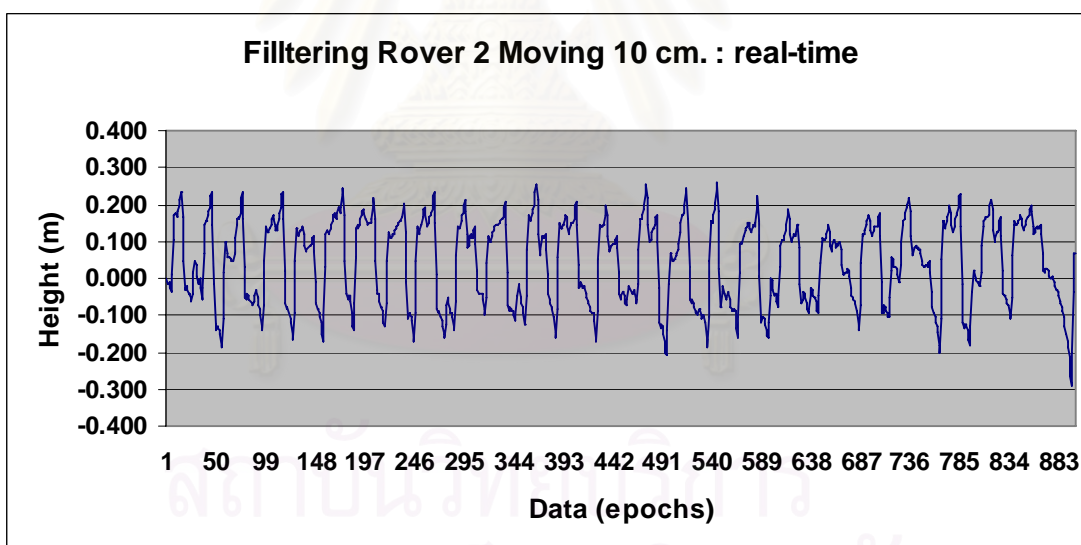
รูปที่ ข15 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



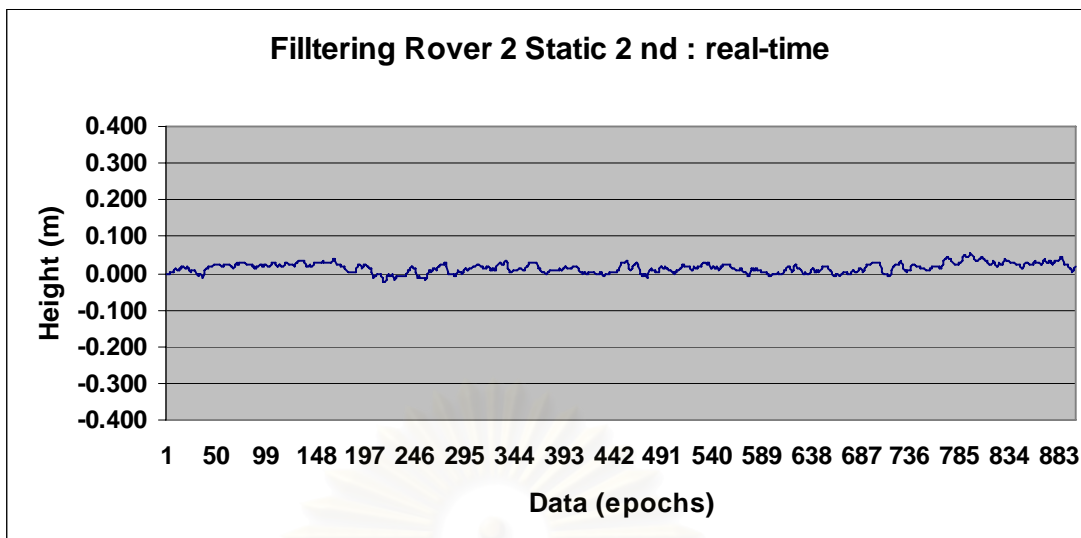
รูปที่ ข16 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



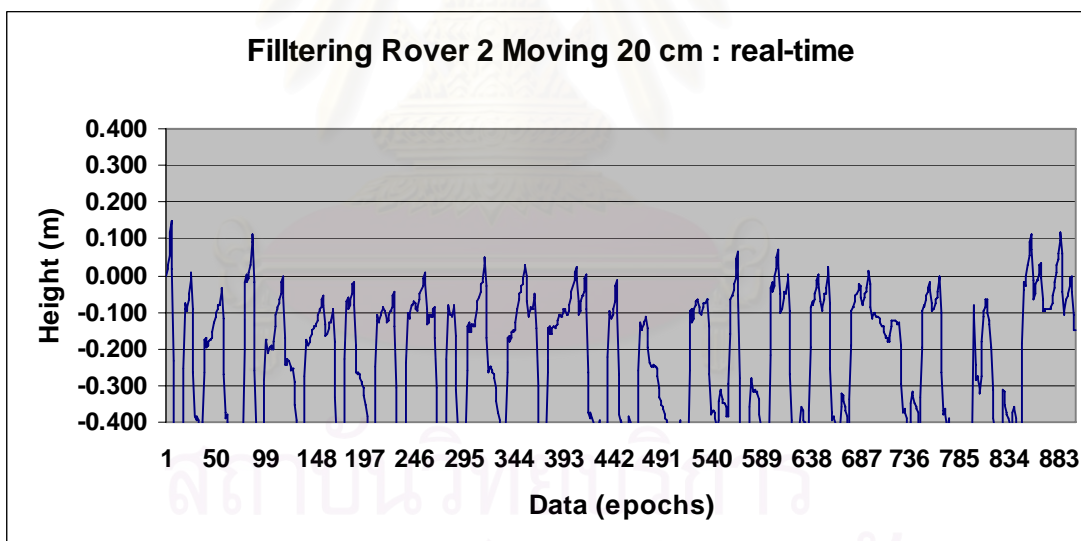
รูปที่ ข17 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่ง กับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



