



## รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้ข้อมูลดิบจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีใน  
การทำหตุระดับอ้างอิงทางดิ่ง

**Applied Raw data of the Real-Time Kinematic GPS**

**Techniques for checked Benchmark**

นาย ก้องไกล สรโยธิน

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมณฑลกรุงเทพ

งบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมณฑลกรุงเทพ

## กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล  
กรุงเทพ ตามยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 3 หัวข้อการสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาทาง  
วิทยาการและทรัพยากรบุคคล ปีงบประมาณ 2552





Abstract

## **Applied Raw data of the Real-Time Kinematic GPS Techniques for checked Benchmark**

Abstract

The purpose of the research was to determine vertical accuracy of RTK-GPS in comparing with Automatic moving Model surveying procedure. Both methods have been applied at the Rajamangala University of Technology Krungthep (RMUTK).

The aim of this paper was to assess the availability of RTK GPS (Real-Time Kinematic Global Positioning Systems) under some challenging environmental conditions. Testing was performed under two of these conditions, i.e. High trees crowned around football field and GPS Signal affected from this obstruction about 50%. The increase in the number of satellites had many benefits for the integer ambiguity resolution. Influence of crown cover on precision values of RTK Global Positioning Systems is significant contribution to the accuracy of RTK positions and PDOP (Precision Dilution of Position). The results of RTK testing were compared between “Real-time mode” and “Post-processing mode”. Both tests were carried on automatic Moving Model in order to find an alternative quality of vertical control.

The results indicated that RTK GPS must be careful for crown covered land surveying. The results of RTK-GPS system were indicated an accuracy of 0-10 centimeters in the measurement of elevation moving was not accurate because of crown covered land surveying.

## บทคัดย่อ

เป้าหมายงานวิจัยนี้ ต้องการที่จะคำนวณหาค่าความถูกต้องทางแนวตั้งที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ด้วยวิธีจลน์ในทันที เปรียบเทียบกับการเคลื่อนตัวขึ้น-ลง ทางแนวตั้งของแบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ได้ออกแบบ และจัดทำมาเพื่อการนี้โดยเฉพาะ ซึ่งได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบวิธีการทดลองที่ออกแบบไว้ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งานวิจัยนี้ตั้งใจที่จะประเมินค่าความถูกต้องที่หามาได้จากวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันที ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไข การทดสอบด้านสภาพแวดล้อมในการทำงาน ในการทดสอบได้ทำการทดลองภายใต้ 2 เงื่อนไข เช่น ต้นไม้สูงที่มีเรือนยอดปกคลุม และการบังคับสัญญาณจีพีเอสเนื่องจากสิ่งปลูกสร้าง การเพิ่มจำนวนของดาวเทียมในท้องฟ้า ขณะทำการรังวัด ช่วยส่งผลดีต่อการหาจำนวนเลขปริศนาที่เป็นจำนวนเต็ม อิทธิพลการปกคลุมเรือนยอดส่งผลต่อวิธีการทำงานของ RTK ระบบการหาตำแหน่งด้วยวิธี RTK เพราะมีนัยสำคัญต่อการทำความเข้าใจในตำแหน่งที่ของ RTK และ PDOP และการทดสอบแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบกับค่าจริง

ผลลัพธ์ที่เราใช้ในการสรุปผลการทดลองก็คือ ค่าพิกัดแบบทันทีทันใด และค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ในภายหลัง ซึ่งผลลัพธ์ทั้ง 2 นี้ต่างก็ได้มาจากการทำการทดลองบนแบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่ง เพื่อนำไปสู่การหาข้อสรุปในการใช้งานสำหรับการทำหาค่าความถูกต้องทางดิ่ง

ผลการทดลองบ่งชี้ว่าวิธี RTK นั้นมีข้อพึงระวังในการใช้งานภายใต้อิทธิพลการปกคลุมเรือนยอด ของต้นไม้ในสนามขณะรังวัด โดยผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าความผิดพลาดทางตำแหน่งจะมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 เซนติเมตร สำหรับการวัดการเคลื่อนตัวของแบบจำลองในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนตัวในทางดิ่งจริง

# สารบัญ

|                                                                                    | หน้า      |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                                                    | ก         |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                                                 | ข         |
| กิตติกรรมประกาศ                                                                    | ค         |
| สารบัญภาพ                                                                          | ง - ญ     |
| สารบัญตาราง                                                                        | ฎ         |
| <b>บทที่ 1 บทนำ (Introduction)</b>                                                 | <b>1</b>  |
| ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย                                             | 1         |
| วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย                                                        | 3         |
| ขอบเขตของโครงการวิจัย                                                              | 3         |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                                          | 4         |
| <b>บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมระดับทฤษฎีและ/หรือแนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย</b> | <b>5</b>  |
| ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย                                   | 5         |
| การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning or Differential Positioning)         | 6         |
| การทำงานรังวัดด้วยเครื่องรับแบบรังวัดด้วยวิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง                  | 7         |
| การรังวัดแบบจลน์ในทันทีทันใด (Real Time Kinematic Survey)                          | 9         |
| หลักการหาระดับจากงานรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส                                     | 11        |
| การทบทวนวรรณกรรม(Reviewed Literature)/สารสนเทศ(Information)ที่เกี่ยวข้อง           | 13        |
| แนวคิดและสมมุติฐานให้ในการวิจัย                                                    | 17        |
| <b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>                                                  | <b>21</b> |
| เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย                                                         | 21        |
| เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส                                                    | 21        |
| โปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียม GPS และปรับแก้โครงข่าย TOPCON                        | 23        |
| TOOL version 7.5 พร้อมมีคู่มือสำหรับปลดล็อค Hard Lock                              |           |
| แบบจำลองเพื่อทดสอบค่าต่างระดับทางดิ่ง                                              | 26        |
| แนวทางการทดสอบ ความสามารถของวิธี RTK เพื่อประยุกต์ใช้ในการทำหมุด                   | 27        |
| ระดับอ้างอิง                                                                       |           |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                               | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย (ต่อ)</b>                                                                                       |      |
| การทดสอบความสามารถของวิธี RTK ในการตรวจจับค่าต่างทางดิ่งจาก<br>แบบจำลองเมื่อหมุดอยู่ในบริเวณ ที่มีเรือนยอดไม่ปกคลุม           | 28   |
| การทดสอบความสามารถของ วิธี RTK ในการตรวจจับค่าต่างทางดิ่งจาก<br>แบบจำลองเมื่อหมุดอยู่ในบริเวณที่เปิดโล่ง เหมาะกับการรับสัญญาณ | 30   |
| การทดสอบความสามารถของวิธี RTK ในกรณีที่ความสูงเปลี่ยนแปลงแบบ<br>ฉับพลัน                                                       | 32   |
| <b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>                                                                                                     | 35   |
| จากการทดสอบเบื้องต้น                                                                                                          | 35   |
| กรณีที่มีอิทธิพลปกคลุมเรือนยอด ของตำแหน่งที่ตั้งหมุดรับสัญญาณ                                                                 | 41   |
| กรณีที่ไม่มียอิทธิพลปกคลุมเรือนยอด                                                                                            | 65   |
| การทดสอบในกรณี ที่มีการบดบังสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากสิ่งปลูกสร้าง                                                              | 77   |
| <b>บทที่ 5 สรุปผล การวิจัย และข้อเสนอแนะ</b>                                                                                  | 84   |
| สรุปการทดลองในงานวิจัย                                                                                                        | 85   |
| การทดสอบเบื้องต้น                                                                                                             | 85   |
| การทดลองกรณีที่มีอิทธิพลปกคลุมเรือนยอด ของตำแหน่งที่ตั้งหมุดรับสัญญาณ                                                         | 85   |
| กรณีที่ไม่มียอิทธิพลปกคลุมเรือนยอดของตำแหน่งหมุดที่ตั้งรับสัญญาณ                                                              | 86   |
| การทดสอบในกรณี ที่แบบจำลองเกิดการเคลื่อนตัวฉับพลัน และมีการบดบัง<br>สัญญาณดาวเทียมเนื่องจากสิ่งปลูกสร้าง                      | 87   |
| ปัญหาและข้อเสนอแนะ                                                                                                            | 87   |
| <b>บรรณานุกรม</b>                                                                                                             |      |
| <b>ภาคผนวก ก</b>                                                                                                              |      |
| <b>ภาคผนวก ข</b>                                                                                                              |      |



## สารบัญรูปภาพ

## หน้า

|             |                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 2.1  | การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)                                                                                                                                                                  | 6  |
| รูปที่ 2.2  | การรังวัดดาวเทียมด้วยวิธีวัดเฟสของคลื่นส่ง                                                                                                                                                                      | 8  |
| รูปที่ 2.3  | การทำงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที                                                                                                                                                                     | 10 |
| รูปที่ 2.4  | ค่าความสูงจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส                                                                                                                                                                           | 12 |
| รูปที่ 2.5  | เทคนิคการรังวัดด้วยทางดาวเทียม GPS แบบจลน์ในทันที                                                                                                                                                               | 13 |
| รูปที่ 2.6  | การทดสอบความสามารถของ RTK ในการทำแผนที่ภูมิประเทศ                                                                                                                                                               | 14 |
| รูปที่ 2.7  | การประยุกต์หาค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางของสถานีวัดน้ำที่ในบริเวณอำเภอไทย ด้วยวิธีรังวัดแบบสถิต (Static Surveying) ของ เฉลิมชนม์และคณะ (2547)                                                              | 15 |
| รูปที่ 2.8  | ก้องไกล และเฉลิมชนม์ (2549) ได้ทำการทดสอบ วิธีการรังวัดดาวเทียม GPS ในลักษณะจลน์แบบทันทีทันใด (RTK) และ ในลักษณะจลน์แบบย้อนกลับแบบทันทีทันใด (Inversed RTK) ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8    | 16 |
| รูปที่ 2.9  | ก้องไกล และเฉลิมชนม์ (2549) ได้ทำการทดสอบ วิธีการรังวัดดาวเทียม GPS ในลักษณะจลน์แบบทันทีทันใด (RTK) และ ในลักษณะจลน์แบบย้อนกลับแบบทันทีทันใด (Inversed RTK) การทำงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที         | 18 |
| รูปที่ 2.10 | ทำการทดสอบ วิธีการรังวัดดาวเทียม GPS ในลักษณะจลน์แบบทันทีทันใด ในการทดสอบเบื้องต้นที่หมุด BM_SV03                                                                                                               | 20 |
| รูปที่ 3.1  | เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ยี่ห้อ Topcon รุ่น Hyper Ga พร้อมด้วยเครื่องบันทึกสมุดสนามอิเล็กทรอนิกส์ (Field controller) ยี่ห้อ Topcon รุ่น FC-200 สำหรับงาน RTK การทำงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที | 21 |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

|             |                                                                                                                                                                |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 3.2  | ตัวอย่างข้อมูลดิบที่ได้จากงานรังวัดในสนามจาก RTK มี 2 รูปแบบที่เครื่องรับบันทึกไว้ในรูปของ *.csv และในรูปของ *.tsj การทำงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที | 23 |
| รูปที่ 3.3  | การใช้งานประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลังมีข้อจำกัด ต้องไม่เกิน 5 หมุด                                                                                            | 24 |
| รูปที่ 3.4  | โปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียม GPS และปรับแก้โครงข่าย TOPCON TOOL version 7.5 พร้อมมีกฎเกณฑ์สำหรับปลดล็อก Hard Lock สำหรับงานประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภายหลัง       | 25 |
| รูปที่ 3.5  | แบบจำลองเพื่อทดสอบค่าต่างระดับทางดิ่งที่เปลี่ยนแปลง                                                                                                            | 26 |
| รูปที่ 3.6  | การทำงานรังวัดด้วย RTK ที่ตำแหน่งหมุดระดับที่กระจายบริเวณรอบสนามฟุตบอล                                                                                         | 27 |
| รูปที่ 3.7  | การทำงานรังวัดด้วย RTK ที่ตำแหน่งหมุดระดับที่กระจายบริเวณรอบสนามฟุตบอลในการทดลองที่ 2                                                                          | 29 |
| รูปที่ 3.8  | แสดงภาพเวกเตอร์บริเวณหมุดทดสอบ KSO1 (a), KSO2 (b), KSO3 (c), KSO4 (d)                                                                                          | 30 |
| รูปที่ 3.9  | การทำงานรังวัดด้วย RTK ที่ตำแหน่งหมุดระดับ BM_SV03 ในการทดลองที่ 3 กรณีที่ 1                                                                                   | 31 |
| รูปที่ 3.10 | การทำงานรังวัดด้วย RTK ที่ตำแหน่งหมุดระดับ BM_SV03 ในการทดลองที่ 3 กรณีที่ 2                                                                                   | 32 |
| รูปที่ 3.11 | การทำงานรังวัดด้วย RTK ที่ตำแหน่งหมุดระดับ BM_SV01 ในการทดลองที่ 4                                                                                             | 33 |
| รูปที่ 3.12 | การวางแผนทำงานรังวัดด้วย RTK ที่ตำแหน่งหมุดระดับ BM_SV01 ในการทดลองที่ 4                                                                                       | 34 |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

|               |                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 4.1(ก) | การทดสอบเมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่และเคลื่อนตัว ขึ้น-ลง ทางคัง 0.075 เมตร และสำหรับภาพ (ข) การทดสอบเมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่และเคลื่อนตัว ขึ้น-ลง ทางคัง 0.185 เมตร                                                                          | 36 |
| รูปที่ 4.2(ก) | กราฟแสดงค่าความสูงจากการทดสอบเมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่และเคลื่อนตัว ขึ้น-ลง ทางคัง 0.075 และ 0.185 เมตร ในการทดสอบเบื้องต้น (ข) ค่าความสูงครั้งที่ 2 ของการทดลองที่ 1                                                                          | 36 |
| รูปที่ 4.3    | แสดงว่าค่าความสูงที่ตรวจจับได้จากการทดสอบเบื้องต้น                                                                                                                                                                                                | 37 |
| รูปที่ 4.4    | แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางคังที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่และเคลื่อนที่ตัว ขึ้น-ลง ทางคังสูง 0.075 เมตรและ 0.185 ในการทดสอบเบื้องต้นข้อมูลแบบ Real-time (เส้นสีน้ำเงิน) และข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองเบื้องต้น | 39 |
| รูปที่ 4.5    | แสดงช่วงค่าพิสัยของค่าความสูงที่ตรวจจับในขณะที่เคลื่อนที่ทางคังสูง 0.075 เมตร และ 0.185 เมตร ตามลำดับคำอธิบายการประมวลผลข้อมูลของแผนภาพ                                                                                                           | 40 |
| รูปที่ 4.6    | ภาพถ่ายบริเวณสถานีทั้ง 4 หมุดในการทดลองที่ 4.2                                                                                                                                                                                                    | 42 |
| รูปที่ 4.7    | การประมวลผลแบบสัมพัทธ์ด้วยซอฟต์แวร์ Topcon tool v.4.5                                                                                                                                                                                             | 43 |
| รูปที่ 4.8    | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_01 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_01 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางคัง 0.075 เมตร                            | 48 |
| รูปที่ 4.9    | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_01 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_01 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลงทางคัง 0.075 เมตร                      | 49 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

|             |                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 4.10 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_01 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_01 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางคัง 0.185 เมตร          | 50 |
| รูปที่ 4.11 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_01 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_01 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางคัง 0.185 เมตร | 51 |
| รูปที่ 4.12 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_02 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_02 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางคัง 0.075 เมตร          | 52 |
| รูปที่ 4.13 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_02 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_02 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางคัง 0.075 เมตร | 53 |
| รูปที่ 4.14 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_02 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_02 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางคัง 0.185 เมตร          | 54 |
| รูปที่ 4.15 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_02 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_02 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางคัง 0.185 เมตร | 55 |
| รูปที่ 4.16 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_03 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_03 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางคัง 0.075 เมตร          | 56 |



## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

|             |                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 4.17 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_03 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด(ข)ใน 3 วัน ของหมุด KS_03 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางดิ่ง 0.075 เมตร   | 57 |
| รูปที่ 4.18 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_03 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_03 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางดิ่ง 0.185 เมตร          | 58 |
| รูปที่ 4.19 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_03 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_03 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนลง ทางดิ่ง 0.185 เมตร            | 59 |
| รูปที่ 4.20 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_04 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_04 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางดิ่ง 0.075 เมตร          | 60 |
| รูปที่ 4.21 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_04 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_04 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบ จำลอง อยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง ทางดิ่ง 0.075 เมตร | 61 |
| รูปที่ 4.22 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_04 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_04 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง ทางดิ่ง 0.185 เมตร            | 62 |
| รูปที่ 4.23 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS_04 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS_04 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนลง ทางดิ่ง 0.185 เมตร            | 63 |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

|             |                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 4.24 | ตึกสำนักงานอธิการบดี และตึก 36 อาคารเรียนปริญญาตรี ซึ่งเป็นอาคารที่มีความสูง 3 ชั้น และ 6 ชั้น ตามลำดับอาจทำให้เกิดการบดบังสัญญาณวิทยุจากสถานีฐานที่จะส่งมายังสถานีจร BMSV 03 ทำให้ การส่งข้อมูลเกิดการล่าช้าส่งผลต่อการคำนวณตำแหน่งที่จุดสถานีจรเอง   | 66 |
| รูปที่ 4.25 | การทดลองที่ 2 ในกรณี ตำแหน่งหมุดที่สถานีจร BMSV 03 ไม่มีอิทธิพลการปกคลุมเรื่อณยอกรูปด้านซ้าย ก) เมื่อสถานีฐานคือ BLD14/1 และ ข) เมื่อสถานีฐานคือ หมุด BLD 35                                                                                           | 67 |
| รูปที่ 4.26 | กราฟแสดงความสูงที่ตรวจจับได้ จาก RTK ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วันของการทดลองที่ 3 ของหมุด BMSV 03 ที่ความสูง 0.075 เมตร ข้อมูลแบบReal – Timeเมื่อสถานีฐานคือหมุด BLD 14/1                                                 | 69 |
| รูปที่ 4.27 | กราฟแสดงความสูงที่ตรวจจับได้ จาก RTK ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วันของการทดลองที่ 3 ของหมุด BMSV 03 ที่ความสูง 0.075 เมตร ข้อมูลแบบpost processing เมื่อสถานีฐานคือหมุด BLD 14/1                                            | 70 |
| รูปที่ 4.28 | กราฟแสดงความสูงที่ตรวจจับได้ จาก RTK ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วันของการทดลองที่ 3 ของหมุด BMSV 03 ที่ความสูง 0.185 เมตร ข้อมูลแบบReal – Timeเมื่อสถานีฐานคือหมุด BLD 14/1                                                 | 71 |
| รูปที่ 4.29 | กราฟแสดงความสูงที่ตรวจจับได้ จาก RTK ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วันของการทดลองที่ 3 ของหมุด BMSV 03 ที่ความสูง 0.185 เมตร ข้อมูลแบบpost processing เมื่อสถานีฐานคือหมุด BLD 14/1                                            | 72 |
| รูปที่ 4.30 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่และเคลื่อนที่ตัว ขึ้น-ลง ทางดิ่งสูง 0.075 เมตรและ 0.185 ข้อมูลแบบ Real-time (เส้นสีน้ำเงิน) และข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 3 กรณีที่ 2 ชุดข้อมูลที่ 1. | 74 |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 4.31 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลอง<br>อยู่นิ่งกับที่และเคลื่อนที่ตัว ขึ้น-ลง ทางดิ่งสูง 0.075 เมตรและ 0.185 ข้อมูลแบบ<br>Real-time (เส้นสีน้ำเงิน) และข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 3<br>กรณีที่ 2 ชุดข้อมูลที่ 2 | 76 |
| รูปที่ 4.32 | การทดสอบในกรณีที่ มีการบังคับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากสิ่งปลูกสร้าง                                                                                                                                                                                              | 78 |
| รูปที่ 4.33 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK แสดงค่าทาง สถิติ ของ<br>การทดลองที่ 4 ในกรณี มี Obstruction บริเวณตำแหน่งหมุดที่รับสัญญาณ<br>ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองวันแรก และวันที่สอง                                                            | 80 |
| รูปที่ 4.34 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ของการทดลองที่ 4 ใน<br>กรณี มี Obstruction บริเวณตำแหน่งหมุดที่รับสัญญาณ ข้อมูลแบบ Real-time<br>ในการทดลองวันแรก                                                                                          | 81 |
| รูปที่ 4.35 | แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ของการทดลองที่ 4 ใน<br>กรณี มี Obstruction บริเวณตำแหน่งหมุดที่รับสัญญาณ ข้อมูลแบบ Real-time<br>ในการทดลองวันที่สอง                                                                                       | 82 |

## สารบัญตาราง

## หน้า

|                 |                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 2.1    | แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ทดสอบสมมุติฐานเบื้องต้น 30                                                                                                                                           | 19 |
| ตารางที่ 4.1    | แสดงค่าทางสถิติของการทดสอบเบื้องต้นในการตรวจจับค่าต่างทางคิ่งด้วย วิธี RTK ของหมุดสถานีจร ในการทดลองเบื้องต้น                                                                                     | 38 |
| ตารางที่ 4.2(ก) | แสดงค่าทางสถิติของความสูงที่เครื่องรับที่หมุด KS_01ตรวจจับได้ใน 3 วัน จากข้อมูล Real-time และ Post processing ของการทดลองที่ 2                                                                    | 44 |
| ตารางที่ 4.2(ข) | แสดงค่าทางสถิติของความสูงที่เครื่องรับที่หมุด KS_02 ตรวจจับได้ ใน 3 วัน จากข้อมูล Real-time และ Post processing ของการทดลองที่ 2                                                                  | 45 |
| ตารางที่ 4.2(ค) | แสดงค่าทางสถิติของความสูงที่เครื่องรับที่หมุด KS_03ตรวจจับได้ ใน 3 วัน จากข้อมูล Real-time และ Post processing ของการทดลองที่ 2                                                                   | 46 |
| ตารางที่ 4.2(ง) | แสดงค่าทางสถิติของความสูงที่เครื่องรับที่หมุด KS_04 ตรวจจับได้ ใน 3 วัน จากข้อมูล Real-time และ Post processing ของการทดลองที่ 2                                                                  | 47 |
| ตารางที่ 4.3    | ค่าทางสถิติของการทดลองที่ 3 ในกรณี ที่ 1 หมุด สถานีจร BMSV 03 อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมในการรับสัญญาณ ดาวเทียม แต่มีอาคารขนาดใหญ่บังแนวส่งสัญญาณจากสถานีฐาน BLD14/1 ไปยังสถานีจร                    | 68 |
| ตารางที่ 4.4    | แสดงค่าทางสถิติของการทดลองที่ 3 ในกรณี BMSV 03 เป็นหมุด สถานีจร ซึ่งอยู่ในบริเวณท้องฟ้าเปิด เหมาะแก่การรับสัญญาณ และไม่มี การบดบังสัญญาณวิทยุที่ส่งข้อมูลรังวัดจากสถานีฐานหมุด BLD 35 ให้ สถานีจร | 73 |
| ตารางที่ 4.5    | แสดงค่าทาง สถิติ ของการทดลองที่ 4 ในกรณี มี Obstruction บริเวณ ตำแหน่งหมุดที่รับสัญญาณด้วยวิธี RTK                                                                                                | 79 |



## บทที่ 1

### บทนำ (Introduction)

#### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในช่วงระยะเวลา 20-30 ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีทางการสำรวจทำแผนที่ได้พัฒนาไปรวดเร็วมาก ทำให้การหาตำแหน่งที่เราต้องการ ทำได้รวดเร็วและง่ายขึ้น ซึ่งวิธีการรังวัดแขนงหนึ่งที่ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการบอกพิกัดของจุดตำแหน่งในทาง 3 มิติ ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบันก็คือ วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส นี้สามารถให้ความถูกต้องทางตำแหน่งอยู่ในระดับ มิลลิเมตรถึงระดับเมตร ซึ่งความถูกต้อง ที่ได้นี้ ซึ่งความถูกต้องที่ได้นี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องรับสัญญาณที่ใช้ และวิธีการที่ใช้ในการรังวัด ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้ ต้องการที่จะพิจารณาค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่ง ซึ่งต้องมีค่าความถูกต้องสูง ดังนั้นประเภทของเครื่องวัดสัญญาณ จีพีเอส จะเป็นเครื่องรับแบบรังวัด ชนิด 2 ความถี่

การรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ทำให้ผลลัพธ์ทางตำแหน่งเป็นค่าพิกัดใน 3 มิติ ปัจจุบันการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส สามารถแสดงผลของข้อมูลในระดับความถี่ 5 Hz หรือสูงกว่า ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาตรวจวัดการเคลื่อนตัวทางดิ่งของตำแหน่งที่สนใจ วิธีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม จีพีเอส แบบจลน์ในทันที (Real-Time Kinematic) ซึ่งในที่นี้จะขอเรียกว่าวิธี RTK เป็นวิธีทำงานรังวัดดาวเทียม ซึ่งให้ค่าตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) โดยต้องใช้เครื่องรับแบบรังวัดชนิดสองความถี่ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปโดยเครื่องรับเครื่องหนึ่งจะถูกวางรับสัญญาณที่สถานีฐาน (Base Station) จุดนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ และเป็นจุดที่ทราบค่าพิกัดตั้งต้น ส่วนเครื่องรับที่เหลือจะสามารถเคลื่อนที่ได้ในขณะที่เก็บข้อมูล ตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการทราบค่าพิกัดจุดเหล่านี้เรียกว่าสถานีจร (Roving Station) การหาตำแหน่งสามารถทำได้ทันทีในสนามโดยอาศัยการส่งข้อมูลผ่านวิทยุ หรืออุปกรณ์สื่อสารอื่น ๆ แล้วทำการประมวลผลภายในเครื่องรับสัญญาณเลยโดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์เทียบกับตำแหน่งสถานีฐาน โดยที่วิธี RTK นี้ สามารถให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตร (Rizos, 1997)

นักวิจัยและวิศวกรมากมาย ได้นำเทคโนโลยีการรังวัด ด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบ RTK ไปใช้ร่วมกับเครื่องมือต่างๆ เช่น เครื่องวัดความเร่ง (Accelerometers) เครื่องวัดความเร่งแบบ 3 แกน (Triaxial Accelerometers) เครื่องวัดระยะอิเลคทรอนิกส์ กล้องประมวลผลรวม เป็นต้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวัง และตรวจสอบการเคลื่อนตัว ในทางราบ และทางตั้งของ โครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น อาคารสูง และ สะพานช่วงยาว

ตามหลักการของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที (RTK) คือ ให้ตำแหน่ง ของสถานีจร สามารถเคลื่อนที่ได้ไป ณ ตำแหน่งที่เราต้องการทราบค่าพิกัด ส่วนสถานีฐานจะไม่มี การเคลื่อนที่โดยเป็นจุดที่ทราบค่าพิกัด ในการรังวัดเพื่อทำการสำรวจหมุดควบคุมทางตั้งนั้น วิธีการที่ใช้ในการสำรวจแต่ดั้งเดิมก็คือการสำรวจด้วยกล้องระดับ ซึ่งจุดประสงค์ของการทำระดับ ก็คือ เพื่อต้องการทราบค่าความต่างระดับ ของจุดสองจุดในภูมิประเทศ และความละเอียดของการ ถ่ายระดับ เพื่อตรวจสอบงานที่ได้กับค่าความผิดพลาดให้สำหรับแต่ละช่วงด้วยวิธีการต่างๆ ก็อยู่ใน ระดับมิลลิเมตร ถึงเซนติเมตร ซึ่งด้วยข้อจำกัดทางด้านความถูกต้องที่ต้องการของการสำรวจหมุด ควบคุมทางตั้งด้วยกล้องระดับนี้ ก็มีความสอดคล้องกับความถูกต้องที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส แบบรังวัดชนิดสองความถี่ ซึ่งในปัจจุบันสามารถให้ความถูกต้องทางตำแหน่งได้ในระดับ เซนติเมตร หรือดีกว่านั้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะใช้วิธีรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส ด้วยวิธี RTK ในการหาค่า ระดับของหมุดควบคุมทางตั้ง แทนกล้องระดับ เพื่อความสะดวกรวดเร็วและต้องการให้ครอบคลุม พื้นที่เป็นบริเวณกว้าง โดยที่การได้มาของค่าระดับของหมุดควบคุมทางตั้ง นอกจากจะพิจารณา ข้อมูลแบบทันทีทันใดที่เครื่องรับแสดงแล้ว ผู้วิจัยจะใช้เทคนิคในการประมวลผลข้อมูลดิบ ภายหลังเพื่อกรองค่าคลาดเคลื่อนของสัญญาณข้อมูลรังวัดที่รับได้ จากเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส ด้วยวิธี RTK เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงทางตั้ง ซึ่งมีความรวดเร็วและถูกต้องมากที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความสามารถของวิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ด้วยวิธีแบบจลน์ในทันที (RTK) ในลักษณะจลน์ทันทีทันใด (RTK) ในการตรวจสอบหาความต่างของค่าระดับหมุดอ้างอิงที่ต้องการในภูมิประเทศ

2.2 เพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการประมวลผลข้อมูลดิบที่ได้จากการรับสัญญาณจีพีเอส ในลักษณะทันทีทันใด (RTK)

2.2.1 เพื่อศึกษาผลลัพธ์ของค่าระดับที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลดิบที่ได้จากการส่งสัญญาณจีพีเอส ในลักษณะทันทีทันใด (RTK)

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 ศึกษาในการหาค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่ง ที่ตรวจจับได้ด้วยเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบรังวัดชนิด 2 ความถี่ ที่ใช้วิธีการรังวัดดาวเทียม จีพีเอส ด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด (RTK)

3.2 ศึกษาและวิเคราะห์ผลจากการทดลองที่ออกแบบไว้ โดยใช้วิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด (RTK) เป็นวิธีการพื้นฐานในการทำงานเพื่อเก็บข้อมูล

### 3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 ชุดข้อมูลค่าพิกัด ซึ่งเป็นข้อมูลดิบ และค่าพิกัดที่ได้จากวิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด (RTK) ดังการทดลองที่ออกแบบไว้

3.3.2 เปลี่ยนค่าความสูงเหนือทรงรี เป็นความสูงย้อย โดยการใช้แบบจำลองย้อยสากล EGM96 สำหรับค่าระดับของหมุดควบคุมทางดิ่ง ที่ตรวจจับได้ ด้วยเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ผู้ใช้ วิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด(RTK) ทราบถึงค่าความถูกต้องทางดิ่งที่ได้จาก วิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด(RTK)

1.4.2 ทำให้ผู้ใช้วิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด(RTK) ทราบถึงค่าความถูกต้องทางดิ่งที่ได้จาก วิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด(RTK)

1.4.3 เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยข้อมูลดิบที่ได้จาก วิธีการรังวัดดาวเทียม จีพีเอส ด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด (RTK)

1.4.4 วิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด (RTK) นี้มีความสะดวก และใช้เวลาในการทำงานน้อย ซึ่งภายหลังจากการนำข้อมูลดิบมาคำนวณหาค่าความสูงของหมุดควบคุมทางดิ่งนั้นๆ ซึ่งผลลัพธ์ก็คือค่าความสูงที่รังวัดได้ เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำหมุดควบคุมทางดิ่งในสนามเพราะจะทำให้ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย ในงานสนาม ที่ดีกว่าการทำระดับด้วยกล้องระดับธรรมดาทั่วไป และยังสามารถให้ค่าพิกัดทางราบ ที่มีความถูกต้อง อีกด้วย

1.4.5 ข้อพึงระวังในการเลือกตำแหน่งจุดสถานีจรในสนามมีผลต่อความสามารถในการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับเองในสนามแบบทันทีทันใดจาก วิธีการรังวัดดาวเทียม จีพีเอส ด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด (RTK)



## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรม

เนื้อหาในบทนี้จะเริ่มจากการอธิบายหลักการหาค่าระดับ จากงานรังวัดดาวเทียม จีพีเอส จากนั้นจะอธิบายถึงวิธีการหาค่าต่างระหว่าง พื้นผิวทรงรีและพื้นผิวยืดย (Geoid-ellipsoid separation) และในส่วนสุดท้ายจะเป็นแนวความคิดที่ใช้เป็นกรณีศึกษาการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส

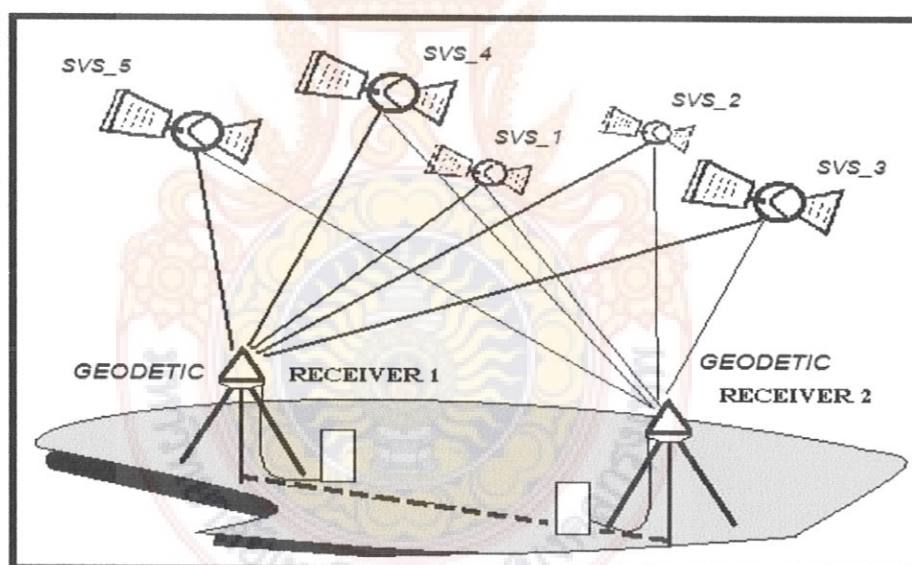
#### 2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ถูกพัฒนาขึ้นโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในช่วงเริ่มระบบเมื่อปี ที่ผ่านมจนถึงปัจจุบันงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส เป็นที่รู้จัก และมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อได้เปรียบวิธีการสำรวจรังวัดแบบเดิม นั่นคือสามารถแสดงผลพิกัดตำแหน่งในสามมิติ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานได้ไม่จำกัดช่วงเวลาทั้งกลางวัน และกลางคืนตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่ต้องคำนึงถึงสถานที่และสภาพอากาศ ขอเพียงเป็นบริเวณที่โล่งท้องฟ้าเปิดและ มีความสะดวกในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งหูดมาก เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเลือกตำแหน่งหูดให้มองเห็นกัน อีกทั้งไม่เสียค่าใช้จ่ายในการรับสัญญาณดาวเทียม มีแต่เพียงค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณ จากดาวเทียมและซอฟต์แวร์ที่ใช้ ในการประมวลผล ข้อจำกัดของการรับสัญญาณดาวเทียม มีแต่เพียงว่าท้องฟ้ารอบบริเวณที่ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมต้องเปิดโล่งเพื่อให้เครื่องรับสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมที่อยู่เหนือท้องฟ้าในขณะนั้น ให้ได้อย่างน้อยสี่ดวงและมีค่าการวางตัวทางเลขนคติของดาวเทียมที่ดีที่สุดในขณะช่วงเวลาเดียวกัน นอกจากนั้นราคาของเครื่องรับสัญญาณในอนาคดยังมีแนวโน้มลดลงในขณะที่ประสิทธิภาพและความสามารถของเครื่องรับสัญญาณสูงขึ้น

เนื่องจากงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส เป็นที่ยอมรับในงานวิศวกรรมสำรวจ และเป็นที่ยอมรับสำหรับคนหลากหลายอาชีพจนมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ทำให้ในปัจจุบันได้มีเอกสาร และหนังสือเกี่ยวกับระบบดาวเทียมจีพีเอส ทั้งทางทฤษฎี และปฏิบัติออกเผยแพร่ให้ผู้ที่สนใจได้ศึกษาหาความรู้ทั้งภาคภาษาไทย และภาษาอังกฤษ โดยผู้ที่ต้องการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากชูเกียรติ วิเชียรติเจริญ (2538), เจริญชนม์ สติระพจน์ (2546) , Rizos (1997) โดยในหัวข้อนี้จะอธิบายเพียงเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเท่านั้น

### 2.1.1 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning or Differential Positioning)

เป็นวิธีการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกันระหว่างจุดสองจุด วัตถุประสงค์ของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ก็คือต้องการให้ความถูกต้องของตำแหน่งเครื่องรับดีขึ้นกว่าการหาตำแหน่งของจุดเดียว การทำงานโดยใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ เริ่มต้นจากหมุดหลักฐานที่มีค่าพิกัดตำแหน่งสัมบูรณ์อยู่ จุดอื่นๆ ที่สร้างขึ้นมาใหม่โดยวิธีทำงานแบบสัมพัทธ์จะมีค่าพิกัดตำแหน่งสัมบูรณ์เช่นกัน การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ต้องใช้เครื่องรับแบบรังวัดตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป เครื่องรับอันแรกจะวางรับสัญญาณอยู่กับที่บนหมุดหลักฐานซึ่งทราบค่าหรือถือว่ารู้ตำแหน่งอยู่แล้ว หมุดหลักฐานนี้เรียกว่าสถานีฐาน (Base Station) ส่วนเครื่องรับอื่นๆที่เหลือ เพียงนำไปวางตามจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกับสถานีฐานจุดเหล่านี้เรียกว่าจุดรีโมท หลักการทำงานของ การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์คือเครื่องรับที่สถานีฐานและเครื่องรับที่จุดรีโมทจะต้องรังวัดไปยังดาวเทียมกลุ่มเดียวกันในขณะเวลาเดียวกันอย่างน้อย 4 ดาว หรือมากกว่านั้น (ดูรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning)

### 2.1.1.1 การทำงานรับวัดด้วยเครื่องรับแบบรับวัดด้วยวิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง

หลังจากเปิดเครื่องรับสัญญาณ เครื่องรับจะเริ่มทำการวัดเฟสของคลื่นส่ง โดยจะทำการเปรียบเทียบเฟสของคลื่นส่งที่ส่งมาจากดาวเทียม กับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสร้างขึ้นมาเอง โดยที่เราจะทราบเพียงส่วนของคลื่นที่ไม่เต็มลูก หรือเรียกว่า “เฟส” ในส่วนของจำนวน ลูกคลื่นเต็มลูก หรือที่เรียกว่า เลขปริศนา (Ambiguity) สามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยมีสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่ง (GPS Observation Equation) ดังนี้

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

โดยที่

|                       |     |                                                            |
|-----------------------|-----|------------------------------------------------------------|
| $\Phi_i^j$            | คือ | ค่า Carrier phase ที่วัดได้ในหน่วยของลูกคลื่นจากดาวเทียม j |
| $\lambda$             | คือ | ความยาวคลื่น                                               |
| $\rho_i^j$            | คือ | ระยะทางระหว่างดาวเทียม j กับเครื่องรับสัญญาณ I (เมตร)      |
| $N_i^j$               | คือ | ค่า Ambiguity ระหว่างดาวเทียม j กับเครื่องรับสัญญาณ i      |
| $f$                   | คือ | ความถี่ของสัญญาณจากดาวเทียม                                |
| $\Delta r^j$          | คือ | ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม j               |
| $d_{ion}$             | คือ | ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (เมตร)  |
| $d_{trop}$            | คือ | ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)   |
| $\Delta\delta_i^j(t)$ | คือ | ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม j และนาฬิกา        |

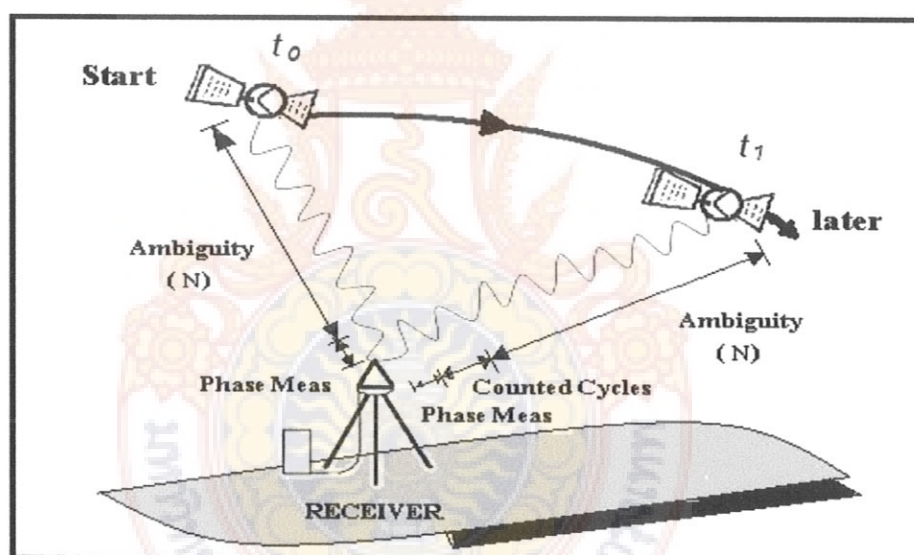
เครื่องรับสัญญาณ I

$$\text{โดยที่} \quad \Delta\delta_i^j(t) = \delta_i(t) - \delta^j(t) \quad \text{.....2}$$

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่รับได้จากดาวเทียมจีพีเอส มีค่าความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่หลายชนิด เครื่องรับแบบรับวัดจะใช้วิธีการวัดเฟสของคลื่นส่งเพื่อให้ได้ตำแหน่งสัมบูรณ์ (ดังรูปที่ 2.2) ความถูกต้องระดับเซนติเมตรหรือดีกว่านั้น เครื่องรับแบบรับวัดประเภทนี้จะสร้างรหัส C/A ขึ้นมาเปรียบเทียบกับสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ เมื่อสามารถถอดรหัสจากสัญญาณได้ก็จะรู้ข้อมูลดาวเทียมซึ่งจำเป็นต่อการคำนวณตำแหน่ง ดังนั้นผลพลอยได้ในการถอดรหัสนี้คือชุดโคเรนซ์ จากรหัส C/A ซึ่งนำมาคำนวณตำแหน่งสัมบูรณ์ของเครื่องรับได้เช่นเดียวกับเครื่องรับแบบกำหนดในการวัดเฟสของคลื่นส่งนี้เครื่องรับแบบรับวัดจะสร้างคลื่น ที่มีความถี่เท่ากับคลื่นที่



สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบ ปริมาณที่วัดได้จึงเป็นค่าต่างเฟสระหว่างคลื่นส่งที่รับได้กับคลื่นที่สร้างโดยเครื่องรับ ปัญหาของการวัดเฟสแบบนี้ คือจำนวนลูกคลื่นเต็มลูกที่ใช้ในการคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ เนื่องจากไม่สามารถที่จะวัดจำนวนลูกคลื่นเต็มลูกได้โดยตรงในเครื่องรับ จำนวนลูกคลื่นนี้เป็นเลขจำนวนเต็มที่ต้องใช้วิธีการประมวลผลเพื่อคำนวณว่ามีค่าเป็นเท่าไรเลขจำนวนนี้เรา เรียกว่า เลขปริศนา ภาษาอังกฤษมักใช้คำว่า Ambiguity หรือ Integer ใช้สัญลักษณ์เป็น  $N$  ข้อสังเกตก็คือถ้าช่องรับสัญญาณของเครื่องรับสามารถติดตามดาวเทียมได้ตลอดเวลา ค่า  $N$  จากเครื่องรับไปยังดาวเทียมแต่ละดวงจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะเดียวกันค่าต่างเฟสที่เริ่มมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นหนึ่งลูกจะสามารถตรวจนับได้โดยเครื่องรับ ดังนั้นถ้าสามารถคำนวณหาค่า  $N$  เมื่อตอนเริ่มรับสัญญาณได้ ก็จะรู้ค่าจำนวนลูกคลื่นเต็มลูกที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ตลอดเวลา สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก เกลิมชนม์ สติระพจน์ (2546)



รูปที่ 2.2 การรังวัดดาวเทียมด้วยวิธีวัดเฟสของคลื่นส่ง

สาเหตุที่ทำให้เครื่องรับแบบรังวัดมีสมรรถนะที่ให้ความถูกต้อง ทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตร คือ ประการแรก  $1^{\text{st}}$  ความยาวคลื่นของส่ง  $L_1$  เพียง 19 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของรหัส C/A ซึ่งยาวเท่ากับ 300 เมตร นั้นเครื่องรับแบบรังวัดนี้จะวัดเฟสของคลื่นส่งซึ่งเป็นส่วนย่อยของลูกคลื่นหนึ่งลูก จึงเปรียบเทียบได้เหมือนกับการนำเอาไม้บรรทัดที่มีการแบ่งช่องสเกลที่ถี่ห่างต่างกันมากมาวัดระยะทางอันเดียวกัน ย่อมทำให้ความถูกต้องของระยะทางที่วัดได้มีความละเอียดที่แตกต่างกันมากนั่นเอง ระยะทางที่ได้จากการวัดเฟสนี้จะมีความถูกต้องในระดับมิลลิเมตรเลยทีเดียว (ชูเกียรติ, 2008) ประการที่สอง  $2^{\text{nd}}$  การหาตำแหน่งแบบสามพัทธ์ช่วยกำจัดความ



คลาดเคลื่อนมีระบบให้หักล้างกันหมดนั้น เช่น ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาบนดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ และในขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลในซอฟต์แวร์ที่ใช้ ในการประมวลผลพื้นฐานจีพีเอส โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สองในการขจัดค่า ความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และหลังจากที่ได้ใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สอง แล้วยังสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และโทรโพสเฟียร์ที่ หลงเหลือจากการใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สอง ได้โดยใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ที่มีอยู่ เช่น แบบจำลอง Klobuchar สำหรับลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอ โนสเฟียร์และแบบจำลอง Hopfield หรือ Saastamoinen สำหรับลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้น บรรยากาศโทรโพสเฟียร์

สำหรับการคำนวณตำแหน่งสัมพัทธ์จากข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง โดยปกติจะ เป็นการประมวลผลภายหลังการทำงานสนาม เพราะจะต้องนำข้อมูลจำนวนมากที่ได้จากการรับ สัญญาณจากทั้งสองจุดมาประมวลผลร่วมกัน แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้ทำการ แสดงตำแหน่งในทันทีในขณะที่กำลังรับสัญญาณ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในวิธีการรังวัดแบบจลน์ ในทันที (Real Time Kinematic Survey) นั่นเอง

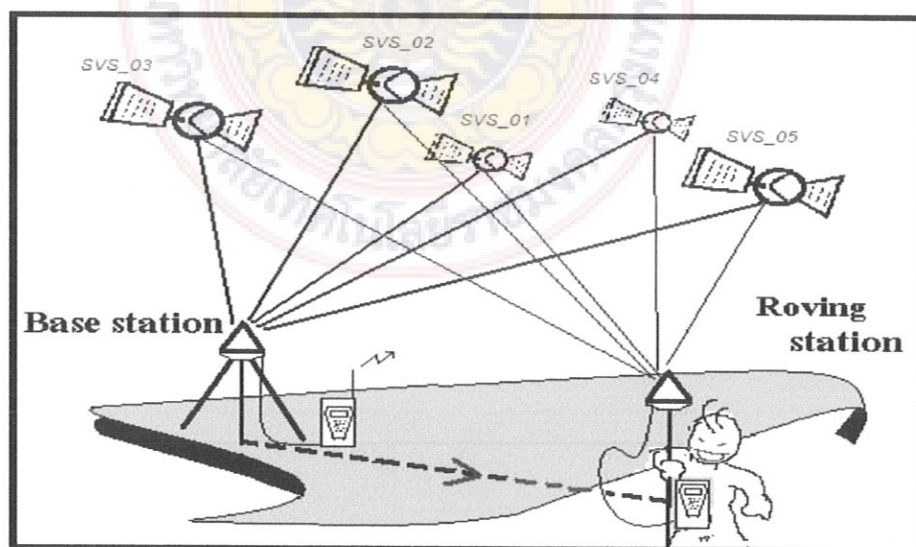
### 2.1.2 การรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematic Survey)

