

การทดสอบความสามารถของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสโดยวิธีแบบจลน์ในทันที และวิธีย้อนกลับแบบจลน์ในทันที

Performance Assessment of the Real-Time Kinematic and Inversed Real-Time Kinematic GPS Techniques

เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และ ก้องไกล สรโยธิน

Chalermchon Satirapod and Kongkai Sorayothin

หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีข้อมูลภาพเชิงภูมิศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท

แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

E-mail: chalermchon.s@chula.ac.th; Kongkai_s@hotmail.com

บทคัดย่อ

การติดตามพฤติกรรมการขยับตัวและการโก่งตัวของโครงสร้างที่อ่อนตัว เช่น สะพานช่วงยาว ที่น่าเชื่อถือในพื้นที่นั้นเป็นสิ่งทีวิศวกรโยธาให้ความสนใจเป็นอย่างมาก หลายปีมานี้ การติดตามพฤติกรรมการขยับตัวของโครงสร้างทางวิศวกรรมขึ้นกับการใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดอัตราความเร่งและเครื่องวัดอัตราความเร็ว อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือเหล่านี้ยังต้องผ่านขั้นตอนการอินทิเกรตเพื่อให้ได้มาซึ่งการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง ในทางตรงกันข้าม วิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสโดยวิธีแบบจลน์ในทันทีสามารถวัดค่าพิคคิโนสามมิติได้โดยตรง เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่สามารถวัดค่าการเคลื่อนตัวในระดับเซนติเมตรที่มีอัตราถี่ของข้อมูลทุก 0.1 วินาทีหรือถี่กว่า นั้นมีขายในปัจจุบัน ผลการศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสำหรับการติดตามการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง เพื่อที่จะทำการติดตามการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสามารถทำได้อย่างทันทีทันใด จึงมีความจำเป็นที่จะใช้วิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสโดยวิธีแบบจลน์ในทันที ในลักษณะย้อนกลับ คือการกำหนดให้เครื่องที่เคลื่อนตัวเป็นสถานีฐาน และให้เครื่องที่ไม่มีการเคลื่อนตัวเป็นสถานีจร ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินความสามารถของวิธีรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสโดยวิธีแบบจลน์ในทันที และวิธีแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับสำหรับการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลองสะพาน

Abstract

Real-time reliable monitoring of the dynamic and deflection behavior of flexible structures such as long span bridges is of great interest for civil engineer. For many years, monitoring the dynamic behavior of engineering structures has relied on measurements made by

accelerometer and anemometer. However, the response data provided by these instruments require an integration process to arrive at the displacements of structures. On the other hand, the Real-Time Kinematic (RTK) GPS technique can directly measure the 3-d coordinates. GPS receivers with a capability of resolving motion at the centimeter level with sampling rates of 10 Hz and higher are now available. Previous studies demonstrated the feasibility of deploying GPS receivers for the dynamic monitoring of structures. In order to monitor the dynamic of structures in an instantaneous mode, it is necessary to use a Real-Time Kinematic GPS technique in inversed mode – with mobile ‘base station’ and fixed ‘rover’. Thus, this paper aims to assess the performance of Real-Time Kinematic and Inversed Real-Time Kinematic GPS techniques for detecting vertical movements of the Bridge Model.

1. บทนำ

ด้วยความสามารถของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบสองความถี่ในปัจจุบัน ที่สามารถวัดในสามมิติให้มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตร ในการรังวัดแบบสัมพัทธ์โดยวิธีจลน์ และยังสามารถบันทึกค่าพิคคิโนที่มีความถี่ของข้อมูลได้ทุก 0.1 วินาที หรือถี่กว่านั้น ทำให้มีการนำเอาเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง การเคลื่อนที่ของโครงสร้างทางวิศวกรรมไม่ว่าจะเป็นอาคารสูง (e.g. [1], [3], [10]) สะพาน (e.g. [2], [5], [6], [7], [8], [9]) หรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ (e.g. [4], [8]) อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้งานเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่เป็นที่นิยมกันมากคือการนำเอาเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสไปใช้วัดการเคลื่อนตัวของสะพาน (e.g. [2], [5], [6], [7], [8], [9]) ซึ่งผลการศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงถึง