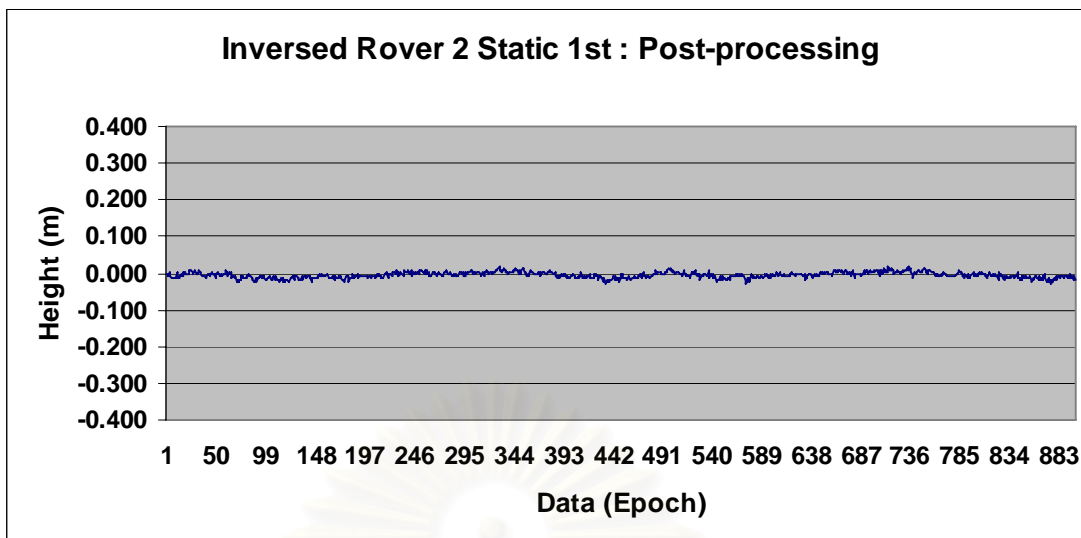
รูปที่ ข18 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



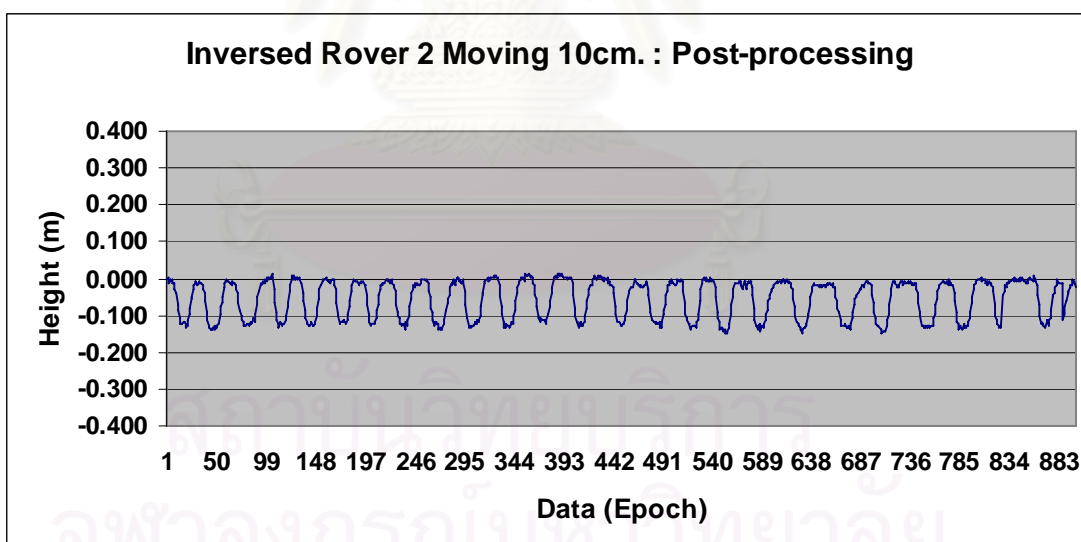
รูปที่ ข19 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่ง กับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



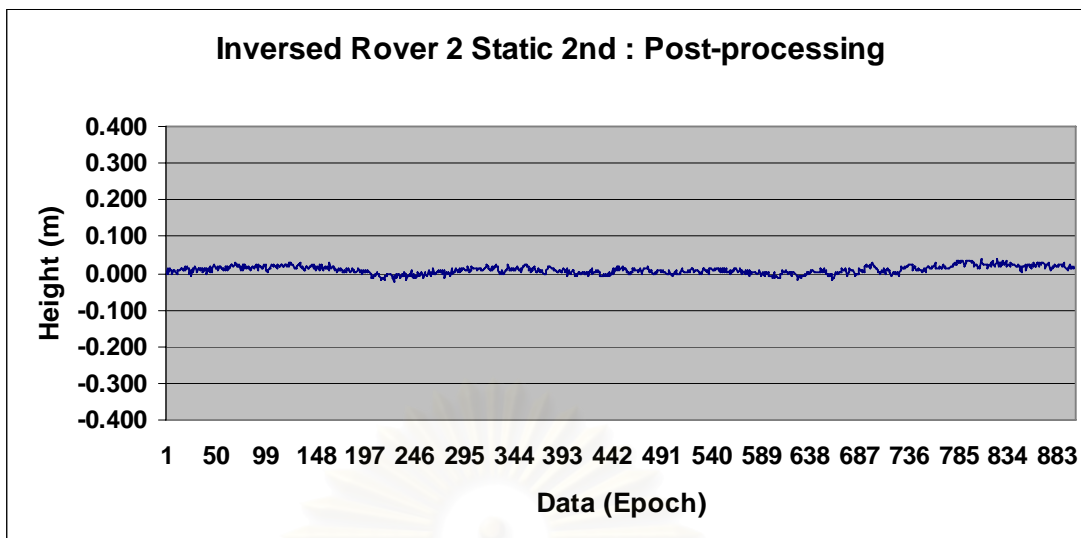
รูปที่ ข20 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