ด้วยความสามารถของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบสองความถี่ในปัจจุบัน ที่สามารถ แสดงค่าพิกัดทางตำแหน่ง แบบ 3 มิติ ให้มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตรหรือดีกว่า และยังสามารถบันทึกค่าพิกัดที่มีความถี่ของข้อมูลได้ทุก ๆ 0.2 วินาที (5Hz) หรือถี่กว่านั้น แล้วแต่ รุ่นของเครื่องรับนั้น ๆ ทำให้มีการนำเอาเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวัง และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง การเคลื่อนที่ของโครงสร้างทางวิศวกรรม ไม่ว่าจะเป็นสะพาน เชื้อน อาคารสูง หรือ สิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ การประยุกต์ใช้งานเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ที่นิยมกัน มาก คือ การนำเอาเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ไปใช้วัดการเคลื่อนตัวของสะพาน ซึ่งผลการศึกษาที่ ผ่านมา ก็ได้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ที่ผ่านมา (Robert et al. , 2004) เพื่อการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานแบบ 3 มิติโดยที่สะพานเหล่านั้น จะตกอยู่ภายใต้เงื่อนไขของแรงต่างๆ ที่มากระทำต่อตัวของสะพานไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักของตัว สะพานเอง น้ำหนักของยานพาหนะ หรือแรงลม ที่กระทำทางด้านข้างของตัวสะพาน แรงต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อการเคลื่อนตัวของสะพานได้ในทั้ง แกนราบ และแกนตั้ง ถ้าค่าการเคลื่อนตัวของ สะพานที่เกิดขึ้นนี้สามารถถูกตรวจสอบได้โดยทันทีทันใด หรือถูกวัดค่าได้จะทำให้เกิดประโยชน์

มากมายทั้งต่อทีมงานวิศวกรผู้ออกแบบและทีมงานที่ทำหน้าดูแลบำรุงรักษาสะพาน วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส วิธีหนึ่ง ที่เรานำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าระดับของหมุดควบคุมทางโค้ง (ก้องไกล และเฉลิมชนม์, 2005) ซึ่งสามารถให้ค่าพิกัดได้ทันทีทันใด ก็คือวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส 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 ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมียุทธรณศาสตร์ที่ใช้ในการส่งข้อมูลการวัดเฟสจากเครื่องรับที่สถานีฐานไปยังเครื่องรับที่จุดริโมท สำหรับเครื่องรับที่จุดริโมทจะต้องมีหน่วยประมวลผล และมีซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลพื้นฐานอยู่ด้วย (ดังรูปที่ 3) สำหรับเงื่อนไขที่สองการคำนวณค่าเลขปริศนาจะต้องเลือกใช้วิธีการวัดและขั้นตอนวิธีประมวลผลที่ให้คำตอบเร็วที่สุด ในปัจจุบันวิธีการที่ใช้คือ ค่าผสมของรหัส และคลื่นส่งในเครื่องรับแบบ 2 ความถี่ ที่มีรหัส  $P$  ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับที่การรังวัดสถิตอย่างรวดเร็วใช้อยู่”



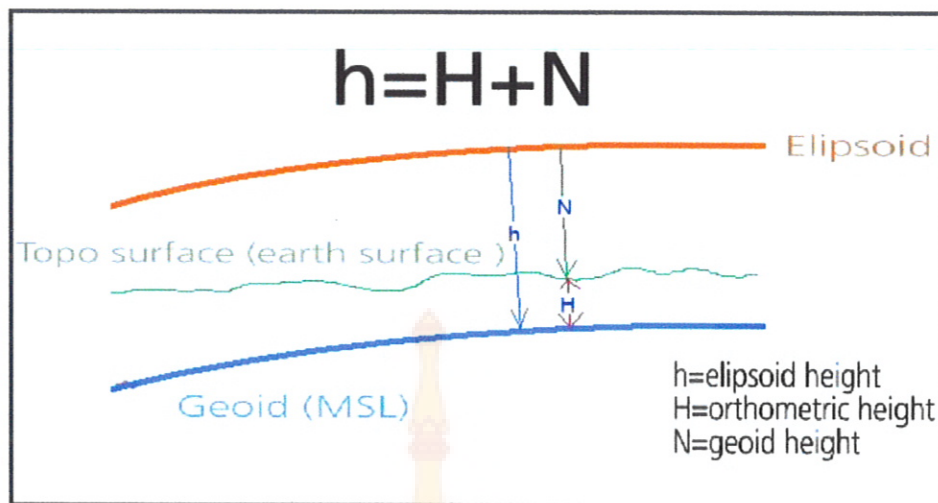
รูปที่ 2.3 การทำงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที

จุดสถานีฐานจะส่งข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นที่จะต้องใช้ในการประมวลผล เพื่อใช้ในการคำนวณหาเลขปริศนาให้ได้เร็ว และมีความถูกต้องมากที่สุด สำหรับข้อมูลที่สถานีฐานส่งมา ได้แก่ ข้อมูล L1, L2, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> ของดาวเทียมแต่ละดวงที่รับได้ รวมทั้งค่าพิกัดตั้งต้นของตัวสถานีฐาน โดยจะถูกจัดส่งมาในรูปแบบข้อมูลมาตรฐาน ของเครื่องรับยี่ห้ออื่นๆ หรือรูปแบบมาตรฐาน RTCM (The Radio Technical Commission for Maritime Service) ให้กับเครื่องรับที่จุดสถานีจรด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีนั้น ตำแหน่งที่จุดแรกจะต้องรอให้มีข้อมูลเพียงพอสำหรับการคำนวณเลขปริศนา ในกรณีที่รับสัญญาณได้ไม่ต่อเนื่อง ไม่จำเป็นต้องเดินทางย้อนกลับไปยังจุดที่ผ่านมาแล้ว เพียงแค่หยุดรอสักครู่เพื่อให้มีข้อมูลพอที่จะคำนวณเลขปริศนาได้ใหม่เช่นเดียวกับเมื่อเริ่มงานที่จุดแรก จากนั้นก็เดินทางต่อไปได้ตามปกติ

### 2.1.3 หลักการหาตำแหน่งจากงานรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส

ระบบค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS นั้น เป็นผลลัพธ์ ของค่าพิกัดทางตำแหน่งใน 3 มิติ นั่นคือ แกนราบ 2 ค่าและแกนตั้ง 1 ค่าโดยจะอ้างอิงถึงรูปร่างของทรงรี (Ellipsoid) ที่มีชื่อว่า WGS 84 ซึ่งจากหลักการทำงานรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส พบว่า โดยทั่วไปแล้ว ค่าความถูกต้อง ของตำแหน่งทางราบที่ได้จาก GPS จะดีกว่าทางตั้ง ประมาณ 2-3 เท่า (Rizos, 2007) ระบบพิกัดแบบนี้จะเรียกว่าระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinate system) ซึ่งประกอบไปด้วย ( $\phi$ ,  $\lambda$  และ  $h$ ) ค่าพิกัดในแนวตั้งหรือค่าความสูงนี้เป็นค่าความสูงเหนือทรงรี ( $h$ ) ที่อ้างอิงมาจาก ทรงรีที่มีชื่อว่า WGS 84 แต่ในขณะเดียวกัน ความสูงที่นำมาใช้ในงานวิศวกรรมจะอ้างอิงมาจากระดับน้ำทะเลปานกลาง Mean Sea Level (MSL) หรือพื้นผิวยอด ซึ่งเรียกโดยย่อว่า ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (Height above mean sea level) เพื่อความสูงออร์โธเมตริก (Orthometric height) ค่าความสูงออร์โธเมตริก ( $H$ ) นี้จะอ้างอิงกับค่าระดับจาก MSL เนื่องจากผิวระดับน้ำทะเลปานกลางเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของผิวยอดแนวตั้ง หรือแนวความสูงออร์โธเมตริก ( $H$ ) จะตั้งฉากกับผิวยอด ส่วนความสูงเหนือทรงรี ( $h$ ) จะตั้งฉากกับผิวทรงรี WGS 84 ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าความสูงทั้ง 2 แบบแสดงได้ดังรูปที่ 2.4





รูปที่ 2.4 ค่าความสูงจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า การจะแปลงความสูงเหนือทรงรี ( $h$ ) ที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ GPS มาเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง คือ ความสูงออร์โธเมตริก ( $H$ ) ฉะนั้นเมื่อต้องการทราบความสูงออร์โธเมตริก ต้องการรวมค่าต่าง ระหว่างพื้นผิว ทรงรี และพื้นผิวยืออก (Geoids-Ellipsoid separator) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกโดยย่อว่า เชิงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า  $N$  กับความสูงออร์โธเมตริก ( $H$ ) และความสูงเหนือทรงรี ( $h$ ) สามารถ แสดงได้ดังสมการที่ว่า

$$h = H + N \dots$$

โดยที่

$h$  คือ ความสูงเหนือทรงรี

$H$  คือ ความสูงออร์โธเมตริก หรือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

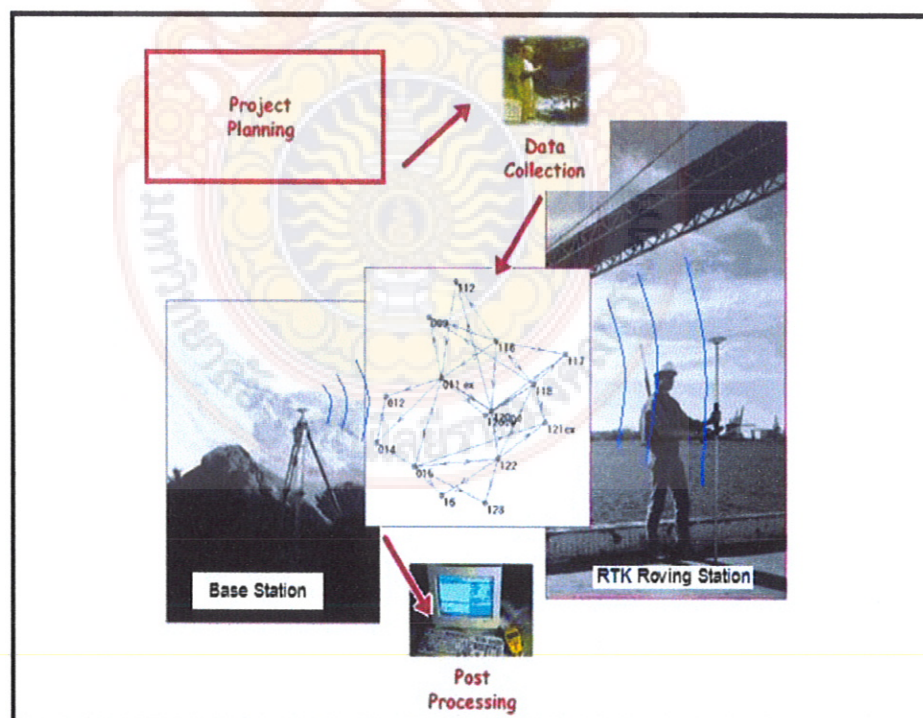
$N$  คือ ค่าต่างระหว่าง พื้นผิวทรงรี กับ พื้นผิวยืออก

จากสมการข้างต้น พบว่า ความถูกต้องของ ค่าความสูง ออร์โธเมตริก ( $H$ ) นั้น จะขึ้นอยู่กับค่าความถูกต้องของความสูงเหนือทรงรี ( $h$ ) ที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส และค่าความถูกต้องของค่า  $N$  ฉะนั้น ความถูกต้องของค่า  $N$  นี้จึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณค่าระดับความสูง จากงานรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ที่ผ่านมา ธนัช(2547) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ แบบจำลอง ของสนามความต่างศักย์ (Perth's gravity field) ที่มีคิรีถึง 360 ระหว่าง OSU91A และ EGM96 โดยจากการศึกษาผลลัพธ์ที่  $h=H+N$  ที่อะนอมะลี แรงถ่วงเฉลี่ยที่ 30 ลิปดา พบว่าแบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือ EGM 96 ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวให้ค่าความถูกต้องแบบสัมบูรณ์ (Absolute accuracy) อยู่ที่ประมาณ 1 เมตร (NASA, 2005) และค่าความถูกต้องของค่า  $N$  เชิงสัมพัทธ์โดยรวมที่ได้จากวิธีนี้จะอยู่ในระดับ 5 ppm หรือดีกว่านั้น



## 2.2 การทบทวนวรรณกรรม (Reviewed Literature) / สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยเฉพาะงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่สูงหรืองานที่ต้องการค่าพิกัดในขณะนั้นทันทีทันใด เนื่องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสมีข้อได้เปรียบงานรังวัดภาคพื้นดินด้วยกล้องวัดมุมอยู่หลายประการ เช่น สามารถทำงานได้ในทุกสภาพภูมิอากาศและตลอด 24 ชั่วโมง สะดวกสบาย อีกทั้งข้อจำกัดในเรื่องของการมองเห็นกันของแต่ละสถานี ก็ไม่มีนอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้ก็ยังคงเป็นค่าพิกัดในสามมิติซึ่งนั่นก็รวม ค่าพิกัดทางโค้งที่ได้จากวิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ได้มีผลงานวิจัยหลายเรื่องที่เกี่ยวข้องใช้จีพีเอสในการหาค่าระดับ (เช่น Fotopoulos et al. (2003); Martensson (2002); และ Wichiencharoen (1998) ธนัช และเฉลิมชนม์, (2548) โดยการนำข้อมูลการรับสัญญาณจีพีเอส ของเครื่องรับมาประมวลผลเส้นฐานแบบสัมพัทธ์ในภายหลังโดยซอฟต์แวร์เชิงพานิชนั้น ๆ เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยเหล่านี้ได้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเอจีพีเอสมาใช้ในการหาค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ที่มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตร หรือ เดซิเมตร



รูปที่ 2.5 เทคนิคการรังวัดด้วยทางดาวเทียม GPS แบบจลน์ในทันที

และวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ที่นิยมทำกันในปัจจุบันเพราะสามารถให้ค่าพิกัดได้ทันทีทันใด นั่นก็คือวิธี Real Time Kinematic ดังรูปที่ 2.5 เพราะสามารถให้ค่าพิกัดตำแหน่งสัมพัทธ์แบบทันทีทันใดในสนาม ที่ผ่านมาก็มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ใช้เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS แบบจลน์ในทันที (RTK-GPS) ในการประยุกต์ใช้ค่าพิกัด ทางราบที่ตรวจจับได้ร่วมกับเครื่องมือวัดต่อกันความเร่งซึ่งผลจากการตรวจสอบพบว่าค่าวิธีการ RTK สามารถที่จะตรวจจับการเคลื่อนตัวของอาคารสูงร่วมกับเครื่องมือวัดความเร่ง (Accelerometer) ได้แต่ผลลัพธ์ที่ได้จาก RTK ก็มียังค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งแฝงอยู่จาก(Brown john .J.M.W et al (2006)) อีกทั้ง Lee.S.I and Ge.L.L (2006) ก็ได้ทำการทดสอบความสามารถของ RTK ในการทำแผนที่ภูมิประเทศดังรูปที่ 2.6 เปรียบเทียบความสามารถในช่วงฤดูใบไม้ผลิกับช่วงฤดูใบไม้ร่วงโดยจะถ้อยยิดค่าตำแหน่งของค่าพิกัดทางราบที่ได้จากกล้องประมวลผลรวม (Total station) เป็นตัวที่ถูกต้อง ซึ่งจากการงานวิจัยพบว่า จะ ฤดูกาลไหนก็ตามค่าแกว่งตัวขนาดใหญ่ (Big variation) ก็จะมีอยู่ในค่าของผลลัพธ์ของพิกัดที่ได้จากวิธี RTK โดยสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ด้วยค่า Root Mean Square (RMS) ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล สนามในภายหลังที่ได้จากวิธี RTK ของจุดนั้น ๆ

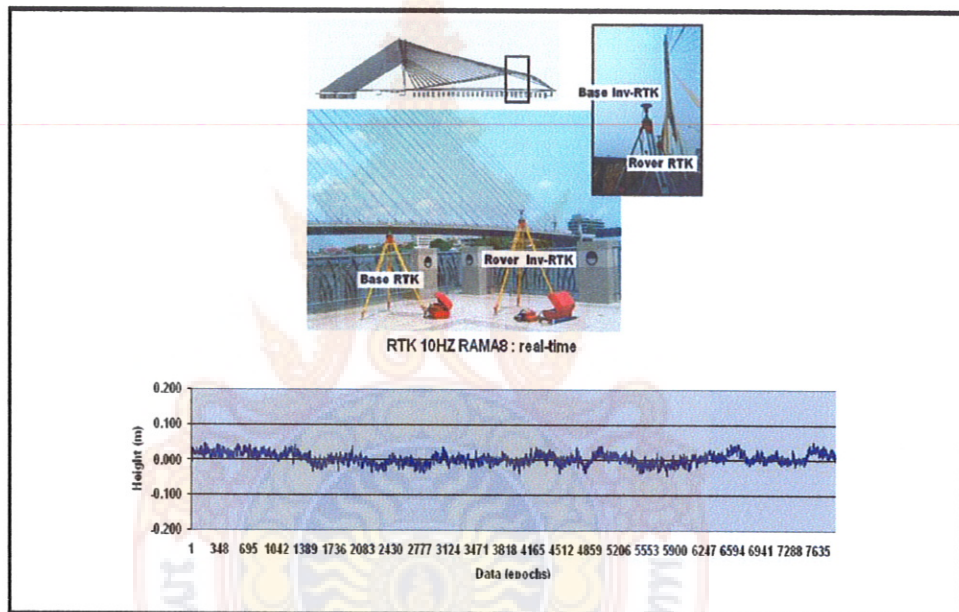


รูปที่ 2.6 การทดสอบความสามารถของ RTK ในการทำแผนที่ภูมิประเทศ ในฤดูที่แตกต่างกัน ของ Lee.S.I and Ge.L.L (2006)





ต่อมา ก้องไกล และเฉลิมชนม์ (2549) ได้ทำการทดสอบ วิธีการรังวัดดาวเทียม GPS ในลักษณะจลน์แบบทันทีทันใด (RTK) และวิธีการรังวัดดาวเทียม GPS ในลักษณะจลน์แบบย้อนกลับแบบทันทีทันใด (Inversed RTK) ดังรูปที่ 2.8 พบว่า วิธีการรังวัดดาวเทียม GPS ด้วยวิธีจลน์ในลักษณะทันทีทันใด (RTK) สามารถตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองได้ แต่ผลลัพธ์ที่ได้นั้น ยังมีความผิดพลาดอยู่ ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากคลื่นสะท้อนหลายวิถี เพราะการทำงานของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ในวิธีจลน์ ในลักษณะทันทีทันใด (RTK) มีหลักการประมวลผลค่าพิกัดแบบสัมผัสหากสัญญาณดาวเทียมที่เครื่องรับที่สถานีจลน์รับได้มีค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นสะท้อนหลายวิถี แผลงอยู่ก็จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นเกิดความผิดขึ้น



รูปที่ 2.8 ก้องไกล และเฉลิมชนม์ (2549) ได้ทำการทดสอบ วิธีการรังวัดดาวเทียม GPS ในลักษณะจลน์แบบทันทีทันใด (RTK) และ ในลักษณะจลน์แบบย้อนกลับแบบทันทีทันใด (Inversed RTK) ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8

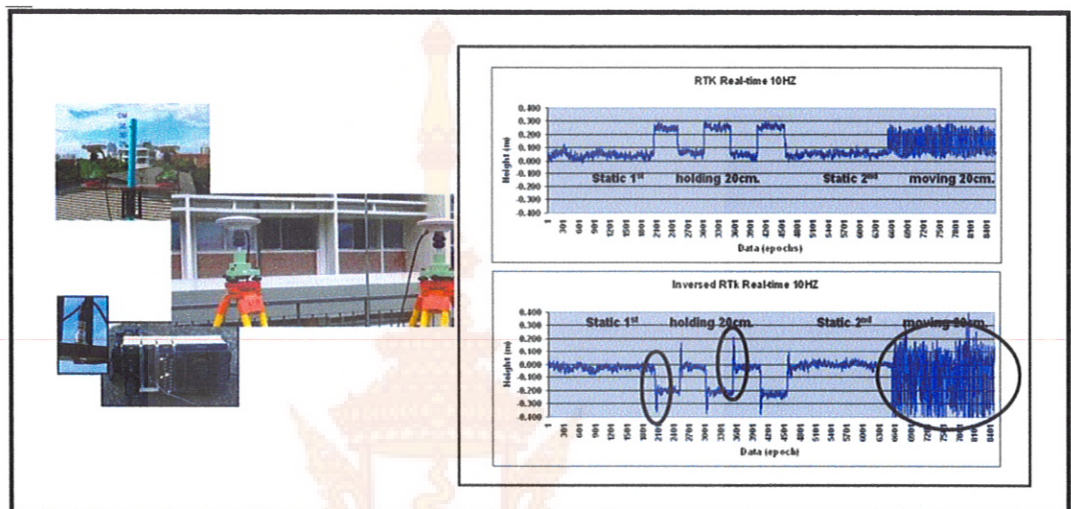


ซึ่งจากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ค่าคลาดเคลื่อนที่แฝงอยู่ในค่าระดับทางดิ่งและค่าระดับทางดิ่งนั้นมีค่าพิสัยที่ค่อนข้างคงที่ ในขณะที่เครื่องรับอยู่กับที่ซึ่งในที่นี้ขอเรียกว่า noise (ซึ่งในทางทฤษฎีมีค่าประมาณ 0.002 เมตร) แต่ที่พบจริงจากการใช้งานมีขนาดใหญ่กว่านั้นมาก เพราะฉะนั้นถ้าหากต้องการทราบค่าต่างของหมุดระดับในทางดิ่งจากการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS แบบจลน์ในทันที (RTK) ค่า noise ที่แฝงอยู่นี้จึงถือว่าเป็นปัญหาอันดับแรกที่เราต้องหาทางกำจัด หรือทำให้น้อยลงโดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลอง เพื่อใช้ทดสอบการเคลื่อนตัวในทางดิ่งที่เครื่องรับที่สถานีจรตรวจจับได้ในสนาม และได้ออกแบบการทดลองพร้อมทั้งทำการบันทึกเก็บข้อมูลเพื่อนำมาประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลังอีกที หนึ่งหลักการก็คือใช้ตำแหน่งของตัวสถานีฐานเทียบกับตำแหน่งสถานีจรโดยผลลัพธ์จากการคำนวณที่ได้คือเวกเตอร์ค่าต่างเทียบกันของตัวสถานีฐานเทียบกับตำแหน่งสถานีจรซึ่ง ในงานวิจัยนี้ เราจะพิจารณาเพียง ค่าต่างทางดิ่งเท่านั้น

### 2.3. แนวคิดและสมมติฐานให้ในการวิจัย

การรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส สำหรับงานด้านวิศวกรรม ที่ให้ความละเอียดถูกต้องในระดับเซนติเมตร หรือ มิลลิเมตร ก็คือ วิธีการรังวัดแบบสถิตย์ (static survey) ซึ่ง วิธีการรังวัดแบบสถิตย์นี้จะใช้หลักการ ของการหาตำแหน่ง แบบสัมพัทธ์ (Relative positioning) และใช้เครื่องรับสัญญาณ จีพีเอสแบบรังวัด ชนิด 2 ความถี่ตั้งแต่ 2 เครื่อง ขึ้นไปมาทำการตั้งรับสัญญาณจีพีเอส บนหมุดหลักฐาน ที่ต้องการทราบ แต่วิธีการรังวัดด้วยวิธีแบบสถิตย์ นี้ก็มีข้อด้อยอยู่ตรงที่ผู้ใช้ต้องเสียเวลาในการตั้งเครื่องรับสัญญาณเป็นเวลานาน แต่มีวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอสอยู่วิธีหนึ่งที่ใช้หลักการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ และสามารถให้ค่าพิกัดทันทีทันใด ขณะทำการรังวัดอยู่ในสนาม นั่นคือวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS แบบจลน์ ในทันทีซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า “RTK”

ที่ผ่านมา (ก้องไกล และเฉลิมชนม์, 2550) ได้ทำการทดสอบความสามารถและประยุกต์ใช้วิธีการ RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่ง และพบว่าค่าคลาดเคลื่อนที่แฝงอยู่ในสัญญาณขณะที่แบบจำลองอยู่กับที่ นั้นเกิดจากคลื่นหลายวิถี (Multipath) ซึ่งสาเหตุหนึ่งคงจะเกิดจากตำแหน่งของจานรับสัญญาณ และเสาต้านแบบจำลองตั้งอยู่ใกล้ ๆ กันมากเกินไป (รูปที่ 2.9 )



รูปที่ 2.9 ก้องไกล และเฉลิมชนม์ (2549) ได้ทำการทดสอบ วิธีการรังวัดดาวเทียม GPS ในลักษณะจลน์แบบทันทีทันใด (RTK) และ ในลักษณะจลน์ แบบย้อนกลับแบบทันทีทันใด (Inversed RTK)

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ จะทำการออกแบบ แบบจำลองที่สามารถ ควบคุมเรื่องการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ให้มีความสูงตามที่ผู้ทดสอบต้องการให้เกิดขึ้นได้พร้อมกันนี้ได้ทำการออกแบบให้แบบจำลองนี้ไม่มีเสาต้านตรงกลางเพื่อป้องกันการเกิดคลื่นหลายวิถี ซึ่งจากการทดสอบเบื้องต้นเมื่อวันที่ 24 กรกฎาคม 2552 บริเวณหน้าตึกอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จำนวน 800 จุดด้วยเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส แบบรังวัด ชนิด 2 ความถี่รุ่น Hyper Ga ยี่ห้อ Topcon พบว่า ในการทดสอบเราแบ่ง ออกเป็น 2 ช่วงนั่นคือ ทำการรังวัดด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่กับที่ และในขณะที่ แบบจำลอง กำลังเคลื่อนที่ขึ้นลง บันทึกข้อมูล ทุก ๆ 0.2 วินาที ผลการทดลองในการตรวจจับค่าการเคลื่อนตัวแนวดิ่ง ดังตารางที่ 2.1

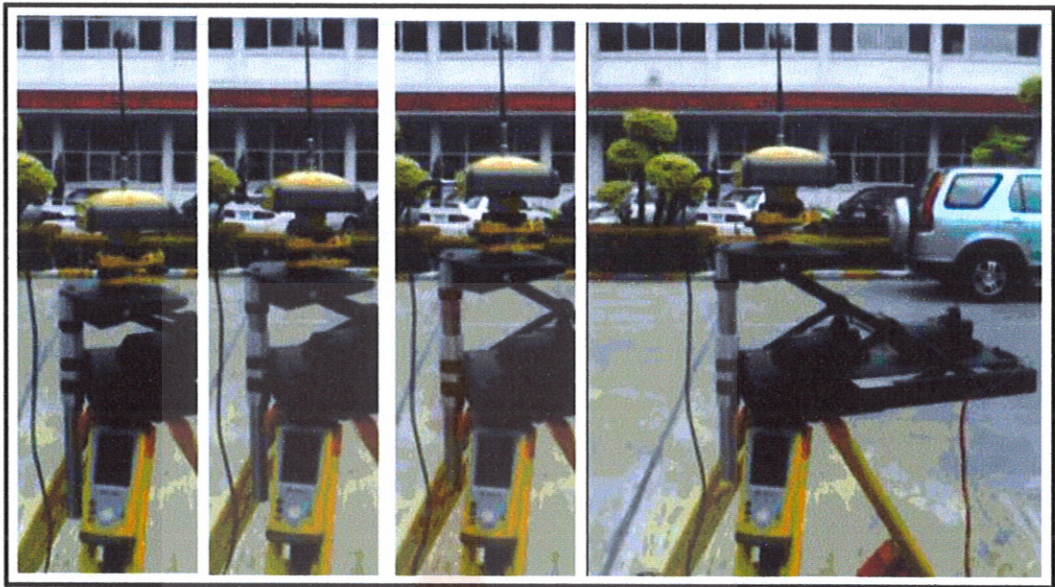
| ข้อมูล               | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (meters)    |                                   |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                      | แบบจำลองเมื่ออยู่กับที่ 800 จุด | แบบจำลองเคลื่อนที่ทางดิ่ง 800 จุด |
| รังวัดจาก RTK ในสนาม | 0.0607                          | 0.0876                            |
| ประมวลผลในภายหลัง    | 0.0609                          | 0.0896                            |

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ทดสอบสมมุติฐานเบื้องต้น

จากตารางทดสอบเบื้องต้นด้วยวิธี RTK ในการตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองในขณะที่อยู่นิ่ง และในขณะเคลื่อนที่พบว่า เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ยังไม่ทำการสันค่าต่างของความสูง ( $\Delta h$ ) ที่เปลี่ยนแปลงของแบบจำลอง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.0607 เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าความสูงที่ตรวจจับได้ แม้จะอยู่กับที่นี้มีการเกาะกลุ่มกันของข้อมูล อยู่ในระดับเดซิเมตร และเมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง เกิดขึ้น ผลลัพธ์ของค่าพิกัดทางดิ่ง ของค่าต่าง ความสูง ( $\Delta h$ ) ที่เปลี่ยนแปลงของแบบจำลองมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.0876 เมตรแสดงให้เห็นว่าความสูงที่เปลี่ยนแปลงไปของแบบจำลองที่ตรวจจับได้แบบทันทีทันใดจากในสนามมีค่าการกระจายตัวของข้อมูลใกล้เคียงกันกับในกรณีที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ดังนั้นจากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนตัวแนวตั้ง แม้ในขณะที่อยู่นิ่งกับที่ หรือแบบจำลองเคลื่อนตัวทางดิ่ง ของวิธี RTK นี้ สามารถให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่า วิธี RTK สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางแนวตั้งได้

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้ง เครื่องรับสัญญาณ GPS เพื่อทดสอบตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ช่วง คือ ในกรณีที่แบบจำลอง นั้นอยู่นิ่งกับที่ และในกรณีที่แบบจำลองมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง โดยทำการเก็บตัวอย่างบน แบบทดสอบการเคลื่อนที่ทางแนวตั้งที่ได้สร้างขึ้นโดยเฉพาะ เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดจากคลื่นสะท้อนหลายวิถี (Multipath) และสามารถควบคุมการขึ้น ลงโดยการควบคุมจากนั้นก็ทำการรับสัญญาณในขณะที่เครื่องรับอยู่นิ่งกับที่ จำนวนรอบจุด และ จากนั้นก็จะทำการรับสัญญาณ ในกรณีที่แบบจำลองเคลื่อนที่ ขึ้น- ลง 0.075 และ 0.185 เมตร อย่างละ 400 จุด รวม 800 จุด เช่นเดียวกันกับในขณะอยู่นิ่งกับที่เลข ๑ ดังรูปที่ 2.10





**รูปที่ 2.10** ทำการทดสอบ วิธีการรับวัดดาวเทียม GPS ในลักษณะจลน์แบบทันทีทันใด ใน การทดสอบเบื้องต้นที่หมุด BM\_SV03

เป็นอย่างไรทราบกันว่า ข้อดีของการใช้เครื่องรับสัญญาณด้วย GPS แบบรับวัด ชนิด 2 ความถี่ คือผลลัพธ์ ของค่าพิกัดในทาง 3 มิติ ที่มีความถูกต้องในระดับ เซนติเมตร หรือดีกว่า ซึ่งในการวิจัยนี้จะใช้วิธีการรับวัดแบบ สถิตย์ ในทันที (RTK) โดยจะประยุกต์ใช้ข้อมูลดิบจากการรับสัญญาณดาวเทียม จีพีเอสมาทำการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลังอีกทีหนึ่ง

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอสแบบจลน์ในทันที (Real-time Kinematic, RTK) โดยใช้แบบจำลองที่ออกแบบมาเพื่อทดสอบค่าต่างระดับทางคิ่งพร้อมทั้งติดตั้งกับเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส แล้วทำการทดสอบตามที่ได้ออกแบบไว้เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปของการใช้งาน RTK ในเรื่องของการระดับ (Leveling) ในทางวิศวกรรม

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จีพีเอส ยี่ห้อ Topcon รุ่น Hyper Ga จำนวน 2 เครื่อง แบ่งเป็นเครื่องรับที่สถานีฐาน (Base station) และสถานีจร (Roving station) พร้อมด้วย เครื่องบันทึกสมุดสนามอิเล็กทรอนิกส์ (Field controller) ยี่ห้อ Topcon รุ่น FC-200 จำนวน 1 เครื่อง



รูปที่ 3.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ยี่ห้อ Topcon รุ่น Hyper Ga พร้อมด้วย เครื่องบันทึกสมุดสนามอิเล็กทรอนิกส์ (Field controller) ยี่ห้อ Topcon รุ่น FC-200 สำหรับ งาน RTK

1) คุณสมบัติเฉพาะเครื่องหาค่าพิกัดด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น HiPer GA ยี่ห้อ TOPCON

- 1) รับสัญญาณความถี่ L1 และ L2 แยกกัน โดยมีช่องสัญญาณความถี่ L1 และ L2 ไม่น้อยกว่าความถี่ละ 20 ช่องสัญญาณ
- 2) ในการทำงานสำรวจหาค่าพิกัดของจุดต่างๆแต่ละเครื่อง สามารถปรับเปลี่ยนเป็นเครื่องที่สถานีอ้างอิงและเครื่องเคลื่อนที่ได้ โดยไม่ต้องมีการตัดแปลงหรือจัดหาสิ่งใดเพิ่มเติม
- 3) สามารถทำงานสำรวจได้ทั้งแบบ Post processing และแบบ Real Time
- 4) ในการทำงานสำรวจหาค่าพิกัดจุดต่างๆ แบบ Post processing สามารถทำการรังวัดได้ทั้งแบบ Static, Fast/Rapid static, และ Kinematic
- 5) สามารถรับสัญญาณปรับแก้ SBAS แบบ WAAS และ EGNOS ได้และสามารถเพิ่มความสามารถในการรับสัญญาณดาวเทียม GLONASS ได้ในภายหลังโดยไม่ต้องมีการตัดแปลงตัวเครื่อง
- 6) เครื่องส่งวิทยุ ติดตั้งภายในสามารถส่งได้ไกลไม่น้อยกว่า 5 กิโลเมตร สำหรับงานสำรวจหาค่าพิกัดของจุดต่างๆ แบบ Real time
- 7) เครื่องสถานีอ้างอิงต้องสามารถส่งค่าปรับแก้ผ่านทางเครื่องวิทยุได้
- 8) มีแบตเตอรี่ภายในแบบ Li-Ion สำหรับใช้งานกับเครื่องสัญญาณได้นานต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 10 ชั่วโมง พร้อมทั้งอุปกรณ์สำหรับชาร์จไฟ 1 ชุด
- 9) เสาอากาศมี ground plane ป้องกันคลื่นสะท้อน
- 10) มีหน้าจอ (Display) แบบ Graphic ที่สามารถแสดงข้อมูลตัวเลขและตัวหนังสือ
- 11) ในการทำงานแบบ Real Time Kinematic เครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS ที่เป็นเครื่องที่สถานีอ้างอิง ต้องสามารถคำนวณหาค่าปรับแก้ และต้องสามารถคำนวณหาค่าแก้ไขได้ทุก 1 วินาที หรือเร็วกว่า โดยสร้างข้อมูล RTCM สำหรับการรังวัดแบบ Real time differential GPS ได้
- 12) ในการทำงานแบบ Real time DGPS เครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS ที่เป็นเครื่องเคลื่อนที่ ต้องมีเครื่องรับค่าแก้ไขด้วยสัญญาณวิทยุและต้องสามารถรับค่าในรูปแบบ RTCM จากสถานีอ้างอิงได้ นอกจากนั้นต้องส่งออก (Output) ค่าพิกัด ในรูปแบบ (Format) NMEA ได้ทุก 1 วินาที หรือเร็วกว่า
- 13) ในการทำงานแบบ Real time อัตราเร็วในการแสดงค่า พิกัด (Update rate) ต้องไม่ช้ากว่า 1 วินาที หรือเร็วกว่า



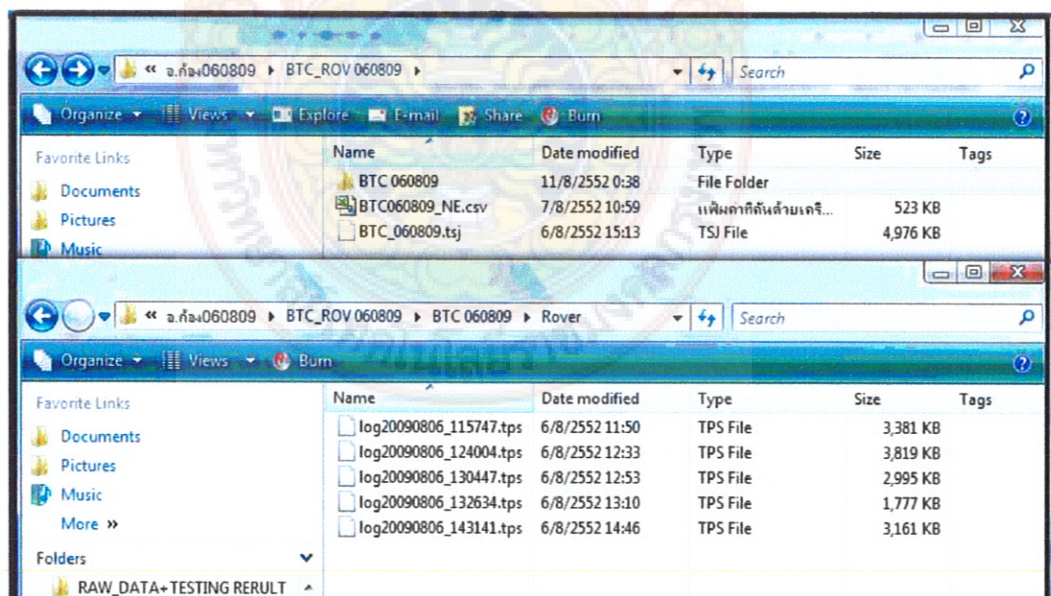
14) ความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดแบบ Real time kinematic อยู่ในระดับ 10 ม.ม. +1 PPM หรือดีกว่า

15) ความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดแบบ Static/Rapid static Post processing อยู่ในระดับ 3 ม.ม. +0.5 PPM หรือดีกว่า

16) สามารถบันทึกข้อมูลภายในตัวเครื่องรับสัญญาณขนาดความจุไม่น้อยกว่า 32 MB และสามารถเพิ่มเติมได้ภายหลังได้ถึง 128 MB

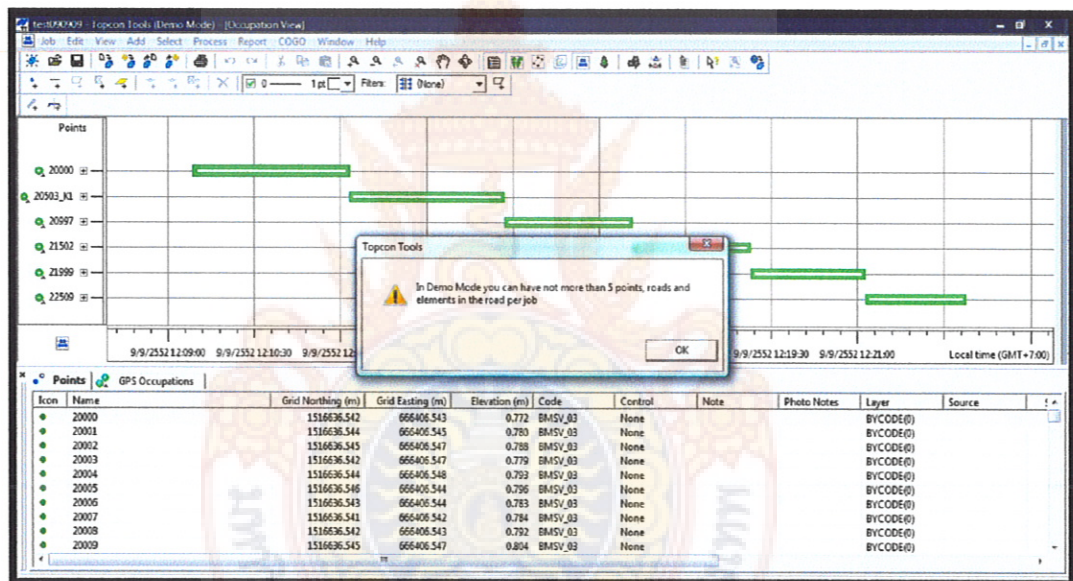
### 3.1.2 โปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียม GPS และปรับแก้โครงข่าย TOPCON TOOL version 7.5 พร้อมมีเมนูสำหรับปลดล็อค Hard Lock

โดยปกติแล้ว ค่ารังวัดที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส แบบจลน์ ในทันที หรือเรียกสั้น ๆ ว่า GPS-RTK นี้ จะให้ผลลัพธ์ในสนามทันที และผู้ใช้ก็จะทำการเลือกบันทึกค่า หรือ บันทึก CODE สำหรับจุดนั้น ๆ ในสนามลงไปในสมุดสนามอิเล็กทรอนิกส์ (Field Controller) ซึ่งผลลัพธ์สามารถแสดงได้ 2 ส่วนคือส่วนแรก ข้อมูลค่าพิกัด นามสกุล \*.csv หรือ ข้อมูลค่าพิกัด นามสกุล \*.tsj ดังรูปที่ 3.2 สำหรับให้ผู้ใช้เลือกพิจารณาข้อมูลรังวัดในสนามว่าจะตัดทิ้ง เรียงลำดับ ใหม่ตามที่ผู้ใช้ต้องการ



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลดิบที่ได้จากงานรังวัดในสนามจาก RTK มี 2 รูปแบบที่เครื่องรับ บันทึกไว้ในรูปของ \*.csv และในรูปของ \*.tsj

งานวิจัยนี้ต้องการที่จะประยุกต์ใช้งาน GPS-RTK ในการทำหุมระดับอ้างอิงทางคิง โดยมีแนวความคิดที่ว่า วิธีการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภายหลังโดยเครื่องรับแบบรังวัด ชนิด 2 ความถี่ จำนวนตั้งแต่ 2 เครื่อง ขึ้นไปตำแหน่งที่ได้จะเป็นตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ซึ่งเทียบค่าต่างทางแกนราบและแกนคิงออกจากหุมที่เป็นจุดสถานีฐาน (Base station) และมีความถูกต้องทางตำแหน่ง อยู่ในระดับเซนติเมตร หรือ เดซิเมตร แต่ติดข้อจำกัดด้านการใช้งานโปรแกรม Topcon tool V.75 เพื่อการประมวลผลอยู่ว่า หากผู้ใช้เครื่องมือต้องการประมวลผล เส้นฐานเกิน 5 จุด ดังรูปที่ 3.4 ต้องใช้กุญแจคลายโปรแกรม (Key Lock) ของ Topcon Tools Ponst Pro ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งผู้วิจัยจะต้องขอความอนุเคราะห์ยืมจากบริษัท ท็อปคอน อินสทรูเมนต์ (ไทยแลนด์) จำกัด เพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภายหลังโดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ



รูปที่ 3.3 การใช้งานประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลังมีข้อจำกัด ต้องไม่เกิน 5 หุม

โปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียม GPS และปรับแก้โครงข่าย TOPCON TOOL version 7.5 พร้อมมีกุญแจสำหรับปลดล็อค Hard Lock TOPCON TOOL P/N 29-034014-06 POSTPRO + USB มีคุณลักษณะเฉพาะดังนี้

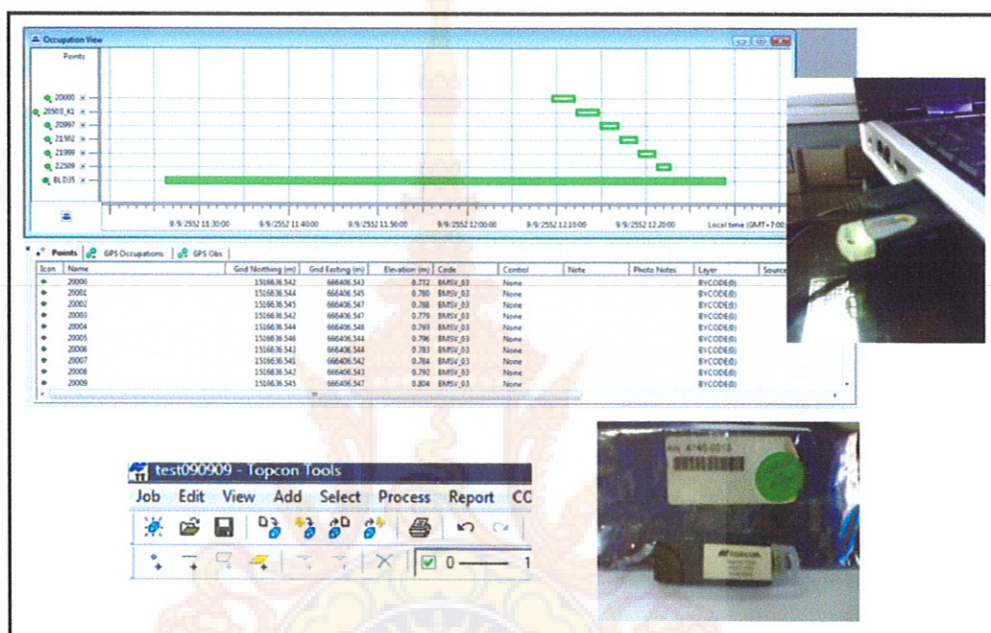
- 1) ทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ 32 bit Windows NT, 2000, XP หรือใหม่กว่า
- 2) ประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม GPS ได้ทั้งแบบรหัสและเฟสประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม GPS ที่ได้จากการรังวัดแบบkinematic



3) แสดงผลและแสดงค่าพิกัดอ้างอิงกับเกณฑ์ทางราบ (Geodetic datum) WGS84 และพื้นเกณฑ์ทางราบท้องถิ่น (Local Geodetic Datum) ต่างๆ เช่น อินเดียน 2518 ได้ทั้งรูปของ ละติจูด -ลองจิจูด-ความสูง , ค่าพิกัดฉาก (X,Y,Z) และค่าพิกัดยูทียเอ็มกริด (N,E)

4) ผู้ใช้สามารถกำหนดพื้นเกณฑ์ทางราบ (User defined datum) ได้

5) มี Geoid Model สำหรับใช้คำนวณหาค่า Orthometric Height ได้



รูปที่ 3.4 โปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียม GPS และปรับแก้โครงข่าย TOPCON TOOL version 7.5 พร้อมมีกุญแจสำหรับปลดล็อก Hard Lock สำหรับงานประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภายหลัง

6) มีสูตรสำหรับแปลงพื้นหลักฐาน (Datum Transformation) ที่ผู้ใช้สามารถกำหนดพารามิเตอร์ที่จะใช้ได้ทั้งแบบ 3 พารามิเตอร์ และ 7 พารามิเตอร์

7) สามารถคำนวณหาพารามิเตอร์สำหรับการแปลงพื้นหลักฐานได้

8) สามารถคำนวณและปรับแก้โครงข่าย (Network adjustment) ด้วยวิธีการของ Least square ได้

9) สามารถรับข้อมูลในรูปแบบ (Format) ของ RINEX ได้ และสามารถส่งออกข้อมูลในรูปแบบ RINEX ได้

10) โปรแกรมแบบ มีกุญแจสำหรับปลดล็อก Hard Lock



### 3.1.3 แบบจำลองเพื่อทดสอบค่าต่างระดับทางดิ่ง

ในการประยุกต์ใช้งานสำหรับงานหมุดควบคุมทางดิ่ง ดังรูปที่ 3.5 ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบ และผู้จัดจ้างให้ผู้รับจ้างจัดทำขึ้นตามแบบรูปรายการ แบบจำลองนี้สามารถทำการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางดิ่งได้ 2 ระดับ คือ 0 ถึง 0.075 เมตร และ 0 ถึง 0.185 เมตร โดยมีอัตราการยกตัวคือ 40 ครั้ง และ 32 ครั้ง ต่อนาทีตามลำดับ นอกจากนี้ แบบจำลองเพื่อทดสอบค่าต่างระดับทางดิ่ง นี้ยังสามารถควบคุมให้แบบจำลอง สามารถยกตัวค้างไว้ ใดๆ ที่ระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 0.185 เมตร ได้ดังที่ผู้ทดสอบต้องการ โดยการกดสั่งการผ่านสวิสท์ ควบคุมด้านหลัง