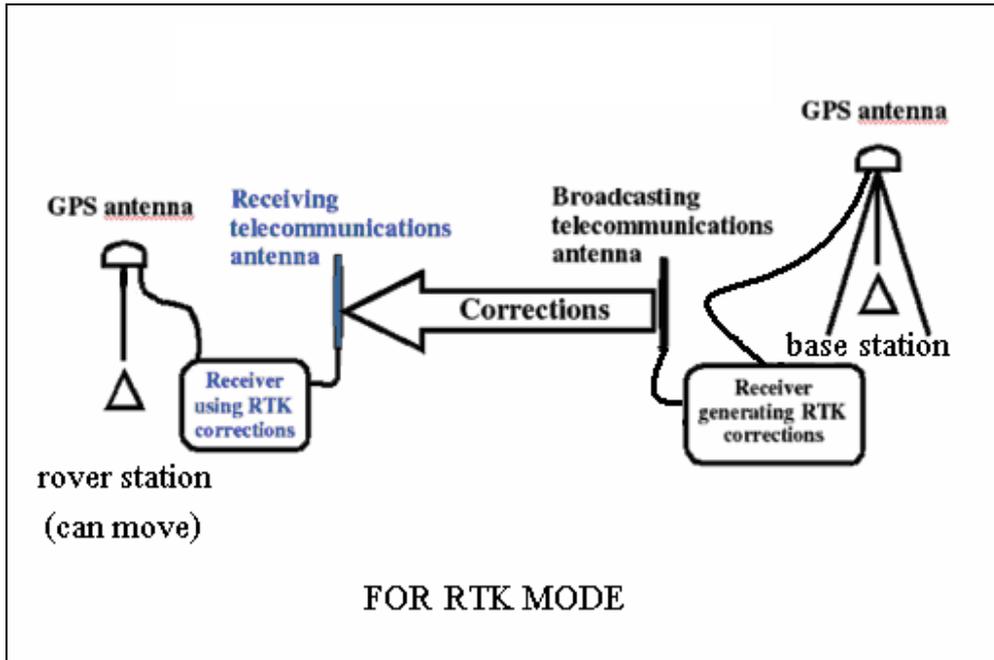
ความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างสะพานในสามมิติโดยที่สะพานเหล่านั้นจะตกอยู่ภายใต้เงื่อนไขของแรงต่างๆที่มากระทำต่อตัวของสะพานไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักของตัวสะพานเอง น้ำหนักของยานพาหนะ หรือแรงลมที่กระทำทางด้านข้างของตัวสะพาน แรงต่างๆ เหล่านี้ที่ผลต่อการเคลื่อนตัวของสะพานได้ในทั้งแกนราบและแกนตั้ง โดยทั่วไปค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางตั้งที่ได้รับจากจีพีเอส จะต่ำกว่าค่าพิกัดทางราบประมาณ 2-3 เท่า [11] หรือประมาณ 1-5 เซนติเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความยาวเส้นฐาน จำนวนดาวเทียม และอื่นๆ ถ้าค่าการเคลื่อนตัวของสะพานที่เกิดขึ้นนี้สามารถถูกตรวจสอบได้หรือถูกวัดค่าได้จะทำให้เกิดประโยชน์มากมายทั้งต่อทีมงานวิศวกรผู้ออกแบบและทีมงานที่ทำหน้าดูแลบำรุงรักษาสะพาน และหากสามารถให้ค่าการเคลื่อนตัวของสะพานได้ในทันทีทันใดก็จะทำให้ง่ายต่อการเฝ้าระวังและติดตามพฤติกรรมของสะพาน วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสวิธีหนึ่งที่เราจะนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจัดการเคลื่อนตัวของสะพานที่สามารถให้ค่าพิกัดได้ทันทีก็คือวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส แบบจลน์ในทันที (Real-Time Kinematic, RTK)