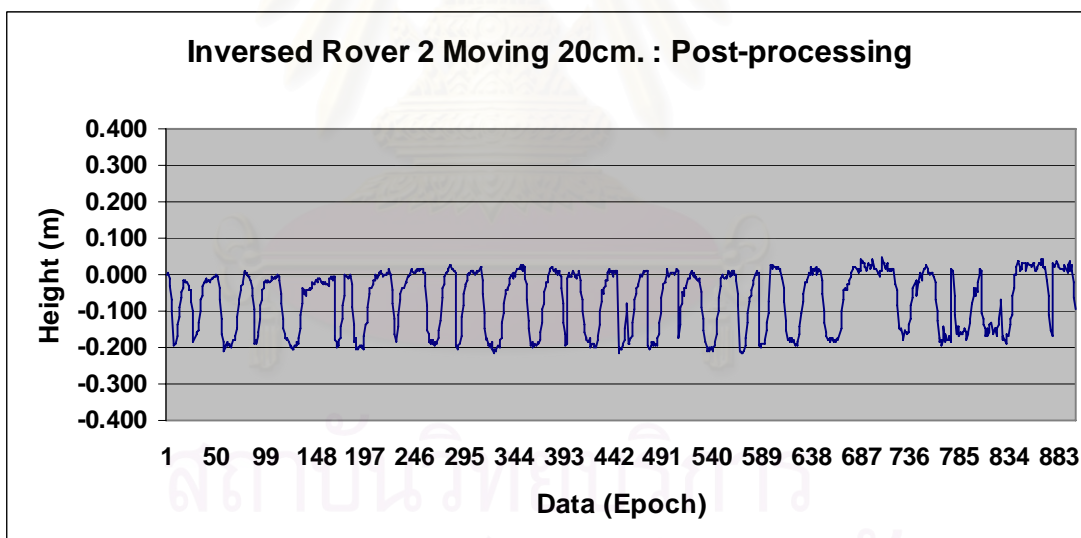
รูปที่ ข21 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



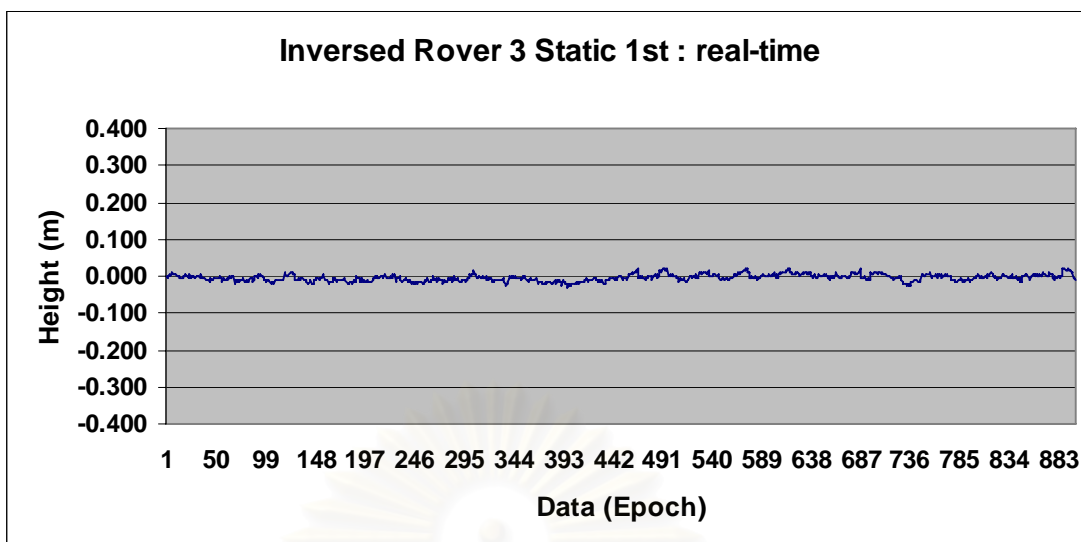
รูปที่ ข22 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



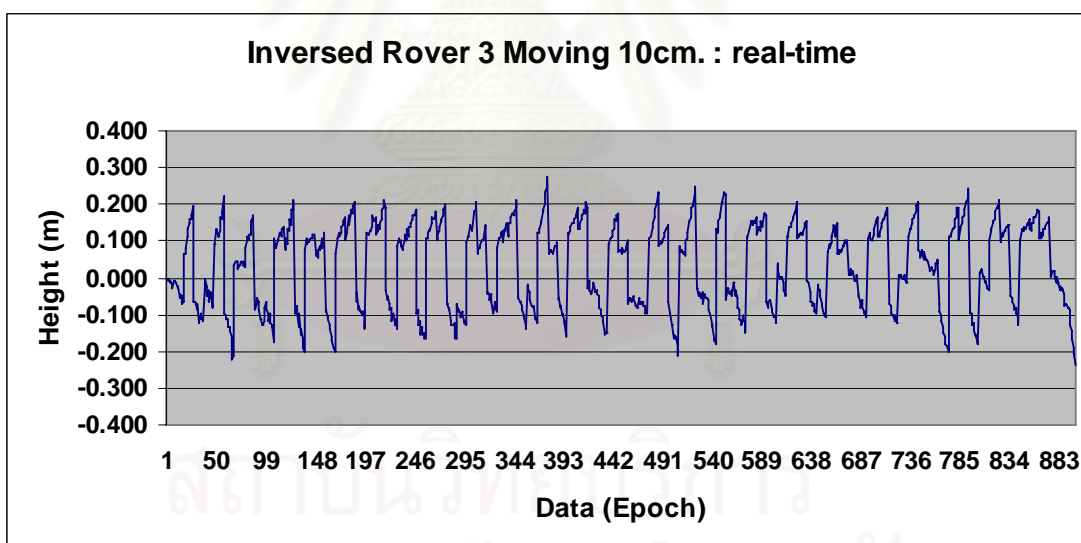
รูปที่ ข23 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