รูปที่ 3.5 แบบจำลองเพื่อทดสอบค่าต่างระดับทางดิ่งที่เปลี่ยนแปลง

#### 3.1.3.1 คุณสมบัติของแบบจำลอง ที่ใช้ทดสอบค่าต่างระดับทางดิ่งมีดังนี้

- ก) สามารถขึ้นลงทางดิ่งได้ถึง 2 ระดับ คือ 0.075 เมตร และ 0.185 เมตร
- ข) สามารถหยุดนิ่งกับที่ ได้ตามผู้ทดสอบต้องการ ที่ความสูงไม่เกิน 0.185 เมตร
- ค) ไม่มีเสาหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของแบบจำลองที่จะมาบดบังการรับสัญญาณของดาวเทียมที่ส่งมายังจานดาวเทียมในขณะทดสอบ
- ง) สามารถบ่งชี้ค่าความสูงต่างทางดิ่ง ที่ตรวจจับได้จากวิธีการ RTK ได้ในช่วงที่ความสูงแตกต่างกันไป

จ) ใช้หลักการทำงานของมอเตอร์ และเพลาข้อเหวี่ยง ในการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง  
ทางแนวดิ่ง

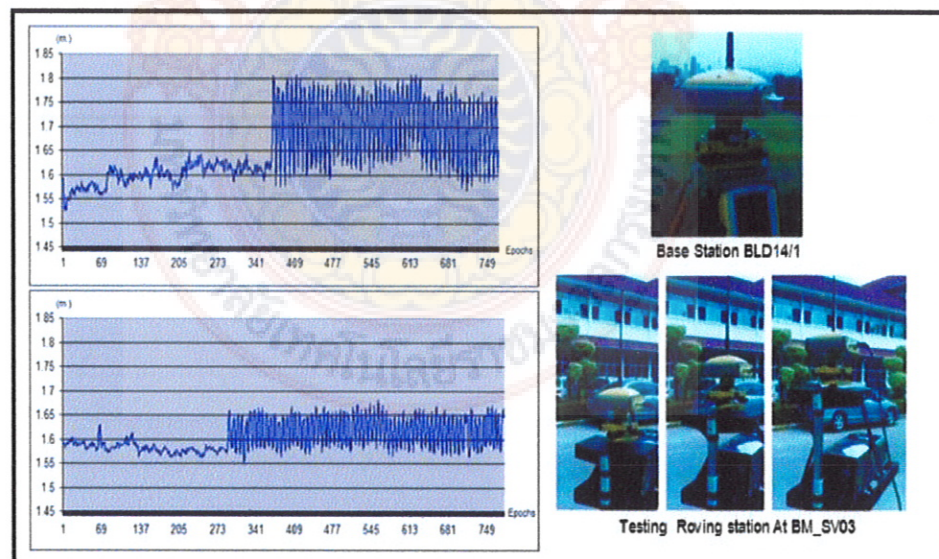
ฉ) ใช้หลักการทำงานของมอเตอร์ และเฟืองขับ เพื่อยกหรือลดระดับในการเคลื่อนที่  
ขึ้น – ลง ทางแนวดิ่งได้

ช) ใช้กำลังจากแบตเตอรี่ เพื่อความสะดวกเวลาใช้งานในสนาม

ซ) อุปกรณ์และแผงควบคุมสามารถหาซื้อ และซ่อมเปลี่ยนได้ง่ายมีขายทั่วไป

### 3.2 แนวทางการทดสอบ ความสามารถของวิธี RTK เพื่อประยุกต์ใช้ในการทำหมุดระดับ อ้างอิง

ที่ผ่านมา Lee.S.I and Ge.L.L (2006) ได้ทำการทดสอบ RTK ในการทำแผนที่ใน  
ฤดูกาลที่แตกต่างกันพบว่า แม่นจะเป็นฤดูใบไม้ผลิ หรือ ฤดูใบไม้ร่วง ผลลัพธ์จากค่าพิกัดทางราบ  
ต่างก็มีทั้งค่าที่ใกล้เคียงหรือค่าที่แตกต่างกันมาก กับรูปแผนที่ ที่ได้จากกล้อง Total Station แสดง  
ว่าการที่เครื่องรับที่สถานีจร สามารถรับสัญญาณจากกลุ่มดาวเทียม GPS ที่มีเรขาคณิตดาวเทียม  
เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาแตกต่าง ๆ กัน ได้อย่างน้อย 5 ดวง แม้จะมีการบดบังสัญญาณจาก  
เรือนยอดไม้ แต่ซอฟต์แวร์ในตัวเครื่องรับเองก็ยังสามารถคำนวณ ตำแหน่งของเครื่องรับเองได้



รูปที่ 3.6 การทำงานรังวัดด้วยRTKที่ตำแหน่งหมุดระดับที่กระจายบริเวณรอบสนาม

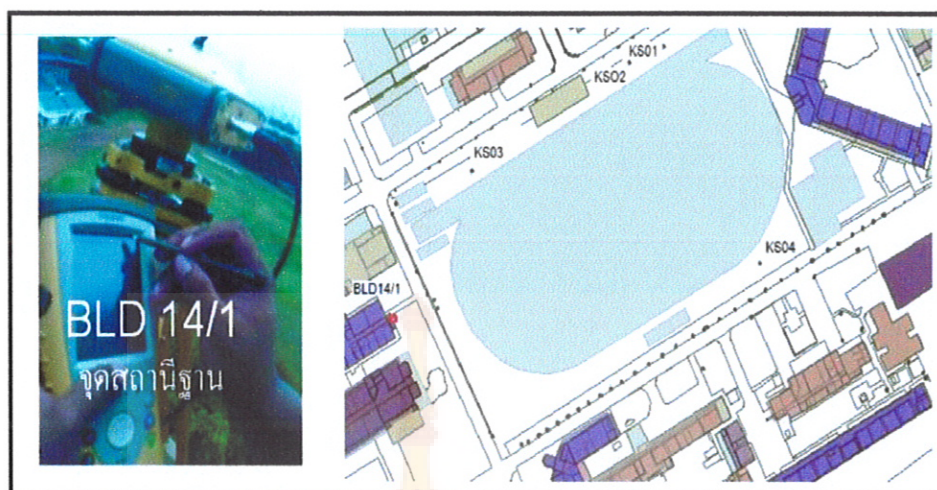
ฟุตบอล

ดังนั้นถ้าเราทำการรับสัญญาณดาวเทียมให้นานขึ้นและมีจำนวนความถี่ในการบันทึกข้อมูล รั้งวัด ไปยังดาวเทียม จีพีเอส ที่ถี่ยิ่งขึ้น เมื่อเรานำข้อมูลมาประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลัง ผลลัพธ์ของค่าพิกัดในทาง 3 มิติ น่าจะมีค่าที่ดีขึ้น เพราะค่าคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบจะได้หักล้าง กันหมดไป (Rizos, 1997) เพื่อเราจะ ได้ตรวจสอบผลลัพธ์ ค่าพิกัดจาก RTK ในจำนวนที่มาก พอสมควร แล้วทำการหาตัวแทนของค่าพิกัดทางดิ่งที่น่าเชื่อถือมากที่สุด โดยใช้ค่าทางสถิติมาช่วย แก้ปัญหาคงนั้นผู้วิจัยจึงได้เริ่มลงมือออกแบบการทดลองพร้อมทั้งทำการทดสอบ ดังรูปที่ 3.6 บน แบบจำลองในสนามจริง จากนั้นจึงนำค่าเคลื่อนตัวทางดิ่งมาทำทดสอบเปรียบเทียบกับความสูงที่ เปลี่ยนไปจริงของแบบจำลอง

### 3.2.1 การทดสอบความสามารถของวิธี RTK ในการตรวจจับค่าต่างทางดิ่งจาก แบบจำลองเมื่อหมุนอยู่ในบริเวณ ที่มีเรือนยอดไม้ปกคลุม

เพื่อเป็นการยืนยันความสามารถของวิธี RTK ในการประยุกต์ใช้งาน สำหรับ งานหมุดควบคุมทางดิ่ง ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและทำการว่าจ้างให้ผู้รับจ้างทำการสร้าง เครื่องมือทดสอบการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองขึ้นจากภาพประกอบที่ 3.7 แบบจำลองนี้ สามารถทำการขึ้น-ลงทางดิ่งที่ความสูงต่างกันคือ 0.075 และ 0.185 เมตร โดยมีอัตราการยกตัวคือ 40 ครั้งต่อนาที สำหรับความสูงต่าง 0.075 เมตร และ 32 ครั้ง ต่อนาทีสำหรับความสูงต่าง 0.185 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองนี้ ค่าความสูงที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับ จีพีเอส ด้านวิธี RTK จะยืนยันความถูกต้องและน่าเชื่อถือของวิธีการ RTK ได้จากการพิจารณาพร้อมกับค่าความสูงที่ เปลี่ยนไปจริงของแบบจำลองในทางดิ่งนั่นเอง





รูปที่ 3.7 การทำงานรังวัดด้วยRTKที่ตำแหน่งหมุดระดับที่กระจายบริเวณรอบสนามฟุตบอลในการทดลองที่.2

โดยในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้หมุด BLD\_14/1 เป็นหมุด Base Station และทำการตั้งเครื่องรับบนหมุดระดับที่อยู่บริเวณสนามฟุตบอล จำนวน 4 หมุด โดยที่หมุดเหล่านั้น อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่มีเรือนยอดไม้ปกคลุม ดังรูป ประกอบที่ 3.8 ซึ่งในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ลองตั้งเครื่องรับเพื่อรับสัญญาณที่หมุดระดับบริเวณรอบสนามฟุตบอลจำนวน 10 หมุด ก่อนหน้าแล้วปรากฏว่าถึงตำแหน่งของจุดจะอยู่ได้ร่มเงาไม้ แต่มีเครื่องรับที่หมุดระดับ 4 หมุดสามารถทำการรังวัดด้วยวิธี RTK ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาเฉพาะหมุดทั้ง4นี้ อันได้แก่หมุด KS01, KS02, KS03 และ KS04 เพื่อใช้เป็นจุดสถานีจร พร้อมทั้งทำการรับสัญญาณและบันทึกค่าลงในสมุดสนามอิเล็กทรอนิกส์ (Field Controller) ต่อไป

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความสามารถในการตรวจจับค่าต่างระดับทางดิ่งด้วยวิธี RTK โดยกำหนดจุด BLD 14/1 เป็นจุดสถานีฐานและทำการทยอยตั้งเครื่องรับบนหมุดทั้ง 4 นี้ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา เมื่อวันที่ 24 กค.52 โดยกำหนดให้จุดสถานีฐานคือหมุด BLD14/1 และ ใช้ KS01, KS02, KS03 และ KS04 เป็นจุดสถานีจร โดยจะทำการติดตั้งเครื่องรับรับสัญญาณ จีพีเอสแบบรังวัดยี่ห้อ Topcon รุ่น Hyper Ga แบบ Dual Frequency บนแบบจำลองที่ได้ออกแบบมาดังรูปประกอบที่ 3.6 จากนั้นก็จะทำการรับสัญญาณดาวเทียม จีพีเอส โดยใช้วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที ซึ่งจะทำให้การบันทึกสัญญาณ 4 ช่วง ก็คือ ในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ครั้งที่หนึ่ง จากนั้นผู้วิจัยจะทำการเปิดเครื่องทดสอบ เพื่อให้แบบจำลองมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางดิ่งในช่วงพิสัย 0.075 เมตร และแบบจำลองอยู่หนึ่งครั้งที่สอง จากนั้นแบบจำลองมีการ เคลื่อนที่ ขึ้น – ลงทาง

ตั้งในช่วงพิสัย 0.185 เมตร โดยในการทดสอบในครั้งนี้จะทำการบันทึกทั้งข้อมูลแบบทันทีทันใดที่ได้จากในสนามของเครื่องรับที่จุดสถานีจริงทั้ง 4 จุด จุดละ 1,950 ค่ารังวัด (Epochs) โดยจะทำการทดสอบและเปรียบเทียบค่าทั้ง สิ้น 3 วัน รวมทั้งสิ้นค่ารังวัดกว่า 22,800 Epochs โดยที่ความถี่ในการบันทึกข้อมูลรังวัดของเครื่องรับที่สถานีจริง คือ 5 เฮิร์ต (Hertz) และทำการบันทึกไว้ใน Field Controller ยี่ห้อ Topcon รุ่น FC-200

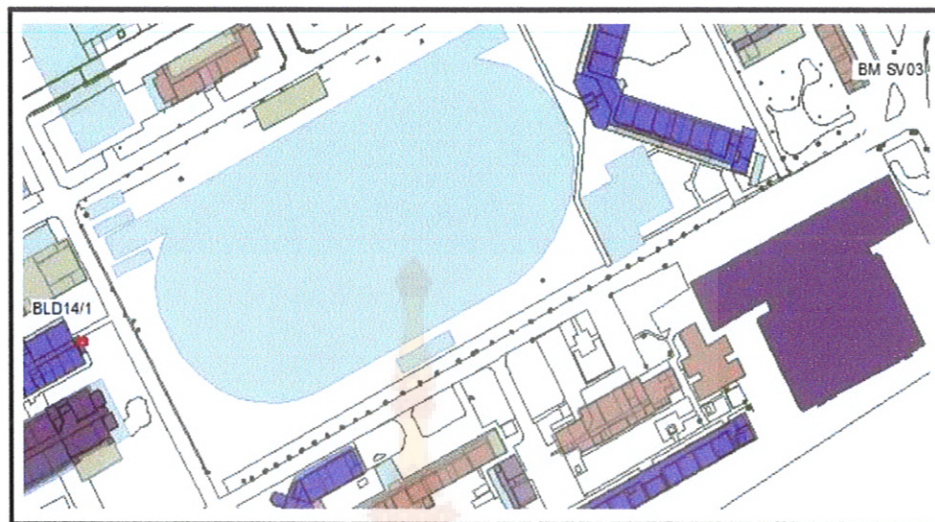


รูปที่ 3.8 แสดงภาพแวดล้อมบริเวณหมุดทดสอบ KSO (a), KS02 (b), KS03(c), KS04(d)

### 3.2.2 การทดสอบความสามารถของ วิธี RTK ในการตรวจจับค่าต่างทางดิ่งจากแบบจำลองเมื่อหมุดอยู่ในบริเวณที่เปิดโล่ง เหมาะกับการรับสัญญาณ

เพื่อสรุปปัญหาสำหรับข้อจำกัดของการรับสัญญาณดาวเทียมของเครื่องรับในกรณีที่มีหมุดอยู่รอบ ๆ สนามฟุตบอลซึ่งมีการปกคลุมเรือนยอดไม้เหนือบริเวณหมุดที่ทำการรับสัญญาณอยู่ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรสุพรรณบุรี เมื่อวันที่ 6, 7, 14 สค..52 โดยกำหนดให้จุดสถานีฐานคือหมุด BLD14/1 และ ใช้ BM\_SV 03 เป็นจุดสถานีจริง เพราะบริเวณหมุด BM SV 03 นี้อยู่ในบริเวณที่ค่อนข้างโล่งเหมาะแก่การรับสัญญาณคุณภาพประกอบที่ 3.9 จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความสามารถในการตรวจจับค่าต่างระดับด้วยวิธี RTK บนหมุด BM\_SV 03 ต่อไป



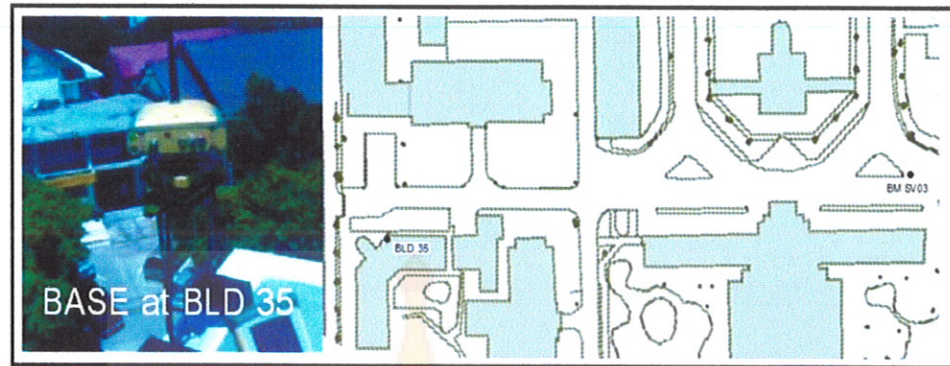


รูปที่ 3.9 การทำงานรังวัดด้วยRTKที่ตำแหน่งหมุดระดับBM\_SV03 ในการทดลองที่3กรณีที่ 1

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความสามารถในการตรวจจับค่าต่างระดับทางดิ่งด้วยวิธี RTK บนหมุด BMSV 03 นี้ โดยจะทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอสแบบรังวัดยี่ห้อ Topcon รุ่น Hyper Ga แบบ Dual Frequency บนแบบจำลองที่ได้ออกแบบมา ภาพประกอบที่ 3.8 จากนั้นก็จะทำการรับสัญญาณดาวเทียม จีพีเอส โดยใช้วิธีการรังวัดแบบจลน์ ในทันที ซึ่งจะทำให้การบันทึกสัญญาณ 4 ช่วง ก็คือ ในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ครั้งที่หนึ่ง จากนั้นผู้วิจัยจะทำการเปิดเครื่องทดสอบ เพื่อให้แบบจำลองมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางดิ่งในช่วงพิสัย 0.075 เมตร และแบบจำลองอยู่หนึ่งครั้งที่สอง จากนั้นแบบจำลองมีการ เคลื่อนที่ ขึ้น – ลงทางดิ่งในช่วงพิสัย 0.185 เมตร โดยในการทดสอบในครั้งนี้จะทำการบันทึกทั้งข้อมูลแบบทันทีทันใดที่ได้จากในสนามของเครื่องรับที่จุดสถานีทั้ง 4 จุด จุดละ 1,950 ค่ารังวัด (Epochs) โดยจะทำการทดสอบและเปรียบเทียบค่าทั้ง สิ้น 3 วัน รวมทั้งสิ้นค่ารังวัดกว่า 22,800 Epochs โดยที่ความถี่ในการบันทึกข้อมูลรังวัดของเครื่องรับที่สถานีจริง คือ 5 เฮิร์ต (Hertz) และทำการบันทึกไว้ใน Field Controller ยี่ห้อ Topcon รุ่น FC-200

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้ทำการวางแผนรังวัดเพื่อยืนยันความสามารถในการรับสัญญาณในกรณีเรื่องของเลขาคณิดของกลุ่มดาวเทียมเหนือศีรษะ ในขณะที่รังวัดซึ่ง เราทำการทดสอบในวันที่ 21 สิงหาคม 2553 และเพื่อตัดปัญหาการบดบังสัญญาณของ อาคารคอนกรีตขนาดความสูง 3 ชั้น ความยาวประมาณ 60 เมตร ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการส่งผ่านค่าแก้ (ตึกสำนักงาน อธิการบดี) ให้แก่กันและกันแม่ซึ่งก็คือสถานีฐาน ที่จุด BLD14/1 และ จุดสถานีจริงก็คือหมุด BMSV 03 โดยวันนี้ 21 สิงหาคม 2553 ช่วงที่รังวัดมีค่า GDDP เท่ากับ 2 และมีจำนวนดาวเทียม บนท้องฟ้าขณะรังวัดทั้งสิ้น 8 ดวง





รูปที่ 3.10 การทำงานรังวัดด้วยRTKที่ตำแหน่งหมุดระดับBM\_SV03 ในการทดลองที่3กรณีที่ 2

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความสามารถในการตรวจจับค่าต่างระดับทางดิ่งด้วยวิธี RTK บนหมุด BMSV 03 นี้โดยจะทำการกำหนดจุด BLD 35 เป็นจุดสถานีฐานและทำการตั้งเครื่องรับอีกเครื่องบนหมุด BM\_SV 03 กำหนดให้เป็นจุดสถานีจร โดยจะทำการติดตั้งเครื่องรับจีพีเอสแบบรังวัดยี่ห้อ Topcon รุ่น Hyper Ga แบบ Dual Frequency บนแบบจำลองที่ได้ออกแบบมา ดังภาพที่ 3.10นอกจากนั้นก็ทำการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสโดยใช้วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที ซึ่งจะทำให้การบันทึกสัญญาณ 4 ช่วงก็คือในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ครั้งที่ 1 จากนั้นผู้วิจัยจะทำการทดสอบเพื่อให้แบบจำลองมีการเคลื่อนที่ ชี้นลงทางดิ่ง ช่วงพิสัย 0.075 เมตร และแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ครั้งที่ 2 จากนั้นแบบจำลองจะมีการเคลื่อนที่ชี้นลงทางดิ่ง ในช่วงพิสัย 0.185 เมตร โดยในการทดลองนี้จะทำการบันทึกข้อมูลแบบทันทีทันทีที่ได้จากในสนามของเครื่องรับที่จุดสถานีจจรที่หมุด BMSV 03 จำนวน 1,900 ค่ารังวัด (Epochs) ทั้งสิ้น 3วัน รวมทั้งสิ้นกว่า 5,700 Epochs

### 3.2.3 การทดสอบความสามารถของวิธี RTK ในกรณีที่ความสูงเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลัน

ในสอง การทดลองที่ผ่านมาผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลอง ซึ่งจากการพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางตำแหน่งแบบทันทีทันทีที่เครื่องรับที่จุดสถานีจร พบว่าวิธีการ RTK สามารถตรวจจับการเคลื่อนตัวของแบบจำลองในทางดิ่งได้ ถ้าแม้ว่าบริเวณตำแหน่ง ที่เราทำการตั้งเครื่องรับสัญญาณ (Roving Stator) จะมีอิทธิพลการปกคลุมจากเรือนยอดไม้ อยู่แต่เครื่องรับก็ยังสามารถทำการรังวัดและแสดงค่าพิกัดทางตำแหน่งออกมาได้

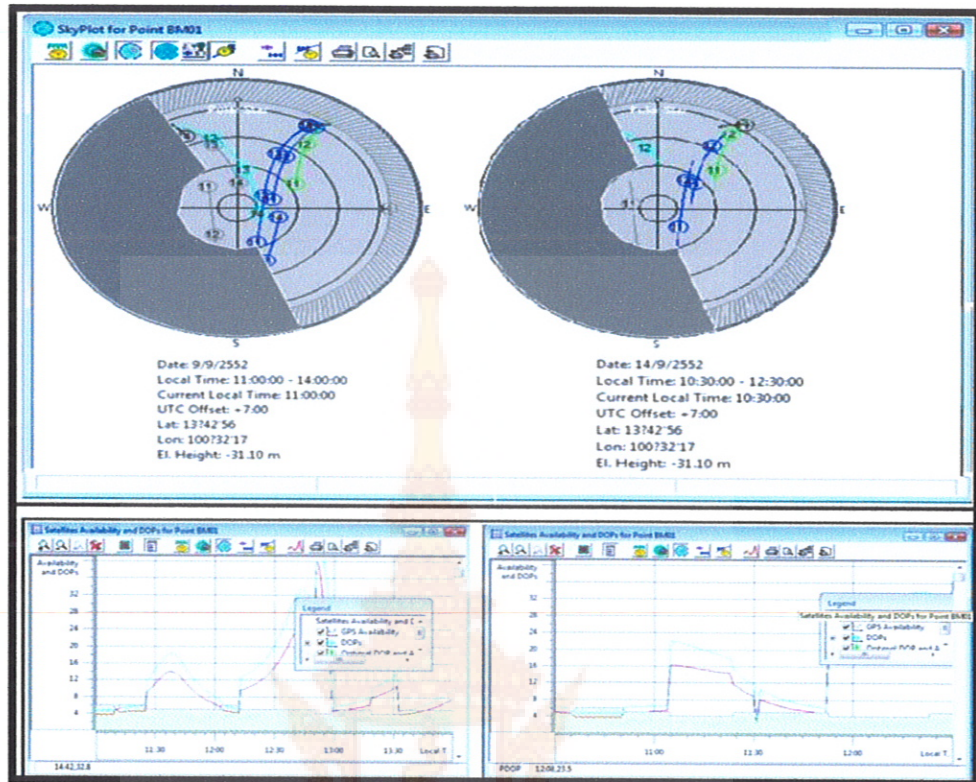


รูปที่ 3.11 การทำงานรังวัดด้วยRTKที่ตำแหน่งหมุดระดับBM\_SV01 ในการทดลองที่4

ดังนั้นในการทดลองนี้ต้องการที่จะหาข้อสรุปที่เกี่ยวกับความสามารถในการตรวจจับการค่าเคลื่อนตัวทางดิ่งด้วยวิธี RTK จึงได้ออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือช่วงแรกแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ แล้วทำการรับสัญญาณไป จากนั้น กดปุ่มควบคุม การเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองให้ยกตัวขึ้นสูง 0.075 เมตรยกค้างไว้ แล้วทำการรับสัญญาณไปสุดท้ายผู้วิจัยก็กดปุ่มควบคุมการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองให้ยกตัวสูงขึ้นอีก 0.110 เมตรแล้วทำการบันทึกค่ารังวัดดาวเทียม จีพีเอสไว้ โดยในการทดลองนี้ ผลจะใช้เครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส ดังที่ หมุดBMSV01 กำหนดให้เห็นจุดสถานีจริง ที่เราจะทำการทดสอบโดยกำหนดให้หมุด BLD 35 ซึ่งเป็นหมุดควบคุมที่อยู่บนอาคารตึก 35 เป็นหมุดสถานีฐาน โดยในการทดสอบผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2552 และ 14 กันยายน 2552 โดยมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้นกว่า 8000.จุด

สำหรับเหตุผลที่เลือกตำแหน่งหมุด BMSV01 เป็นจุดสถานีจริงเพื่อทดสอบความสามารถในการตรวจจับค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน ดังวิธีการทดสอบที่ได้กล่าวถึงในขั้นต้น ก็เพราะว่า ตำแหน่งหมุด BMSV 01 มีการบดบังสัญญาณเนื่องจากสิ่งก่อสร้างในภูมิประเทศ (Obstruction) จากตึก 35 ทางด้านซ้าย มีความสูงเชิงมุมจากระนาบสายตา ถึง 80 องศา โดยประมาณ ส่วนทางด้านข้างเป็นบริเวณ โถงเปิดกว้างเหมาะแก่การรับสัญญาณ และเพื่อเป็นการรักษาเรขาคณิตของกลุ่มดาวเทียมที่เราใช้ให้เหมือนกันดังนั้นในการทดสอบในวันที่สองซึ่งเป็นวันที่ 14 กันยายน 2552 (ดูภาพที่ 3.10 ประกอบ)





รูปที่ 3.12 การวางแผนทำงานรังวัดด้วยRTKที่ตำแหน่งหมุดระดับBM \_SV01 ในการทดลองที่4

ผู้วิจัยจึงได้ทำการรังวัดเร็วขึ้นอีก 20 เพราะการทดลอง 2 วันนี้เราเว้นช่วงเวลาห่างกัน 5 วัน ดาวเทียมจะโคจรซ้ำ ณ ตำแหน่งเดิมเร็วขึ้น 4 นาที ในแต่ละวัน ดังนั้นในวันที่ 14 กันยายน 2552 ห่างกับ ในวันที่ 9 กันยายนเป็นเวลา 5 วัน เราก็ต้องทำการรังวัดเร็วขึ้น 20 นาที เพื่อเป็นการคงสภาพ เราคาดคิด ทางตำแหน่งของกลุ่มดาวเทียม ไว้ให้เหมือนกันมากที่สุด (ดูภาพประกอบที่3.11) จากนั้นจึงทำการทดลองตามการทดสอบที่ได้ออกแบบไว้ แล้วจึงค่อยนำค่าผลลัพธ์ และข้อมูลดังกล่าวมาทำการประมวลผลและวิเคราะห์ค่าทางสถิติ เพื่อหาข้อสรุปต่อไป



## บทที่ 4

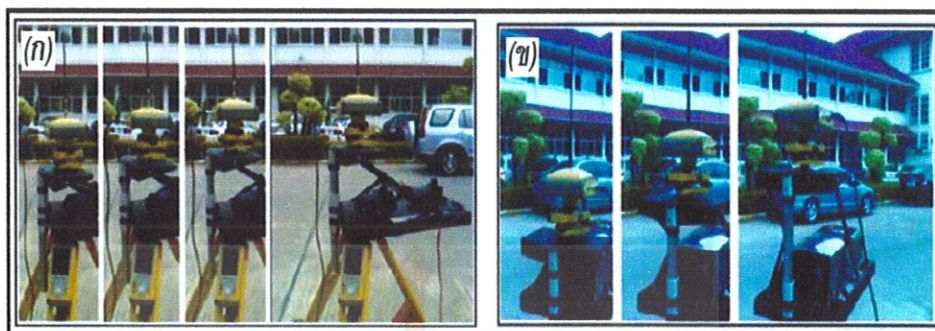
### ผลการทดลอง

จากการทดสอบตามสมมุติฐานกับการจำลองที่ได้ทำการออกแบบการทดสอบไว้ดังในบทที่ 3 เพื่อทดสอบความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ของระบบจำลองไว้.....กรณี คือ

1. การทดสอบเบื้องต้นในการตรวจจับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่ง
2. การทดสอบในกรณีที่จุดสถานีจร มีการบังคับสัญญาณ เนื่องจากอิทธิพลการปกคลุมเรือนยอด
3. การทดสอบในกรณีที่จุดสถานีจร ไม่มีการบังคับสัญญาณ เนื่องจากอิทธิพลการปกคลุมเรือนยอด
4. การทดสอบในกรณีที่แบบจำลองเกิดการเคลื่อนตัวจับพลันมีการบังคับสัญญาณเนื่องจากสิ่งปลูกสร้าง

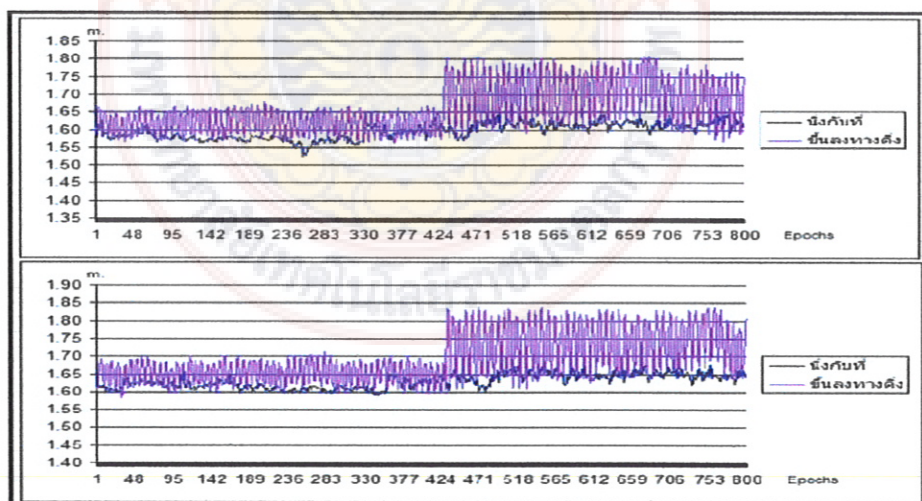
#### 4.1 จากการทดสอบเบื้องต้น

จากการทดสอบเบื้องต้น 24 กรกฎาคม 2552 พบว่าในขณะที่แบบจำลองอยู่ หนึ่งกับที่เราสามารถตรวจจับค่าคลาดเคลื่อนขนาดเล็กซึ่งแฝงอยู่ในผลลัพธ์ภายหลังจากที่ซอฟต์แวร์ จากเครื่องรับในที่นี้ เครื่อง FC-200 (Field Controller) ได้ทำการประมวลผล ตามค่าควบคุมงานรังวัดในสนาม ( Configured ) ตามที่เรา ตั้งค่าไว้ ด้วยวิธีการรังวัดแบบสัมพัทธ์ซึ่งเป็นหลักการของการได้มาซึ่งผลลัพธ์ทางตำแหน่งของวิธีRTK โดยอาศัยข้อมูลรังวัดไปยังกลุ่มดาวเทียมชุดเดียวกันของเครื่องรับที่สถานีฐาน และเครื่องรับที่สถานีจรต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับซอฟต์แวร์ที่สถานีจรจะใช้ในการประมวลผลตำแหน่งต่อไป โดยในขณะที่ทดสอบผู้วิจัยทำการได้ทำการควบคุมให้แบบจำลองสามารถขึ้นลงทางดิ่งได้ 2 ระดับคือ 0.075 และ 0.185 เมตร



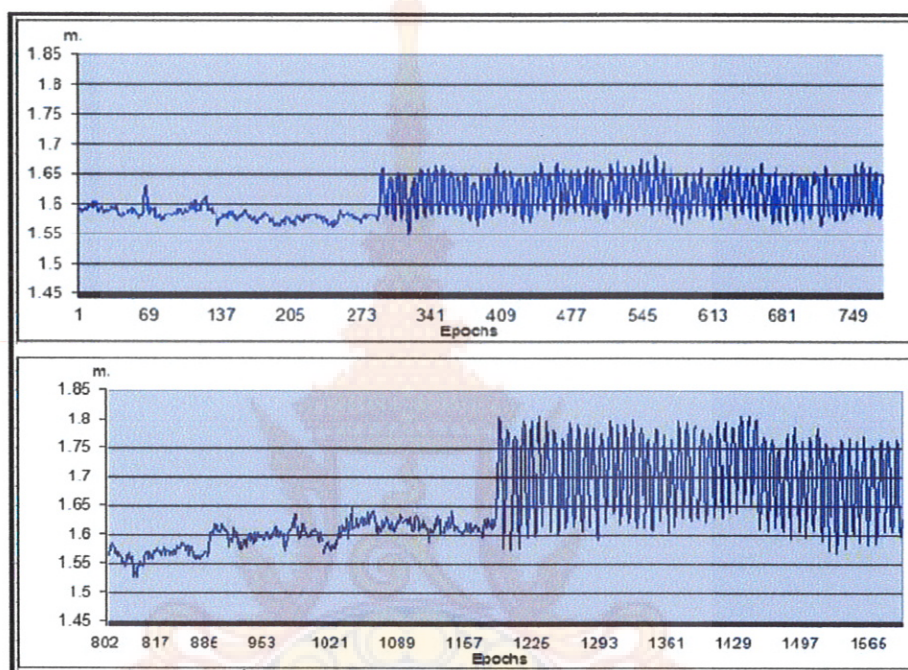
รูปที่ 4.1 (ก) การทดสอบเมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่และเคลื่อนตัว ขึ้น-ลง ทางคัง 0.075 เมตร และสำหรับภาพ (ข) การทดสอบเมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่และเคลื่อนตัว ขึ้น-ลง ทางคัง 0.185 เมตร

ในการทดลองเบื้องต้นค่าพิกัดแบบทันทีทันใดในสนามขณะผู้วิจัยทำการเปิดรับสัญญาณที่เครื่องรับจุดสถานีจร (Roving station) ไปเรื่อย ๆ ในขณะที่แบบจำลองเพื่อ ทดสอบการเคลื่อนตัว ทางคังของเรานั้นอยู่นิ่งกับที่ ภายหลังจากที่เครื่องรับที่สถานีจรทำการ fixed AR (Ambiguity resolution) ที่จะทำการบันทึกค่าพิกัดของเครื่องรับในขณะที่อยู่นิ่ง ๆ กับที่ด้วยอัตราความถี่ในการ บันทึกข้อมูลรั่วคี่คือ 5 Hz หรือ 1 วินาทีจะมี 5 ค่าตำแหน่งรั่วคี่ (Epochs) จึงทำการรับสัญญาณ เบื้องต้นแล้วเก็บบันทึกค่าข้อมูลผลลัพธ์ทางตำแหน่งที่ได้จากวิธี RTK ในสนามบันทึกลงในเครื่อง FC-200 (Field Controller) ซึ่งจากการพิจารณาจากกราฟด้านล่าง



รูปที่ 4.2 (ก) กราฟแสดงค่าความสูงจากการทดสอบเมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่และเคลื่อนตัว ขึ้น-ลง ทางคัง 0.075 และ 0.185 เมตร ในการทดสอบเบื้องต้น (ข) ค่าความสูงครั้งที่ 2 ของการทดลองที่ 1

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยยังได้นำข้อมูลดังที่ได้จากการบันทึกสัญญาณที่รับวัดไปยังกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส ทั้งจากสถานีฐาน BLD\_14/1 และสถานีจร BMSV03 มาทำการประมวลในภายหลัง (post processing) แบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) โดยใช้โปรแกรม Topcon tools และถูกแจกจ่ายสื่อโปรแกรม เพื่อคำนวณหาค่าพิกัดในทาง 3 มิติที่ดีที่สุดของตำแหน่งจุดสถานีจร ต่อไป



รูปที่ 4.3 แสดงว่าค่าความสูงที่ตรวจจับได้จากการทดสอบเบื้องต้น

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาในเรื่องค่าระดับซึ่งจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าผลลัพธ์ของค่าพิกัดจากวิธี RTK ดังในรูปที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์ค่าพิกัดทางตั้ง ที่เครื่องรับสามารถตรวจจับได้จากวิธีการ RTK ทั้งในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง สูง 0.075 เมตรด้วยอัตราความถี่ 40 ครั้งต่อวินาที มีค่าพิสัยเท่ากับ 0.132 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากช่วงจำนวนข้อมูล 800 ค่ารับวัด (Epochs) เท่ากับ 0.030 เมตร



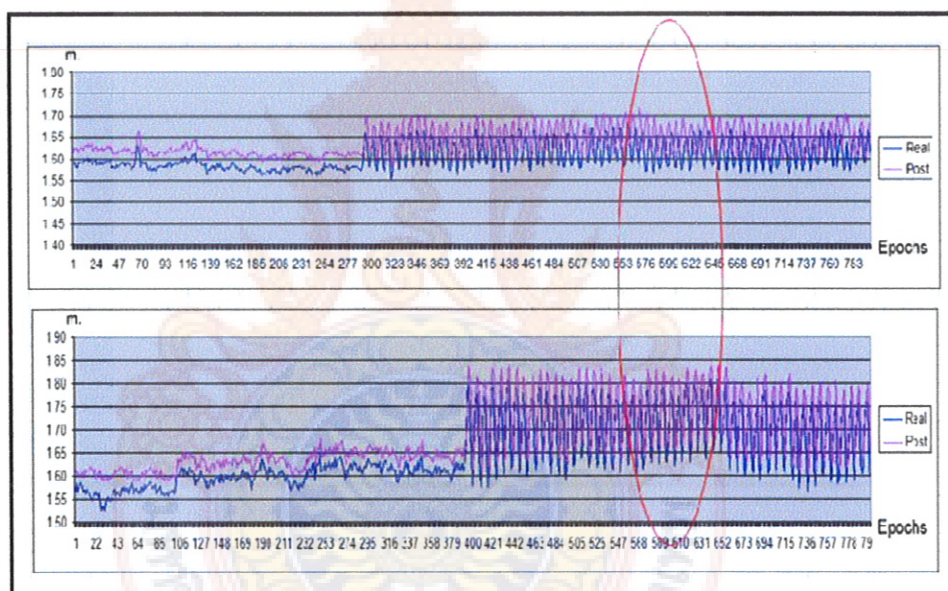
และจากการพิจารณาในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง สูง 0.185 เมตรด้วยอัตราความถี่ 32 ครั้ง ต่อนาที มีค่าความพิสัยเท่ากับ 0.240 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากจำนวนข้อมูล 800 ค่ารังวัด (Epochs) เท่ากับ 0.064 เมตรพร้อมกันนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าความสูงต่างทางดิ่งที่วัดได้จาก RTK ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลดิบ มาทำการประมวลผลในภายหลังก่อนที่จะใช้ในการสรุปผลการทดลองในหัวข้อถัดไป ดังนั้นจึงได้นำข้อมูลรังวัดจากในสนามของหมุดสถานีจร และสถานีฐานที่ทำการรับสัญญาณดาวเทียมในช่วงเวลาเดียวกันมาทำการประมวลผลแบบสัมพัทธ์โดยใช้โปรแกรม Topcon Tool v.75

การใช้โปรแกรม Topcon Tool v.75 เพื่อคำนวณผลลัพธ์ทางตำแหน่งในภายหลังสำหรับผลลัพธ์ของความสูงทางดิ่งที่ได้จากการรังวัดในสนามพบว่าสามารถหาค่าโคดที่แฝงอยู่ในผลลัพธ์ได้บางส่วน แต่ก็ยังไม่สามารถหาค่าออกไปได้หมด ยกตัวอย่างเช่น ในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ ค่าต่างระดับทางดิ่ง ควรจะมีค่าเท่ากับ ศูนย์ หรือใกล้เคียงในระดับ เซนติเมตร หรือดีกว่านั้น

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของการทดสอบเบื้องต้นในการตรวจจับค่าต่างทางดิ่งด้วยวิธี RTK ของหมุดสถานีจร ในการทดลองเบื้องต้น

| วิธีการ                      | ข้อมูล                                                          | เมื่อ<br>แบบจำลอง                                      | ค่าทางสถิติ (เมตร) |           |          |                          |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|-----------|----------|--------------------------|
|                              |                                                                 |                                                        | ค่าสูงสุด          | ค่าต่ำสุด | ค่าพิสัย | ส่วนเบี่ยงเบน<br>มาตรฐาน |
| RTK (Real-time<br>Kenevntie) | Real-time<br>จากในสนาม<br>ของสถานีจร                            | อยู่หนึ่งกับที่ครั้งที่<br>ที่เคลื่อนที่<br>0.075 เมตร | 1.631              | 1.562     | 0.069    | 0.010                    |
|                              |                                                                 |                                                        | 1.681              | 1.549     | 0.132    | 0.030                    |
|                              |                                                                 | อยู่หนึ่งกับที่ครั้งที่<br>ที่เคลื่อนที่<br>0.185 เมตร | 1.649              | 1.526     | 0.123    | 0.024                    |
|                              |                                                                 |                                                        | 1.807              | 1.567     | 0.240    | 0.064                    |
|                              | Post-processing<br>จากข้อมูลรังวัด<br>ของสถานีฐาน<br>และสถานีจร | อยู่หนึ่งกับที่ครั้งที่<br>ที่เคลื่อนที่<br>0.075 เมตร | 1.664              | 1.595     | 0.069    | 0.011                    |
|                              |                                                                 |                                                        | 1.714              | 1.582     | 0.132    | 0.031                    |
|                              |                                                                 | อยู่หนึ่งกับที่ครั้งที่<br>ที่เคลื่อนที่<br>0.185 เมตร | 1.682              | 1.590     | 0.092    | 0.019                    |
|                              |                                                                 |                                                        | 1.839              | 1.590     | 0.249    | 0.064                    |

ฉะนั้นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการให้ได้มาซึ่งความถูกต้องของค่าพิกัดทางดิ่งในระดับเซนติเมตรหรือดีกว่านั้น ในระดับ เซนติเมตร ด้วยข้อมูลรังวัดดาวเทียม จีพีเอส ด้วยวิธี RTK ผู้วิจัยจะใช้วิธีประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในการคำนวณค่าพิกัดเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบแบบค่าความสูงต่างที่เปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ ในขณะที่ทำการรับสัญญาณ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลอง อีออยสากล ที่มีชื่อว่า EGM96 ในการแปลงค่าความสูงเหนือระดับทรรี ให้เป็นความสูงเหนือยอย ซึ่งการนำ EGM 96 มาใช้ในการหาค่าความสูง ออร์โทเมตริก หรือความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ธนัช และเฉลิมพนธ์ (2548) ได้แสดงให้เห็นจากผลการศึกษพบว่า การทำระดับด้วย จีพีเอส นั้น จะให้ค่าความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริก ในระดับเซนติเมตรหากใช้วิธีรังวัดแบบสถิตยในการทำงานสนามและประมวลผลเส้นฐานแบบสัมพัทธ์ที่ละเส้นในภายหลัง

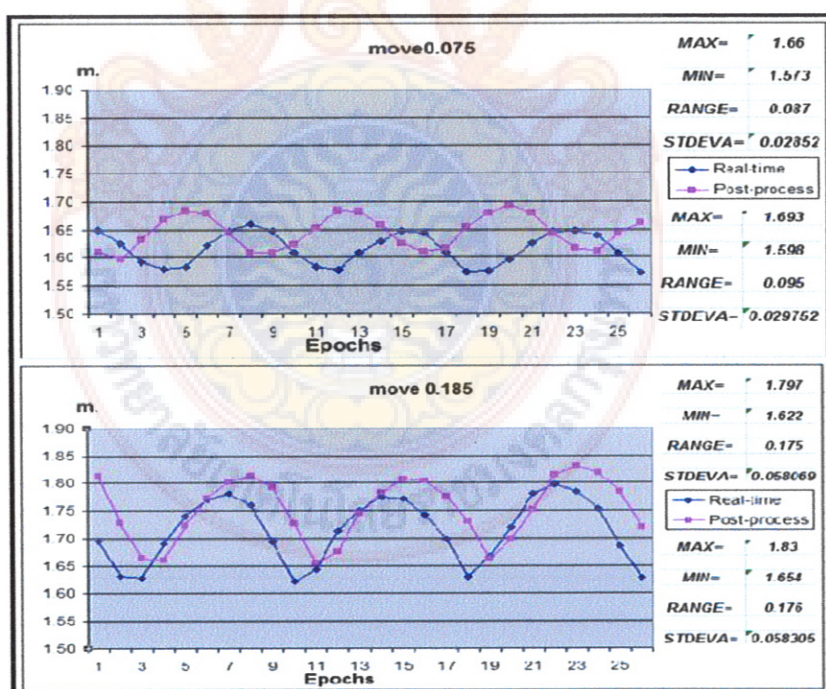


รูปที่ 4.4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่และเคลื่อนที่ตัว ขึ้น-ลง ทางดิ่งสูง 0.075 เมตรและ 0.185 ในการทดสอบเบื้องต้นข้อมูลแบบ Real-time และข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองเบื้องต้น



จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติดังตารางที่ 4.1 พบว่า ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนตัวทางดิ่ง 0.075 เมตร และ 0.185 สำหรับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ของวิธี RTK เมื่อนำข้อมูลดิบมาประมวลแบบสัมพัทธ์ในภาพหลัง Post processing ค่าพิสัยมีขนาด 0.132 เมตร และ 0.249 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.031 เมตร และ 0.064 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้ว่าในการรับสัญญาณด้วยวิธี RTK นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่มีพิสัยขนาด 0.069 ถึง 0.123 เมตร แฝงตัวอยู่ด้วยจนคุณลักษณะเหมือนเป็นค่าคงที่คลาดเคลื่อน แต่ด้วยการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภาพหลัง Post processing ค่าพิสัยดังกล่าวมีขนาดลดลงเล็กน้อยคือ มีพิสัยขนาด 0.069 ถึง 0.092 เมื่อพิจารณาในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มเลือกข้อมูลความสูงที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับทั้งแบบ Real-time และแบบ Post processing มา 2 ช่วงโดยจากรูปที่ 4.5 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนตัวทางดิ่งจริง 0.075 และ 0.185 เมตร สำหรับค่าพิสัยที่ในช่วงขณะเคลื่อนที่มีขนาดเท่ากับ 0.087 เมตร และ 0.175 เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวิธี RTK สามารถที่จะใช้ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งได้



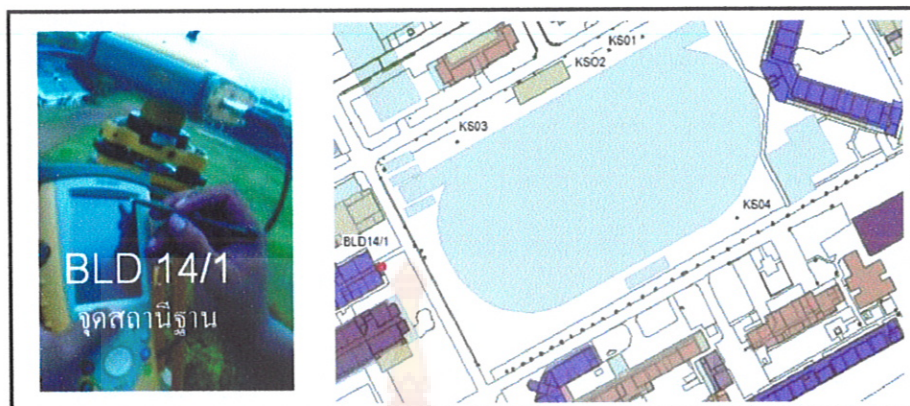
จากรูปที่ 4.5 แสดงช่วงค่าพิสัยของค่าความสูงที่ตรวจจับในขณะที่เคลื่อนที่ทางดิ่งสูง 0.075 เมตร และ 0.185 เมตร ตามลำดับ