ข้อดีของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีก็คือสามารถแสดงค่าให้ผู้สังเกตการณ์เห็นได้ทันทีและมีความถูกต้องทางตำแหน่งอยู่ในระดับเซนติเมตร ในการที่จะแสดงค่าการเคลื่อนตัวของสะพานได้ในทันทีจำเป็นที่จะต้องส่งข้อมูลค่าพิกัดที่ได้ ณ สถานีรถกลับมายังสถานีฐานซึ่งโดยมากจะถูกติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ข้อมูล อย่างไรก็ตามเอาแนวคิดของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีมาประยุกต์ใช้งานในลักษณะย้อนกลับ (Inversed Real-Time Kinematic, Inversed RTK) โดยทำการติดตั้งเครื่องรับสถานีฐานไว้บนสิ่งที่ต้องการที่จะวัดค่าการเคลื่อนตัว ส่วนเครื่องรับสถานีรถจะถูกติดตั้งอยู่บนจุดที่ไม่มีการเคลื่อนตัวหรือที่ศูนย์ข้อมูล [12] ด้วยลักษณะการติดตั้งดังกล่าวทำให้ลดความจำเป็นที่จะต้องส่งข้อมูลค่าพิกัดที่ได้ ณ สถานีรถกลับมายังสถานีฐาน เนื่องจากเราสามารถที่จะสังเกตค่าการเคลื่อนตัวของสิ่งที่ต้องการทราบได้โดยตรงที่สถานีรถที่ถูกติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ข้อมูล ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการประเมินศักยภาพของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีและวิธีแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ สำหรับการตรวจจัดการเคลื่อนตัวทางตั้งของแบบจำลองสะพาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้วัดค่าการเคลื่อนตัวทางตั้งของสะพานในประเทศไทยต่อไป

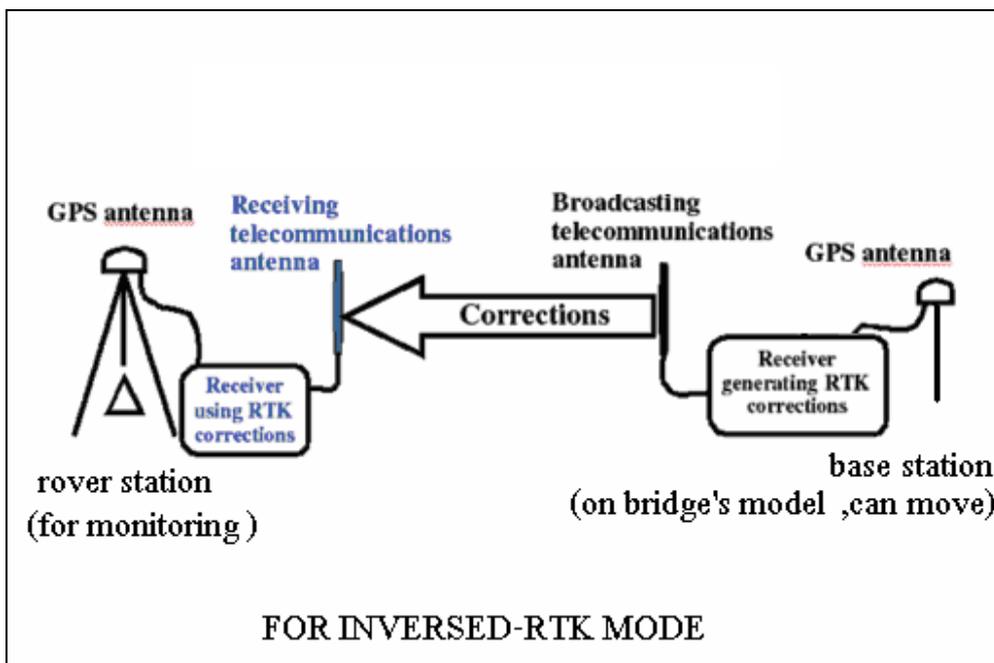
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การที่จะทำให้ความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสอยู่ในระดับเซนติเมตร หรือดีกว่านั้นจำเป็นจะต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัด (Geodetic receiver) อย่างน้อย 2 เครื่อง ในการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสพร้อมกัน แล้วนำข้อมูลที่ได้อามาทำการประมวลผลร่วมกัน ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่าวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative positioning) วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ หลักการทำงานของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีก็คือ เครื่องรับที่สถานีฐาน (Base station) จะอยู่ที่ที่และคอยส่งค่ารังวัดซึ่งรับสัญญาณมาจากดาวเทียมจีพีเอสให้แก่สถานีรถ (Roving station) ซึ่งในขณะที่สถานีรถเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งต่างๆ ก็จะสามารถคำนวณค่าพิกัดของตัวเอง ณ ตำแหน่งนั้นๆ ได้ โดยใช้ข้อมูลที่ส่งมาจากสถานีฐานมาประมวลผลร่วมกันแบบสัมพัทธ์ กับข้อมูลที่ตัวสถานีรถนั้นรับได้ วิธีการส่งข้อมูลจากสถานีฐานไปยังสถานีรถ สามารถทำได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะผ่านคลื่นวิทยุ คลื่นโทรศัพท์ หรืออินเทอร์เน็ต รูปที่ 1 แสดงลักษณะการทำงานของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที จากความต้องการที่จะให้ได้มาซึ่งข้อมูลค่าพิกัดของจุดสถานีรถแบบทันทีทันใดของวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันทีนี้เอง ทำให้เกิดความคิดที่จะทำการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที ในลักษณะย้อนกลับ หรือวิธีแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ ซึ่งวิธีการนี้อาศัยหลักการเดียวกันกับวิธีรังวัดแบบจลน์ในทันที แตกต่างกันตรงที่การติดตั้งเครื่องรับ เครื่องรับที่สถานีฐานจะถูกติดตั้งไว้ที่ที่จะมีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น ส่วนเครื่องรับที่สถานีรถจะถูกติดตั้งไว้ที่จุดที่ไม่มีการเคลื่อนที่ (ดังรูปที่ 2)