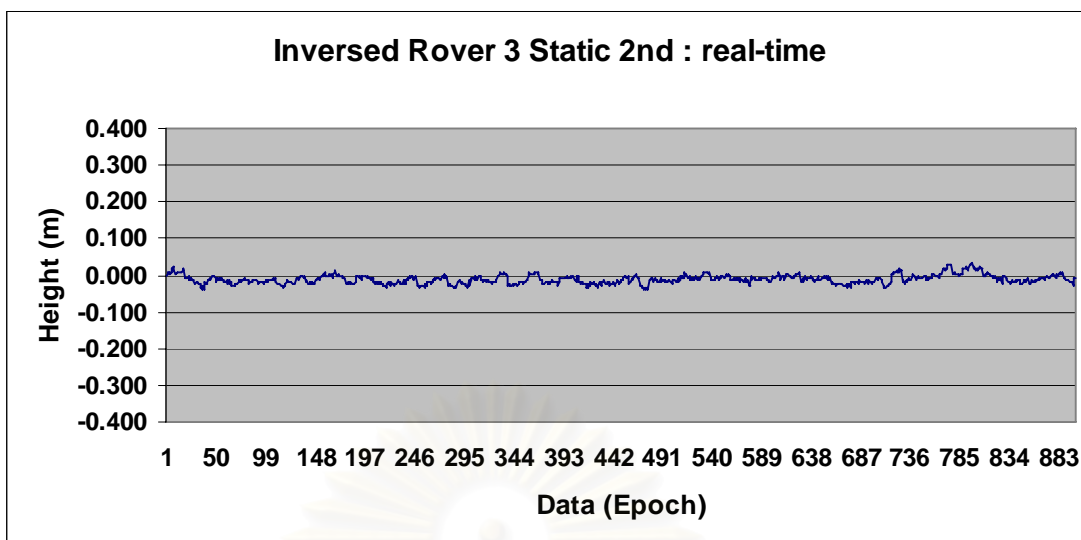
รูปที่ ข24 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 2 ในการทดลองที่ 4



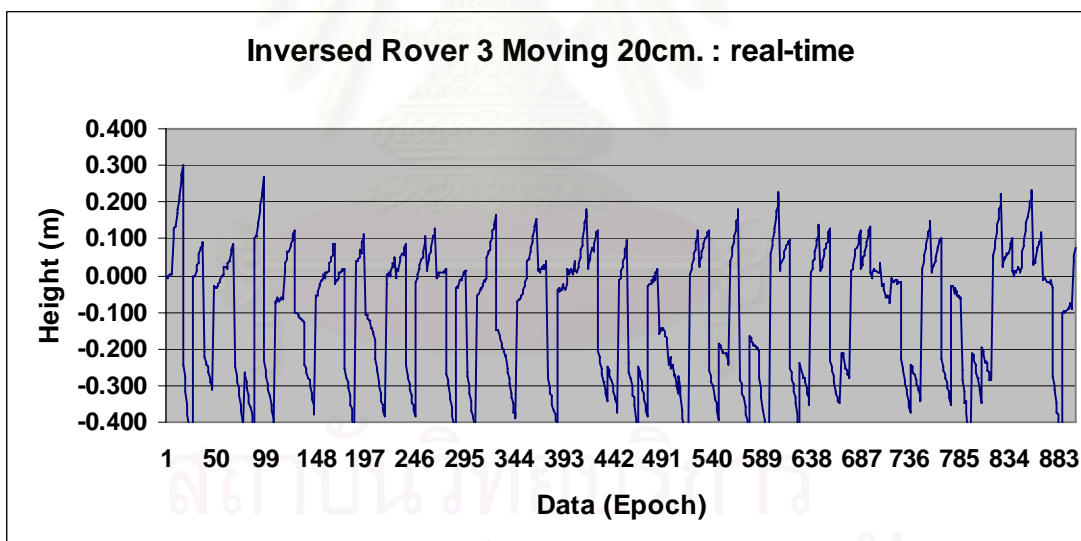
รูปที่ ข25 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4



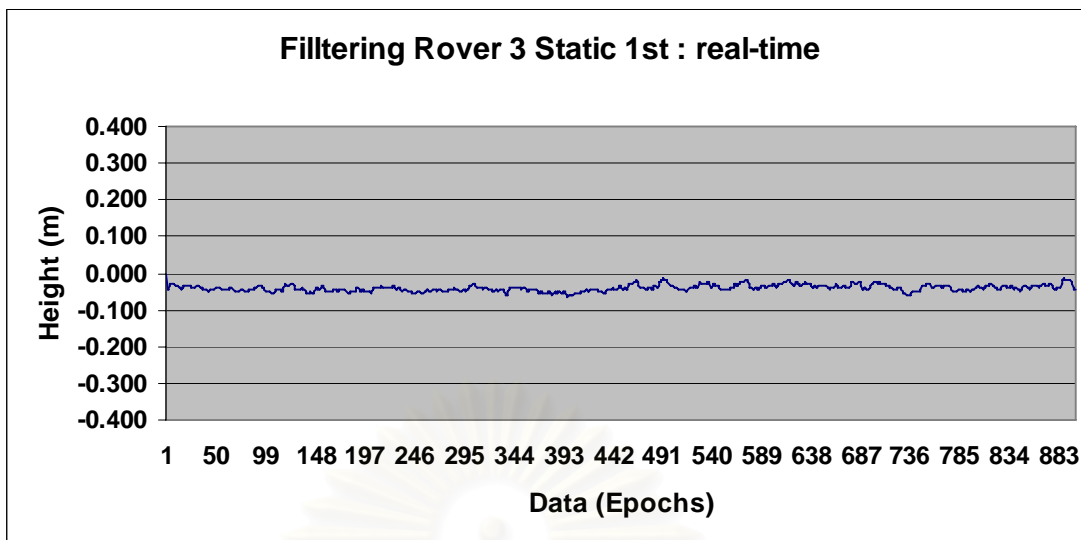
รูปที่ ข26 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4