## 4.2 กรณีที่มีอิทธิพลปกคลุมเรือนยอด ของตำแหน่งที่ตั้งหมุดรับสัญญาณ

การทดลองที่ 2 นี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพเป็นเวลา 3 วัน เมื่อวันที่ 6, 7 และ 14 สิงหาคม 2552 ณ บริเวณพื้นที่สนามฟุตบอล โดยใช้เครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส แบบ 2 ความถี่ ยี่ห้อ Topcon รุ่น Hyper Ga จำนวน 2 เครื่องเครื่องหนึ่งกำหนดให้เป็นจุดสถานีฐาน (Base station) ที่หมุด BLD 14/1 และอีกเครื่องหนึ่งกำหนดให้เป็นจุดสถานีจร (Rover station) ที่หมุด KS\_01, KS\_02, KS\_03 และ KS\_04 ตามลำดับ โดยทำการทดสอบออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือ ชุดแรก เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางคิ่ง 0.075 เมตร และชุดที่ สองเมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น- ลง ทางคิ่ง 0.185 เมตร และใช้ความถี่ ในการบันทึกข้อมูล 5 Hz

โดยในการทดลองผู้วิจัยต้องการแสดงให้เห็นว่า ในการใช้งานวิธีการ RTK เพื่อรังวัดจุดตำแหน่งในภูมิประเทศนั้นมีข้อพึงระวังในการรับสัญญาณในกรณีที่ติดตั้ง เครื่องรับนั้นอยู่ภายใต้ร่มไม้ใหญ่ หรือจะเรียกว่า มีการบดบังสัญญาณ เนื่องจากอิทธิพลการปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้ใหญ่ในภูมิประเทศ เพราะในการเก็บข้อมูลในสนามผู้ใช้งานจะทราบเพียงแต่ว่าถ้าหากเครื่องรับที่สถานีจรรนั้นพร้อมที่จะบันทึกค่าสมมูลสนามอิเล็กทรอนิกส์ จะแสดงคำว่า Fixed แต่ถ้ายังไม่พร้อมจะแสดงคำว่า Floated ซึ่งการที่เครื่องรับแสดงสถานะ Floated จะแสดงว่า เครื่องรับกำลังเริ่มต้นทำการหาค่าตัวเลขปริศนาที่เป็นจำนวนเต็มอยู่ หรือ สถานะค่า DOPS ของดาวเทียมยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ไม่ได้ตามข้อกำหนดที่ผู้ใช้ตั้งค่าไว้ใน Configure ฉะนั้นในการทดลองต่อไปนี้ ค่าความสูงที่ แสดงให้ดูเป็นค่าความสูงที่เครื่องรับตรวจจับได้ และผ่านเกณฑ์ความถูกต้องที่ตั้งไว้ตามมาตรฐานในเครื่องรับ และเป็นค่าที่เครื่องรับทำการเก็บบันทึกลงในสมุดสนามอิเล็กทรอนิกส์ (Field controller) โดยตำแหน่งที่หมุดสถานีจรทั้ง 4 หมุดนี้ อยู่ภายใต้เงื่อนไขคือ เป็นหมุดที่อยู่ภายใต้อิทธิพลการปกคลุมเรือนยอด ภาพประกอบ 4.6 แต่สามารถรับสัญญาณดาวเทียม จีพีเอส จนนำมาสู่ การคำนวณผลลัพธ์ ของค่าพิกัดแบบทันทีทันใดโดยซอฟต์แวร์ของเครื่องรับที่สถานีจรในสนามได้



ก)หมุด KS01



ข)หมุด KS02



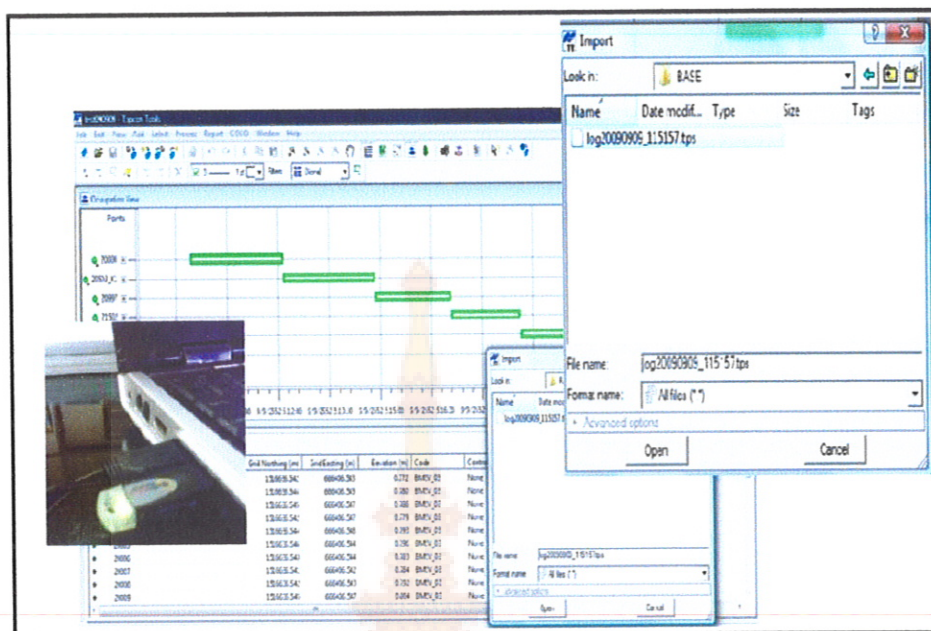
ค)หมุด KS03



ง)หมุด KS04

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายบริเวณสถานีทั้ง 4 หมุดในการทดลองที่ 4.2

จากการที่ ก้องไถล และ เฉลิมชนม์ (2549) ได้ดำเนินการรังวัดด้วยวิธี RTK และวิธี Inversed RTK โดยการนำข้อมูลดิบที่ได้จากการรับสัญญาณไปยังดาวเทียม จีพีเอส ที่สถานีมาทำการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลังกับเครื่องรับที่สถานีฐานภายใต้เหตุผลที่ว่า วิธีการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลังสามารถจัดค่าคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบให้หักล้างกันหมดไป ดังนั้น ในการสรุปผลการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลดิบจากทั้งสองสถานีมาทำการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ดังภาพที่ในภายหลังด้วย ซอฟต์แวร์ Topcon tool Version 4.5 พร้อมด้วย Topcon Tool USB และสรุปเป็นค่าทางสถิติและรูปภาพดังแสดงด้านล่าง



รูปที่ 4.7 การประมวลผลแบบสัมพัทธ์ด้วยซอฟต์แวร์ Topcon tool v.4.5

การทดลองที่ 2 ต้องการที่จะอธิบายผลการทดลองค่าต่างระดับทางดิ่งที่ตรวจจับได้โดยเครื่องรับที่จุดสถานีจริงว่า มีความสอดคล้อง หรือแตกต่างกันในแต่ละวัน กับค่าการเคลื่อนตัว ขึ้น-ลง ทางดิ่งจริง ที่เกิดขึ้นโดยแบบจำลอง จึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 วัน วันละ 4 หมด หมดละ 2 ช่วงเวลารับสัญญาณ พร้อมกันนี้ได้นำผลลัพธ์ของค่าพิกัดทางดิ่ง ของจุดสถานีจริง ที่ได้จากการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภายหลัง นำมา เปรียบเทียบผลลัพธ์กับ ความสูงที่เปลี่ยนแปลงจริงของแบบจำลองดังตารางที่ 4.2





ตารางที่ 4.2 (ข) แสดงค่าทางสถิติของความสูงที่เครื่องรับที่หมด KS\_02 ตรวจสอบได้ ใน 3 วัน จากข้อมูล Real-time และ Post processing ของการทดลองที่ 2

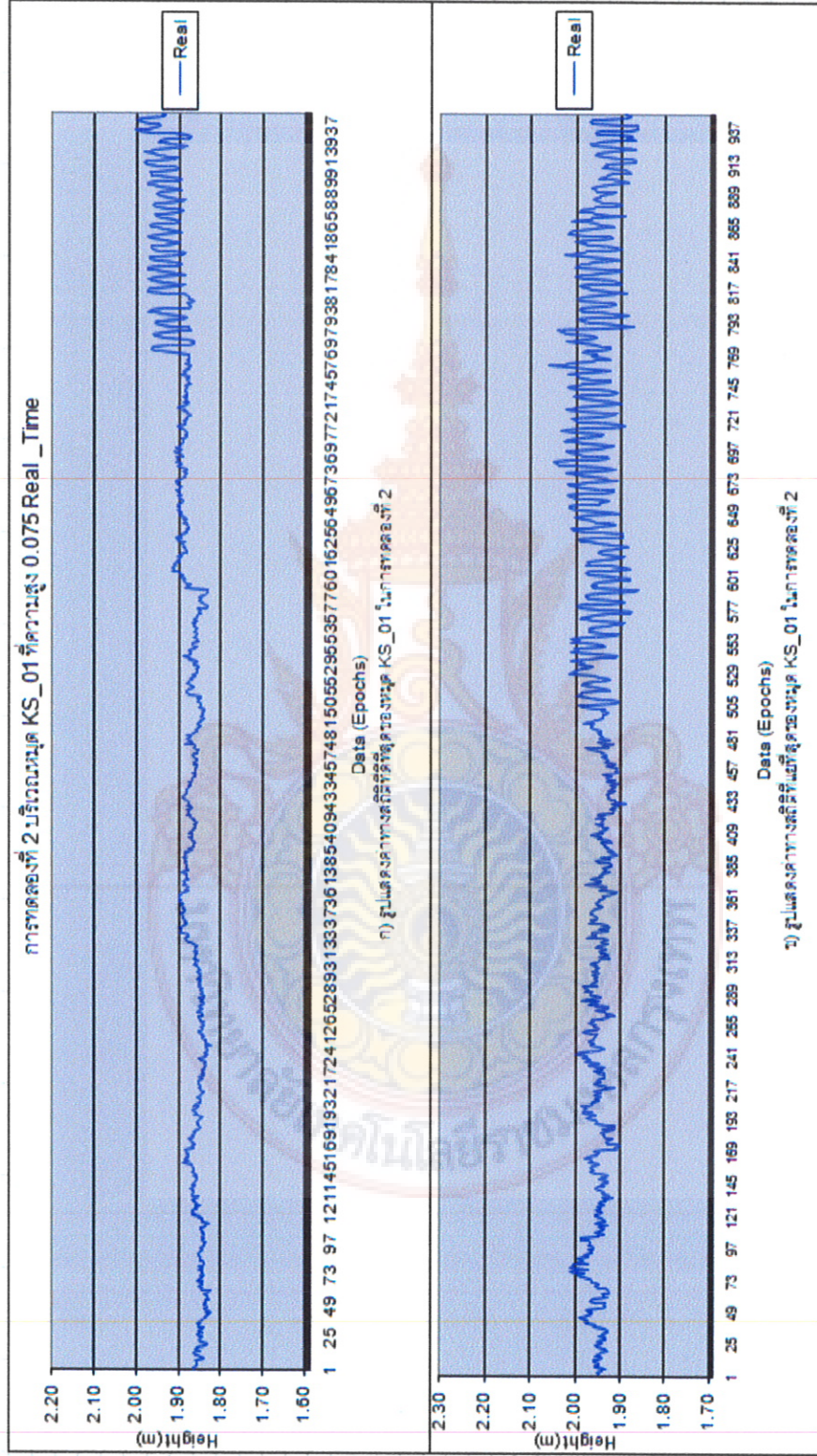
| เมื่อแบบจำลอง |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------|----------|-----------|--------------|----------|-----------|--------------|----------|-----------|--------------|
| สถานี         | อยู่ฝั่ง                                                                                                                                                                                                               |           |              | อยู่ฝั่ง |           |              | อยู่ฝั่ง |           |              | อยู่ฝั่ง |           |              |
|               | ค่าทางสถิติของ ข้อมูลจากเครื่องรับที่จุดสถานีจริง (เมตร) Real-time                                                                                                                                                     |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
| KS_02         | Width                                                                                                                                                                                                                  | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน | Width    | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน | Width    | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน | Width    | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
|               | Width <th>ค่าเฉลี่ย</th> <th>ค่าเบี่ยงเบน</th> <td>Width</td> <th>ค่าเฉลี่ย</th> <th>ค่าเบี่ยงเบน</th> <td>Width</td> <th>ค่าเฉลี่ย</th> <th>ค่าเบี่ยงเบน</th> <td>Width</td> <th>ค่าเฉลี่ย</th> <th>ค่าเบี่ยงเบน</th> | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน | Width    | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน | Width    | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน | Width    | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
| วันที่ ๑      | 0.055                                                                                                                                                                                                                  | 0.093     | 2.092        | 0.172    | 0.036     | 2.167        | 0.075    | 0.123     | 0.091        | 2.128    | 0.295     | 0.067        |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
| วันที่ ๒      | 0.049                                                                                                                                                                                                                  | 0.093     | 2.068        | 0.121    | 0.031     | 2.127        | 0.059    | 0.081     | 0.092        | 2.046    | 0.213     | 0.057        |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
| วันที่ ๓      | 0.044                                                                                                                                                                                                                  | 0.093     | 2.075        | 0.149    | 0.033     | 2.129        | 0.054    | 0.060     | 0.093        | 2.054    | 0.221     | 0.063        |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |
|               |                                                                                                                                                                                                                        |           |              |          |           |              |          |           |              |          |           |              |





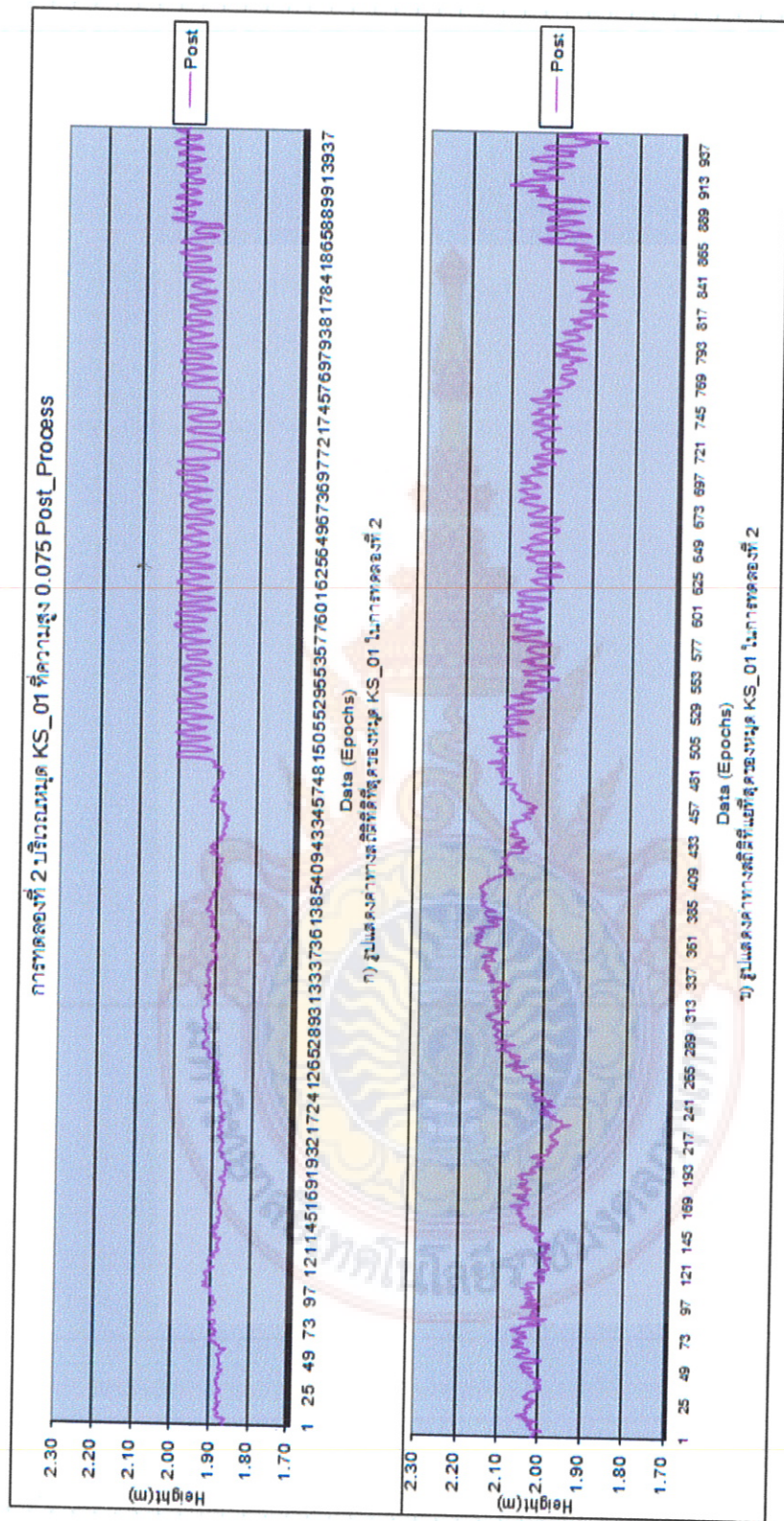
ตารางที่ 4.2 (ง) แสดงค่าทางสถิติของความเร็วที่เครื่องรับที่พบ KS\_04 ตรวจสอบได้ ใน 3 วัน จากข้อมูล Real-time และ Post processing ของการทดลองที่ 2

| เมื่อแบบจำลอง |         |                                                                    |                     |         |                     |          |                     |         |                     |          |                     |         |                     |          |                     |         |                     |
|---------------|---------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|---------------------|----------|---------------------|---------|---------------------|----------|---------------------|---------|---------------------|----------|---------------------|---------|---------------------|
| สถานี         |         | อยู่นิ่ง                                                           |                     | 0.075   |                     | อยู่นิ่ง |                     | 0.185   |                     | อยู่นิ่ง |                     | 0.075   |                     | อยู่นิ่ง |                     | 0.185   |                     |
| KS_04         |         | ค่าทางสถิติของ ข้อมูลจากเครื่องรับที่จุดสถานีจริง (เมตร) Real-time |                     |         |                     |          |                     |         |                     |          |                     |         |                     |          |                     |         |                     |
|               | พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่                                                | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่  | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่  | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่  | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ |
|               |         | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่                                                | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่  | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่  | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่  | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ | พื้นที่ | ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ |
| วันที่ 1      | 0.068   | 0.085                                                              | 1.868               | 0.156   | 0.031               | 1.924    | 0.056               | 0.115   | 0.084               | 1.846    | 0.262               | 0.070   | 1.970               | 0.070    | 1.970               | 0.070   | 1.970               |
| วันที่ 2      | 0.135   | 0.082                                                              | 1.769               | 0.117   | 0.022               | 1.815    | 0.046               | 0.161   | 0.084               | 1.723    | 0.371               | 0.076   | 1.930               | 0.081    | 1.956               | 0.081   | 1.956               |
| วันที่ 3      | 0.099   | 0.077                                                              | 1.687               | 0.156   | 0.032               | 1.731    | 0.044               | 0.225   | 0.108               | 1.777    | 0.306               | 0.072   | 1.912               | 0.058    | 1.878               | 0.058   | 1.878               |



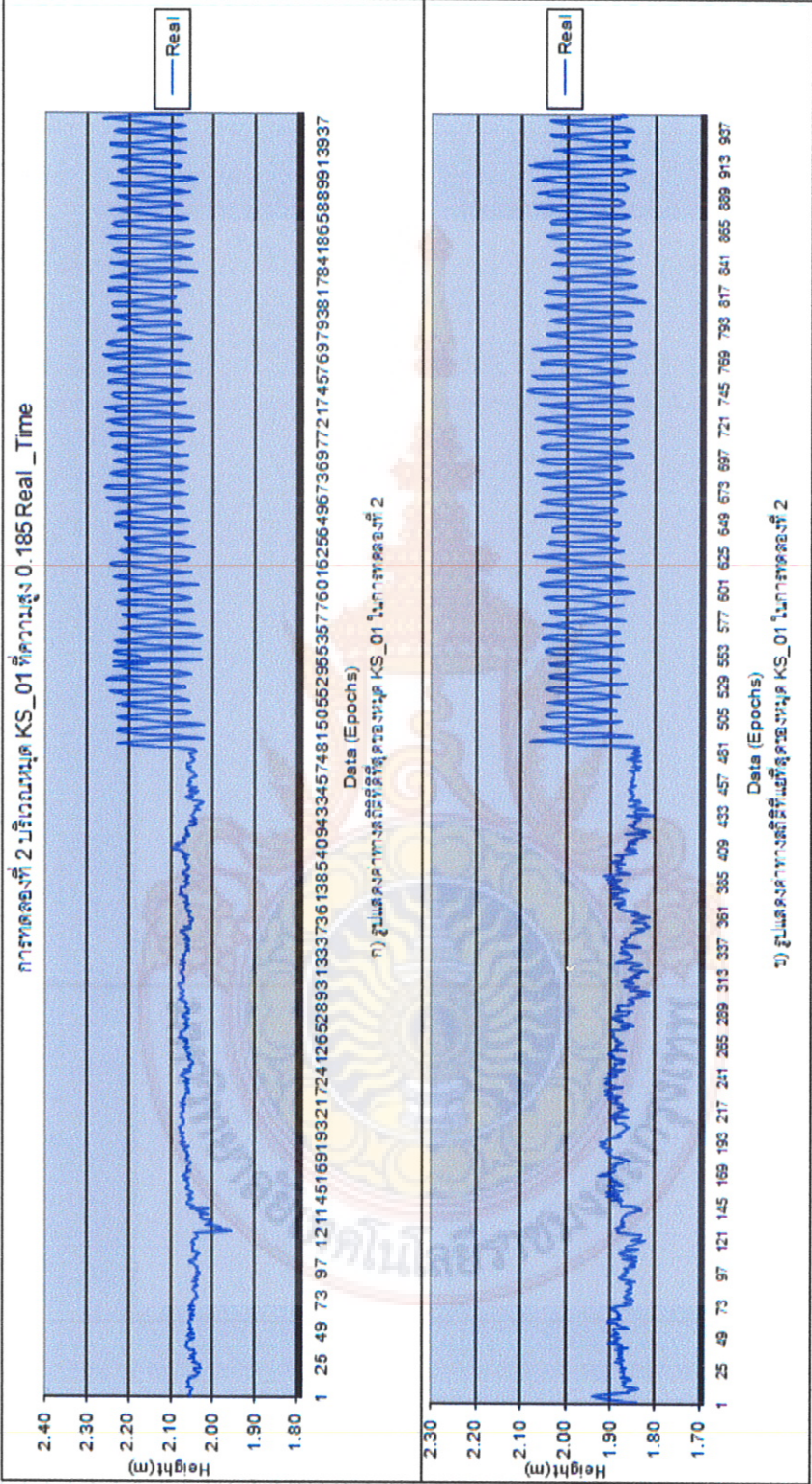
รูปที่ 4.8 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหุบ KS\_01 ที่มีค่าทางสถิติที่ต่ำที่สุด (ก) และค่าที่สูงสุด (ข) ใน 3 วัน ของหุบ KS\_01 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่กับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางดิ่ง 0.075 เมตร





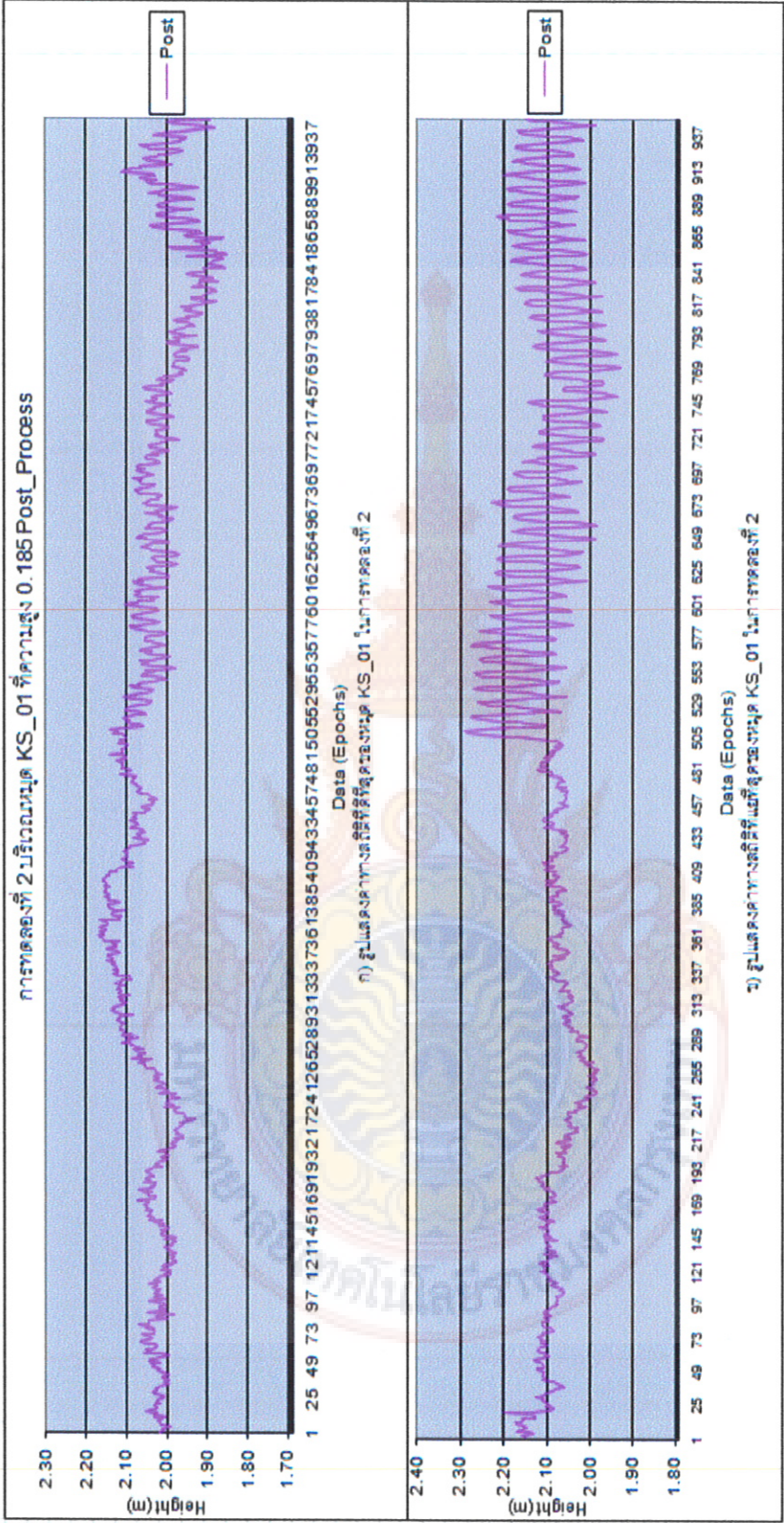
**รูปที่ 4.9** แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมุด KS\_01 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมุด KS\_01 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางคัง 0.075 เมตร





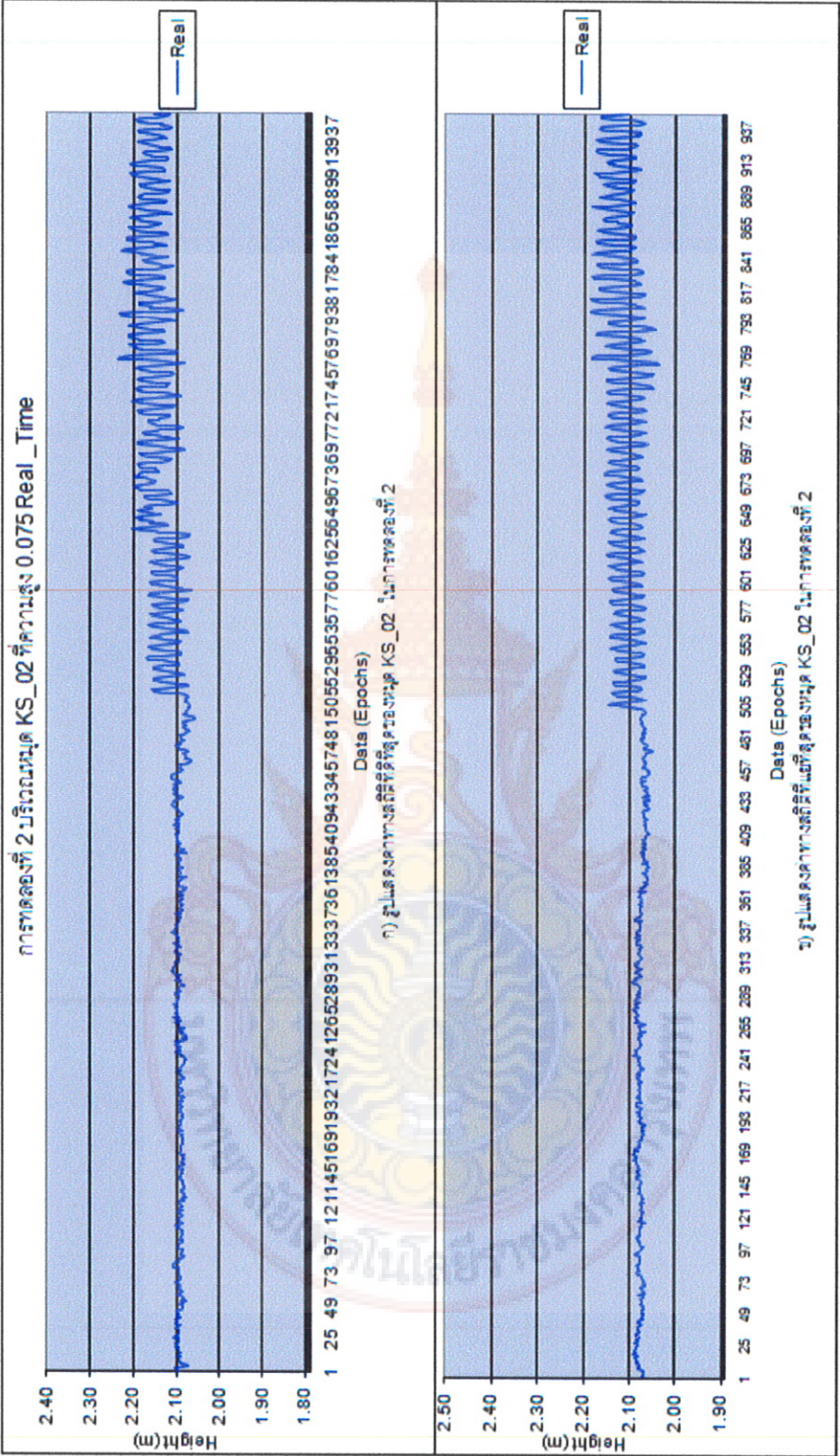
รูปที่ 4.10 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหุบ KS\_01 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหุบ KS\_01 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่กับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น – ลง ทางคัง 0.185 เมตร





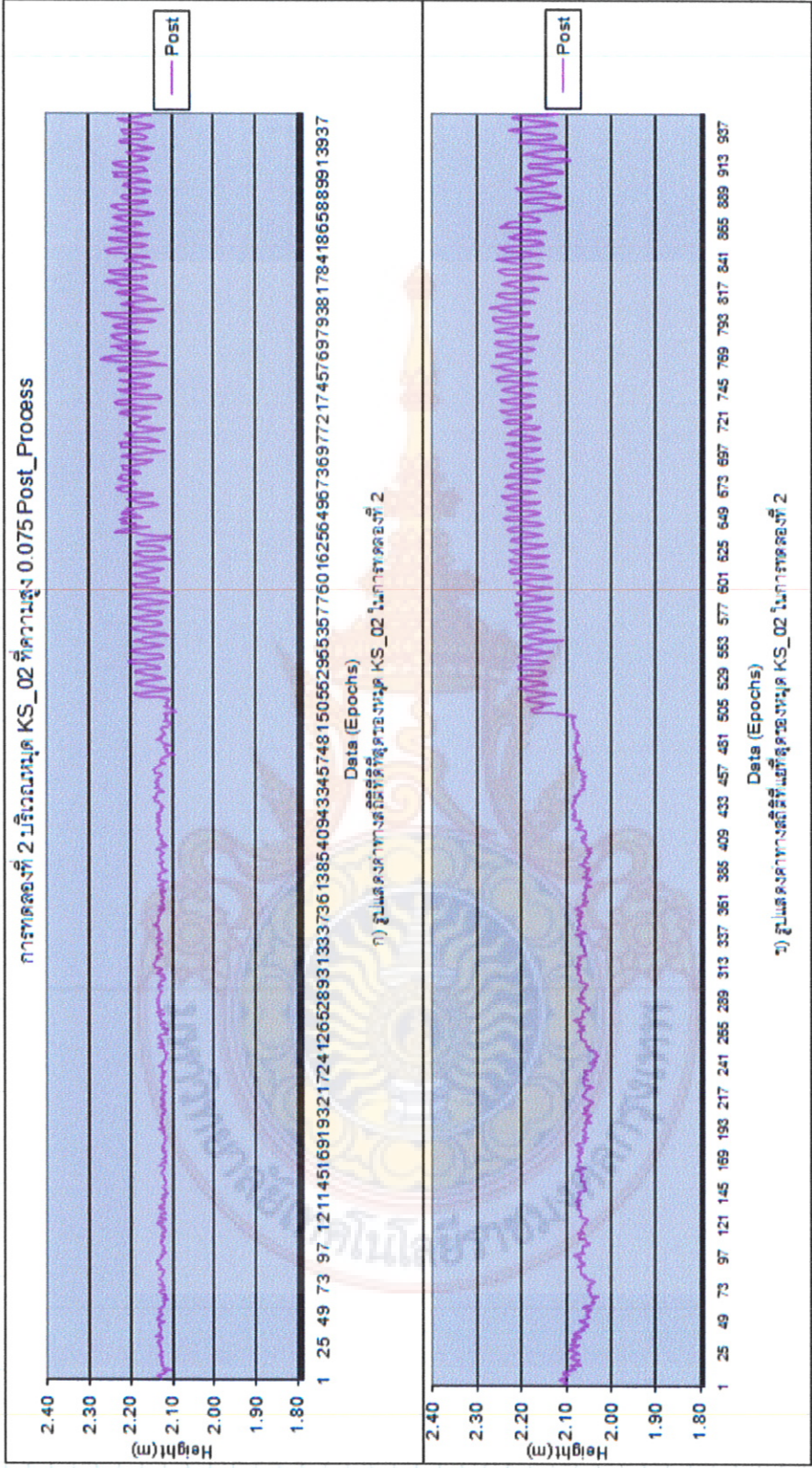
รูปที่ 4.11 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมู่ KS\_01 ที่มีค่าทางสถิติที่สูงสุด (ก) และต่ำสุด (ข) ใน 3 วัน ของหมู่ KS\_01 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่ร่วมกับ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางตั้ง 0.185 เมตร





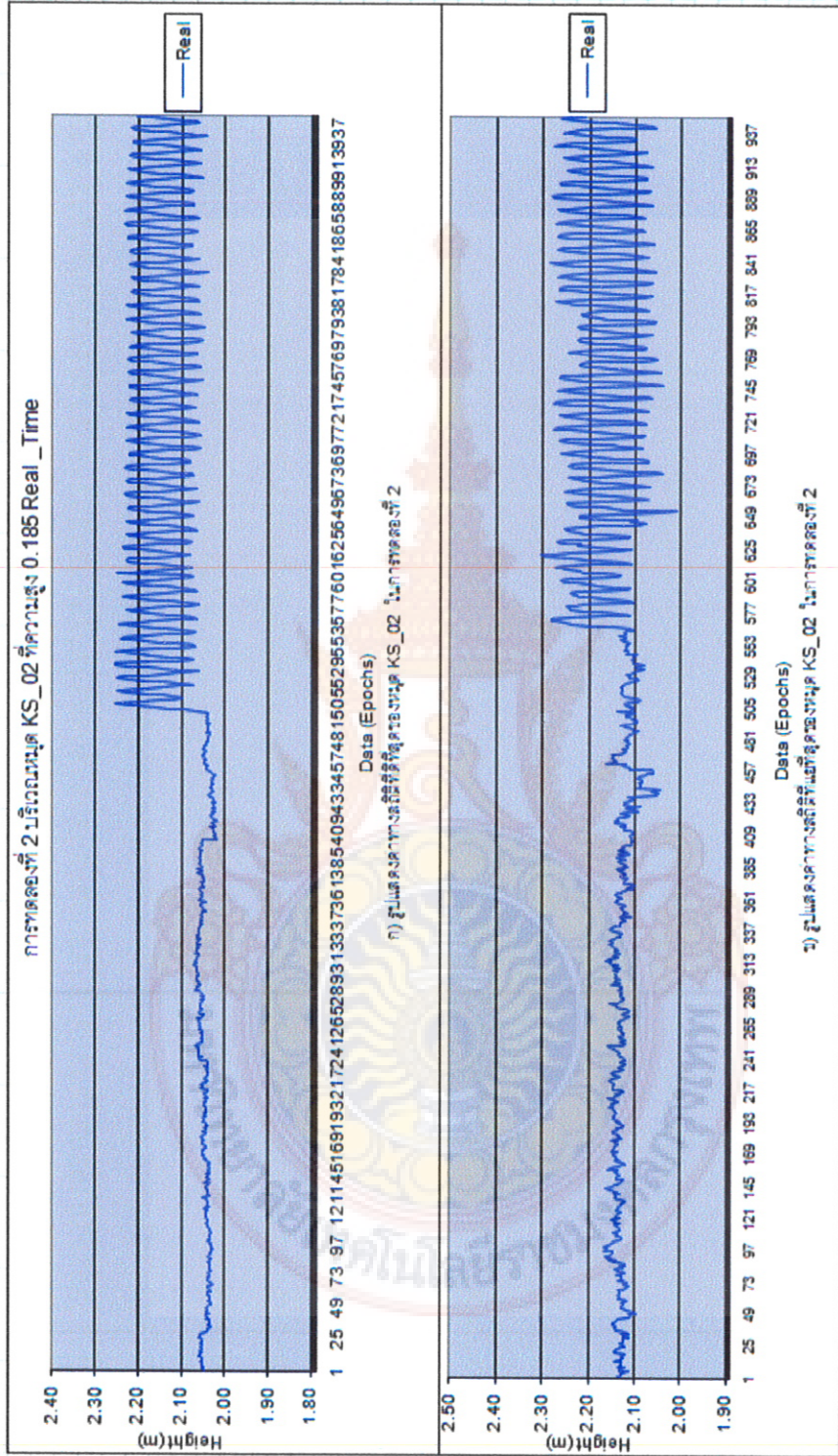
รูปที่ 4.12 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหุบ KS\_02 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหุบ KS\_02 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่กับที่ และมีการเคลื่อนที่ขึ้น - ลง ทางคัง 0.075 เมตร





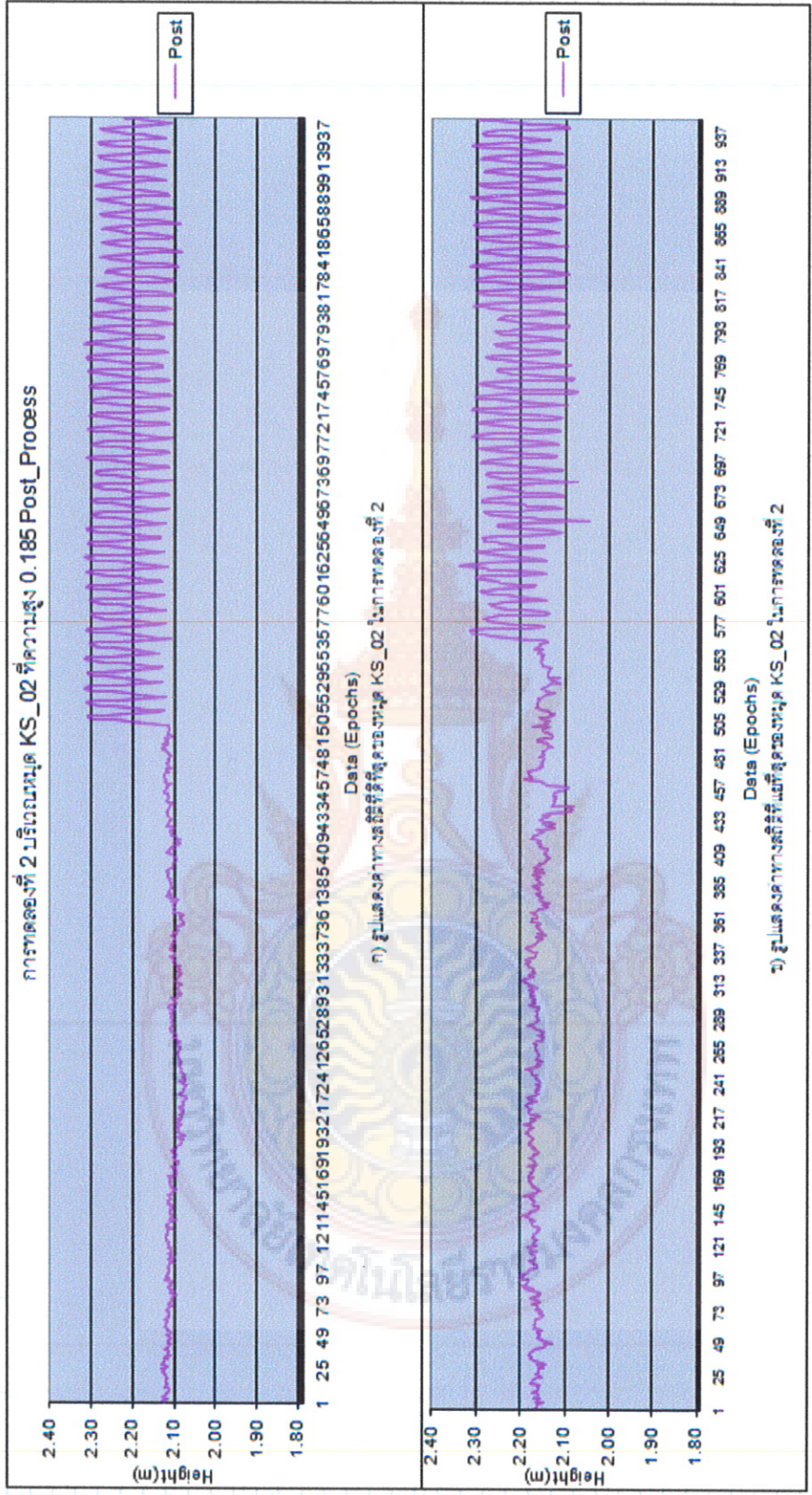
รูปที่ 4.13 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมู่ KS\_02 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมู่ KS\_02 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่ร่วมกับ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางดิ่ง 0.075 เมตร





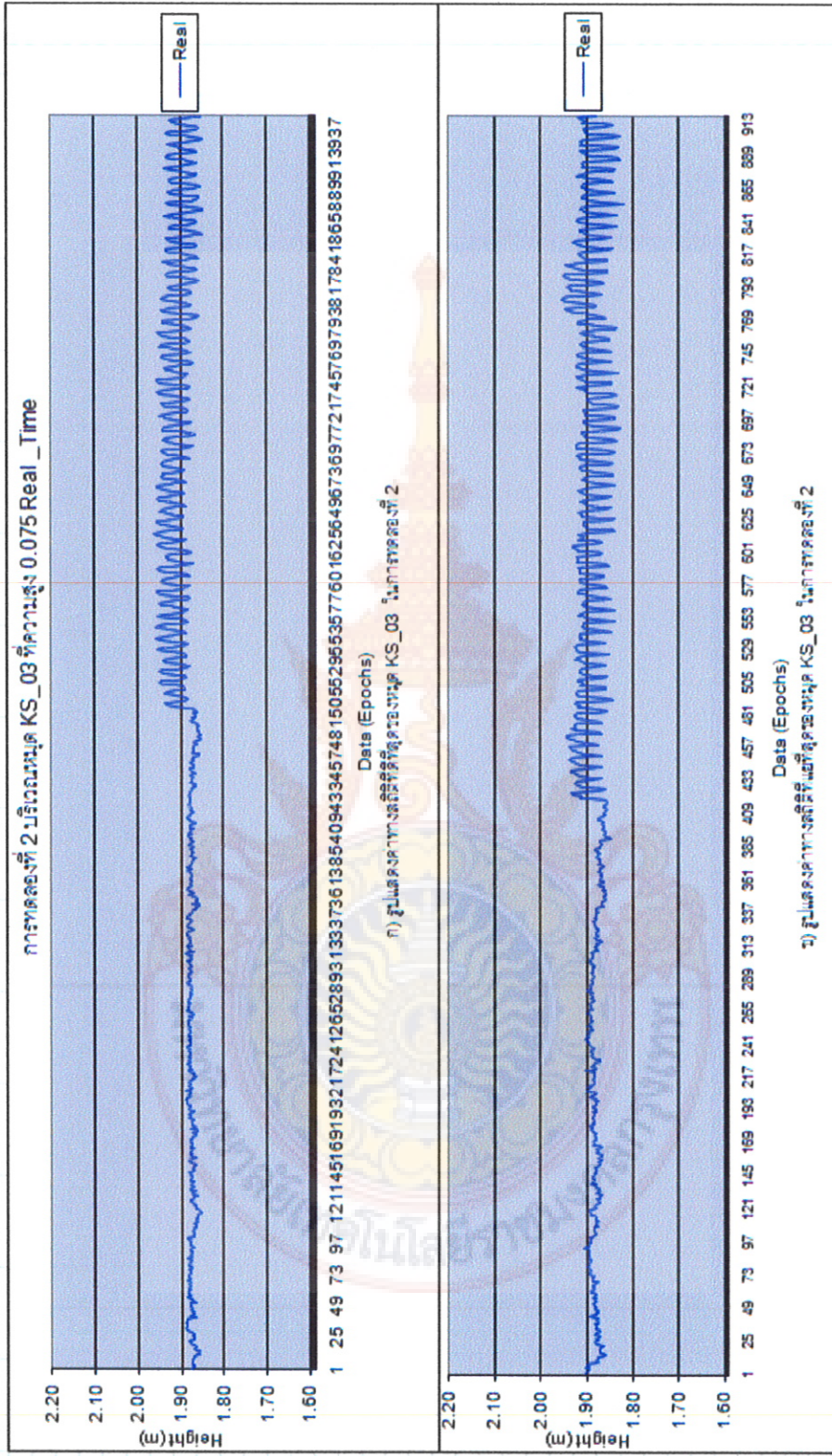
รูปที่ 4.14 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของจุด KS\_02 ที่มีค่าทางสถิติที่จุด (ก) และแยกที่จุด (ข) ใน 3 วัน ของจุด KS\_02 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่กับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางคิ่ง 0.185 เมตร