ข้อจำกัดของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับมีเพียงสิ่งเดียว คือ จุดที่เป็นสถานีฐานจะต้องมีการเคลื่อนตัวไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดกับค่าพิกัดเริ่มต้นของสถานีฐานทุกๆ 20 เมตรจะมีผลต่อค่าระยะทางระหว่างสถานีฐานและสถานีรถที่คำนวณได้คือไป 1 ในล้านส่วน หรือ part per million (ppm) [12] อย่างไรก็ตามวิธีวัดอุปสรรคในการศึกษานี้คือการนำไปประยุกต์ใช้วัดค่าการเคลื่อนตัวของสะพานแนวตั้ง ซึ่งโดยทั่วไปการเคลื่อนตัวของสะพานในสามมิติจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำกว่า 1 เมตร ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากค่าพิกัดเริ่มต้นของสถานีฐานนั้นถือว่าน้อยมากสามารถสรุปได้ว่าไม่มีผลต่อค่าความถูกต้องของระยะทางระหว่างสถานีฐานและสถานีรถที่คำนวณได้



รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของระบบการวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันที (ดัดแปลงจาก [12])

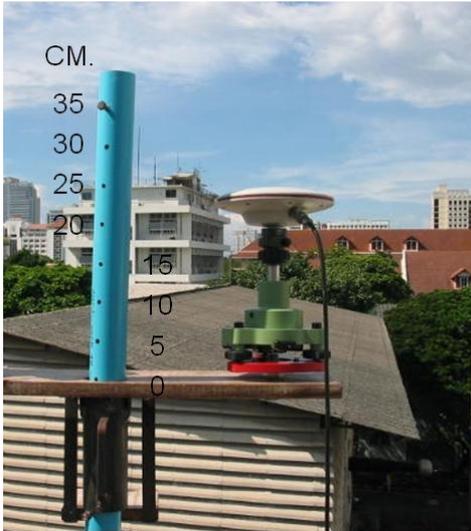


รูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของระบบการวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ

3. การทดลอง

จากหลักการและทฤษฎีที่กล่าวมาในหัวข้อก่อนหน้านี้ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองให้มีการทดสอบประสิทธิภาพของการทำงานทั้งวิธีการวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีและการ

วัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่งสำหรับติดตั้งกับเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบ (ดูรูปที่ 3 ประกอบ) แบบจำลองดังกล่าวสามารถขยับขึ้นลงในแนวดิ่งได้สูงสุด 35 เซนติเมตร



รูปที่ 3 แบบจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่ง

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองในวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2549 บนอาคารฟ้าอาคารศัลยกรรมเนศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างเวลา 15.30-16.00 น. ช่วงเวลาดังกล่าวมีจำนวนดาวเทียม 7 ดวงและมีค่า GDOP เฉลี่ย 3.0 และได้ใช้เครื่องรับแบบรับวัดซีทีโอ Leica รุ่น system 500 ชนิดสองความถี่ และกำหนดให้บันทึกข้อมูลที่ความถี่ 5 Hz หรือทุก 0.2 วินาที จำนวน 2 เครื่อง โดยในขณะที่ทำการทดลองได้แบ่งการทดสอบเป็นสองกรณีคือ วิธีการรับวัดด้วยดาวเทียมจีทีเอสแบบจลน์ในทันทีและการรับวัดด้วยดาวเทียมจีทีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ โดยแต่ละกรณีจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบคือ การทดสอบขณะที่แบบจำลองไม่มีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง และการทดสอบขณะที่แบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่งโดยทำขยับแบบจำลองขึ้นลงให้มีค่าความสูงที่แตกต่างกัน ตารางที่ 1 เป็นการสรุปวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการรับวัดด้วยดาวเทียมจีทีเอส แบบจลน์ในทันทีและการรับวัดด้วยดาวเทียมจีทีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ และเมื่อทำการ