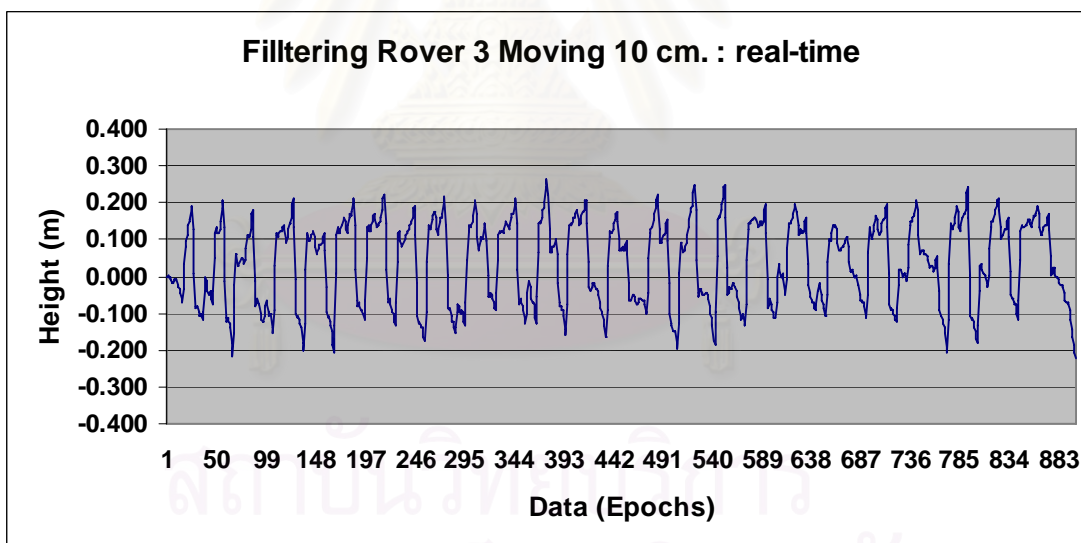
รูปที่ ข27 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4



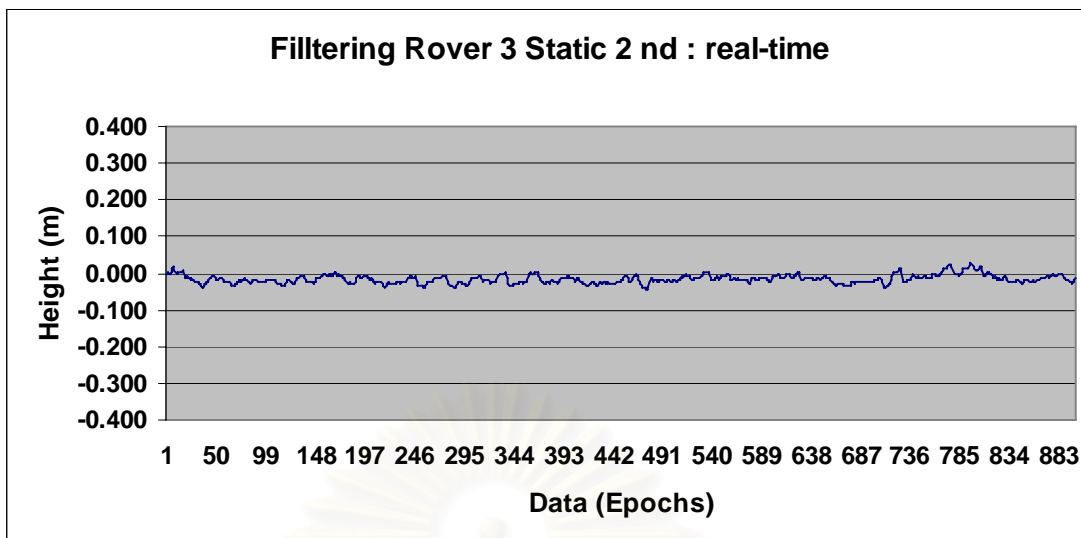
รูปที่ ข28 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้จากข้อมูล Real-time ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่



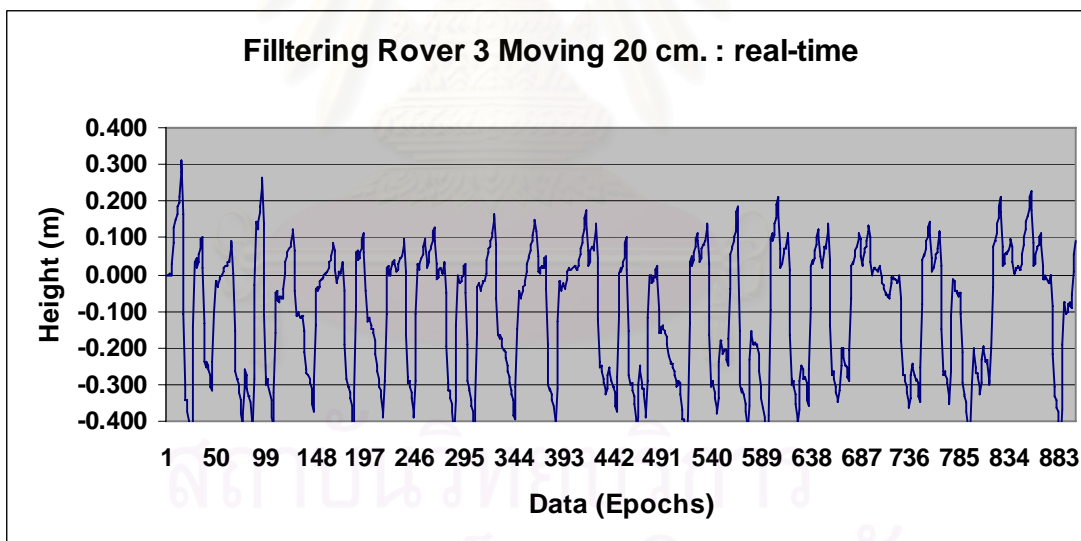
ที่ ข29 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4