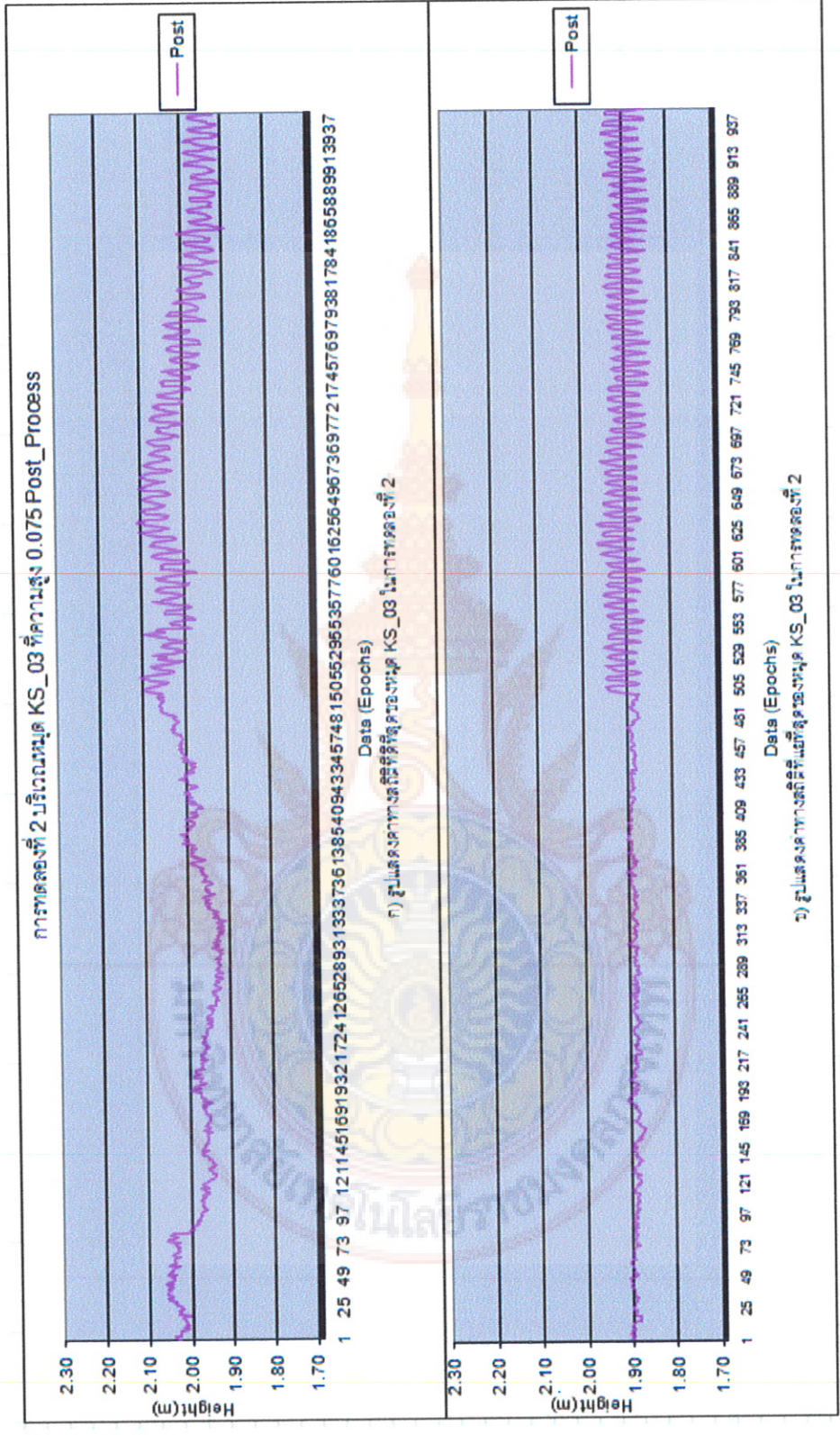
รูปที่ 4.15 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของชุด KS\_02 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของชุด KS\_02 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่ร่วมกับ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางตั้ง 0.185 เมตร





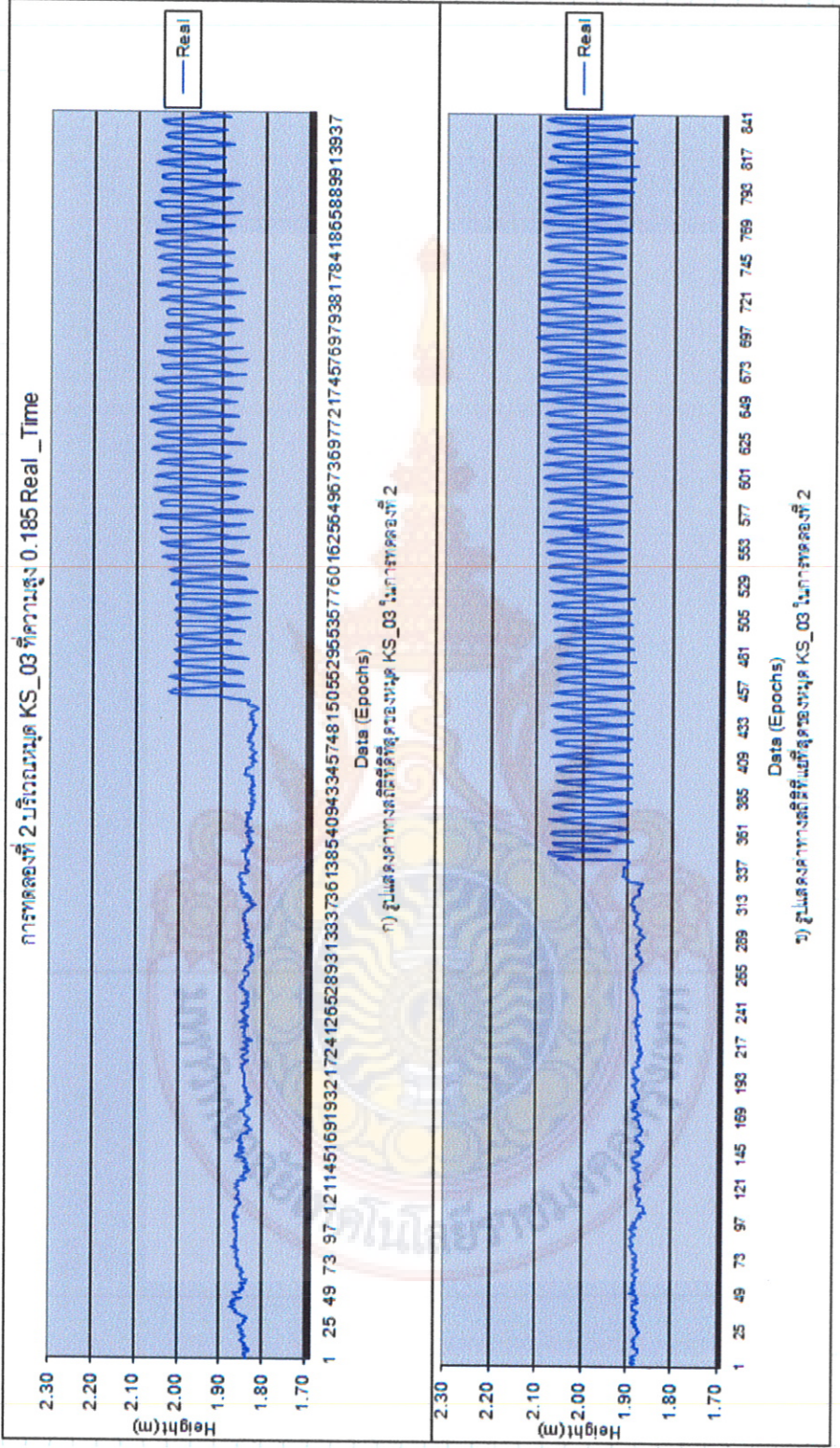
รูปที่ 4.16 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหุบ KS\_03 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหุบ KS\_03 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่กับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางคัง 0.075 เมตร





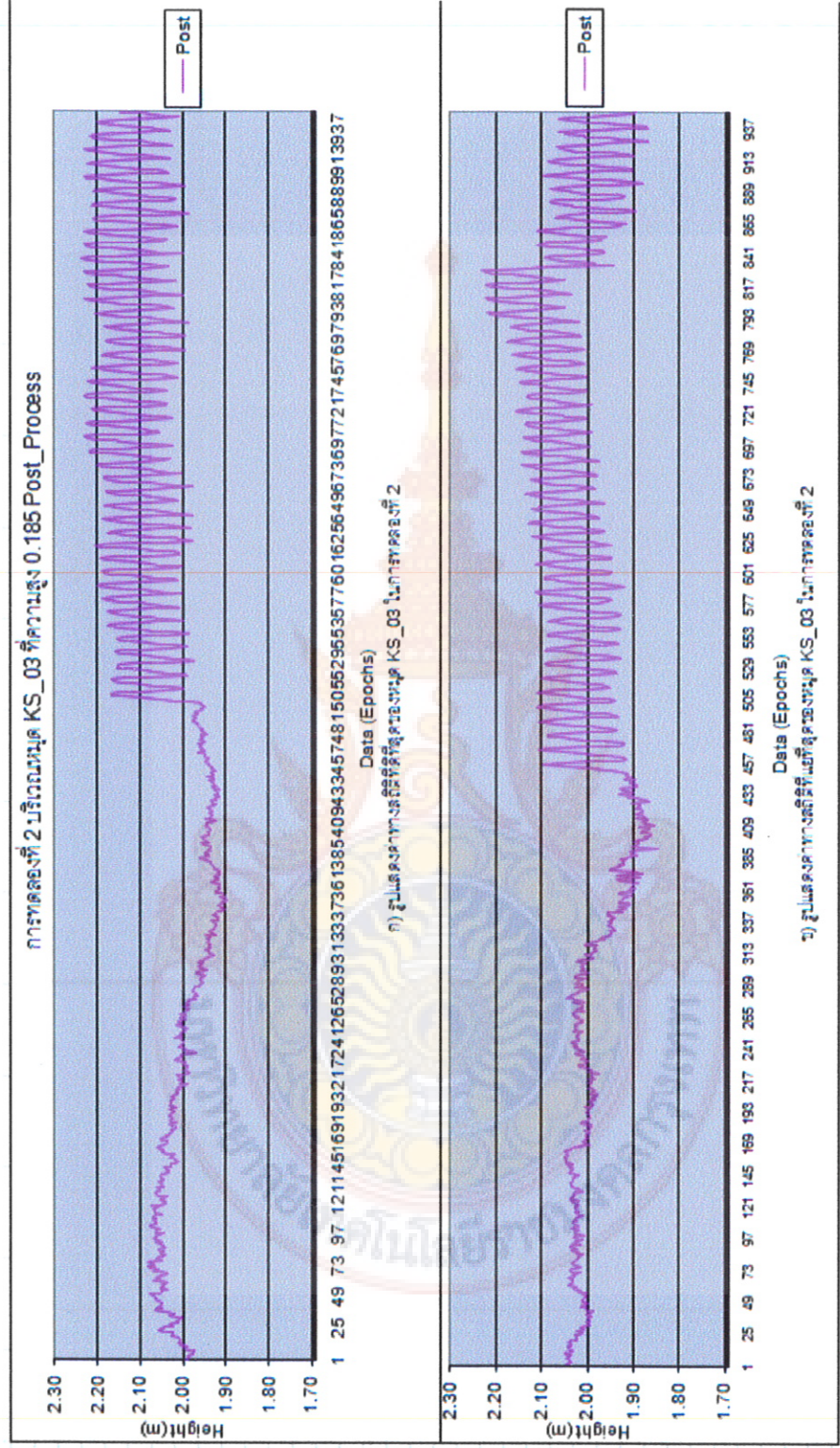
รูปที่ 4.17 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของชุด KS\_03 ที่มีค่าทางสถิติที่ต่ำสุด (ก) และเฉลี่ยที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของชุด KS\_03 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่กับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางตั้ง 0.075 เมตร





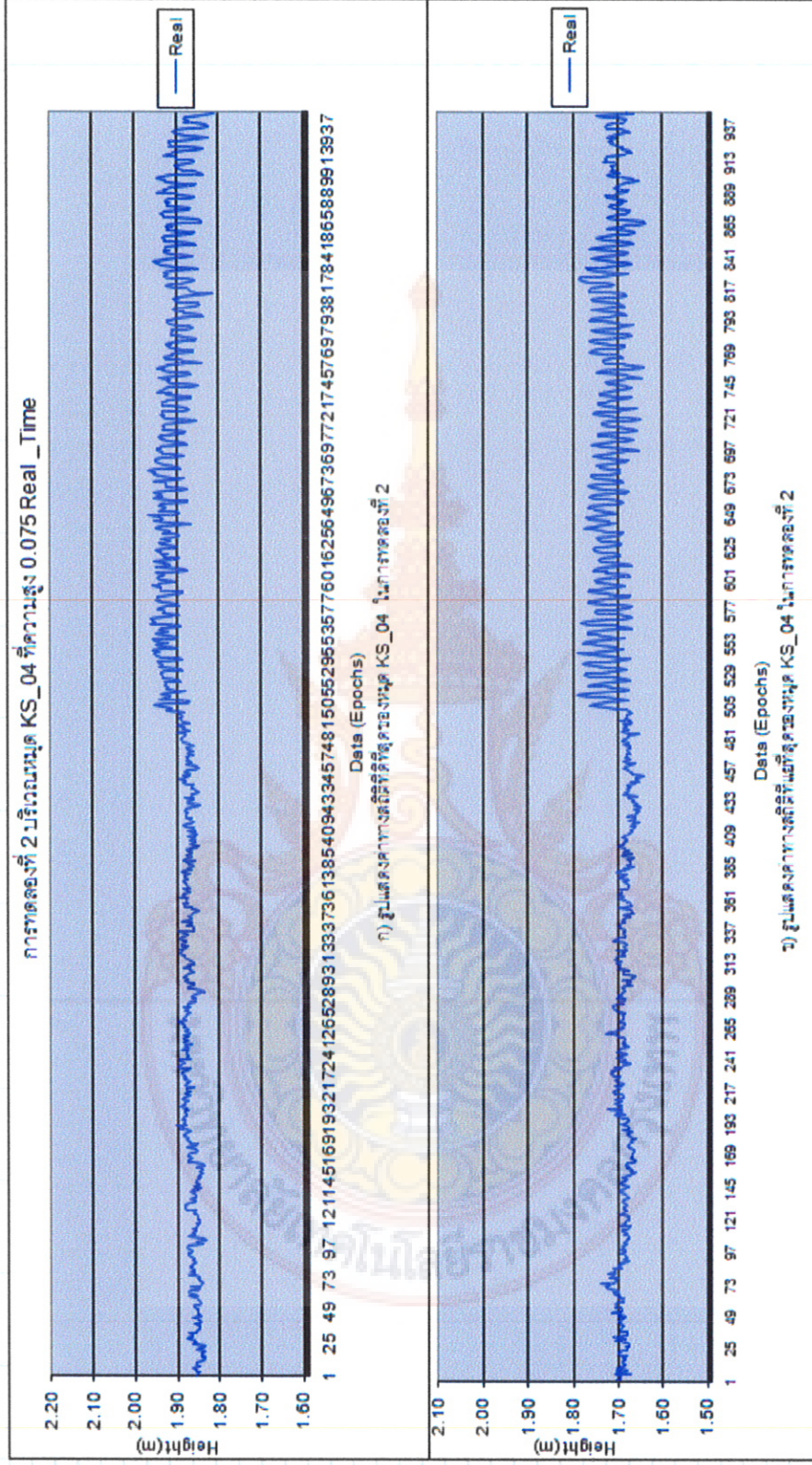
รูปที่ 4.18 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของมุม KS\_03 ที่มีค่าทางสถิติที่ต่ำที่สุด (ก) และค่าที่สูงสุด (ข) ใน 3 วัน ของมุม KS\_03 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่ร่วมกับ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางคัง 0.185 เมตร





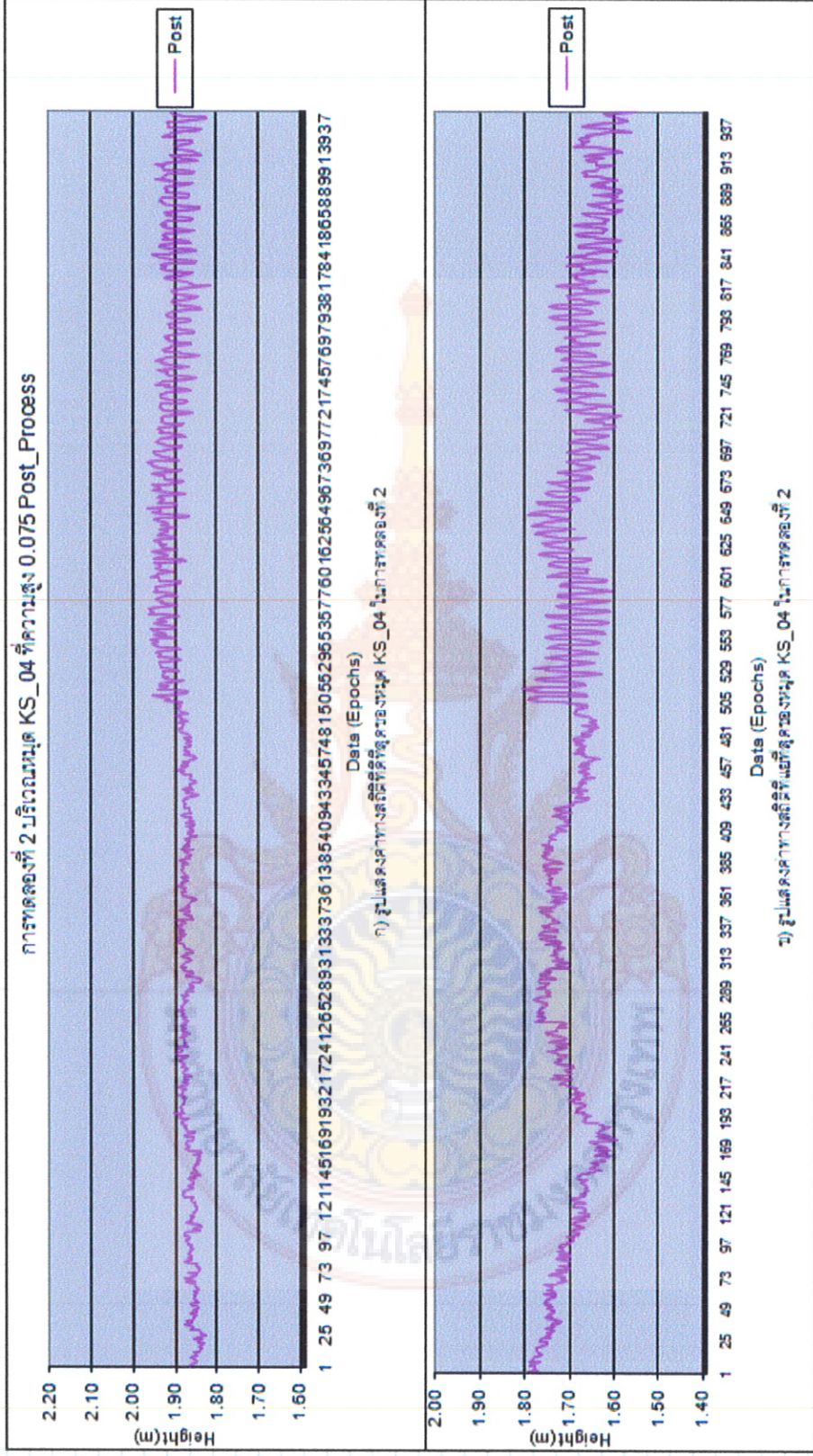
รูปที่ 4.19 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหุบ KS\_03 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหุบ KS\_03 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่ร่วมกับ มีการเคลื่อนลง ทางคัง 0.185 เมตร





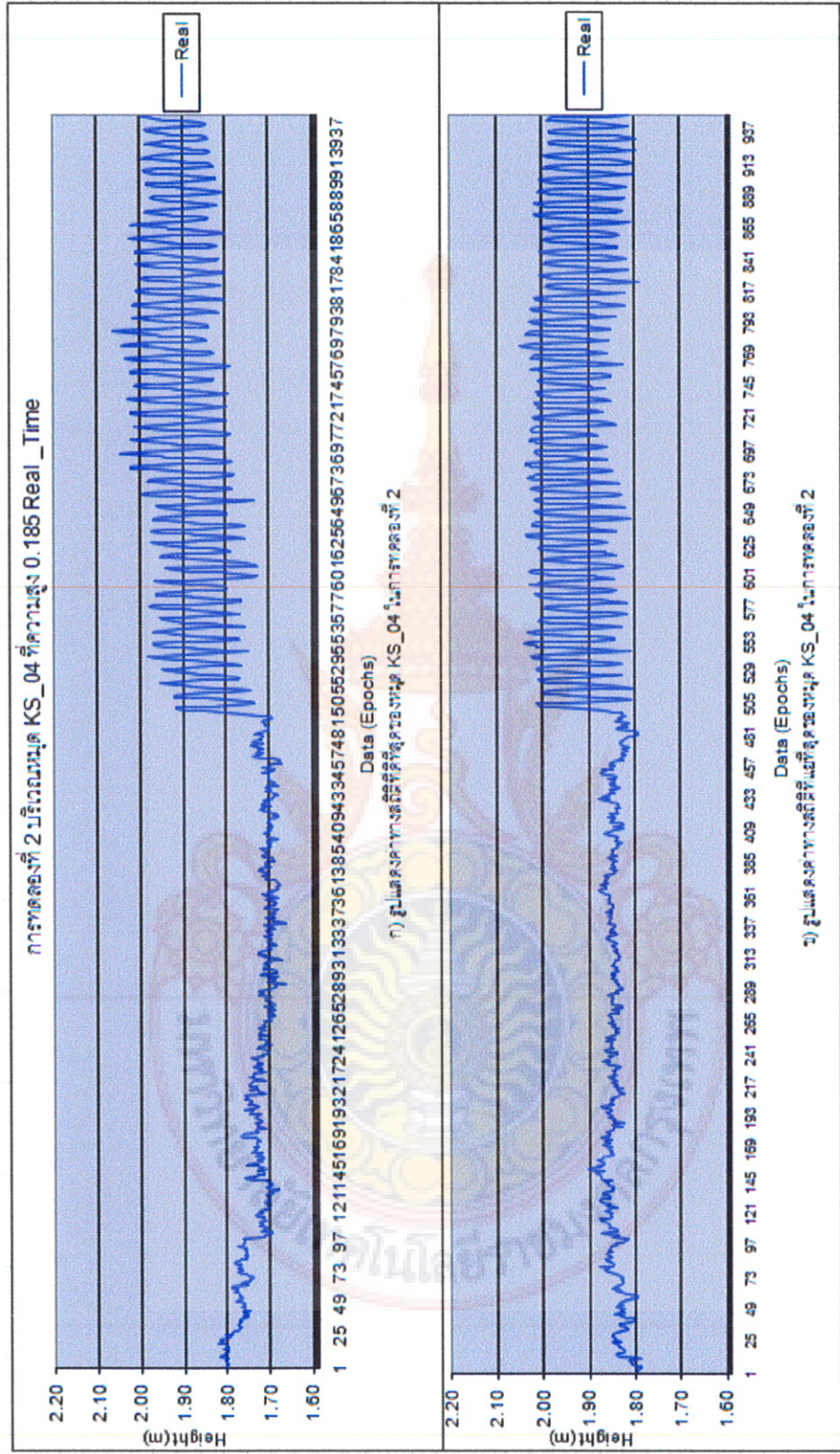
รูปที่ 4.20 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหูด KS\_04 ที่มีค่าทางสถิติที่ต่ำสุด (ก) และค่าที่สูงสุด (ข) ใน 3 วัน ของหูด KS\_04 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 มีแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ขึ้น - ลง ทางตั้ง 0.075 เมตร





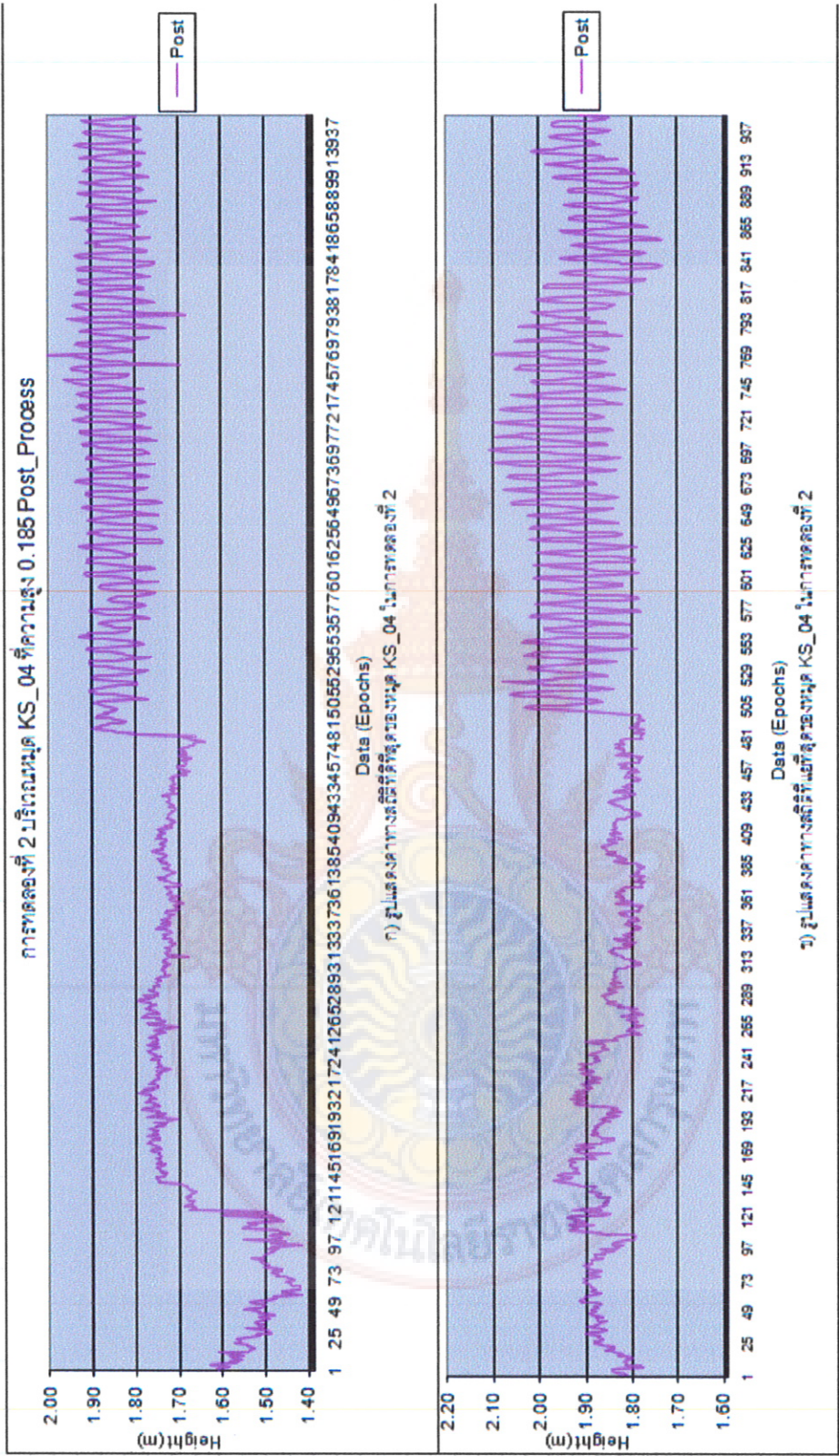
รูปที่ 4.21 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมู่ KS\_04 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมู่ KS\_04 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่ร่วมกับ และมีการเคลื่อนที่ขึ้น - ลง ทางดิ่ง 0.075 เมตร





รูปที่ 4.22 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของหมู่ KS\_04 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของหมู่ KS\_04 ข้อมูล Real-time ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ และมีการเคลื่อนที่ ขึ้น - ลง ทางตั้ง 0.185 เมตร





รูปที่ 4.23 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของชุด KS\_04 ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วัน ของชุด KS\_04 ข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 2 เมื่อแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ และมีการเคลื่อนลง ทางดิ่ง 0.185 เมตร



จากรูปที่ 4.8 ถึง รูปที่ 4.11 แสดงค่าการเคลื่อนตัวที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ของหมุด KS\_01 ในการทดสอบที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ ดังตารางที่ 4.2(ก) ในขณะที่แบบจำลองที่สถานีจร KS\_01 มีการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลอง ขึ้น-ลงสูง 0.075 เมตร และ 0.185 เมตร เมื่อนำข้อมูล Real-time ของหมุด KS\_01 ทั้ง 3 วันมาพิจารณาค่าพิสัยที่ใกล้เคียงกับ ค่าการเคลื่อนตัวจริงของแบบจำลองมากที่สุดจากตารางที่ 4.2(ก) โดยจากรูปที่ 4.8 ถึง รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์การทำงานรังวัด จีพีเอส ด้วยวิธี RTK ในบริเวณหมุดที่อยู่ภายใต้อิทธิพลการปกคลุมเรือนยอด ส่งผลกระทบต่อการคำนวณตำแหน่งอย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากค่าพิสัยที่ดีที่สุดของความสูงต่างเฉลี่ยทั้ง 3 วัน

จากรูปที่ 4.12 ถึง รูปที่ 4.15 แสดงค่าการเคลื่อนตัวที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ของหมุด KS\_02 ในการทดสอบที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ ดังตารางที่ 4.2(ข) ในขณะที่แบบจำลองที่สถานีจร KS\_02 มีการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลอง ขึ้น-ลงสูง 0.075 เมตร และ 0.185 เมตร เมื่อนำข้อมูล Real-time ของหมุด KS\_02 ทั้ง 3 วันมาพิจารณาค่าพิสัยที่ใกล้เคียงกับ ค่าการเคลื่อนตัวจริงของแบบจำลองมากที่สุดจากตารางที่ 4.2(ข) โดยจากรูปที่ 4.12 ถึง รูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์การทำงานรังวัด จีพีเอส ด้วยวิธี RTK ในบริเวณหมุดที่อยู่ภายใต้อิทธิพลการปกคลุมเรือนยอด ส่งผลกระทบต่อการคำนวณตำแหน่งอย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากค่าพิสัยที่ดีที่สุดของความสูงต่างเฉลี่ยทั้ง 3 วัน

จากรูปที่ 4.16 ถึง รูปที่ 4.19 แสดงค่าการเคลื่อนตัวที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ของหมุด KS\_03 ในการทดสอบที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ ดังตารางที่ 4.2(ค) ในขณะที่แบบจำลองที่สถานีจร KS\_03 มีการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลอง ขึ้น-ลงสูง 0.075 เมตรและ 0.185 เมตร เมื่อนำข้อมูล Real-time ของหมุด KS\_03 ทั้ง 3 วันมาพิจารณาค่าพิสัยที่ใกล้เคียงกับ ค่าการเคลื่อนตัวจริงของแบบจำลองมากที่สุดจากตารางที่ 4.2(ค) โดยจากรูปที่ 4.16 ถึง รูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์การทำงานรังวัด จีพีเอส ด้วยวิธี RTK ในบริเวณหมุดที่อยู่ภายใต้อิทธิพลการปกคลุมเรือนยอด ส่งผลกระทบต่อการคำนวณตำแหน่งอย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากค่าพิสัยที่ดีที่สุดของความสูงต่างเฉลี่ยทั้ง 3 วัน

จากรูปที่ 4.20 ถึง รูปที่ 4.23 แสดงค่าการเคลื่อนตัวที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ของหมุด KS\_04 ในการทดสอบที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ ดังตารางที่ 4.2 (ง) ในขณะที่แบบจำลองที่สถานีจร KS\_04 มีการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลอง ขึ้น-ลง สูง 0.075 เมตรและ 0.185 เมตร เมื่อนำข้อมูล Real-time ของหมุด KS\_04 ทั้ง 3 วันมาพิจารณาค่าพิสัยที่ใกล้เคียงกับค่าการเคลื่อนตัวจริงของแบบจำลองมากที่สุดจากตารางที่ 4.2(ง) โดยจากรูปที่ 4.20 ถึง รูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์การทำงานรังวัด จีพีเอส ด้วยวิธี RTK ในบริเวณหมุดที่อยู่ภายใต้อิทธิพลการปกคลุมเรือนยอด ส่งผลกระทบต่อการคำนวณตำแหน่งอย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากค่าพิสัยที่ดีที่สุดของความสูงต่างเฉลี่ยทั้ง 3 วัน

#### 4.3 กรณีที่ไม่มีอิทธิพลปกคลุมเรือนยอด

จากการทดลองที่ 2 เกิดข้อสังเกตที่ว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลแบบ Real-time ในขณะที่แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ยังมีขนาด 0.070 เมตร ถึง 0.108 เมตร ภายหลังจากการนำข้อมูลดิบจากการรังวัดสัญญาณมาทำการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภายหลัง post processing แต่ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามที่คาดหวังไว้เนื่องจาก Accuracy ในการประมวลผลเส้นฐานด้วยเครื่องรับแบบ 2 ความถี่ ได้บ่งบอกไว้คือ 10 มิลลิเมตร+1ppm. ยกตัวอย่างการทดลองที่ 2 เครื่องรับอยู่หนึ่งกับที่ แต่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยังมีขนาดประมาณ 0.071 ถึง 0.128 เมตร แสดงว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 7 ถึง 13 เซนติเมตร แม้ในขณะที่เครื่องรับอยู่หนึ่งกับที่ ซึ่งจากประสบการณ์ในการทำงานรังวัดด้วยดาวเทียมสันนิฐานว่าความคลาดเคลื่อนนี้น่าจะเกิดจากเรื่องของสัญญาณดาวเทียมที่เดินทางผ่านเรือนยอดไม้ที่ถูกปกคลุมอยู่บริเวณรอบสนามฟุตบอลซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดคลื่นหลุด (Cycle slip) ได้

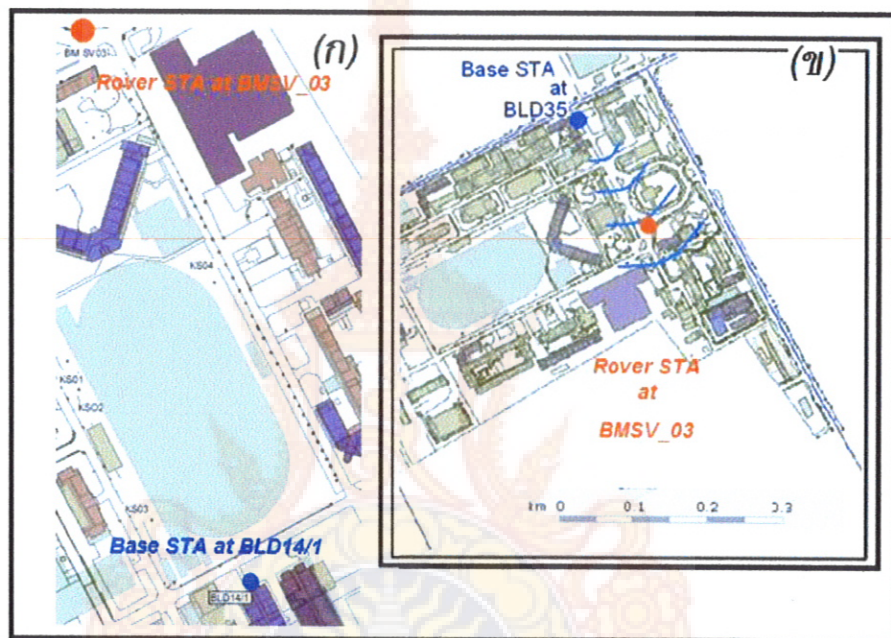




**รูปที่ 4.24** ตึกสำนักงานอธิการบดี และตึก 36 อาคารเรียนปริญาตรี ซึ่งเป็นอาคารที่มีความสูง 3 ชั้น และ 6 ชั้น ตามลำดับอาจทำให้เกิดการบดบังสัญญาณวิทยุจากสถานีฐานที่จะส่งตรงมายังสถานีจร BMSV\_03 ทำให้ การส่งข้อมูลเกิดการล่าช้าส่ง ผลต่อการคำนวณตำแหน่งที่จุดสถานีจร

ดังนั้นในการทดลองนี้ ผู้วิจัยจึงแบ่ง การทดลองออกเป็น 2 ช่วงการทดสอบด้วยวิธี RTK โดยช่วงแรกได้ทำการทดสอบในวันที่ 6, 7 และ 14 สิงหาคม 2553 จะใช้หอด BLD 14/1 เป็นจุดสถานีฐานและใช้หอด BMSV\_03 เป็นจุดสถานีจร จากนั้นทำการทดลองเหมือนกับการทดลองที่ 2 เนื่องจากผู้วิจัยต้องการที่จะเปรียบเทียบค่าเคลื่อนตัวทางดิ่งที่วิธี RTK สามารถจรวจจับได้จากจุดสถานีจร BMSV\_03 นั้นว่าหากตกอยู่ภายใต้เงื่อนไขไม่มีอิทธิพลการปกคลุมเรือนยอดเหนือหัวหอดดังรูปที่ 4.24 แต่มีการบังสัญญาณวิทยุจากสถานีฐานที่จะส่งมายังสถานีจร BMSV 03 ก็คือ ตึกสำนักงานอธิการบดี และตึกอาคารเรียนปริญาตรี ตึก 36 ซึ่งเป็นอาคารที่มีความสูง 3 ชั้น และ 6 ชั้น ตามลำดับ

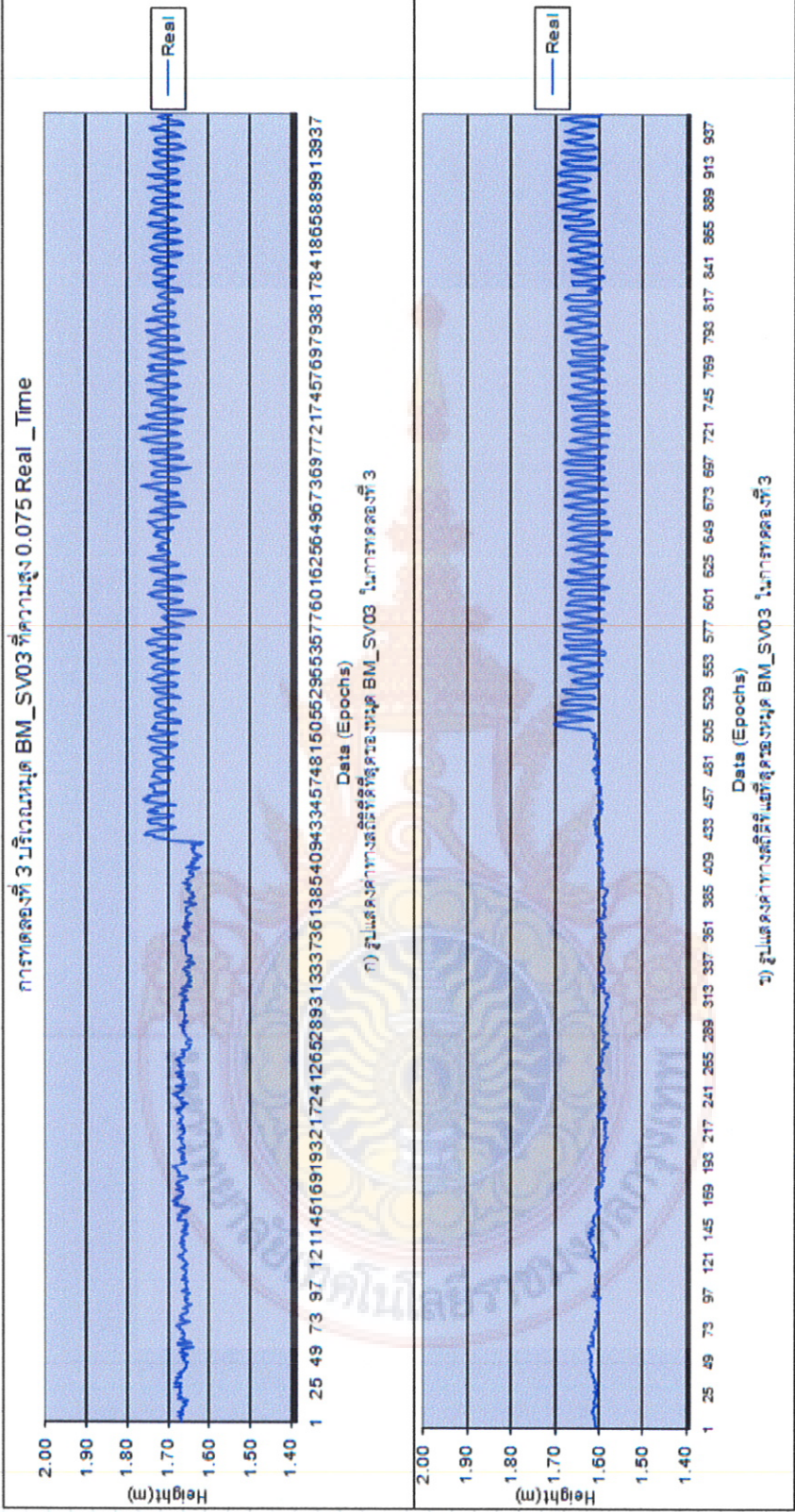
และเพื่อเป็นการตอบข้อสงสัยในเรื่องของการบังคับสัญญาณเนื่องจากอาคารขนาดใหญ่ ขวางตัวอยู่ในภูมิประเทศว่าจะส่งผลกระทบต่อการทำงานด้านวิธี RTK หรือไม่อย่างไร จึงได้ทำการ ทดสอบเพิ่มเติม ดังรูปที่ 4.25 คือ ตำแหน่งสถานียังเป็น BMSV 03 เหมือนเดิม แต่จุดสถานีฐาน ผู้วิจัยใช้หมวด BLD 35 เนื่องจากมีความเหมาะสมในเรื่องของการมองเห็นกันโดยไม่มีอาคารขนาดใหญ่มาบังสัญญาณวิทยุที่เครื่องรับที่สถานีฐานจะจัดส่งข้อมูลรีดิวซ์ความถี่จีพีเอส ที่จำเป็นต่อ การประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในทันทีทันใดจากในสนามของสถานี



รูปที่ 4.25 การทดลองที่ 2 ในกรณี ตำแหน่งหมวดที่สถานีจร BMSV 03 ไม่มีอิทธิพลการปกคลุมเรือนยอดรูปด้านซ้าย ก) เมื่อสถานีฐานคือ BLD14/1 และ ข) เมื่อสถานีฐานคือ หมวด BLD 35

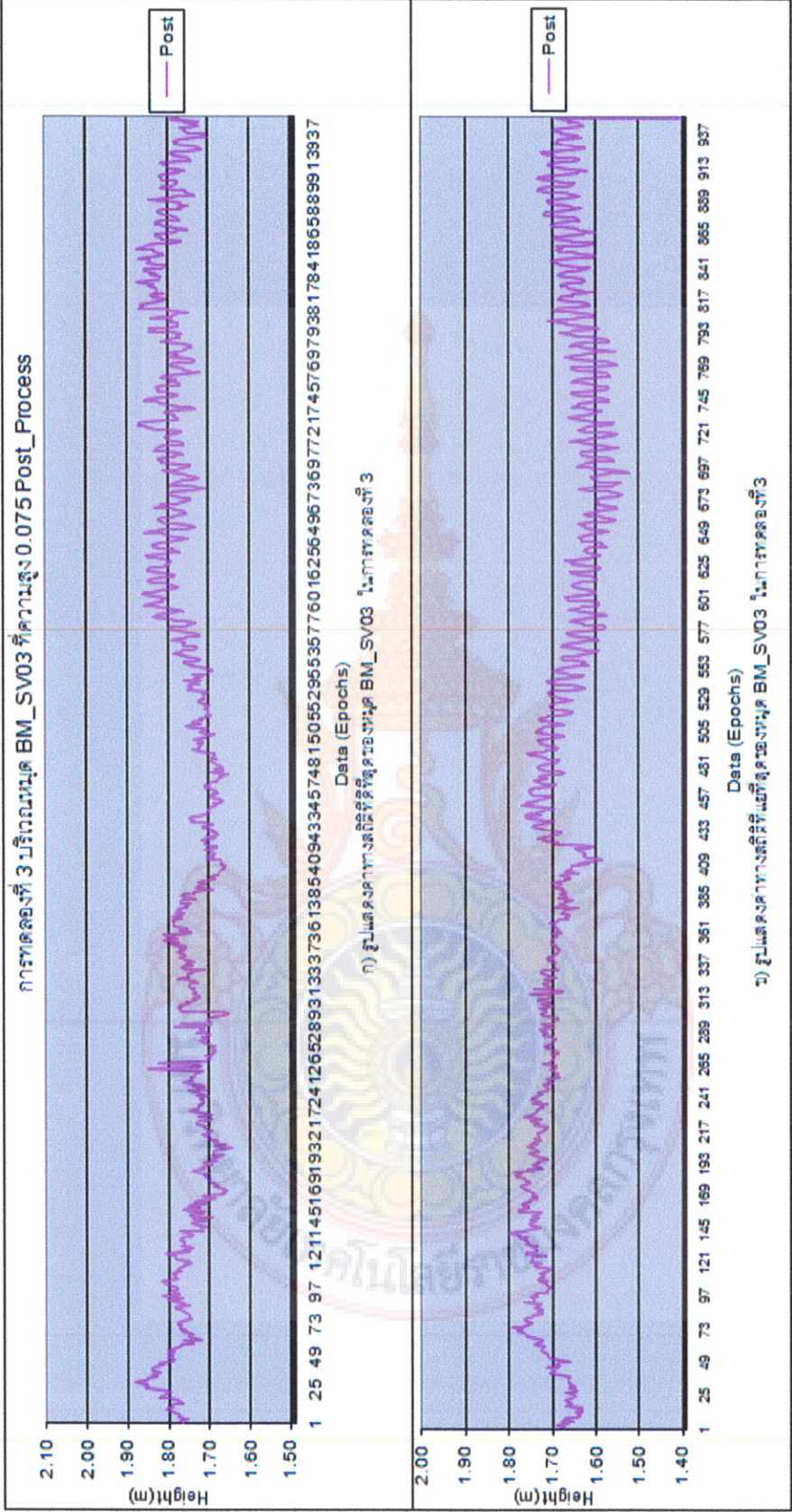






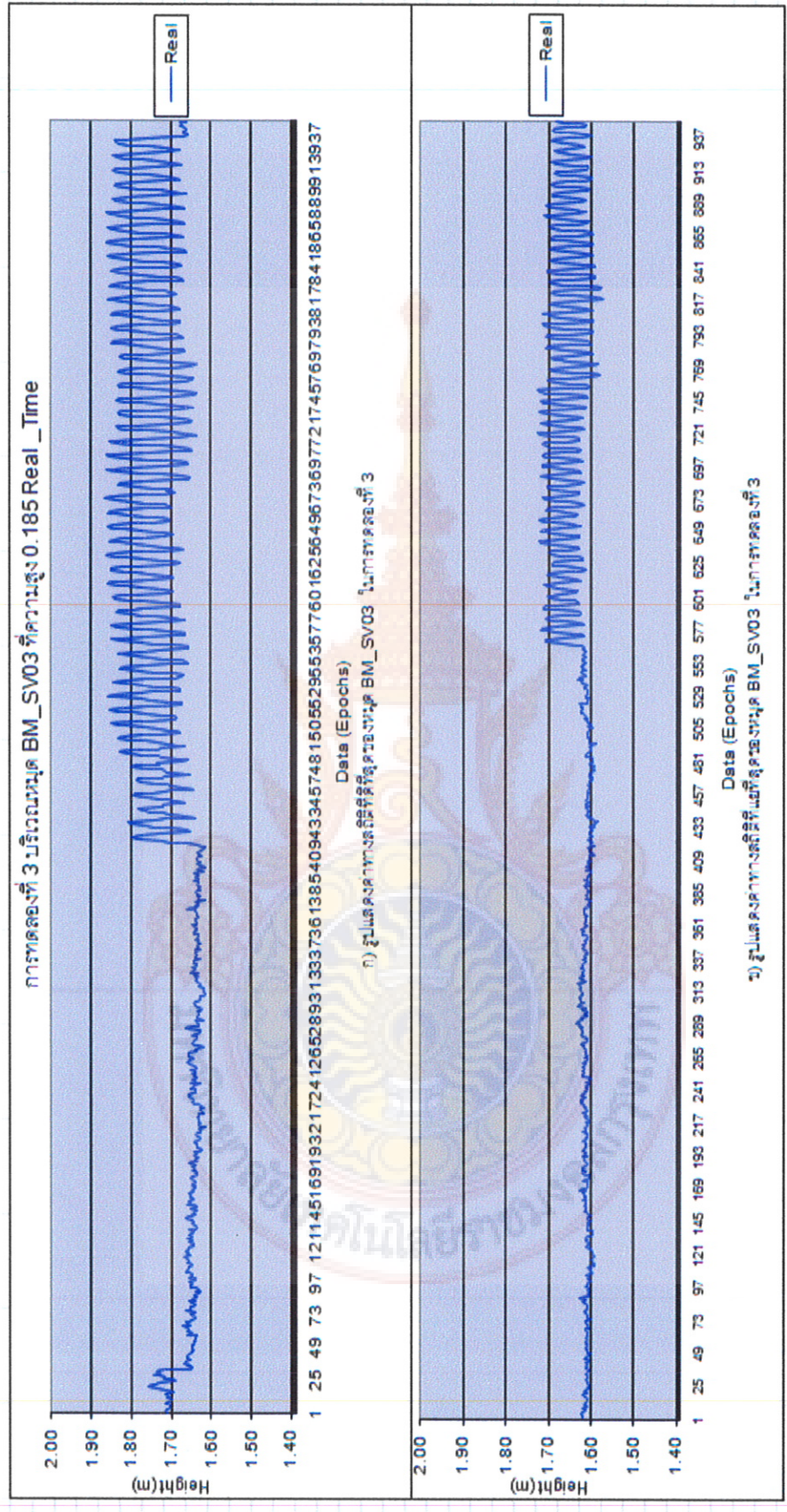
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสูงที่ตรวจได้ จาก RTK ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วันของการทดลองที่ 3 ของหอด BMSV 03 ที่ความสูง 0.075เมตร ข้อมูลแบบReal - Timeเมื่อสถานีฐานคือหอด BLD 14/1