ดาวน์โหลดข้อมูลดิบจากการทดลองและทำการประมวลผลภายหลังจึงสามารถสรุปผลของทั้งสองวิธีไว้ในหัวข้อ 4 และ 5

ตารางที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธี RTK และ Inversed RTK

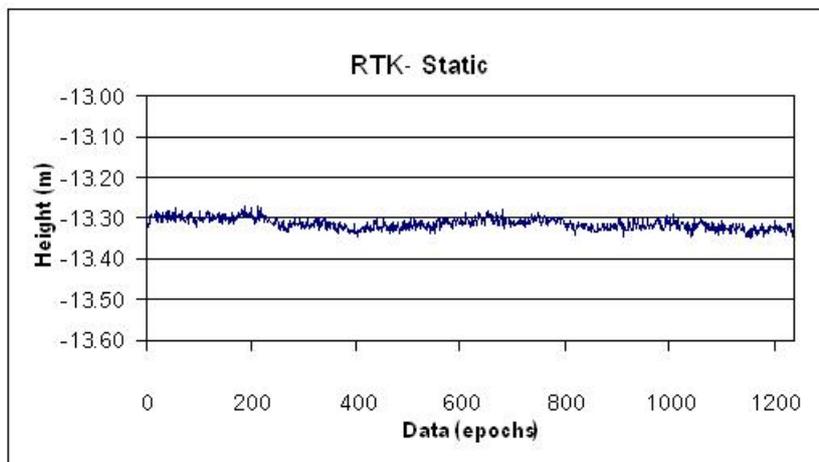
| | แบบจำลองอยู่กับที่ | แบบจำลองมีการเคลื่อนตัว |
|--------------|--------------------|-------------------------|
| RTK | ✓ | ✓ |
| Inversed RTK | ✓ | ✓ |

4. ผลที่ได้จากวิธี RTK

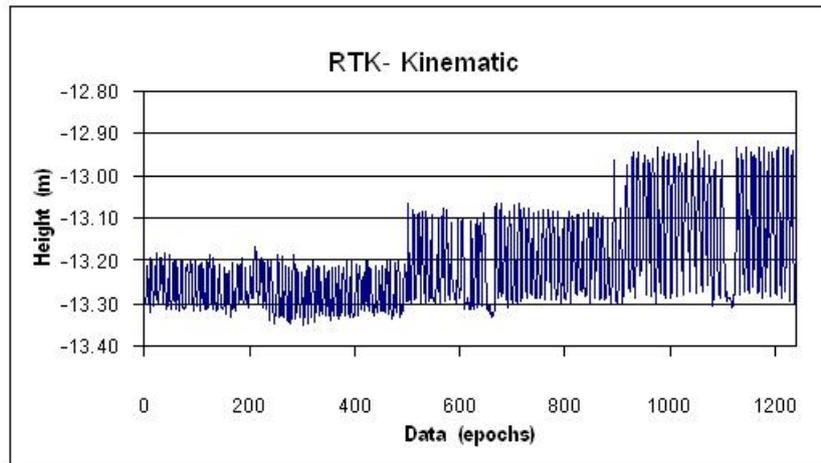
ในกรณีที่เครื่องรับที่สถานีรองรับอยู่กับที่ค่าพิคตทางดิ่งที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 โดยที่แกนนอนคือจำนวนข้อมูลเรียงตามเวลา และแกนดิ่งคือค่าพิคตทางดิ่งและมีหน่วยเป็นเมตร และผลที่ได้จากการทดลอง ในกรณีที่ทำการขยับแบบจำลองขึ้นลงทางดิ่งที่ระดับความสูงที่แตกต่างกัน โดยเริ่มจากระดับความสูงที่ 10 ซม. 20 ซม. และ 35 ซม. ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 โดยที่แกนนอนคือจำนวนข้อมูลแต่ค่าที่ได้เรียงตามเวลา และแกนดิ่งคือค่าพิคตทางดิ่งและมีหน่วยเป็นเมตร