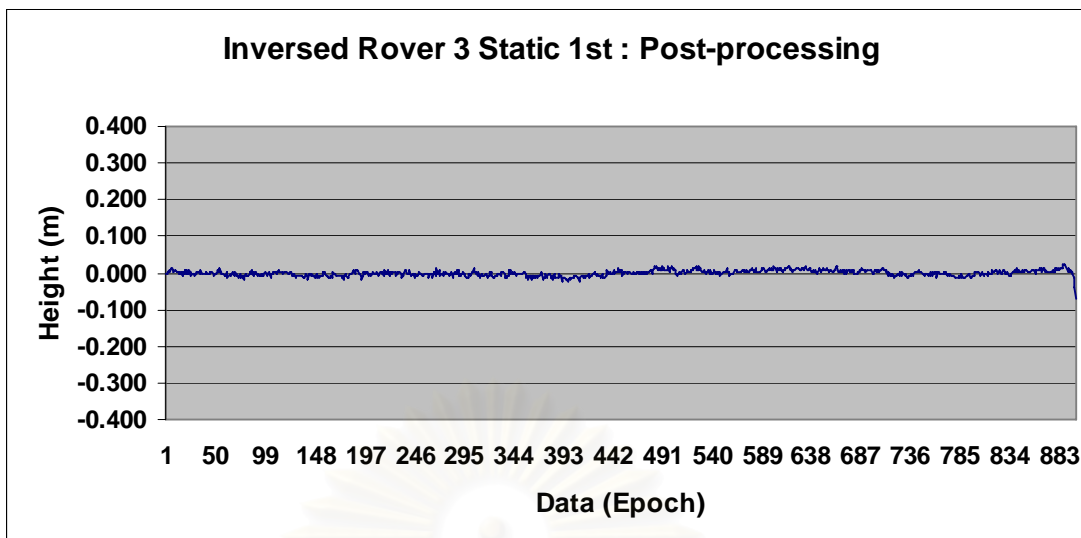
รูปที่ ข30 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4



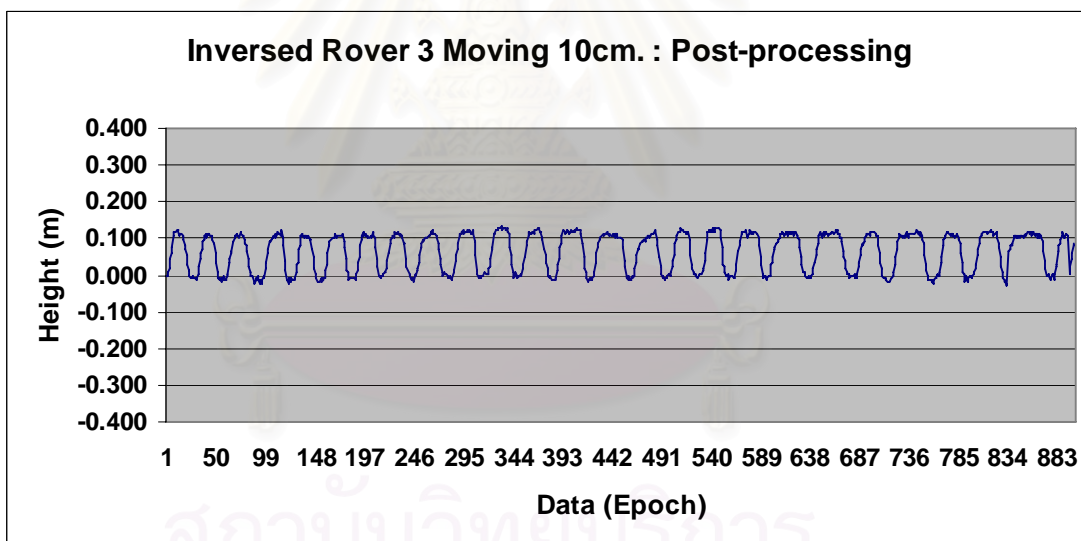
รูปที่ ข31 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่ง
กับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4



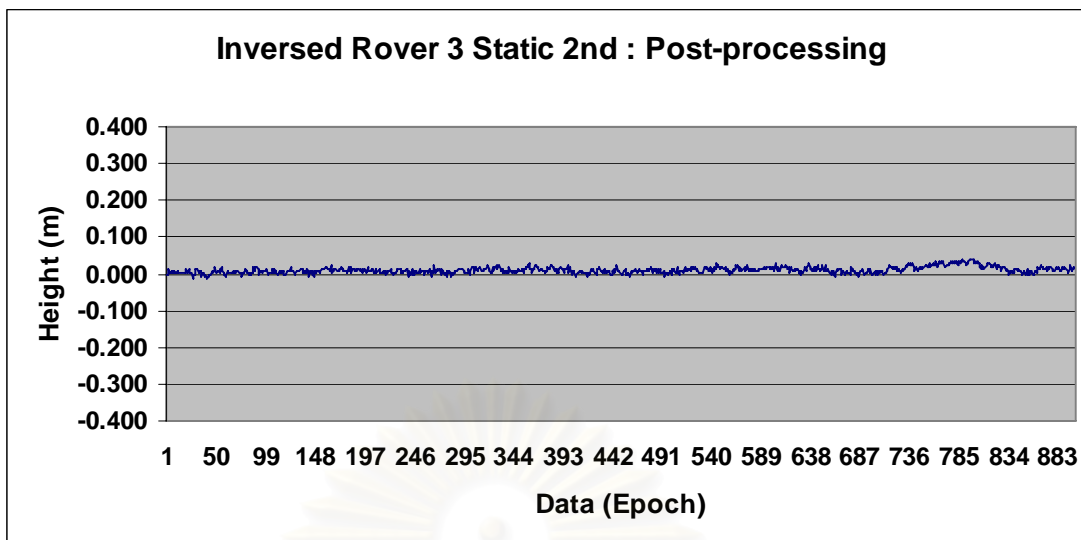
รูปที่ ข32 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งจากข้อมูล Wavelets filltering ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่
20 เซนติเมตร ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4