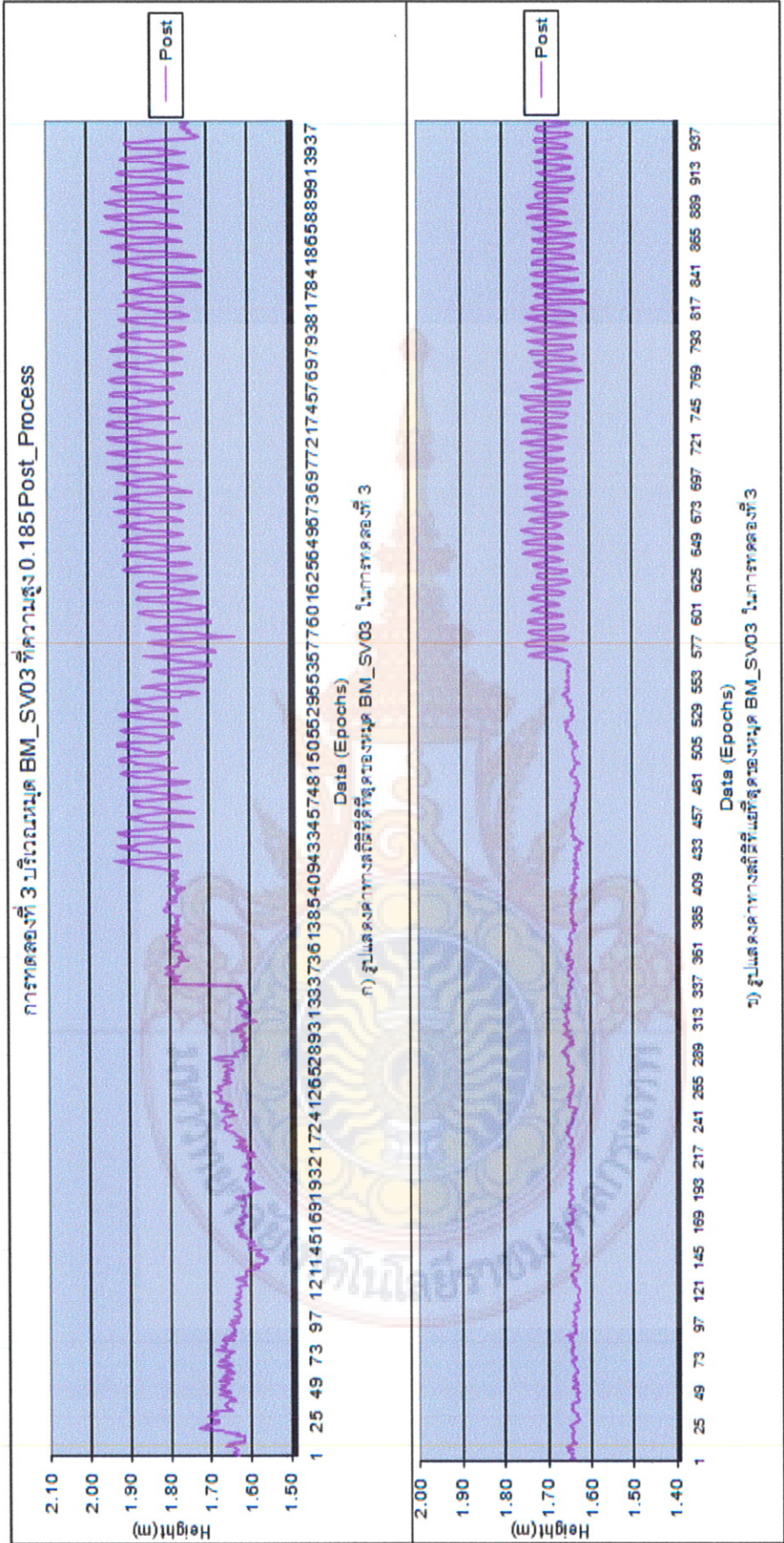
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสูงที่ตรวจจับได้จาก RTK ที่มีค่าทางสถิติที่ต่ำสุด (ก) และค่าเฉลี่ยที่ต่ำสุด (ข) ใน 3 วันของการทดลองที่ 3 ของหมู่ BMSV 03 ที่ความสูง 0.075 เมตร ข้อมูลแบบ post processing เมื่อสถานีฐานคือหมู่ BLD 14/1





รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสูงที่ตรวจพบได้ จาก RTK ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วันของการทดลองที่ 3 ของหอด BMSV 03 ที่ความสูง 0.185 เมตร ข้อมูลแบบ Real - Time เมื่อสถานีฐานคือหอด BLD 14/1





รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสูงที่ตรวจได้ จาก RTK ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด (ก) และแย่ที่สุด (ข) ใน 3 วันของการทดลองที่ 3 ของหมุด BMSV 03 ที่ความสูง 0.185เมตร ข้อมูลแบบpost processing เมื่อสถานีฐานคือหมุด BLD 14/1

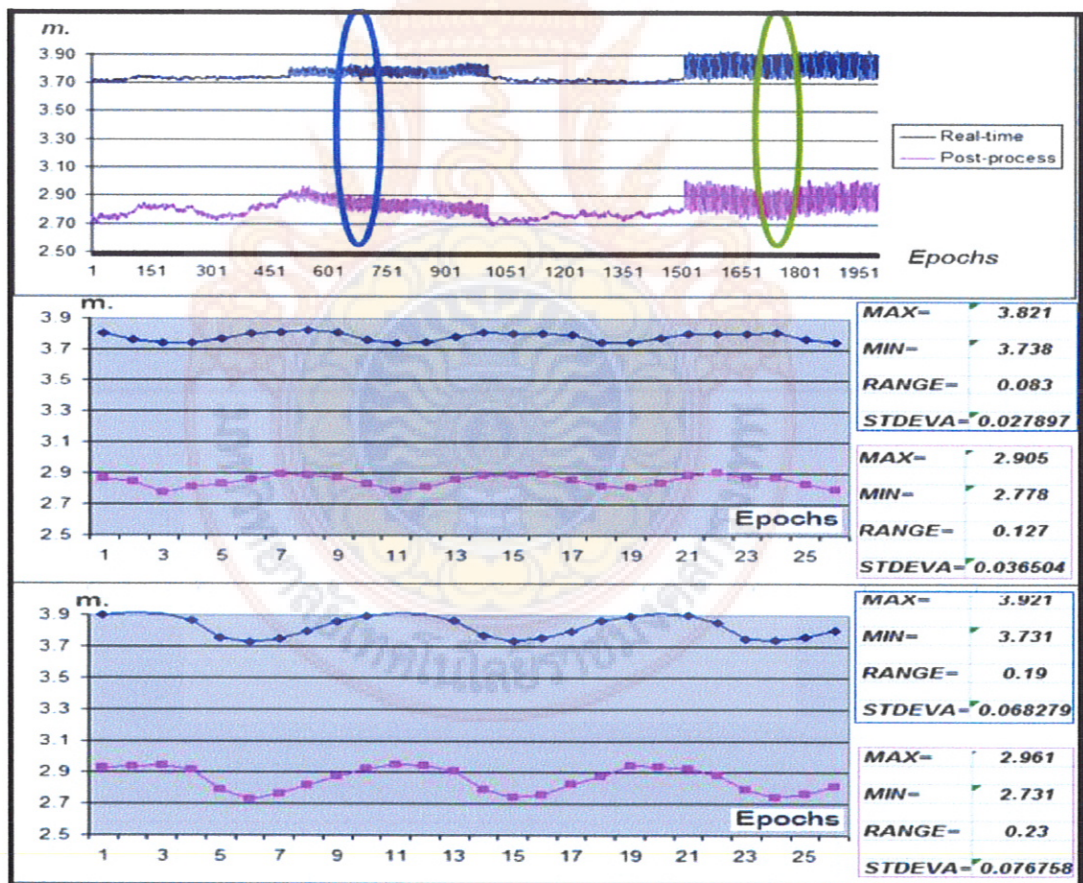
จากรูปที่ 4.26 ถึง รูปที่ 4.29 แสดงค่าการเคลื่อนตัวที่มีค่าสถิติที่ดีที่สุด (ก) และ แย่ที่สุด (ข) ของหมุด BMSV\_03 ในการทดสอบที่ 3 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ ค่าตารางที่ 4.3 ในขณะที่แบบจำลองที่สถานีจร BMSV\_03 มีการเคลื่อนตัวทางคิ่งของแบบจำลอง ขึ้น-ลง สูง 0.075 และ 0.185 เมตร เมื่อนำข้อมูลแลต Real-time ของหมุด BMSV\_03 ทั้ง 3 วัน มาพิจารณาค่าพิสัยถึง 4.29 แสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ การทำงานแบบจำลองด้วย จีพีเอส ด้วยวิธี RTK นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ว่ามีระบบแฝงอยู่ แม้ว่า ตำแหน่งหมุดสถานีจร ที่ทำการรับสัญญาณนั้นจะอยู่ในบริเวณที่โล่ง เหมาะแก่การรับสัญญาณ จีพีเอสก็ตาม

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางสถิติของการทดลองที่ 3 ในกรณี BMSV 03 เป็นหมุดสถานีจร ซึ่งอยู่ในบริเวณท้องฟ้าเปิด เหมาะแก่การรับสัญญาณ และไม่มีการบดบังสัญญาณวิทยุที่ส่งข้อมูล รั้งวัดจากสถานีฐานหมุด BLD 35 ให้สถานีจร

| วิธีการ                       | ข้อมูล          | เมื่อแบบจำลอง       | ค่าทางสถิติ (เมตร) |           |       |                      |
|-------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|-----------|-------|----------------------|
|                               |                 |                     | ค่าสูงสุด          | ค่าต่ำสุด | พิสัย | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
| RTK 1st (Real-Time Kinematic) | Real-Time       | อยู่นิ่ง ครั้งที่ 1 | 3.752              | 3.699     | 0.053 | 0.167                |
|                               |                 | เคลื่อนที่ 0.075    | 3.849              | 3.718     | 0.131 | 0.028                |
|                               |                 | อยู่นิ่ง ครั้งที่ 2 | 3.763              | 3.697     | 0.066 | 0.011                |
|                               |                 | เคลื่อนที่ 0.185    | 3.934              | 3.718     | 0.216 | 0.067                |
|                               | Post-Processing | อยู่นิ่ง ครั้งที่ 1 | 2.941              | 2.701     | 0.240 | 0.130                |
|                               |                 | เคลื่อนที่ 0.075    | 2.971              | 2.733     | 0.238 | 0.047                |
|                               |                 | อยู่นิ่ง ครั้งที่ 2 | 2.826              | 2.687     | 0.139 | 0.026                |
|                               |                 | เคลื่อนที่ 0.185    | 3.020              | 2.731     | 0.289 | 0.077                |
| RTK 2nd (Real-Time Kinematic) | Real-Time       | อยู่นิ่ง ครั้งที่ 1 | 1.087              | 1.038     | 0.049 | 0.049                |
|                               |                 | เคลื่อนที่ 0.075    | 1.160              | 1.038     | 0.122 | 0.031                |
|                               |                 | อยู่นิ่ง ครั้งที่ 2 | 1.089              | 1.030     | 0.059 | 0.007                |
|                               |                 | เคลื่อนที่ 0.185    | 1.270              | 1.047     | 0.223 | 0.069                |
|                               | Post-Processing | อยู่นิ่ง ครั้งที่ 1 | 1.909              | 1.792     | 0.117 | 0.086                |
|                               |                 | เคลื่อนที่ 0.075    | 1.950              | 1.794     | 0.156 | 0.034                |
|                               |                 | อยู่นิ่ง ครั้งที่ 2 | 1.919              | 1.758     | 0.161 | 0.022                |
|                               |                 | เคลื่อนที่ 0.185    | 2.048              | 1.774     | 0.274 | 0.072                |



เป็นที่ทราบกันดีว่าวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการให้ได้มาซึ่งความถูกต้องของค่าพิกัดทางตั้งในระดับเซนติเมตรหรือดีกว่านั้นในระดับ เซนติเมตร ด้วยข้อมูลรังวัดดาวเทียม จีพีเอส ด้วยวิธี RTK ผู้วิจัยจำเป็นต้องใช้วิธีประมวลผลแบบสัณพัทธ์ในภายหลังเพื่อทำการคำนวณค่าพิกัดจากนั้นจึงทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสูงต่างที่เปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ ในขณะทำการรับสัญญาณ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลอง ยีออซาสากลที่มีชื่อว่า EGM96 ในการแปลงค่าความสูงเหนือระดับทรงรีร่วมกับโปรแกรม Topcon tool version 7.5 เพื่อทำให้เป็นความสูงที่ได้จากเครื่องรับเป็นความสูงเหนือยีออซ หรือความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ซึ่งการนำ EGM 96 มาใช้ในการหาค่าความสูง ออร์โทเมตริก หรือความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ธนัช และเฉลิมชนม์ (2548) ได้แสดงให้เห็นจากผลการศึกษาพบว่า การทำระดับด้วย จีพีเอส นั้น จะให้ค่าความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริก ในระดับเซนติเมตรหากใช้วิธีรังวัดแบบสถิตในการทำงานสนามและประมวลผลเส้นฐานแบบสัณพัทธ์ที่ละเส้นในภายหลัง (Post processing)



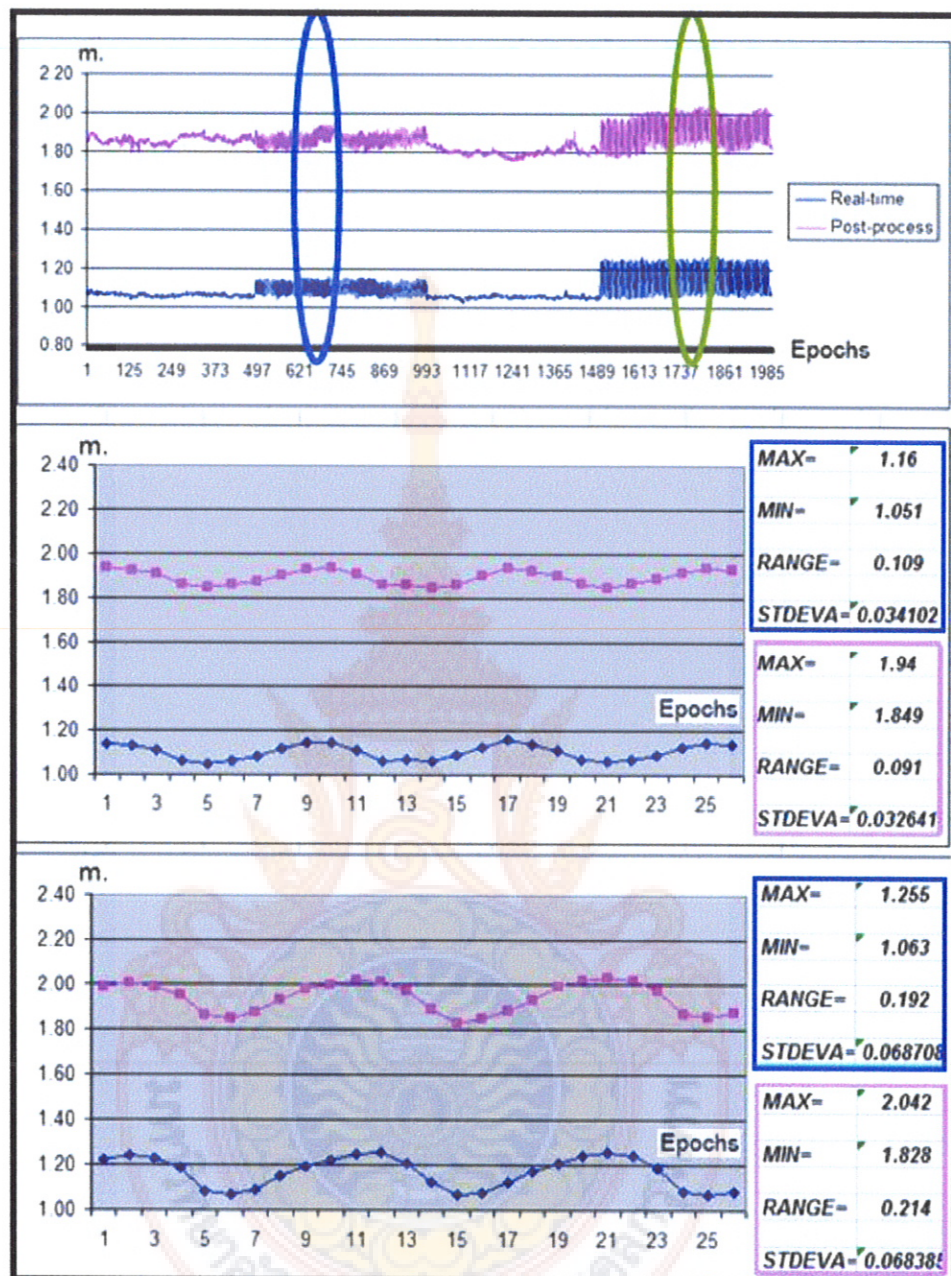
รูปที่ 4.30 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางตั้งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ในขณะที่ยืนอยู่กับที่และเคลื่อนที่ตัว ขึ้น-ลง ทางตั้งสูง 0.075 เมตรและ 0.185 ข้อมูลแบบ Real-time (เส้นสีน้ำเงิน) และข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 3 กรณีที่ 2 ชุดข้อมูลที่ 1

จากรูปที่ 4.30 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติดังตารางที่ 4.4 ประกอบ พบว่า ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนตัวทางดิ่ง 0.075 เมตร และ 0.185 สำหรับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ของวิธี RTK เมื่อนำข้อมูลดิบมาประมวลแบบสัมพัทธ์ในภายหลัง Post processing ค่าพิสัยมีขนาด 0.238 เมตร และ 0.289 เมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.047 เมตร และ 0.077 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการรับสัญญาณด้วยวิธี RTK นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่มีพิสัย ขนาด 0.053 ถึง 0.066 เมตร แผงตัวอยู่ด้วยจนคู่ลักษณะเหมือนเป็นค่าคงที่คลาดเคลื่อน แต่ด้วยการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลัง Post processing ค่าพิสัยดังกล่าวมีขนาดลดลงเล็กน้อยคือ มีพิสัยขนาด 0.240 ถึง 0.139 เมื่อพิจารณาในขณะแบบจำลองอยู่นิ่งกับที่

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มเลือกข้อมูลความสูงที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับทั้งแบบ Real-time และแบบ Post processing มา 2 ช่วงโดยจากรูปที่ 4.30 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนตัวทางดิ่งจริง 0.075 เมตร และ 0.185 เมตร สำหรับค่าพิสัยในช่วงขณะเคลื่อนที่สำหรับข้อมูลแบบ Real-time มีขนาดเท่ากับ 0.083 เมตร และ 0.190 เมตร ตามลำดับ สำหรับค่าพิสัยในช่วงสำหรับข้อมูลแบบ Post processing ขณะเคลื่อนตัวทางดิ่งจริง 0.075 และ 0.185 เมตร มีขนาดเท่ากับ 0.127 เมตร และ 0.230 เมตร ตามลำดับ







รูปที่ 4.31 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ในขณะที่แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่และเคลื่อนที่ตัว ขึ้น-ลง ทางดิ่งสูง 0.075 เมตรและ 0.185 เมตร ข้อมูลแบบ Real-time (เส้นสีน้ำเงิน) และข้อมูลแบบ post-processing ในการทดลองที่ 3 กรณีที่ 2 ชุดข้อมูลที่ 2

จากรูปที่ 4.31 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติตารางที่ 4.4 ประกอบ พบว่า ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนตัวทางดิ่ง 0.075 เมตร และ 0.185 เมตร สำหรับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับ

ได้ของวิธี RTK เมื่อนำข้อมูลดิบมาประมวลแบบสัมพัทธ์ในภายหลัง Post processing ค่าพิสัย มีขนาด 0.156 เมตร และ 0.274 เมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.034 เมตร และ 0.072 เมตร

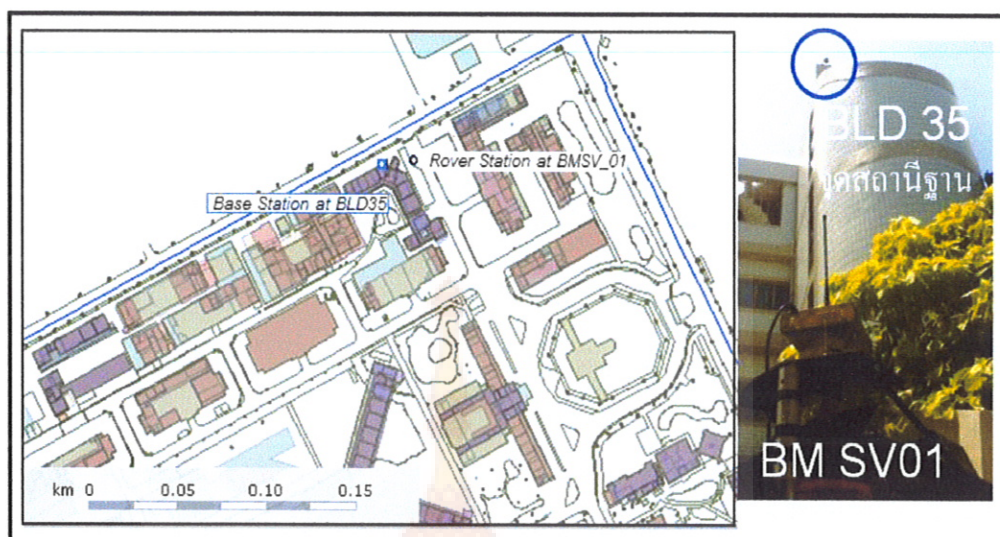
ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการรับสัญญาณด้วยวิธี RTK นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่มีพิสัย ขนาด 0.049 เมตร ถึง 0.059 เมตร แผลงตัวอยู่ด้วยจนคุณลักษณะเหมือนเป็นค่าคงที่คลาดเคลื่อน แต่ด้วยการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลัง Post processing ค่าพิสัยดังกล่าวมีขนาดลดลงเล็กน้อยคือ มีพิสัยขนาด 0.117 ถึง 0.161 เมตร เมื่อพิจารณาในขณะแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มเลือกข้อมูลความสูงที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับทั้งแบบ Real-time และแบบ Post processing มา 2 ช่วงโดยจากรูปที่ 4.31 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนตัวทางดิ่งจริง 0.075 และ 0.185 เมตร สำหรับค่าพิสัยในช่วงขณะเคลื่อนที่สำหรับข้อมูลแบบ Real-time มีขนาดเท่ากับ 0.109 เมตร และ 0.192 เมตร ตามลำดับ สำหรับค่าพิสัยในช่วงสำหรับข้อมูลแบบ Post processing ขณะเคลื่อนตัวทางดิ่งจริง 0.075 เมตร และ 0.185 เมตร มีขนาดเท่ากับ 0.091 เมตร และ 0.214 เมตร ตามลำดับ

#### 4.4 การทดสอบในกรณี ที่มีการบดบังสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากสิ่งปลูกสร้าง

การทดลองที่ 4 นี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เมื่อวันที่ 9 กันยายน 2552 และวันที่ 14 กันยายน 2552 บริเวณด้านหน้าอาคาร 35 ดิเกสาขาวิศวกรรมสำรวจ โดย ทำการตั้งเครื่องรับบนหมุด BLD 35 ที่อยู่บนยอดตึกชั้น 4 กำหนดให้เป็นจุดสถานีฐาน และกำหนดให้จุดสถานีจรคือหมุด BMSV01 ดังรูปที่ 4.32





รูปที่ 4.32 การทดสอบในกรณีที่ มีการบดบังสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากสิ่งปลูกสร้าง

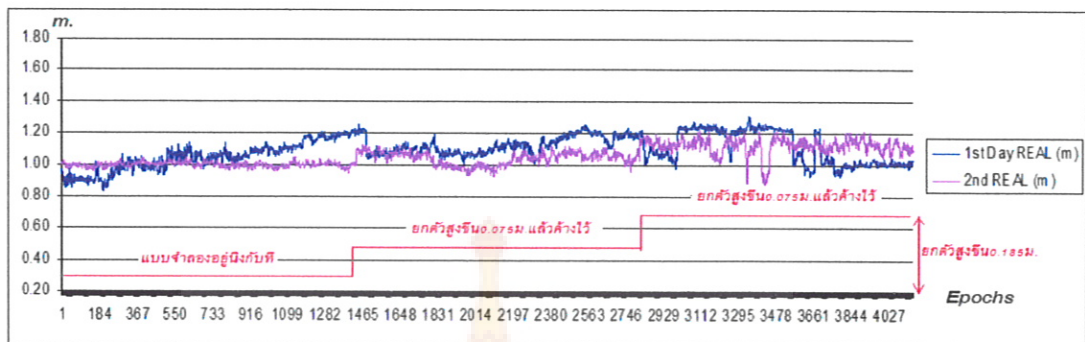
โดยในการทดสอบผู้วิจัยได้แบ่ง การทดสอบในวันที่ 9 กันยายน 2552 และ 14 กันยายน 2552 ให้มีลักษณะการทดสอบคล้าย ๆ กัน โดย การทดสอบในวันที่ 9 กันยายน 2552 ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วง โดยแบ่งออกเป็น แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ที่ความสูงของแบบจำลอง 0.185 เมตร แล้วทำการรับสัญญาณไป จากนั้น กดปุ่มควบคุมให้แบบจำลองลดค่าความสูงลง แบบฉับพลัน 0.110 เมตร แล้วอยู่หนึ่งกับที่ พร้อมกับทำการรับสัญญาณดาวเทียมไปเรื่อย ๆ แล้วจึงกดปุ่มควบคุม ให้แบบจำลอง ลดค่าความสูงลงอีก 0.075 เมตร (รวมแล้วความสูงที่เปลี่ยนไปจากตอนเริ่มต้น คือ 0.185 เมตร โดยมีจำนวนข้อมูลรังวัด กว่า 4,000 ค่ารังวัด (Epochs) พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของสถานีฐานและสถานีจร มาทำการประมวลผล แบบสัมพัทธ์ในภายหลังด้วย ซอฟต์แวร์ Topcon Tool + USB โดยได้แสดงค่าทางสถิติไว้ในตารางที่ 4.5

สำหรับการทดสอบครั้งที่สอง ในวันที่ 14 กันยายน 2552 ในการทดสอบได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วง โดยแบ่งออกเป็น 14 กันยายน 2552 เมื่อแบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่แล้วก็ทำการรับสัญญาณไปจากนั้นกดปุ่มควบคุมให้แบบจำลองยกตัวขึ้นสูงฉับพลัน 0.075 เมตร แล้วค้างไว้ พร้อมกันทำการรับสัญญาณดาวเทียม จีพีเอสไปเรื่อย ๆ แล้วจึงกดปุ่มควบคุมให้แบบจำลองยกตัวสูงขึ้นฉับพลันอีก 0.110 เมตร (รวมแล้วความสูงที่เปลี่ยนไปจากตอนเริ่มต้นคือ 0.185 เมตร) โดยมีจำนวนข้อมูลรังวัดกว่า 4,000 ค่ารังวัด (Epochs) พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของสถานีฐานและสถานีจรมาประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภายหลังด้วยซอฟต์แวร์ Topcon Tool + USB โดยได้แสดงค่าทางสถิติ ไว้ในตารางที่ 4.5 และรูปภาพแสดงค่าต่างทางคิ่งที่ตรวจสอบได้จากข้อมูลแบบ Real-time ในรูปที่ 4.33

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าทาง สถิติ ของการทดลองที่ 4 ในกรณี มี Obstruction บริเวณตำแหน่ง  
หมุดที่รับสัญญาณด้วยวิธี RTK

| วิธีการ<br>RTK     | ข้อมูล                | เมื่อแบบจำลอง (เมตร)        | ค่าทางสถิติ (เมตร) |           |       |                                 |                      |
|--------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|-----------|-------|---------------------------------|----------------------|
|                    |                       |                             | ค่าสูงสุด          | ค่าต่ำสุด | พิสัย | ค่าส่วน<br>เบี่ยงเบน<br>มาตรฐาน | ค่าความสูง<br>เฉลี่ย |
| ทดสอบ<br>วันแรก    | Real-time             | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0.185 | 1.224              | 0.835     | 0.389 | 0.096                           | 1.045                |
|                    |                       | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0.075 | 1.265              | 1.003     | 0.262 | 0.056                           | 1.127                |
|                    |                       | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0     | 1.310              | 0.923     | 0.387 | 0.109                           | 1.116                |
|                    | post - pro<br>cessing | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0.185 | 1.603              | 0.198     | 1.405 | 0.333                           | 0.845                |
|                    |                       | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0.075 | 1.616              | 1.015     | 0.601 | 0.119                           | 1.302                |
|                    |                       | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0     | 1.751              | 0.831     | 0.920 | 0.185                           | 1.480                |
| ทดสอบ<br>วันที่สอง | Real-time             | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0     | 1.054              | 0.943     | 0.111 | 0.031                           | 0.998                |
|                    |                       | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0.075 | 1.135              | 0.931     | 0.204 | 0.042                           | 1.042                |
|                    |                       | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0.185 | 1.232              | 0.877     | 0.355 | 0.054                           | 1.123                |
|                    | post - pro<br>cessing | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0     | 0.796              | 0.273     | 0.523 | 0.060                           | 0.408                |
|                    |                       | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0.075 | 0.863              | 0.365     | 0.498 | 0.113                           | 0.624                |
|                    |                       | อยู่นิ่งที่จุดความสูง 0.185 | 0.955              | 0.422     | 0.533 | 0.093                           | 0.735                |

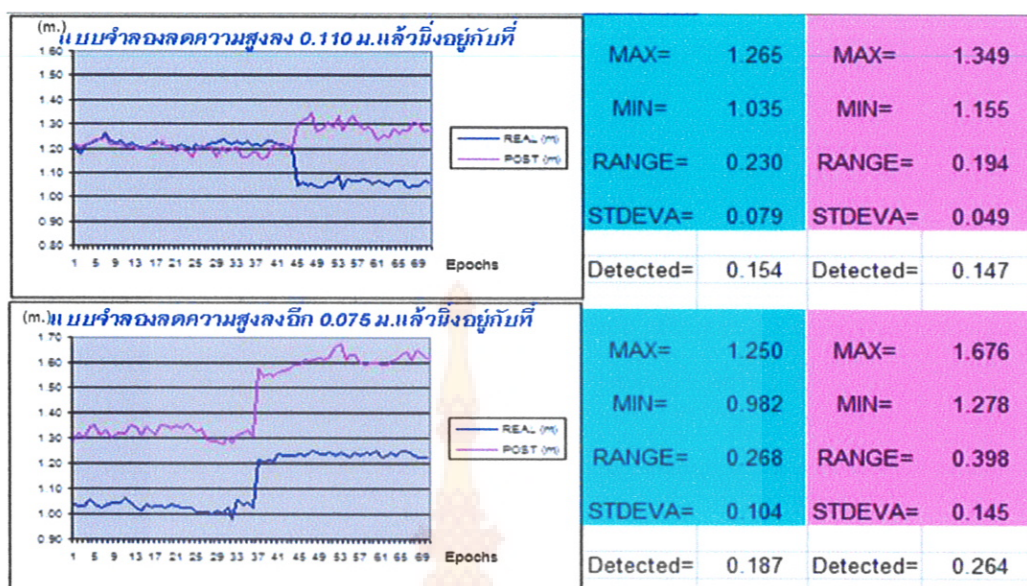




รูปที่ 4.33 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK แสดงค่าทาง สถิติของการทดลองที่ 4 ในกรณี มี Obstruction บริเวณตำแหน่งหมุดที่รับสัญญาณ ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองวันแรก และวันที่สอง

จากรูปที่ 4.33 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติดังตารางที่ 4.5 ประกอบ พบว่า ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนตัวทางดิ่งอยู่หนึ่ง 0.185, 0.075 และ 0 เมตร สำหรับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ของวิธี RTK เมื่อนำข้อมูลดิบมาประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภาพหลัง Post processing ค่าพิสัยมีขนาด 1.405, 0.601 และ 0.920 เมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.333, 0.119 และ 0.185 เมตร ตามลำดับ

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการรับสัญญาณด้วยวิธี RTK นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่มีพิสัย ขนาด 0.389, 0.262 และ 0.387 เมตร ตามลำดับ แผลงตัวอยู่ด้วยจนดูลักษณะเหมือนเป็นค่าคงที่คลาดเคลื่อน แต่ด้วยการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลัง Post processing ค่าพิสัยดังกล่าวมีขนาดลดลงเล็กน้อย



รูปที่ 4.34 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางคิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ของการทดลองที่ 4 ในกรณี มี Obstruction บริเวณตำแหน่งหมุดที่รับสัญญาณ ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองวันแรก

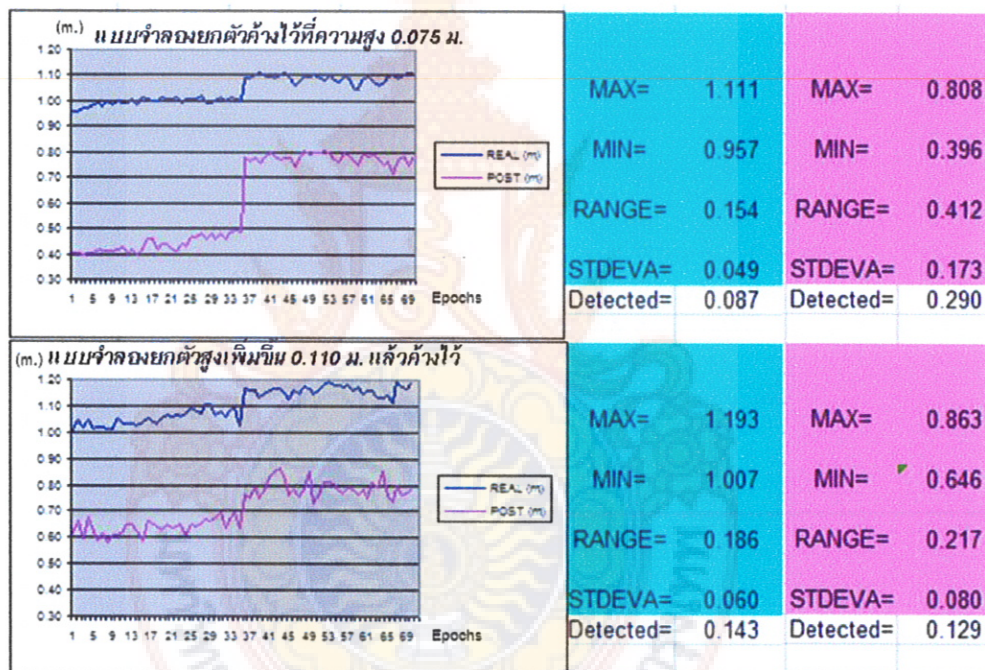
พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มเลือกข้อมูลความสูงที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับทั้งแบบ Real-time และแบบ Post processing มา 2 ช่วงโดยจากรูปที่ 4.34 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ในขณะที่แบบจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วง โดยแบ่งออกเป็น แบบจำลองอยู่นิ่งกับที่ที่ความสูงของแบบจำลอง 0.185 เมตร แล้วทำการรับสัญญาณไป จากนั้น กดปุ่มควบคุมให้แบบจำลองลดค่าความสูงลง แบบฉับพลัน 0.110 เมตร แล้วอยู่นิ่งกับที่ พร้อมกับทำการรับสัญญาณความเที่ยมไปเรื่อย ๆ แล้วจึงกดปุ่มควบคุม ให้แบบจำลอง ลดค่าความสูงลงอีก 0.075 เมตร

สำหรับค่าพิสัยในช่วงขณะเคลื่อนที่ฉับพลัน 0.110 เมตร สำหรับข้อมูลแบบ Real-time มีขนาดเท่ากับ 0.154 เมตร และ 0.147 เมตร สำหรับค่าพิสัยในช่วงสำหรับข้อมูลแบบ Post processing และค่าพิสัยในช่วงขณะเคลื่อนที่ลดลงฉับพลัน 0.075 เมตร สำหรับข้อมูลแบบ Real-time มีขนาดเท่ากับ 0.187 เมตร และ 0.264 เมตร สำหรับค่าพิสัยในช่วงสำหรับข้อมูลแบบ Post processing



จากรูปที่ 4.33 เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติดังตารางที่ 4.5 ประกอบ พบว่า ในขณะที่แบบจำลองเคลื่อนตัวทางดิ่งอยู่หนึ่ง 0 , 0.075 และ 0.185 เมตร สำหรับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ของวิธี RTK เมื่อนำข้อมูลดิบมาประมวลแบบสัมพัทธ์ในภายหลัง Post processing ค่าพิสัยมีขนาด 0.523 , 0.498 และ 0.533 เมตร มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.060, 0.113 และ 0.093 เมตร ตามลำดับ

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการรับสัญญาณด้วยวิธี RTK นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่มีพิสัย ขนาด 0.111, 0.204 และ 0.355 เมตร ตามลำดับ แผลงตัวอยู่ด้วยจนดูลักษณะเหมือนเป็นค่าคงที่คลาดเคลื่อน แต่ด้วยการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ในภายหลัง Post processing ค่าพิสัยดังกล่าวมีขนาดลดลงเล็กน้อย



รูปที่ 4.35 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ด้วยวิธี RTK ของการทดลองที่ 4 ในกรณีมี Obstruction บริเวณตำแหน่งหมุดที่รับสัญญาณ ข้อมูลแบบ Real-time ในการทดลองวันที่ 2

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มเลือกข้อมูลความสูงที่ตรวจจับได้จากเครื่องรับทั้งแบบ Real-time และแบบ Post processing มา 2 ช่วง โดยจากรูปที่ 4.34 แสดงค่าความสูงที่ตรวจจับได้ในขณะที่แบบจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วง โดยแบ่งออกเป็น แบบจำลองอยู่หนึ่งกับที่ที่ความสูงของแบบจำลอง 0 เมตร แล้วทำการรับสัญญาณไป จากนั้น กดปุ่มควบคุมให้แบบจำลองยกตัวความสูงขึ้น แบบนับพลัน 0.075 เมตร แล้วอยู่หนึ่งกับที่ พร้อมกับทำการรับสัญญาณความถี่ต่อไปเรื่อย ๆ แล้วจึงกดปุ่มควบคุม ให้แบบจำลอง ยกตัวสูงขึ้นอีก 0.110 เมตร แล้วค้างไว้

สำหรับค่าพิสัยในช่วงขณะเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นนับพลัน 0.075 เมตร สำหรับข้อมูลแบบ Real-time มีขนาดเท่ากับ 0.087 เมตร และ 0.290 เมตร สำหรับค่าพิสัยในช่วงสำหรับข้อมูลแบบ Post processing และค่าพิสัยในช่วงขณะเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นนับพลัน 0.110 เมตร สำหรับข้อมูลแบบ Real-time มีขนาดเท่ากับ 0.143 เมตร และ 0.129 เมตร สำหรับค่าพิสัยในช่วงสำหรับข้อมูลแบบ Post processing





## บทที่ 5

### สรุปผล การวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในการพิจารณาเกี่ยวกับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองถือเป็นกุญแจในการเสถียรถึงความสามารถของวิธีการ ตลอดจนข้อจำกัดที่จำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับการใช้งาน รั้งวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ด้วยวิธีรั้งวัดแบบจลน์ ในทันที (Real-time Kinematic) เพราะหลักการทำงานพื้นฐานของการได้มาซึ่งค่าพิกัดที่จุดสถานีจร นั้นใช้หลักการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ซึ่งสามารถทำให้ความถูกต้องทางพิกัดทางราบอยู่ในระดับเซนติเมตร ถึง เดซิเมตร เมื่อใช้เครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส แบบรั้งวัด (Geodetic Receiver) ชนิดแบบ 2 ความถี่ (Dul Frequency) และจากหลักการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภายหลังโดยใช้ข้อมูลรั้งวัดดาวเทียม กลุ่มเดียวกัน ที่เครื่องรับที่จุดสถานีฐานและจุดสถานีจรบันทึกค่าไว้ได้ นำมาประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ ประมวลผลเส้นฐาน โดยเฉพาะตลอดจนความง่ายของวิธีการรั้งวัดดาวเทียม จีพีเอส แบบจลน์ในทันที (RTK) ทั้งในเรื่องความสามารถของตัวเครื่องรับเอง จำนวนความถี่ในการบันทึก และคำนวณตำแหน่ง วิธีแสดงผลแบบทันทีทันใดในสนามล้วนนั้น แนวคิดพื้นฐานในการที่ผู้วิจัยต้องการที่จะนำวิธี RTK นี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้แนวทางด้านวิศวกรรมสำรวจโดยที่ผ่านมา ก้องไกล (2549) ได้ทำการทดสอบความสามารถของวิธี RTK โดยประยุกต์ใช้ในเรื่องของลักษณะย้อนกลับของวิธีรั้งวัดแบบจลน์ในทันที เรียกว่า “วิธีรั้งวัดด้วยดาวเทียม จีพีเอส ในลักษณะย้อนกลับ แบบจลน์ในทันที” (Inversed RTK) โดยพยายามหาข้อดีในการตรวจจับค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของสะพานพระราม 8 โดยในการวิจัยครั้งนั้นได้ใช้เครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส แบบรั้งวัดยี่ห้อ Leica รุ่น System 500 และใช้อัตราความถี่ในการบันทึกข้อมูล รั้งวัดถึง 10 Hz ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าค่าคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบที่แฝงอยู่ในผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีค่าที่สูงกว่าการ เคลื่อนตัวจริง ในทางดิ่งของสะพานพระราม 8 ดังนั้น แนวความคิดที่จะประยุกต์ใช้ RTK สำหรับงานระดับ (Leveling) นั้นก็คือเรื่องของ การหาค่าต่างของหมุดระดับตัวหนึ่งเทียบกับตัวหนึ่ง หรือจากตัวที่ทราบค่าพิกัดอยู่แล้วเทียบกับจุดที่เราต้องการรู้ค่าต่างทางตำแหน่งในภูมิประเทศ ซึ่งหลักการได้มาของค่าพิกัดด้วยวิธีแบบสัมพัทธ์ก็คือการพยายามหาค่าต่างของหมุดที่รู้ค่าเทียบกับจุดที่ไม่รู้ค่าโดยสามารถพิจารณาในรูปของค่าต่าง ๆ ตามแนวแกนราบและแกนดิ่ง นั่นก็คือ ใช้หลักการของงานให้ได้มาซึ่งค่าต่างของจุด 2 จุด เทียบกันนั่นเอง

ดังนั้นจากการทดลองที่ออกแบบมาเพื่อทดสอบความสามารถของวิธี RTK ในการระดับ โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลดิบที่ได้จากการรังวัดงานสนามตามการทดสอบที่ได้ออกแบบไว้มาทำการสรุปเกี่ยวกับเรื่องราวที่ได้จากการทำงานทดลองจริงในสนาม แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาพิจารณา ร่วมกับข้อเสนอแนะต่อไป

## 5.1 สรุปการทดลองในงานวิจัย

### 5.1.1 การทดสอบเบื้องต้น

การทดลองที่ 1 เป็นการทดสอบความสามารถของวิธีการ RTK ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองที่ได้ออกแบบ ความสูง ความถี่ในการยกตัวที่เหมาะสม ไว้เบื้องต้น จากการพิจารณาค่าผลลัพธ์ทางตำแหน่งทางดิ่งของสถานีจริงที่ใช้คือ BMSV\_03 ซึ่งเป็นหมุดที่เหมาะสมในการรับสัญญาณ โดยมีค่าทางสถิติ และจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่พบว่า วิธีการ RTK สามารถตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองได้แต่ค่าคลาดเคลื่อนแฝง (noise) ของวิธีการ RTK ในขณะนั้นที่เครื่องรับอยู่ร่วมกับที่มี noise เกิดขึ้นได้ในระดับเซนติเมตร ถึง เดซิเมตร ซึ่งจากการ การสังเกต ค่าของกราฟความสูงที่วิธี RTK ตรวจจับได้ ในขณะที่แบบจำลองยกตัวขึ้นแบบทันทีทันใด ช่วงของความสูงที่เปลี่ยนไปนี้ ให้ค่าที่น่าสนใจไม่น้อย ในเรื่องของการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งแบบทันทีทันใดในกรณีที่ความสูง อยู่ในช่วง (0.075 ถึง 0.185 เมตร)

### 5.1.2 การทดลองกรณีมีอิทธิพลปกคลุมเรือนยอด ของตำแหน่งที่ตั้งหมุดรับสัญญาณ

การทดลอง ที่ 2 เป็นการทดสอบความสามารถในการรังวัดด้วย RTK ในสนามจริง โดยจากผลการทดลองพบว่า ค่าพิกัดทางดิ่ง ตลอดจนค่าคลาดเคลื่อนตัวที่เครื่องรับตรวจจับได้กับการ เคลื่อนตัวจริงของแบบจำลองไม่สอดคล้องกันและค่าความสูงที่ตรวจจับได้นั้นก็มีค่า แกว่งที่มีขนาดของพิสัย ขนาดไม่กี่เซนติเมตรจนถึงระดับเดซิเมตร แต่ข้อสังเกตของการทดลองนี้ ก็คือวิธีการทำงานของ RTK โดยเครื่องรับยี่ห้อ Topcon รุ่น Hyper Ga ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ตามมาตรฐานของเครื่องมือรุ่นนี้ สามารถคำนวณตำแหน่งของจุดสถานีจริงภายใต้เงื่อนไขอิทธิพลปกคลุมเรือนยอดได้ แต่สุดท้าย ผลลัพธ์ หรือค่าตำแหน่งทางดิ่งในขณะที่เครื่องรับอยู่ร่วมกับที่ที่ให้ค่าที่มีค่าคลาดเคลื่อนที่มีพิสัยขนาดใหญ่หลายเดซิเมตรแฝงอยู่และที่สำคัญ วิธีการนำข้อมูลดิบจากเครื่องรับที่สถานีจริงและสถานีฐานมาประมวลผลกันแบบสัมพัทธ์ไม่สามารถช่วยให้ค่าพิกัดทางดิ่งที่ตรวจจับได้นั้นให้ความถูกต้องเพิ่มขึ้นได้ สาเหตุ คงเกิดจากอิทธิพลปกคลุมเรือนยอดส่งผลต่อความสามารถในการรับสัญญาณจากดาวเทียม จีพีเอส ของเครื่องรับ



### 5.1.3 กรณีที่ไม่มีอิทธิพลปกคลุมเรือนยอดของตำแหน่งหมุดที่ตั้งรับสัญญาณ

จากผลการทดลอง ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองที่ตรวจจับได้จากจุด BMSV\_03 นี้ในการทดสอบของเราถือว่า หมุด BMSV\_03 นี้เป็นหมุดที่มีความเหมาะสมในช่องทางรับสัญญาณ เพราะในระนาบ 15 องศา ไม่มีการบดบัง สัญญาณเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (Obstruction) ดังนั้นจึงทำการกำหนดให้ BLD 14/1 เป็นจุดสถานีฐานซึ่งเมื่อพิจารณา จากผลการทดลองใน 3 วันพบว่า ในช่วงของความถูกต้อง เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 2 ผู้วิจัยเรื่องอิทธิพลปกคลุม เรือนยอด ส่งผลกระทบโดยตรงกับการคำนวณพิกัดค่าของ BMSV\_03 นั้น ไม่มี แต่สำหรับค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในขณะที่เครื่องรับอยู่ หนึ่งกับที่ ก็แสดงให้เห็นแล้วว่า วิธีการ RTK นั้น จะมีช่องว่างของค่าพิกัด ในเรื่องของความละเอียดที่รั้งวัดได้ก็คือ ทางราบ 10 mm+1 ppm และ ทางดิ่ง 15 mm+1 ppm ตลอดจนสัญญาณที่รั้งวัด ไปยังดาวเทียมมีความถูกต้องเพียงใดอีกด้วย