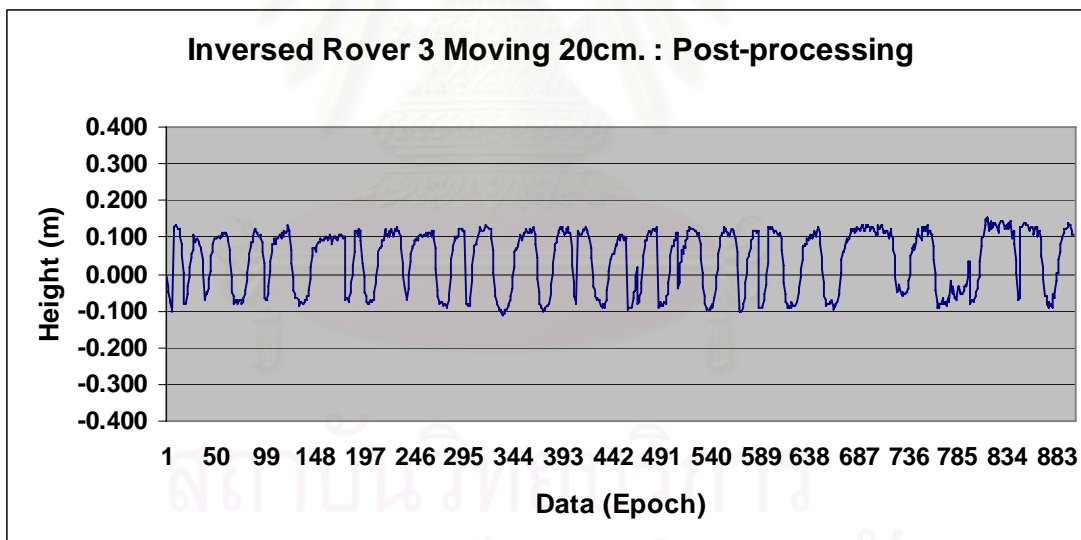
รูปที่ ข33 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 1 ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4



รูปที่ ข34 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่



รูปที่ ข35 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ครั้งที่ 2 ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4

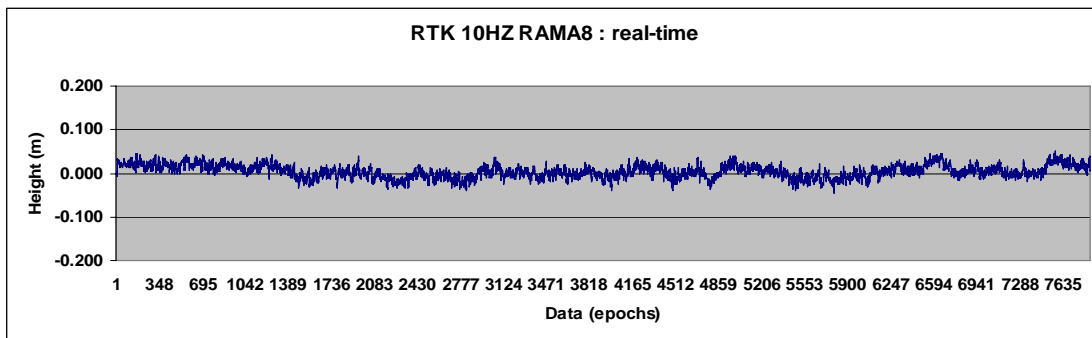


รูปที่ ข36 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนที่ 20 เซนติเมตร ของสถานีจร 3 ในการทดลองที่ 4

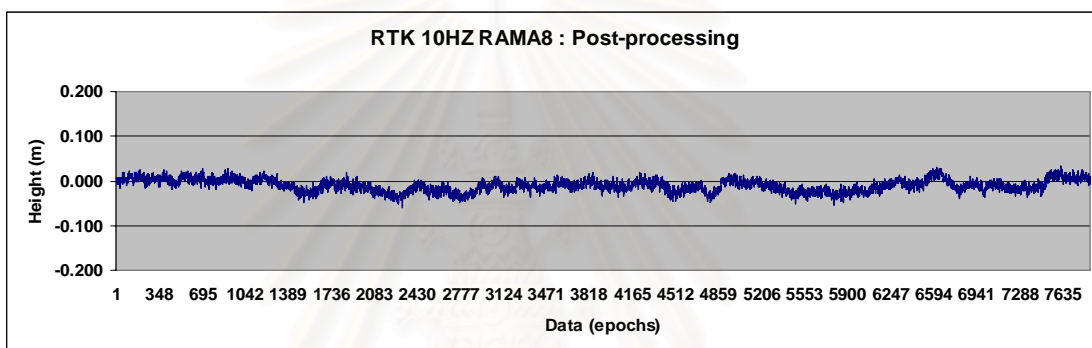


ภาคผนวก ค

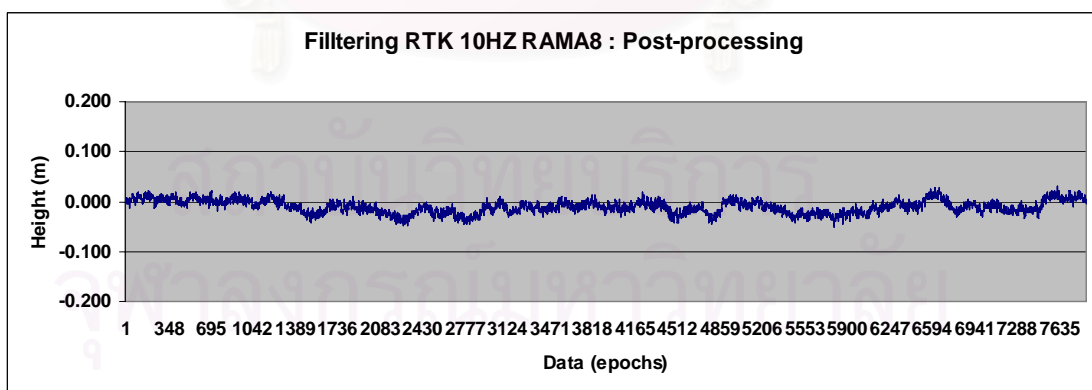
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



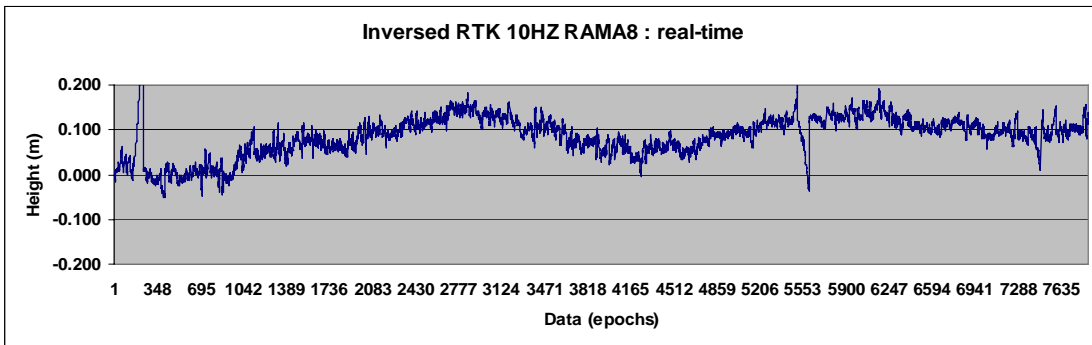
รูปที่ ค1 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real time ของวิธี RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8



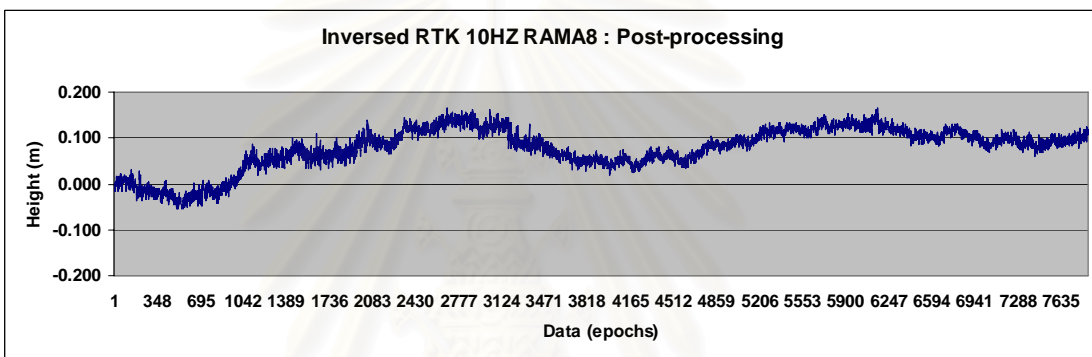
รูปที่ ค2 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processing ของวิธี RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8



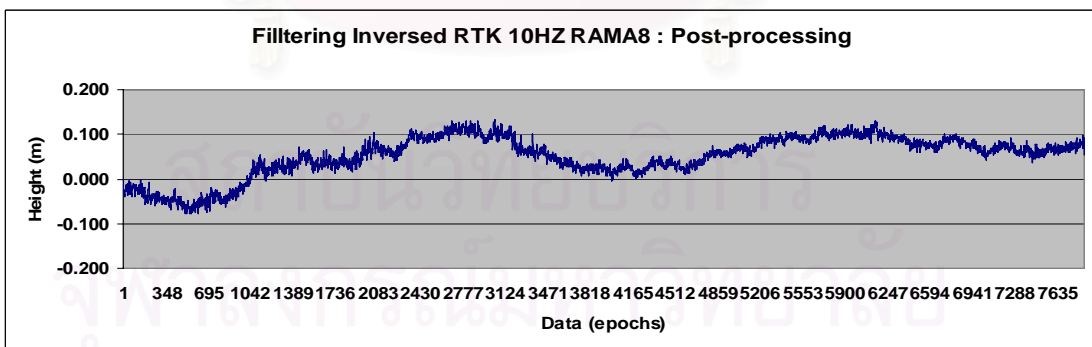
รูปที่ ค3 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของวิธี RTK ที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูล Post-processing มากรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets filltering ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8



รูปที่ ค4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบ Real time ของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8



รูปที่ ค5 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูลดิบมาทำการ Post-processingของวิธี Inversed RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8



รูปที่ ค6 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของวิธี Inversed RTK ที่ตรวจจับได้ จากการนำข้อมูล Post-processing มากรองสัญญาณด้วยวิธี Wavelets filltering ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นาย ก้องไกล สรโยธิน

วันเดือนปีเกิด : 24 สิงหาคม 2518

คุณวุฒิการศึกษา:

พ.ศ. 2541 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชาครุศาสตร์โยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศน์

พ.ศ. 2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตจตุจักร

ประสบการณ์ทำงาน :

พ.ศ. 2542-2550 อาจารย์ประจำ สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

พ.ศ. 2548- 2549 ผู้ช่วยวิจัย GPSหน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีข้อมูลภาพเชิงภูมิศาสตร์
ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ :

บทความตีพิมพ์

เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และ ก้องไกล สรโยธิน พ.ศ. 2550, การทดสอบความสามารถของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส โดยวิธีแบบจลน์ในทันที และวิธีย้อนกลับแบบจลน์ในทันที.วิศวกรรมสาร (กำลังตีพิมพ์)

การประชุมวิชาการ

ก้องไกล สรโยธิน และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ.2549, การทดสอบความสามารถของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสโดยวิธีแบบจลน์ในทันที และวิธีย้อนกลับแบบจลน์ในทันที การประชุมวิชาการการแผนที่ และภูมิสารสนเทศแห่งชาติประจำปี 2549 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ เมืองพัทยา จ.ชลบุรี 5 – 8 พฤศจิกายน

การบรรยาย

ก้องไกล สรโยธิน และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ.2549, การทดสอบความสามารถของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส โดยวิธีแบบจลน์ในทันที และวิธีย้อนกลับแบบจลน์ในทันที การประชุมวิชาการ การแผนที่ และภูมิสารสนเทศแห่งชาติประจำปี. 2549 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ เมืองพัทยา จ.ชลบุรี 5 – 8 พฤศจิกายน