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยก็ได้ตั้งข้อสังเกตในเรื่องของการบดบังสัญญาณพร้อมกันนี้ผู้วิจัยก็ได้ตั้งสังเกตในเรื่องของการบดบังสัญญาณ วิทยุที่สถานีฐานในที่นี้คือ BLD 14/1 ส่งมาไปยังสถานีจร BMSV\_03 เพราะการรับส่งของเครื่องรับมีความเข้มเพียง 410-470 MHz ค่าจะเกิดการซ้ำ หรือ การขาดช่วงเนื่องจากมีตึกอาคารขนาดใหญ่ 2 หลัง บังแนวเส้นตรงของจุดสถานีทั้ง 2 อยู่จึงได้ทำการตั้งเครื่องรับบนตึก 35 ที่หมุด BLD 35 แล้วกำหนดให้เป็นจุดสถานีฐานซึ่งจากผลลัพธ์ทางตำแหน่งทางดิ่งที่ได้เมื่อนำมาแยกวิเคราะห์ พบว่า 1 เครื่องรับสามารถคำนวณ ตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจริงของแบบจำลองผิดไป 10-20% ในบางจุดก็ตาม แต่นั่นก็แสดงให้เห็นว่า จากการทดลอง 1 อิทธิพลปกคลุมเรือนยอดส่งผลกระทบโดยตรงต่อการคำนวณตำแหน่งเครื่องรับในสนาม และอาคารขนาดใหญ่ที่บังแนวเส้นตรงจากจุดสถานีจร ไปยังเครื่องรับที่สถานีฐาน ส่งผลกระทบต่อการคำนวณตำแหน่งของจุดสถานีจร คล้ายวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันที (RTK) แม้ว่าจะเป็นตำแหน่งที่ตั้งอยู่ที่บริเวณ โถงและเหมาะกับการรับสัญญาณจากดาวเทียม จีพีเอส ก็ตาม

#### 5.1.4 การทดสอบในกรณี ที่แบบจำลองเกิดการเคลื่อนตัวฉับพลัน และมีการบังคับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากสิ่งปลูกสร้าง

จากการทดสอบเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ตั้งข้อสังเกตในเรื่องของจุดเด่นในการตรวจจับค่าการเคลื่อนตัวทางคิ่ง แบบทันทีทันใดของแบบจำลอง ดังนั้นในการทดสอบความสามารถของ RTK ในด้านสนามผู้วิจัยจึงถือว่าความถูกต้องทางคิ่งที่กำหนดได้ จากจุดสถานีจร มีความจำเป็นต่อการพิจารณาค่าต่างทางคิ่งที่ตรวจจับได้โดยวิธี RTK ณ ตำแหน่งสถานีจร นั้นเอง สังเกตจากรูปกราฟในการทดลองที่ 4 จะเห็นแนวเปลี่ยนความสูงคิ่งที่ผู้วิจัยได้วงไว้เพื่อทำจุดสังเกต ในขณะที่แบบจำลองเปลี่ยนแปลงความสูงแบบฉับพลัน ซึ่งแสดงว่าส่วนตัวของวิธี RTK นั้นถ้าตัวสถานีจรของมันเองมีการเคลื่อนตัว แบบทันทีทันใดในระดับ 0.075 ถึง 0.185 เมตร (ดังการทดลอง) เครื่องรับสามารถสังเกตได้ แม้นหมุดที่รับสัญญาณจะเป็นหมุดที่มี Obstruction ในเรื่องของการรับสัญญาณไปยังดาวเทียม จีพีเอส อยู่ก็ตาม

#### 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่พบจากการทำการทดสอบความสามารถของวิธี Real-time kinematic ในการตรวจจับการเคลื่อน ตัวทางคิ่งของแบบจำลอง

1) การใช้วิธีการ RTK ในเรื่องของการหาค่าต่างระดับของหมุดควบคุมทางคิ่งจากในสนาม ผลลัพธ์ที่ได้ นั้นจะมีความถูกต้องมาก หรือน้อย เพียงใดขึ้นอยู่กับผู้ทำงานรังวัดในสนามเป็นสำคัญ ดังนั้น นอกจากต้องพิจารณาในเรื่องของเลขาณณิคมของกลุ่มดาวเทียมที่ต้องใช้ดาวเทียมชุดเดียวกันแล้วตำแหน่งจุดที่เป็นสถานีจร ก็ต้องมีความสามารถในการรับสัญญาณที่ดีด้วยเช่นกัน

2) วิธีการประมวลผลแบบสัมพัทธ์แบบทันทีทันใดที่ RTK นำมาใช้ในการคำนวณหาพิกัดสถานีจรของตัวเอง ถือเป็นเรื่องสำคัญที่ผู้ใช้จะต้องพึงระลึกไว้เสมอ ว่าอิทธิพลปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้ใหญ่ในสนามจะส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องที่คำนวณได้

3) การนำข้อมูลดิบของวิธีการ RTK ของจุดสถานีฐานและหมุดสถานีจรมาประมวลผลแบบสัมพัทธ์ในภายหลังเหมือนวิธีรังวัดแบบสถิติไม่ได้ช่วยทำให้ผลลัพธ์ของค่าพิกัดของจุดสถานีจรดีขึ้นถ้าหากจุดที่ตั้งเครื่องรับเป็นจุดที่รับสัญญาณได้ไม่ดีพอ เพราะค่าคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบที่เกิดจากการรับสัญญาณที่แผ่ไปด้วยค่าคลาดเคลื่อนเมื่อนำมาคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ในภายหลังจะทำให้ค่าความผิดที่เกิดขึ้นนี้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นตามไปด้วย



4) การประยุกต์ใช้งานรังวัดด้วยวิธี จีพีเอส สำหรับงานระดับที่ต้องการความถูกต้องสูง ผู้วิจัยขอแนะนำให้ใช้วิธีรังวัดแบบสถิตย (Static Surveying) เพราะ ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง ใน 3 มิติที่น่าเชื่อถือกว่า วิธี RTK นั่นคืออยู่ในระดับเซนติเมตร หรือดีกว่านั้น แต่ต้องไม่ลืมว่าการ บดบังสัญญาณของอิทธิพลปกคลุมเรือนยอด จะส่งผลกระทบโดยตรงกับ ข้อมูลดิบที่ใช้คำนวณ ตำแหน่งของเครื่องรับเอง



## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

- เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และ ก้องไกล สรโยธิน. 2550. การทดสอบความสามารถของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสโดยวิธีแบบจลน์ในทันทีและวิธีย้อนกลับแบบจลน์ในทันที. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์ สุทธิพงศ์ วิญญูประดิษฐ์ บรรเจิด พละการ วิชัย เยี่ยงวีรชน และ อิทธิ ศรีสัตตยวงศ์. พ.ศ. 2547, การหาค่าระดับเหนือน้ำทะเลปานกลางของสถานีวัดน้ำในอ่าวไทยด้วยจีพีเอส, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, โรงแรม รีเจนท์ชะอำ เพชรบุรี, 19-21 พฤษภาคม.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2546, การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส เบื้องต้น (แปลและเรียบเรียง), พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 156 หน้า.
- ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. พ.ศ. 2538, เอกสารประกอบการฝึกอบรม การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS, ( มปท. ), ( อัดสำเนา )
- ธนัช สุขวิมลเสรี และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2548, การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 16 ฉบับที่ 4, 18-21
- ธนัช สุขวิมลเสรี พ.ศ. 2547, ความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ร่วมกับแบบจำลองความสูงยี่ออย, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, โรงแรม รีเจนท์ชะอำ เพชรบุรี, 19-21 พฤษภาคม.



### ภาษาอังกฤษ

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

In-Su Lee and Lin lin Ge,(2006).The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental conditions, Earth Planets Space, 58, 515–522

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

NASA (2005) EGM' s official web site, Avertable from:

[http:// cddis.gsfc.nasa.gov/926/egm96/egm96.vitml](http://cddis.gsfc.nasa.gov/926/egm96/egm96.vitml)access Jan 10<sup>th</sup> ,

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.

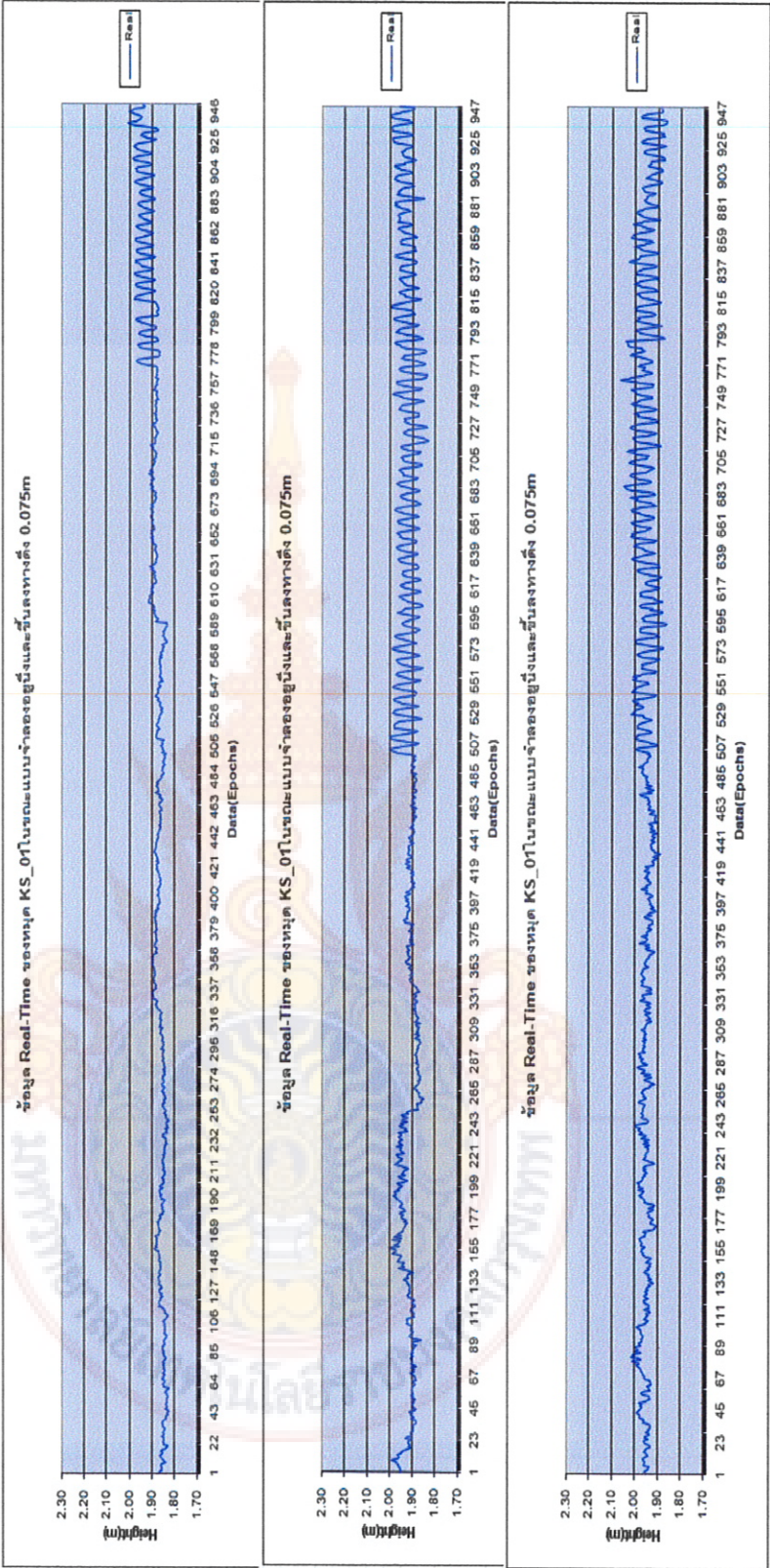
Timothy, R. L. and George, P. G. (1999).The Influence of the Number of Satellites on the Accuracy of RTK GPS Positions, THE AUSTRALIAN SURVEYOR, Vol. No. 1, 64–70

Wichiencharoen, c.(1998) Orthometric heights from GPS: Experience of Thailand, Paper presented at 3rd. International Symposium on GPS Technology, Tainan, Taiwan, 10-11 November.

ภาคผนวก ก

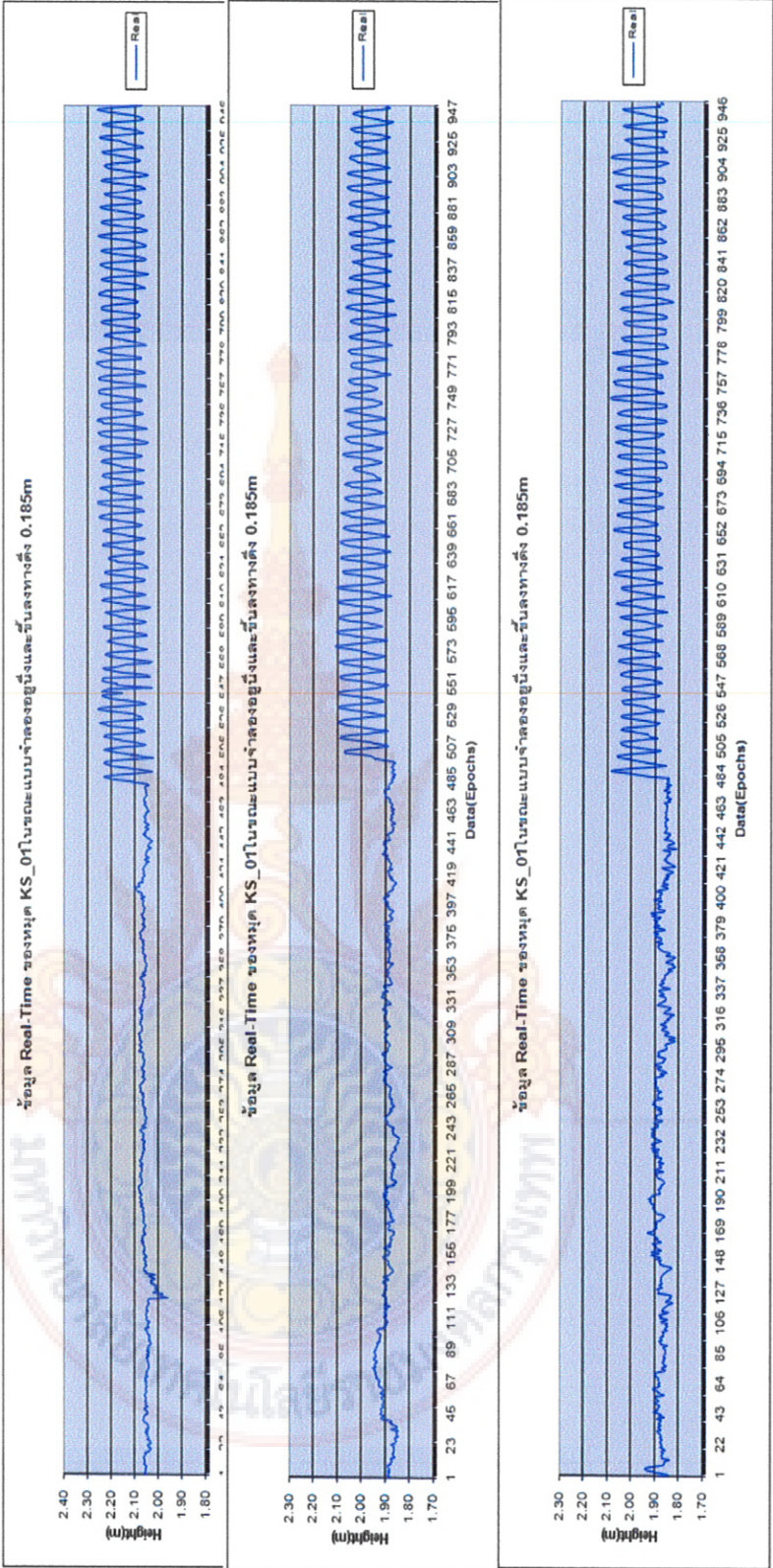
การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมู่ KS\_01 ข้อมูลแบบ Real-time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม.

ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ

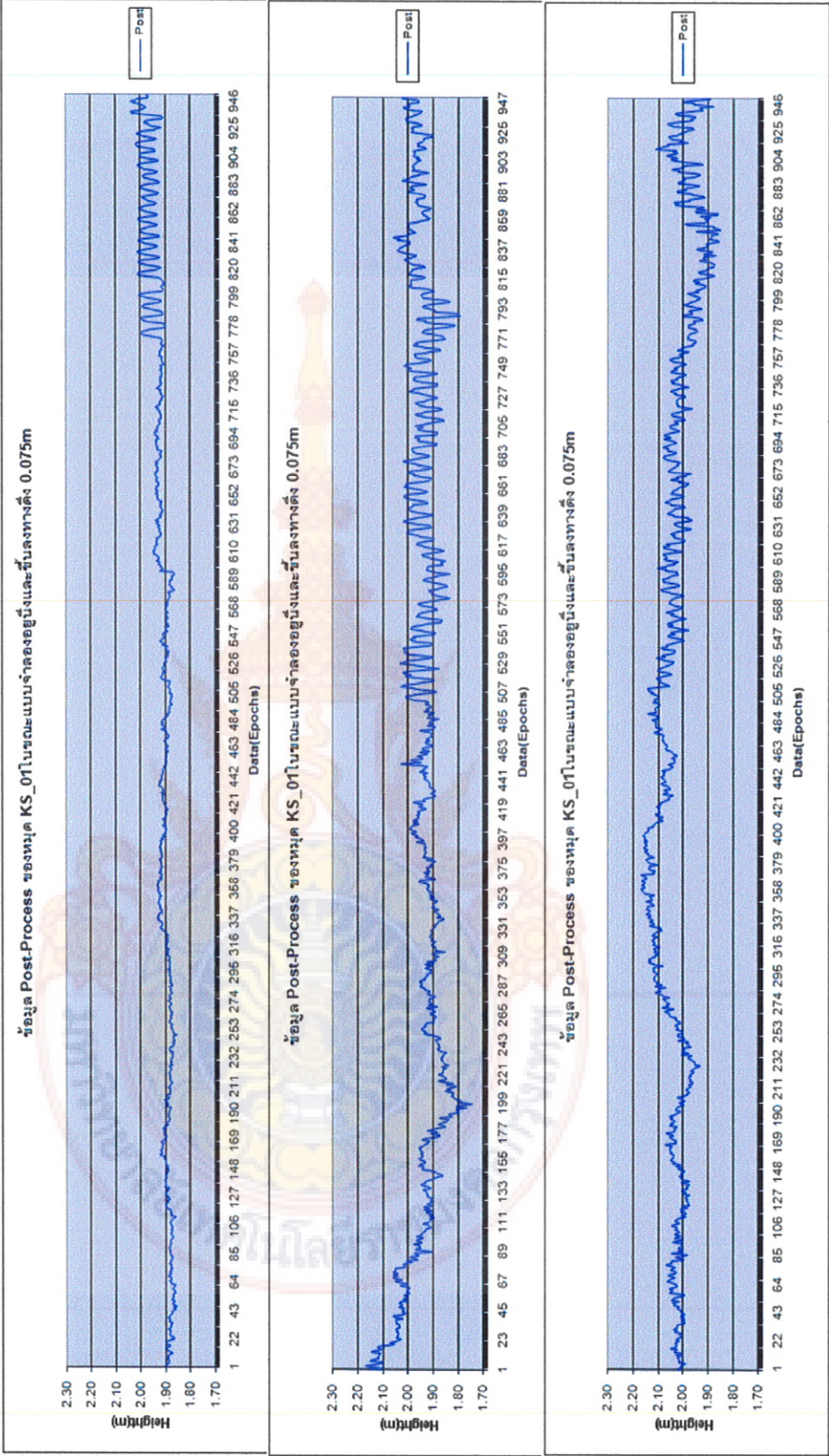




การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมู่ KS\_01 ข้อมูลแบบ Real-time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ

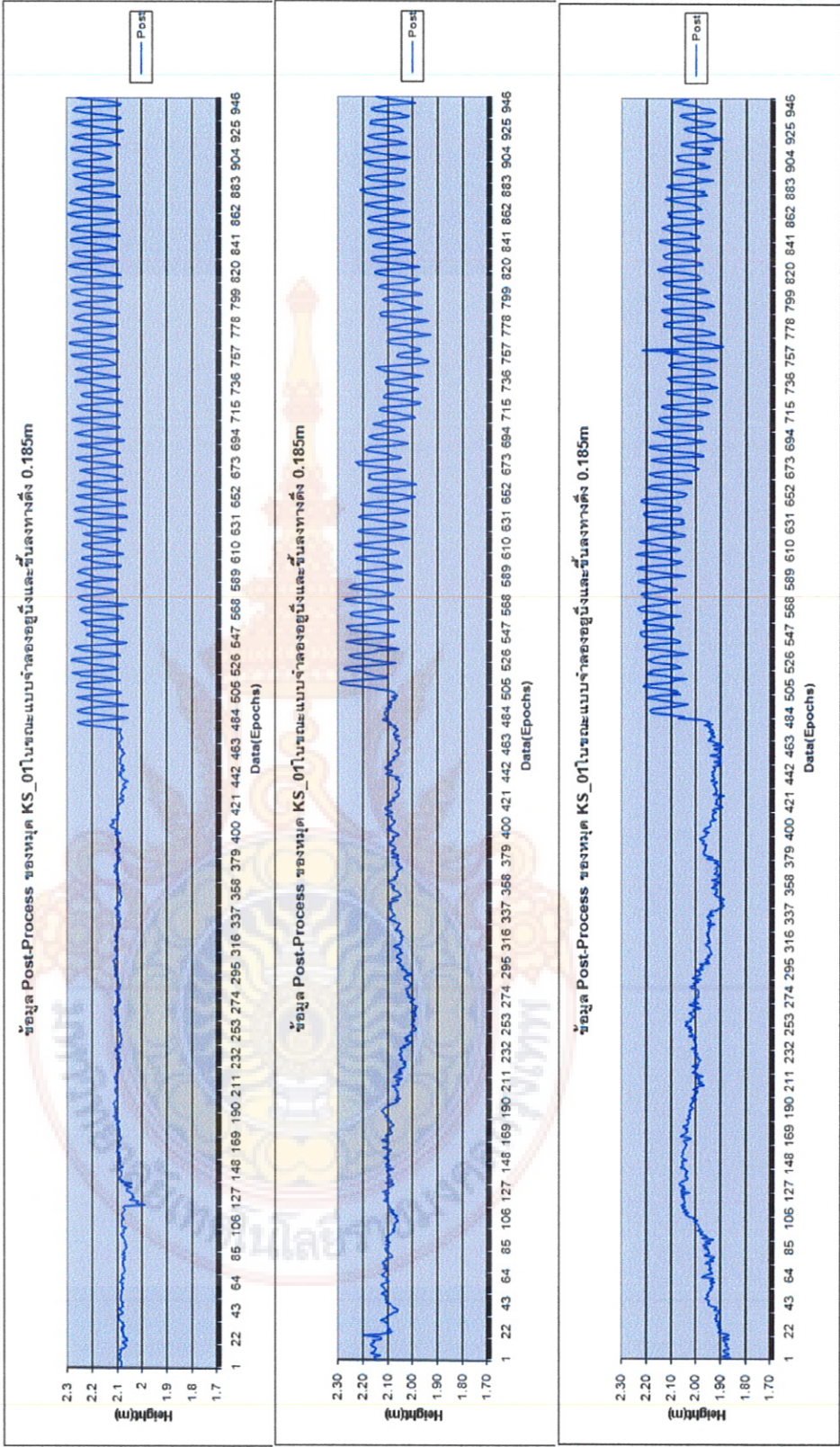


การทดลองที่ 2 ถ้าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมู่ด KS\_01 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



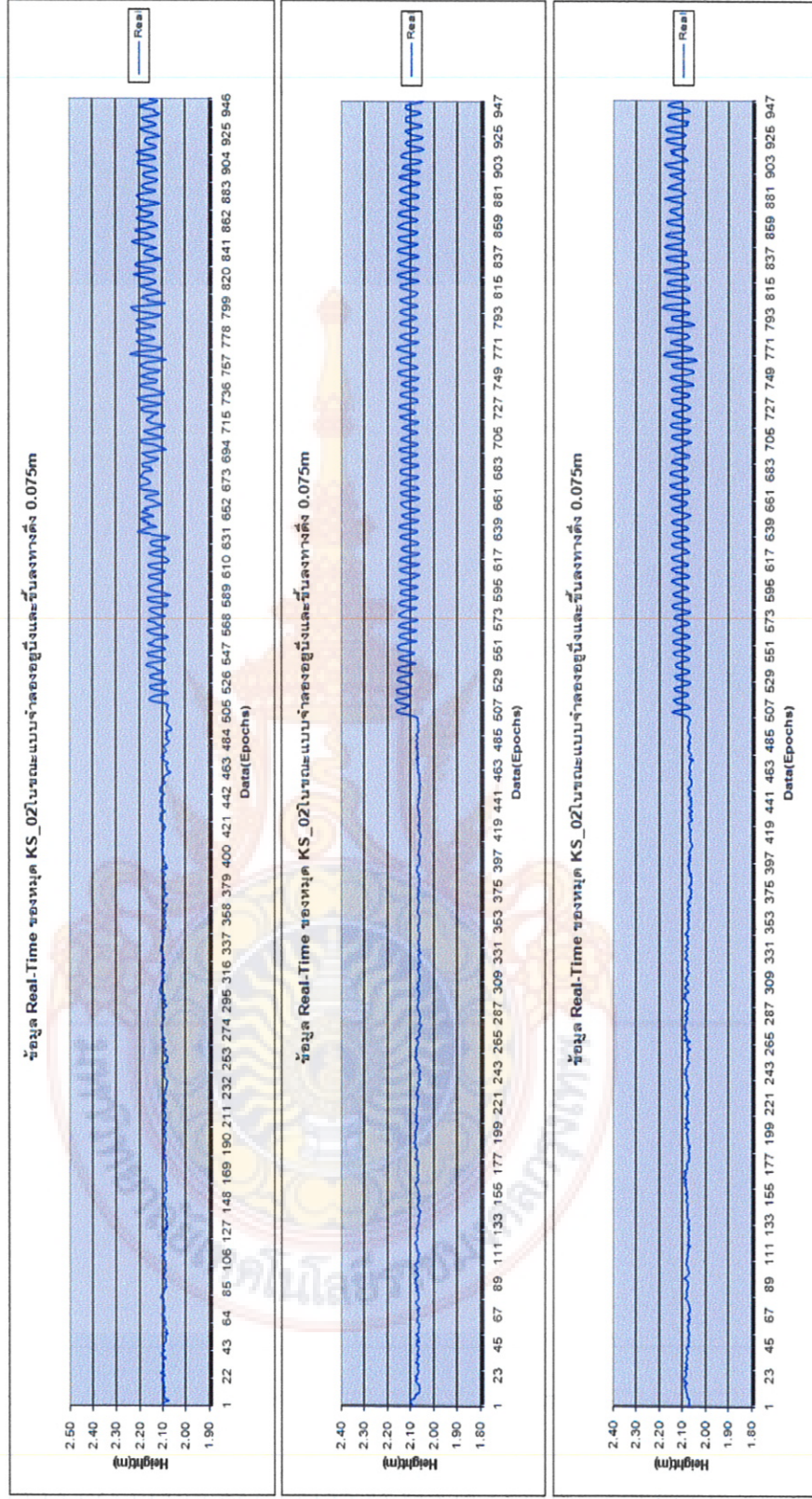


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมู่ด KS\_01 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



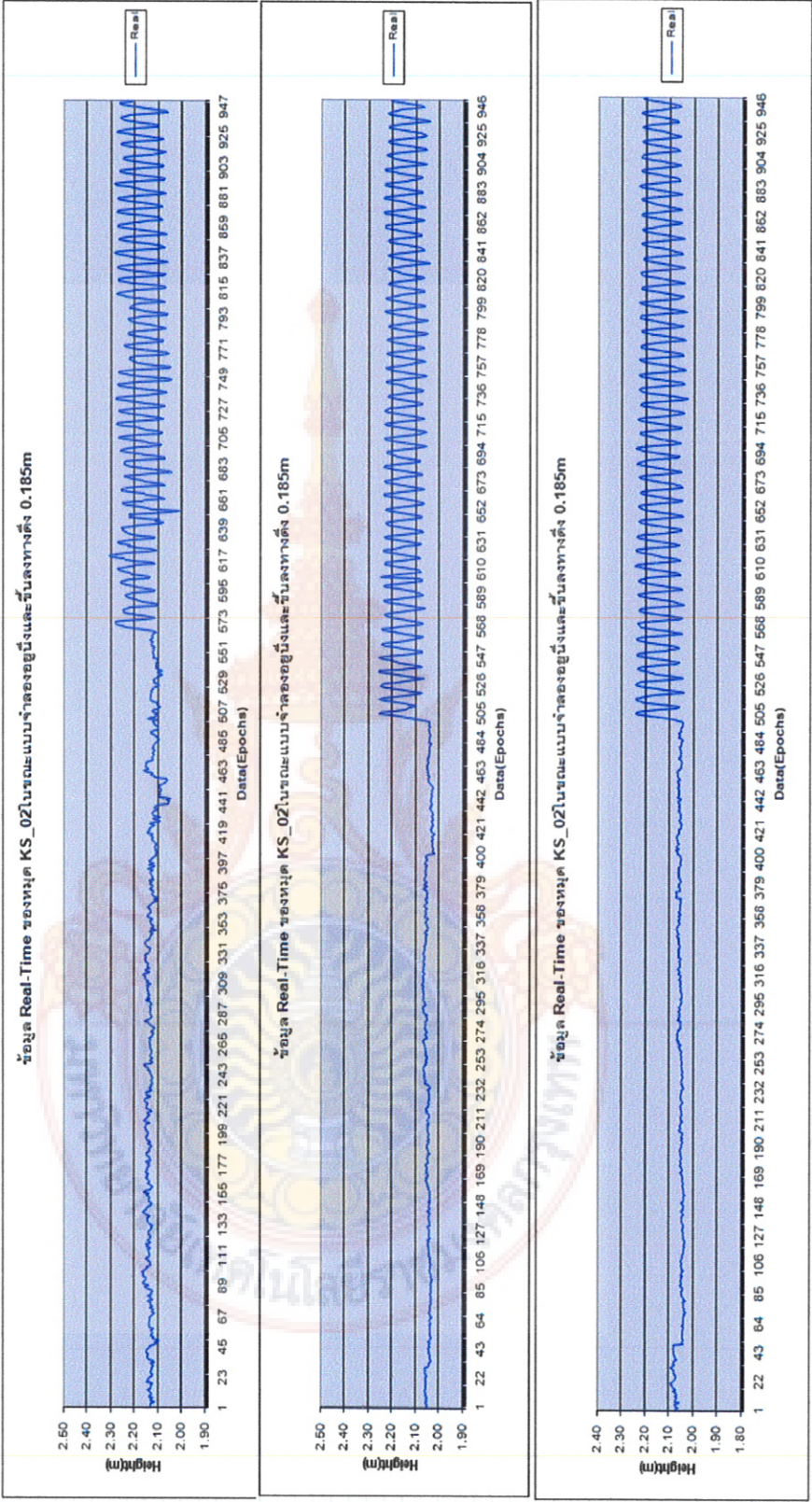


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมู่ด KS\_02 ข้อมูลแบบ Real-time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



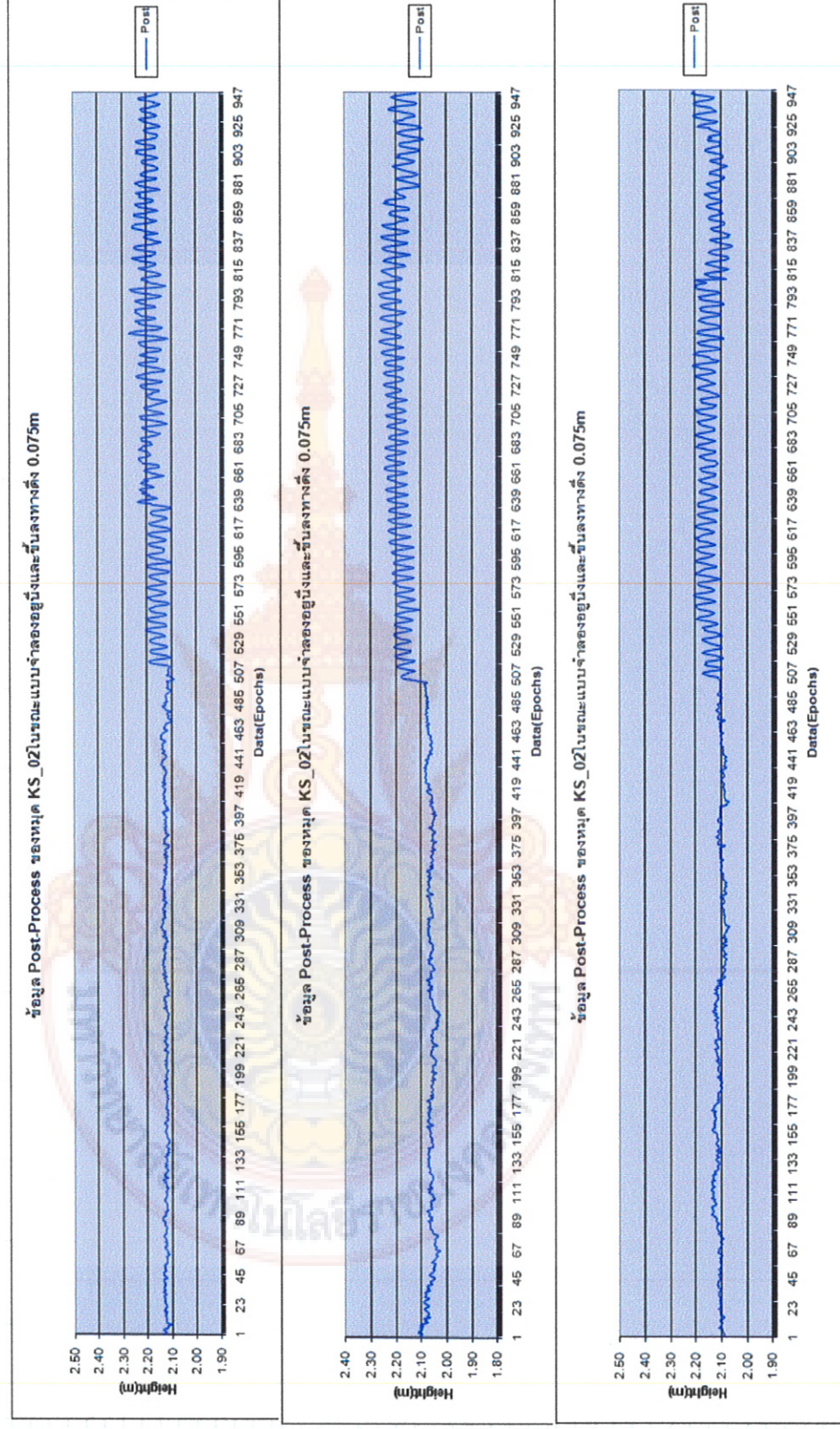


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมู่ด KS\_02 ข้อมูลแบบ Real\_Time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



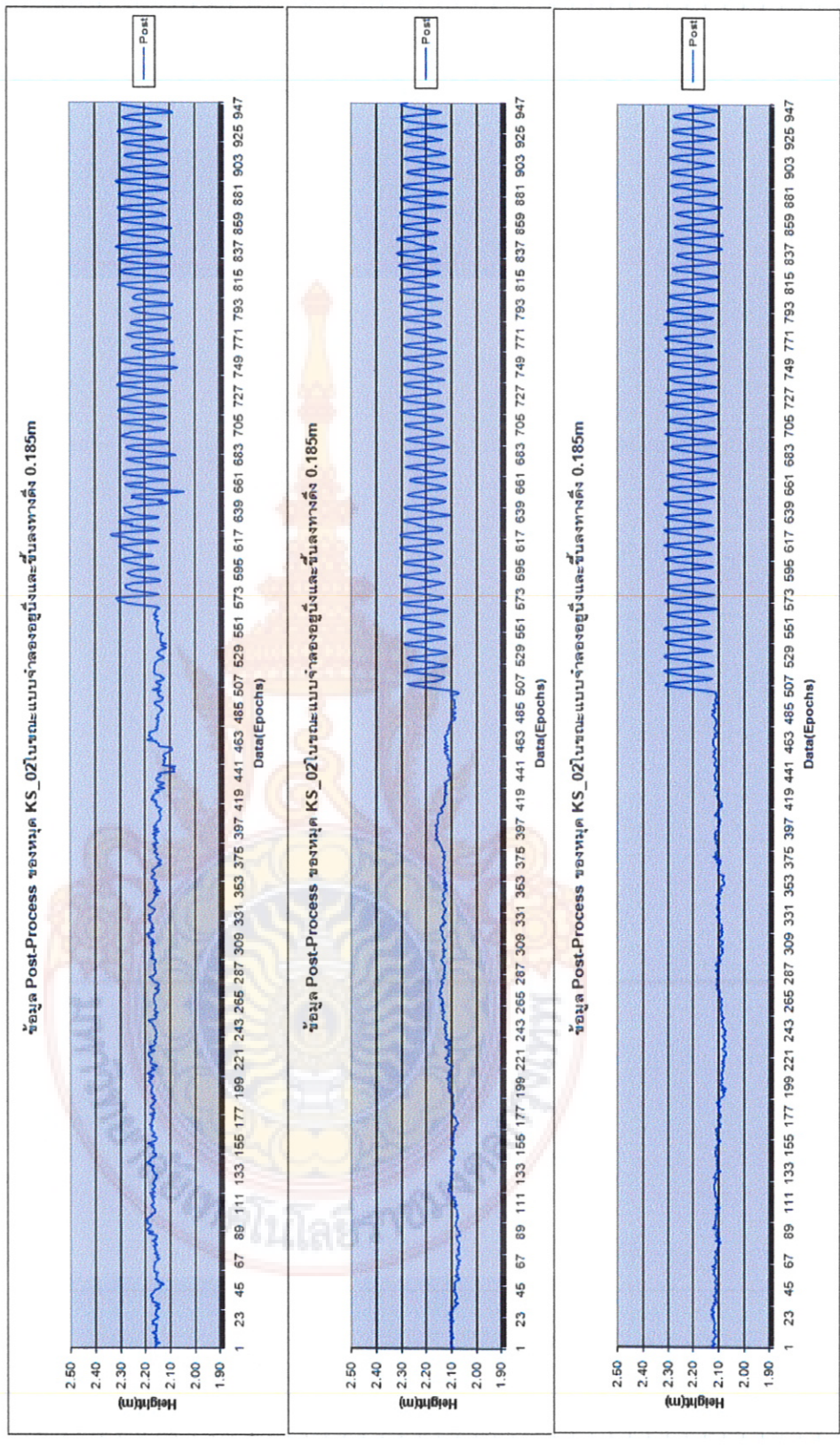


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ทั้งหมด KS\_02 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



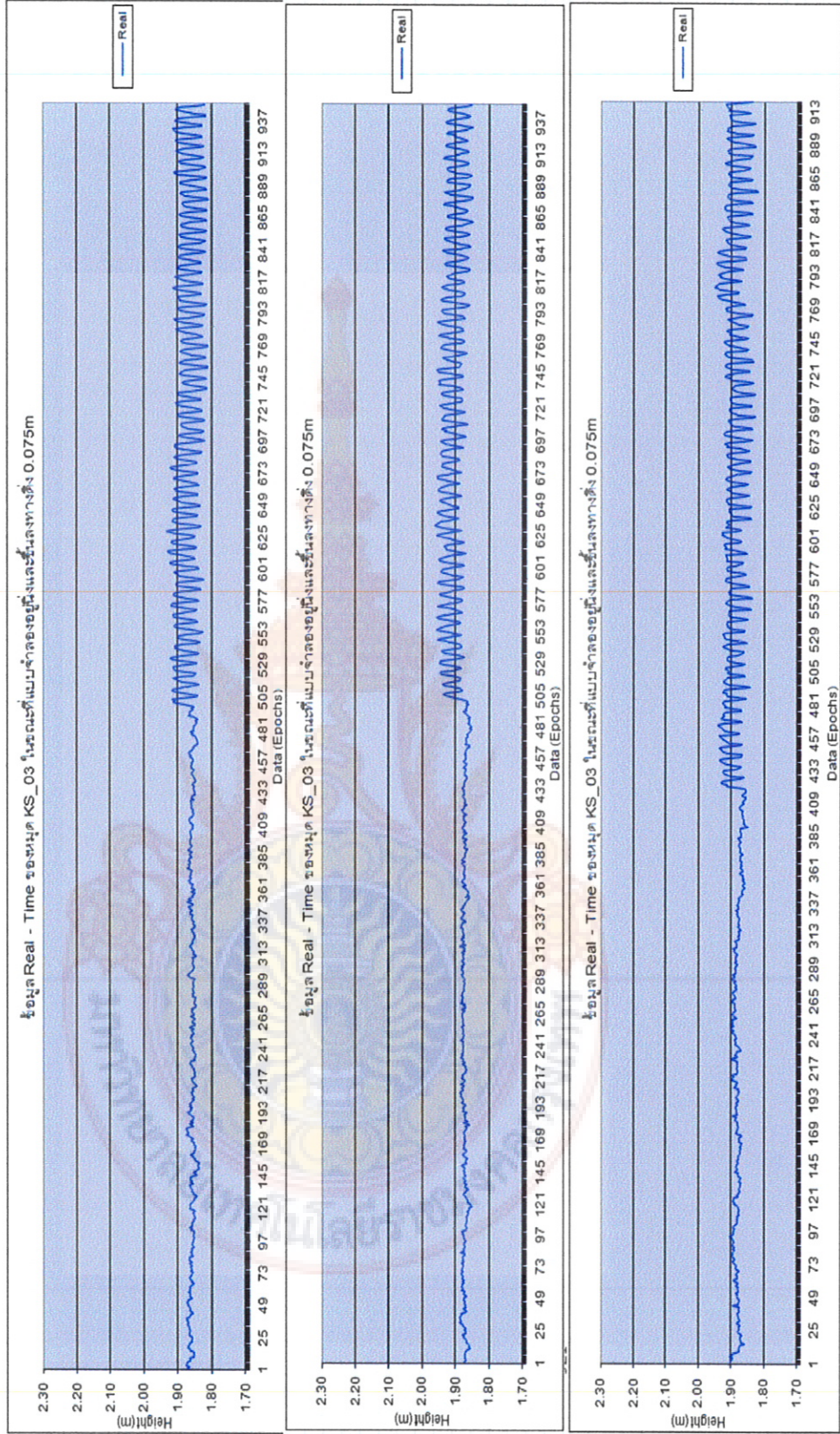


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมู่ด KS\_02 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



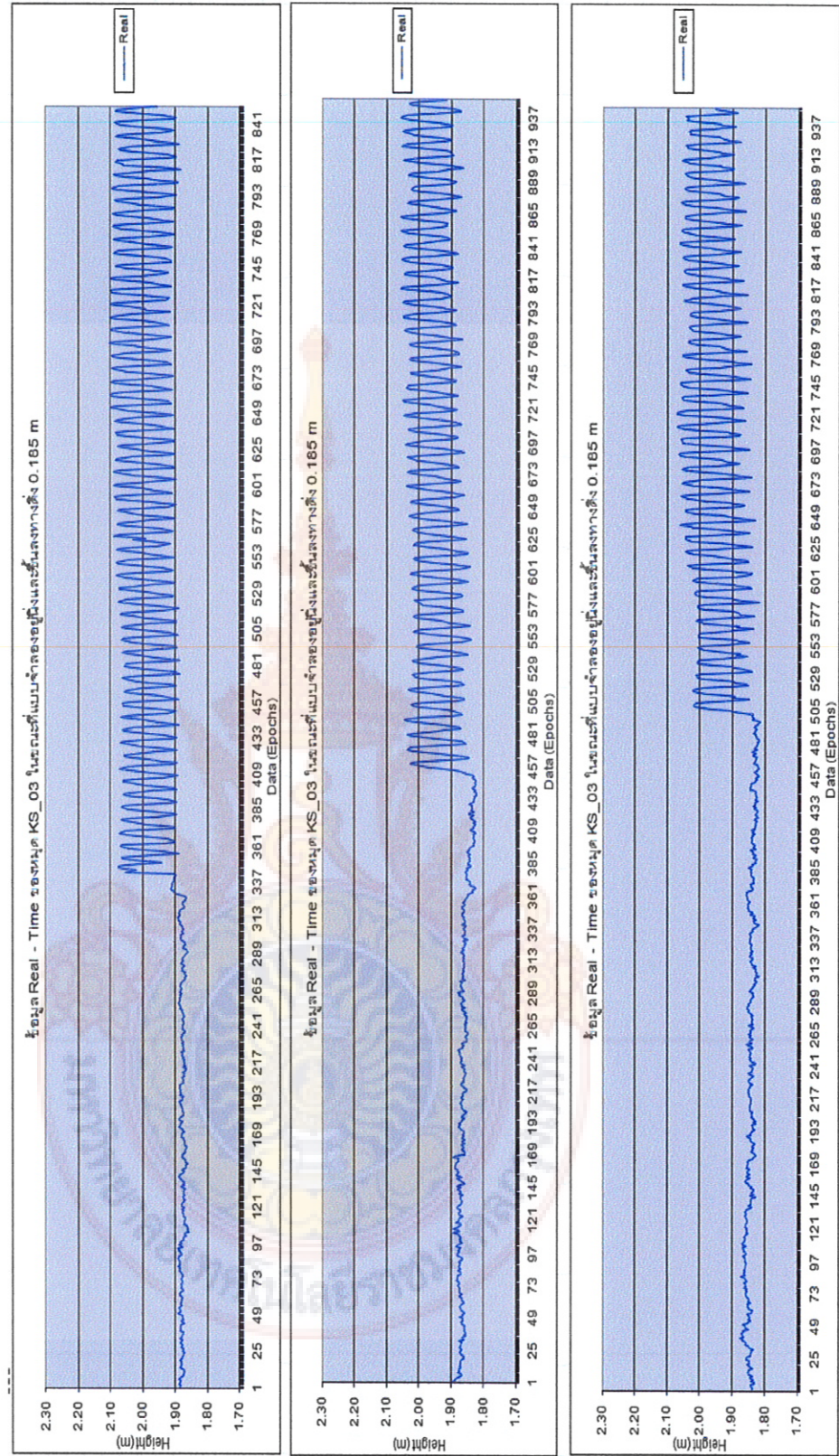


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หตุค KS\_03 ข้อมูลแบบ Real\_Time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



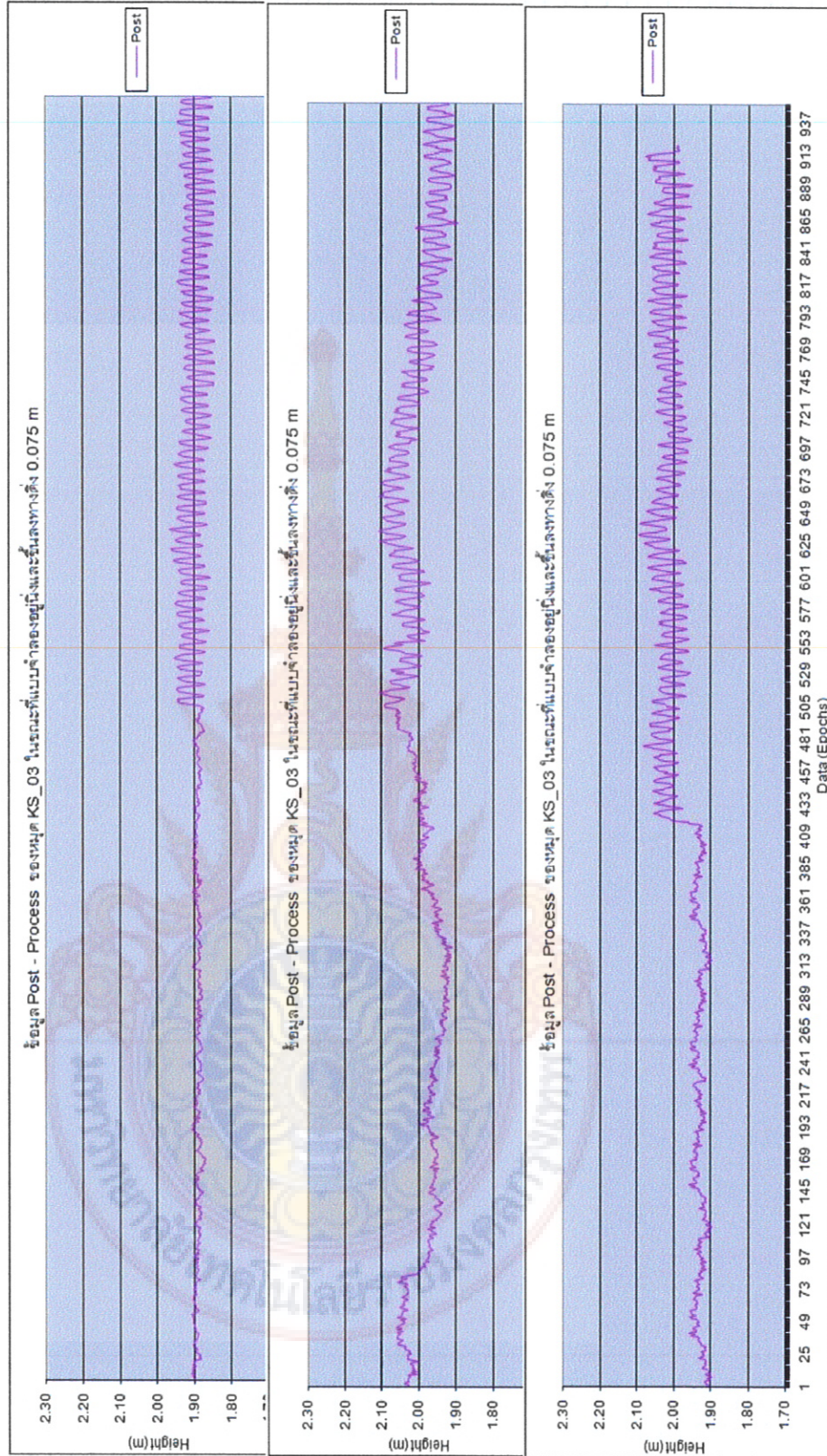


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หตุค KS\_03 ข้อมูลแบบ Real-time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



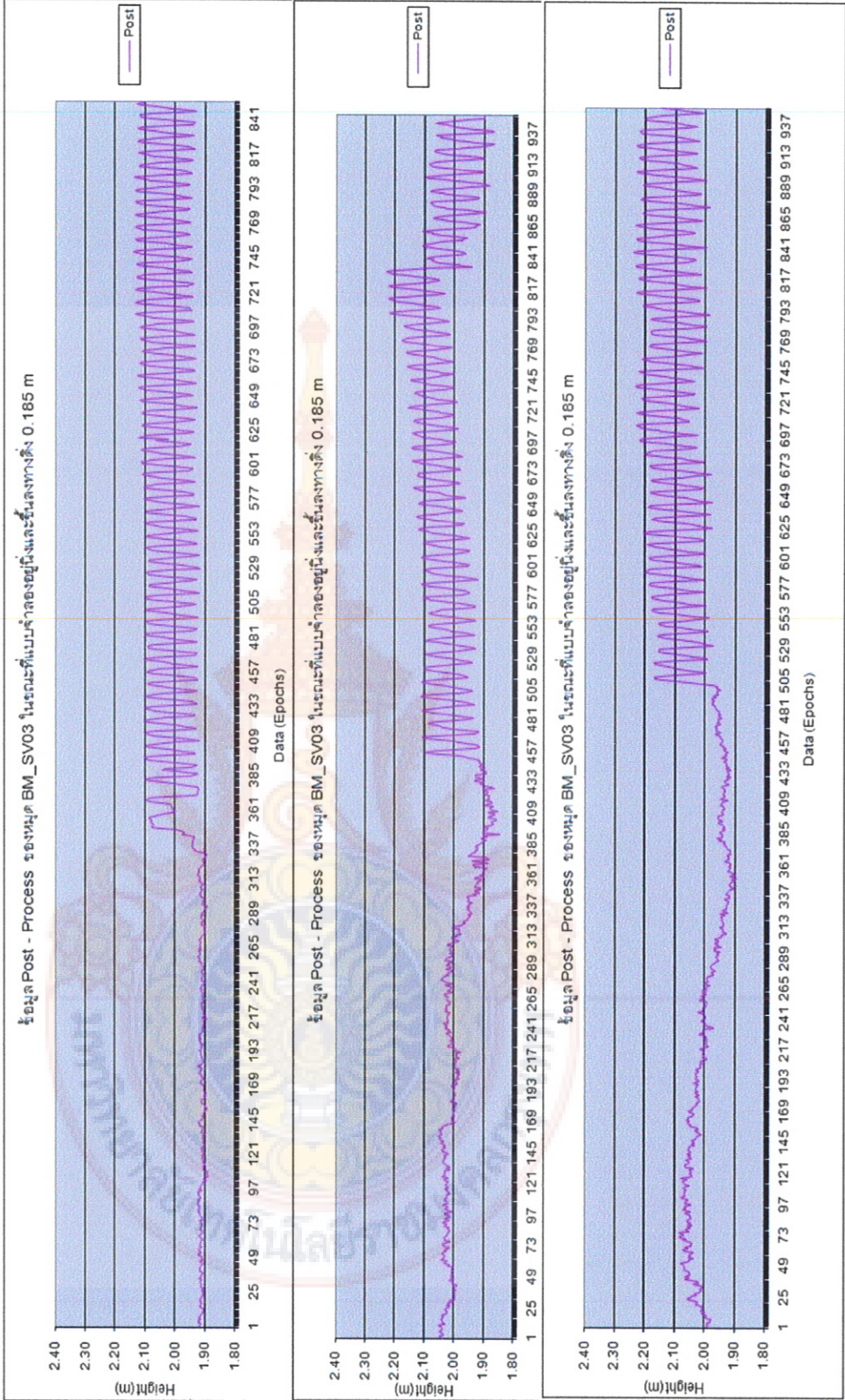


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมุด KS\_03 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม.  
 ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



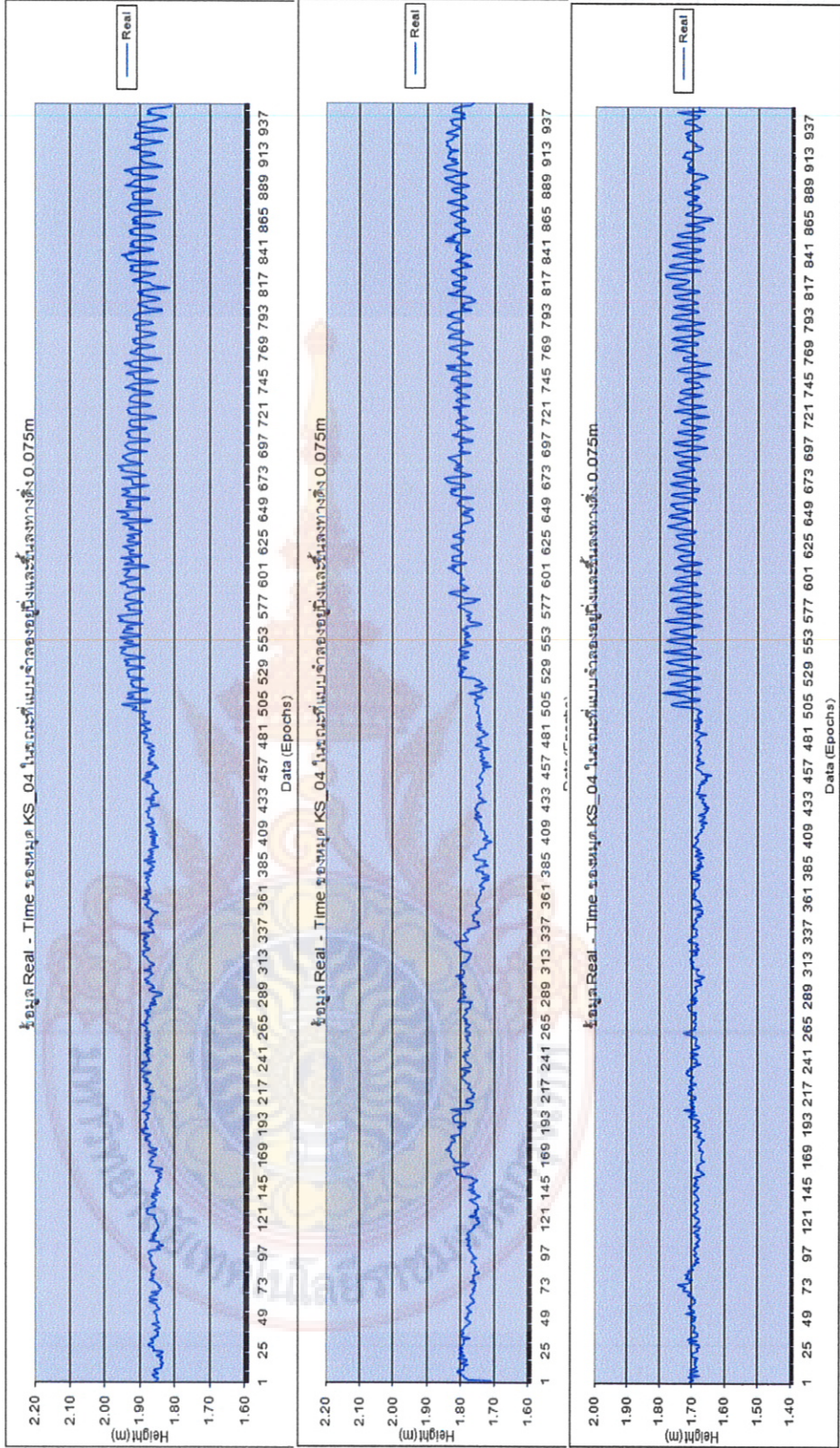


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมุด KS\_03 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



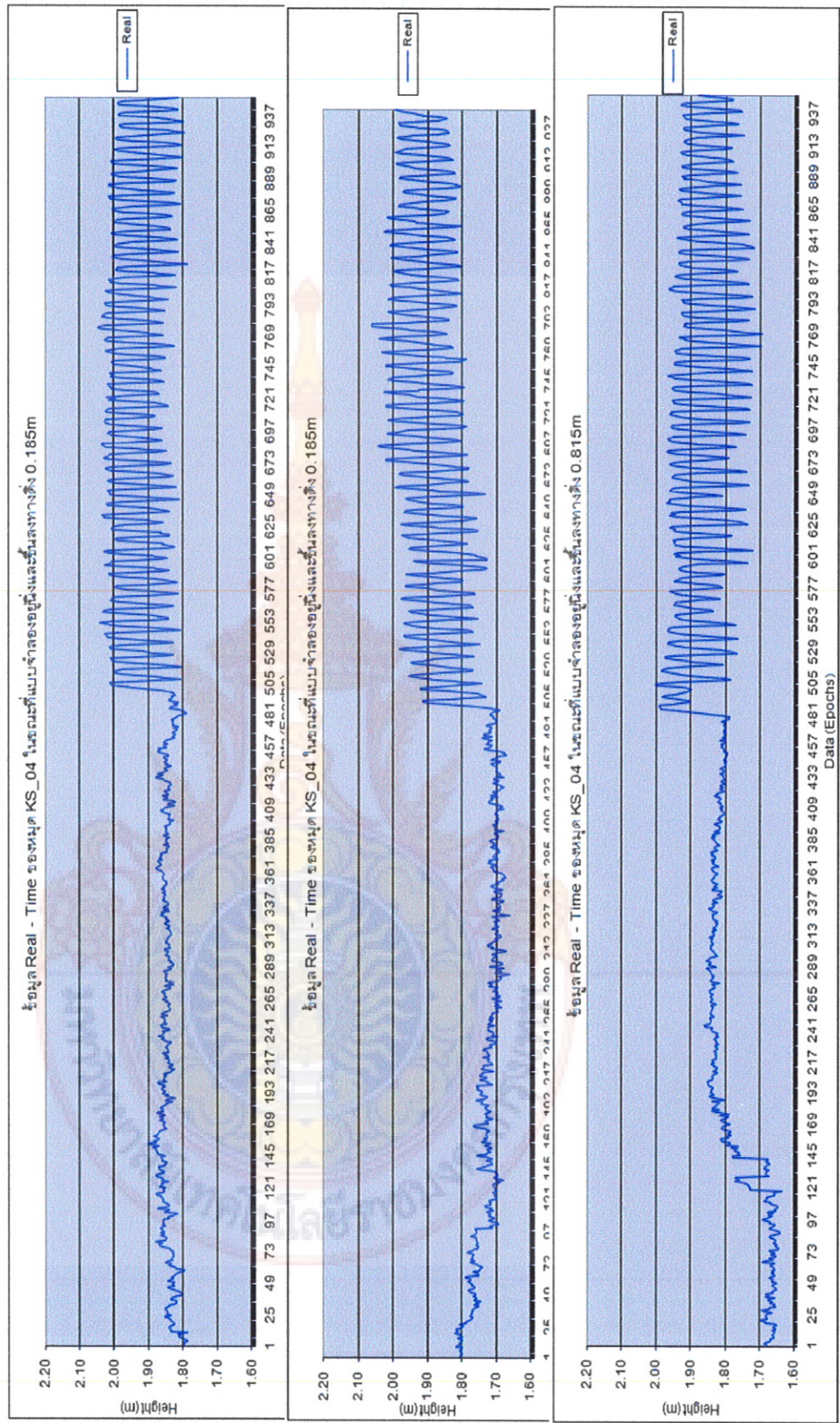


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หุมุด KS\_04 ข้อมูลแบบ Real-time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



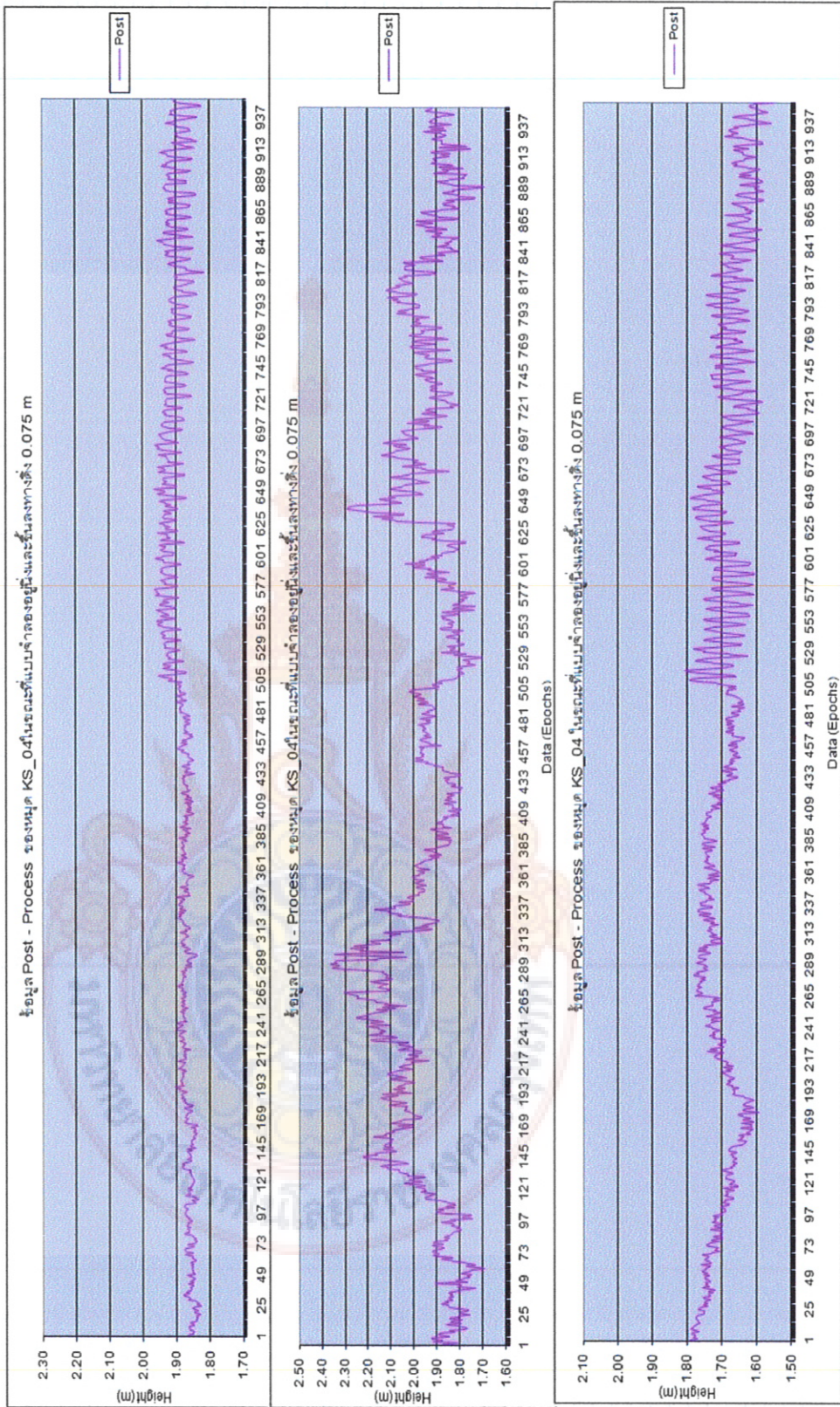


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมู่ด KS\_04 ข้อมูลแบบ Real-time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



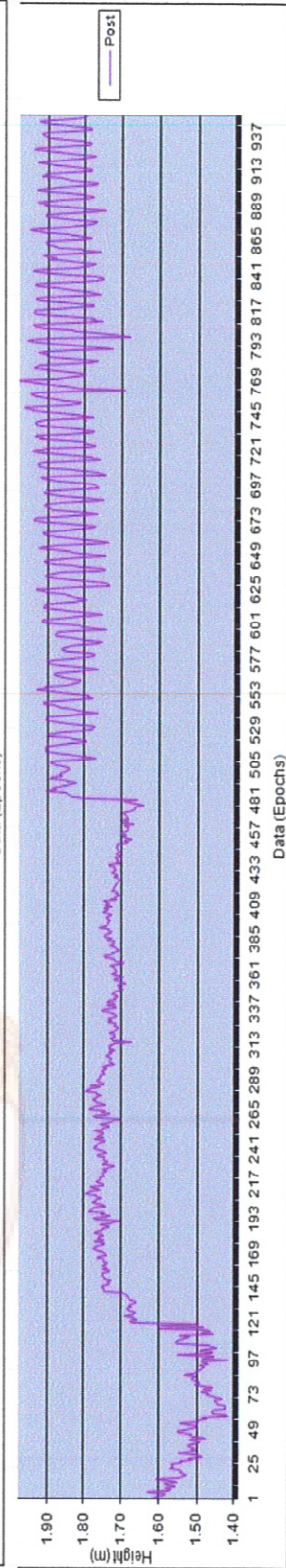
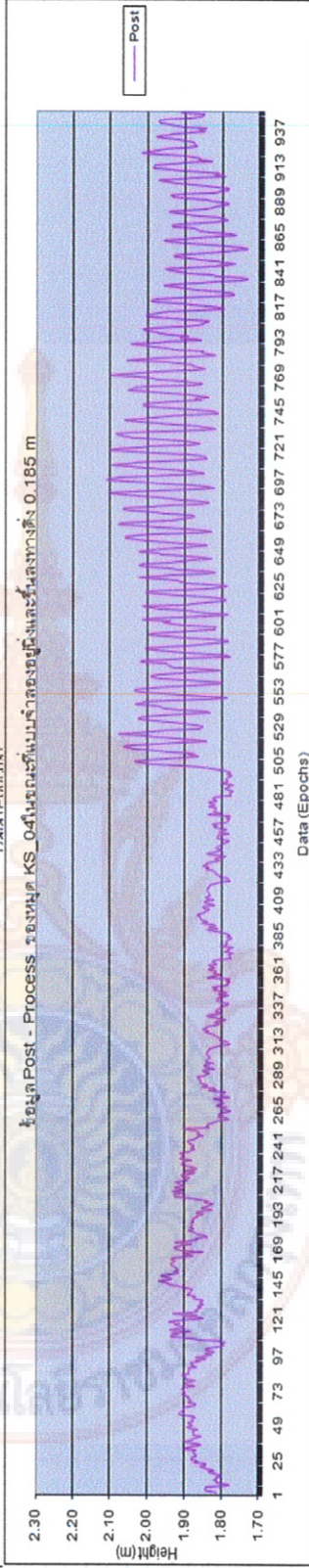
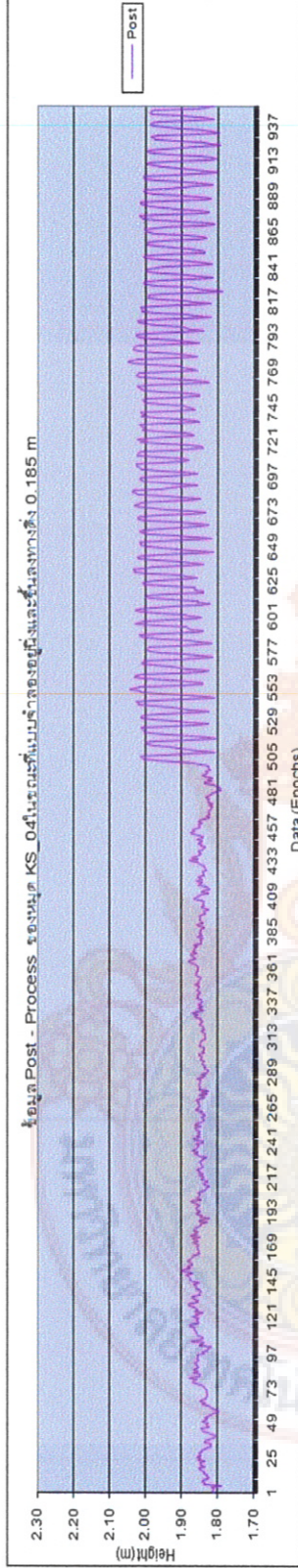


การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมู่ต KS\_04 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สด. 52 ตามลำดับ





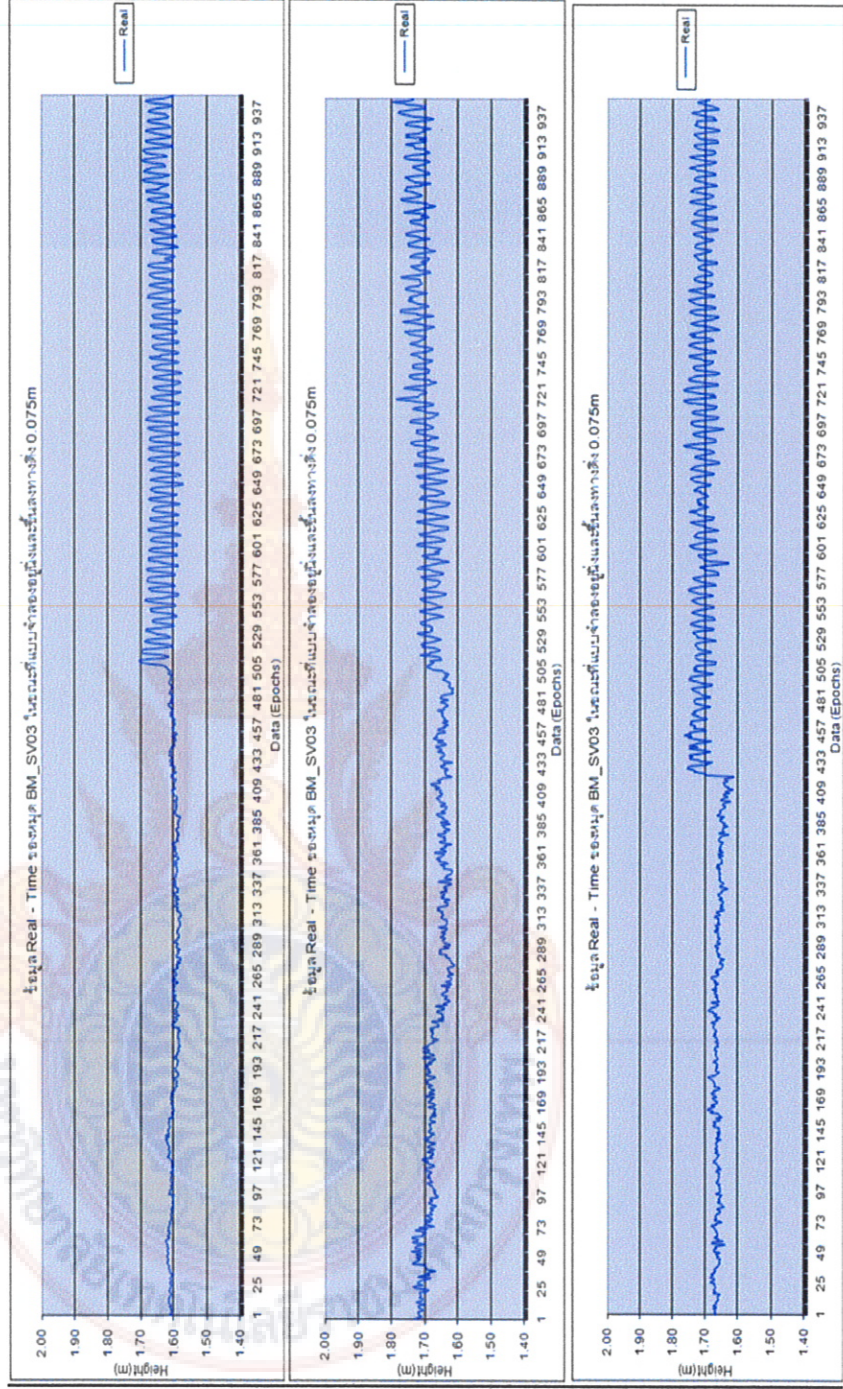
การทดลองที่ 2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมุด KS\_04 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ





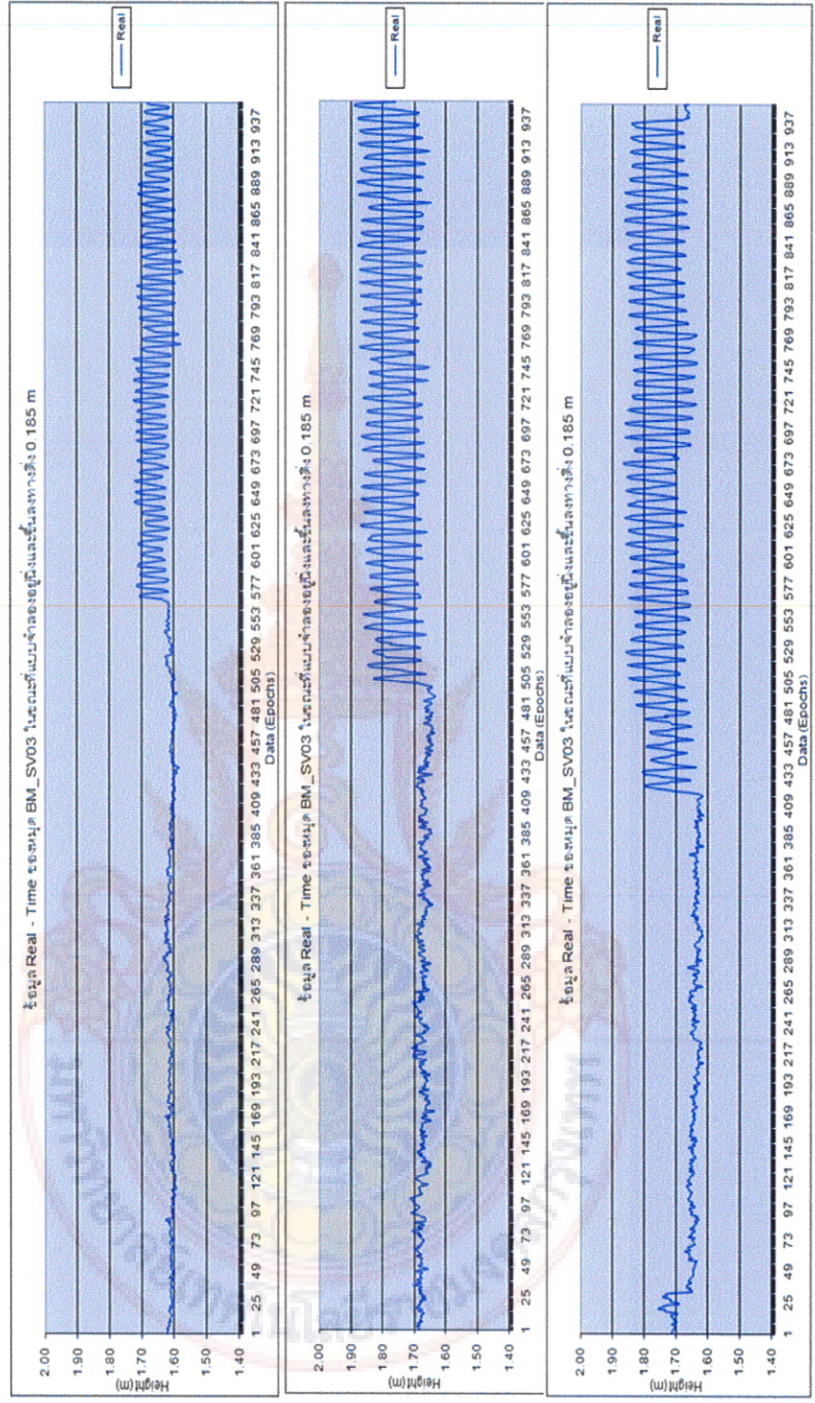
ภาคผนวก ข

การทดลองที่ 3.1 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หตุ BM\_SV03 ข้อมูลแบบ Real-time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,14 สค. 52 ตามลำดับ



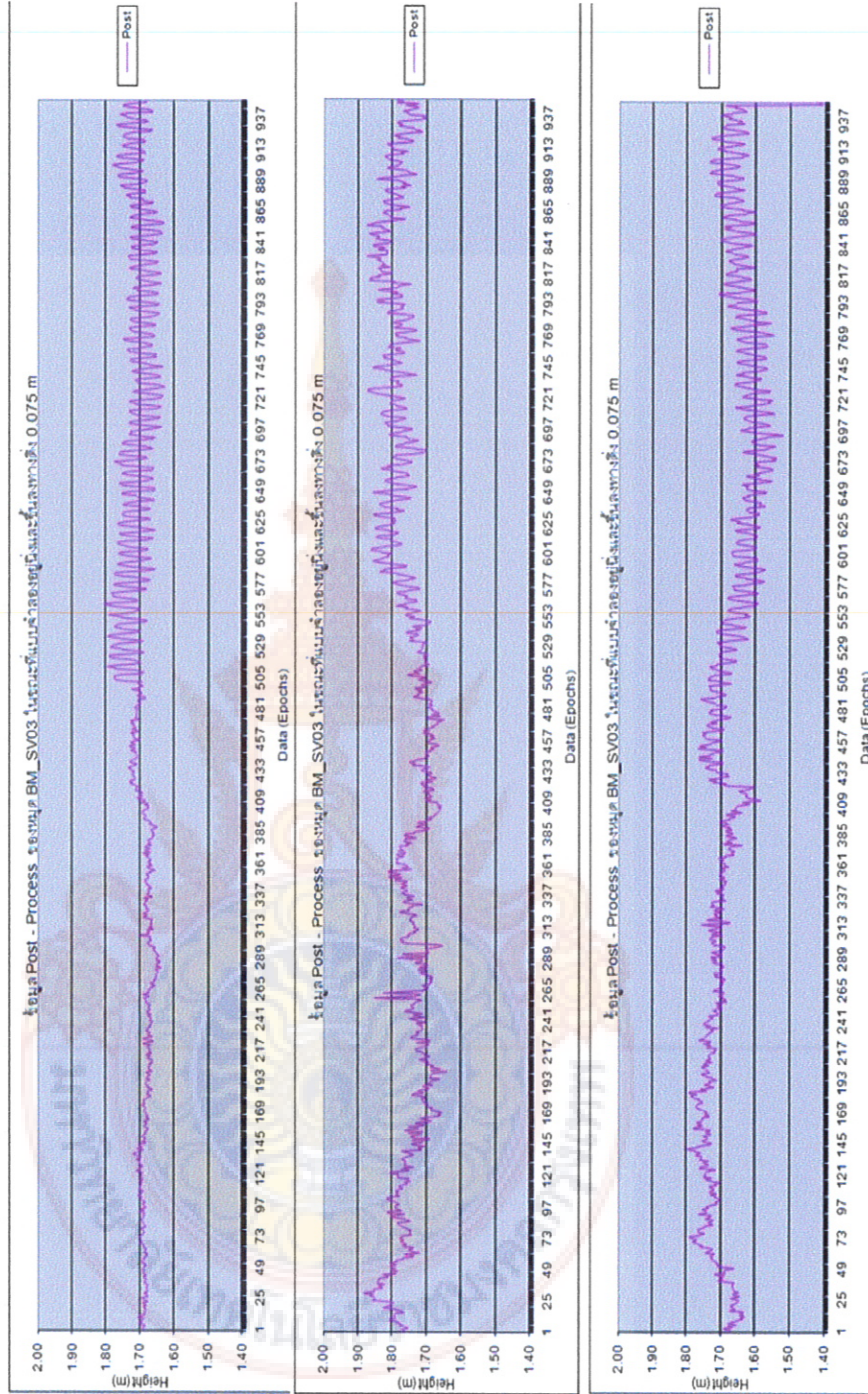


การทดลองที่ 3.1 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หูก BM\_SV03 ข้อมูลแบบ Real-time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ



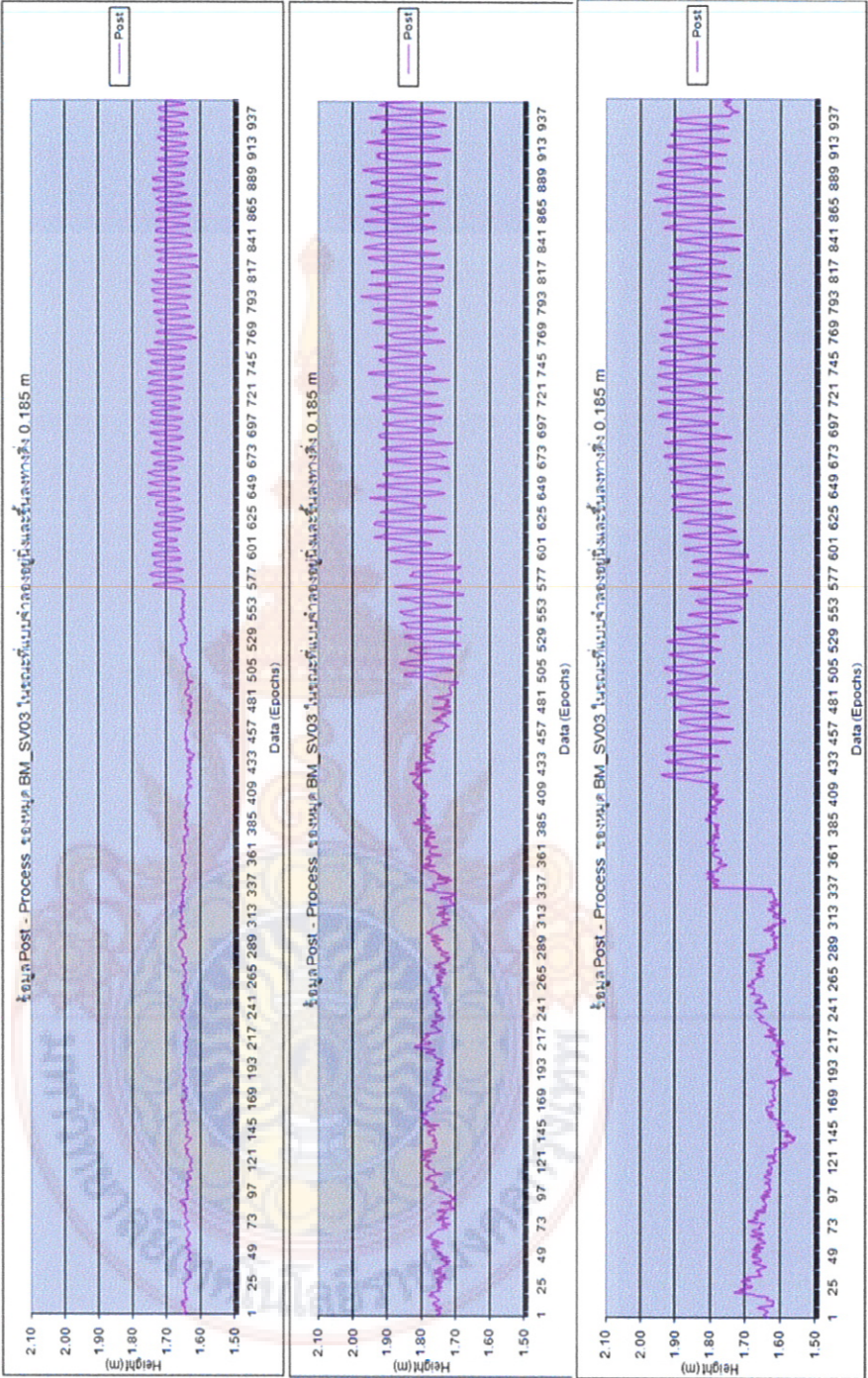


การทดลองที่ 3.1 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมุด BM\_SV03 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่จนถึงสูง 0.075 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ

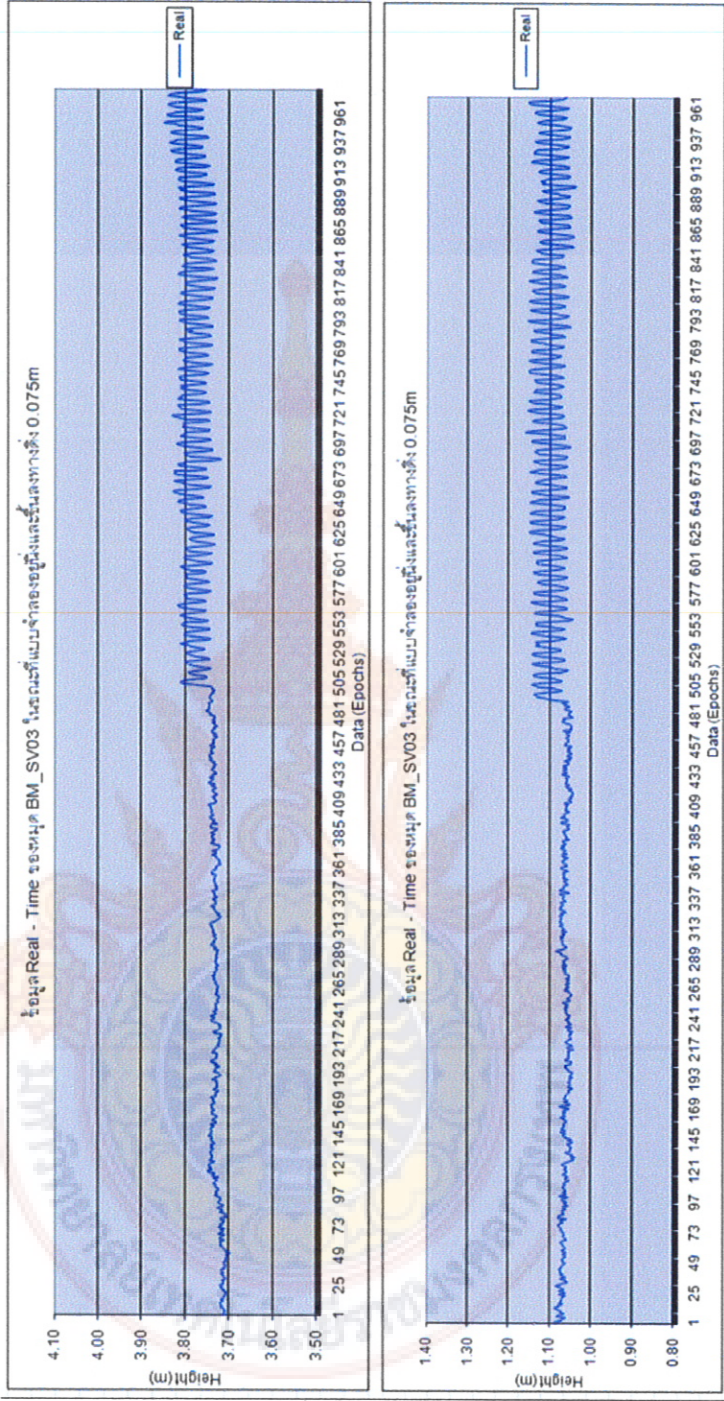




การทดลองที่ 3.1 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมวด BM\_SV03 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม.  
ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ

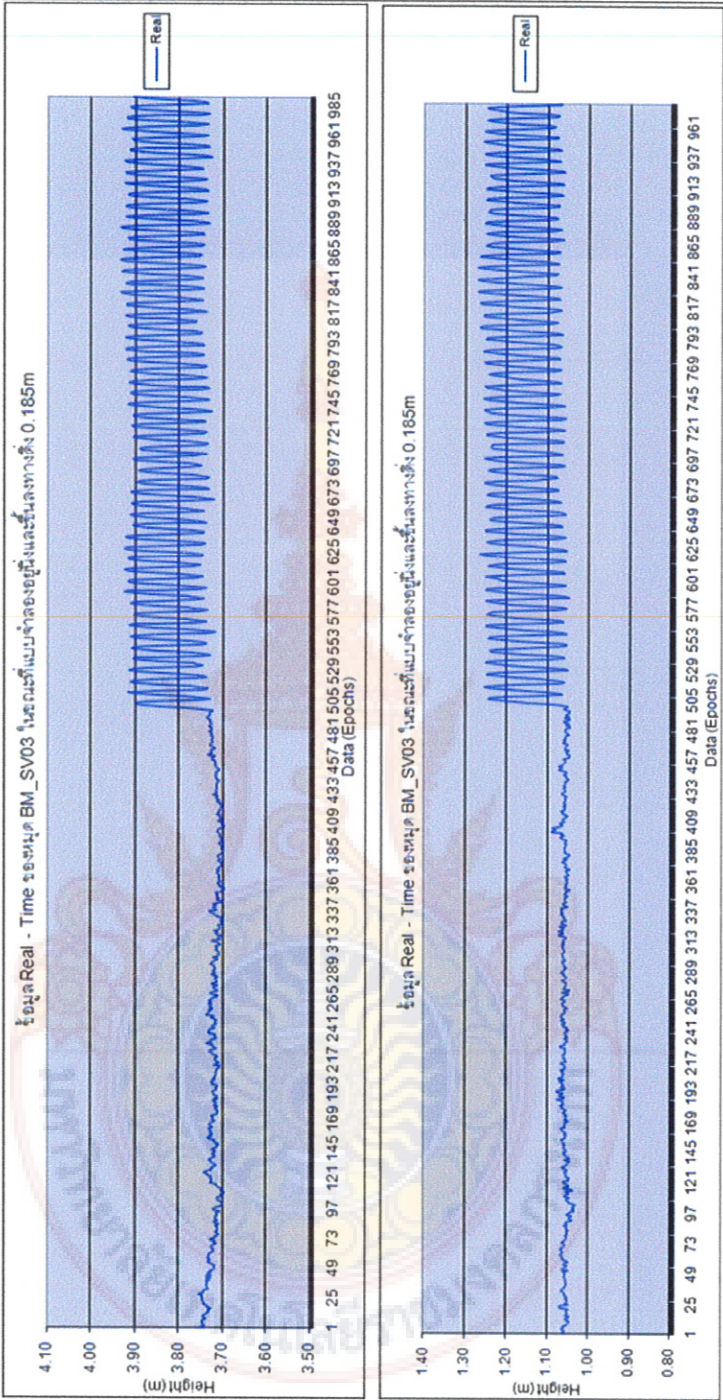


การทดลองที่ 3.2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมด BM\_SV03 ครั้งที่ 1 และ 2 ข้อมูลแบบ Real\_Time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ชนลงทางดิ่ง สูง 0.075 ม. ในการทดสอบเมื่อวันที่ 21 สค. 52 ตามลำดับ

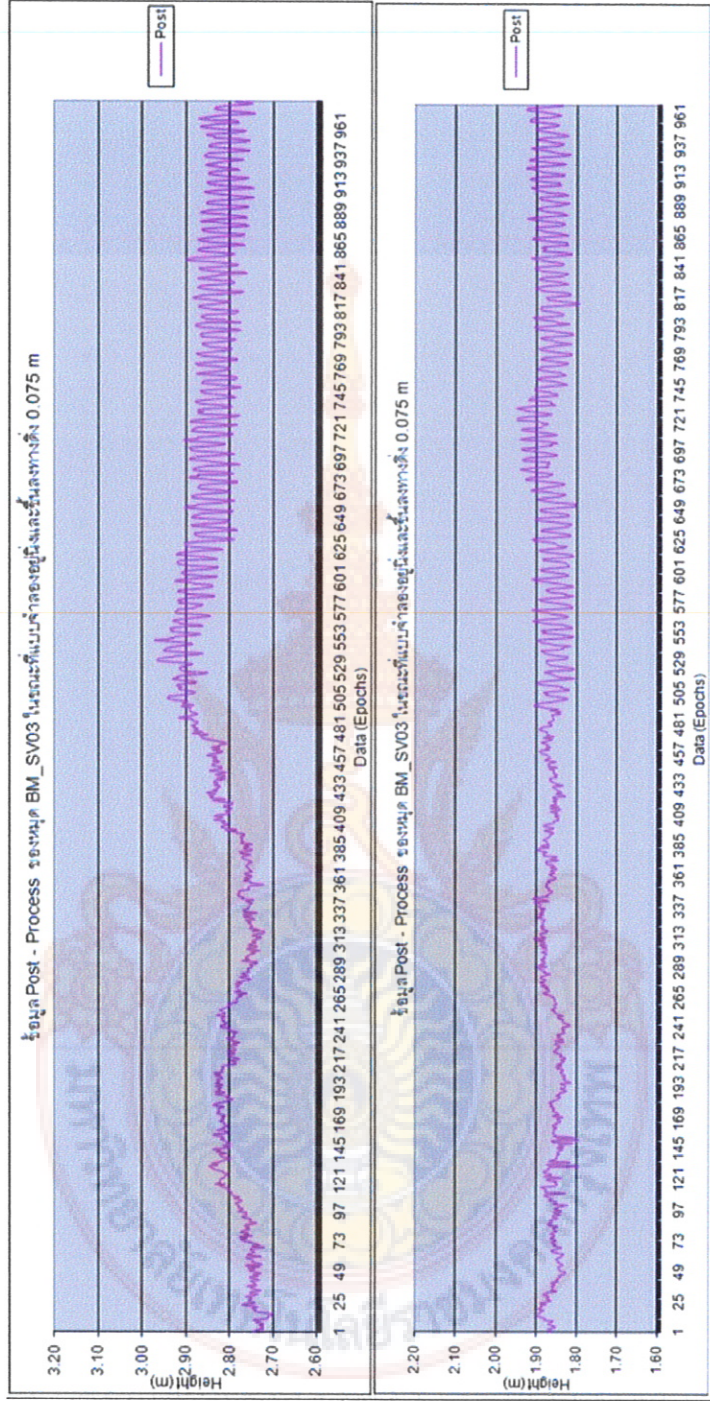




การทดลองที่ 3.2 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมุด BM\_SV03 ครั้งที่ 1 และ 2 ข้อมูลแบบ Real\_Time เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.185 ม. ในการทดสอบเมื่อวันที่ 21 สค. 52 ตามลำดับ



การทดลองที่ 3.1 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมุด BM\_SV03 ครั้งที่ 1 และ 2 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทางดิ่งสูง 0.075 ม. ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ





การทดลองที่ 3.1 ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งที่ตรวจจับได้ ที่หมวด BM\_SV03 ครั้งที่ 1 และ 2 ข้อมูลแบบ Post-Process เมื่อแบบจำลองเคลื่อนที่ขึ้นลงทาง  
ดิ่งสูง 0.185 ม. ในการทดสอบเมื่อวันที่ 6,7,14 สค. 52 ตามลำดับ