5. ผลที่ได้จากวิธี Inversed RTK

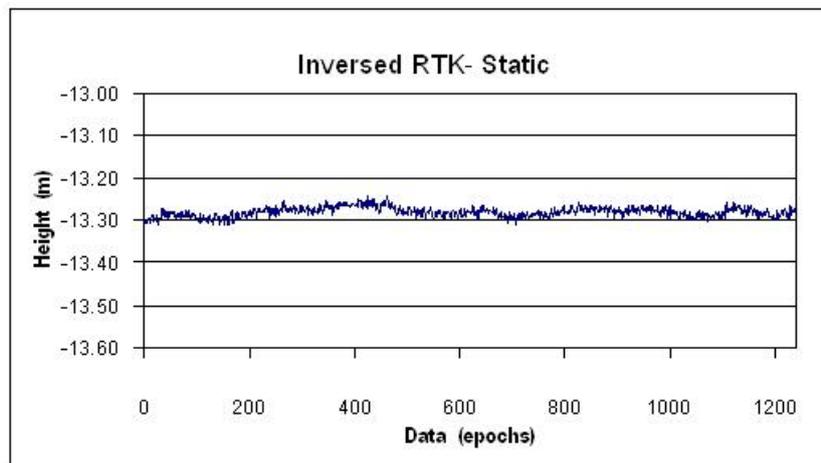
ในกรณีที่เครื่องรับที่สถานีฐานอยู่กับที่ค่าพิคตทางดิ่งที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 โดยที่แกนนอนคือจำนวนข้อมูลเรียงตามเวลา และแกนดิ่งคือค่าพิคตทางดิ่งและมีหน่วยเป็นเมตร และผลที่ได้จากการทดลอง ในกรณีที่ทำการขยับแบบจำลองขึ้นลงทางดิ่งที่ระดับความสูงที่แตกต่างกัน โดยเริ่มจากระดับความสูงที่ 10 ซม. 20 ซม. 25 ซม. และ 35 ซม. ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7



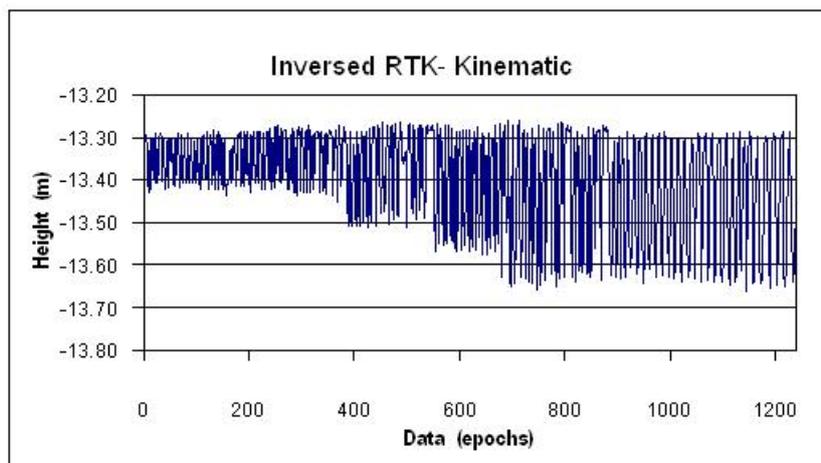
รูปที่ 4 ค่าพิคตทางดิ่งที่ได้จากเครื่องรับซีทีโอ Leica ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองอยู่กับที่



รูปที่ 5 ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จากเครื่องรับยี่ห้อ Leica ด้วยวิธี RTK เมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง



รูปที่ 6 ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จากเครื่องรับยี่ห้อ Leica ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองอยู่กับที่



รูปที่ 7 ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จากเครื่องรับยี่ห้อ Leica ด้วยวิธี Inversed RTK เมื่อแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวทางดิ่ง

6. การวิเคราะห์และอภิปรายผล

จากกราฟรูป 5 และ 7 จะเห็นได้ชัดเจนว่าวิธีการ RTK และ Inversed RTK สามารถตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งได้ และเมื่อนำผลที่ได้จากการ

ทดลองในแต่ละกรณีมาทำการคำนวณค่าทางสถิติต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าทางสถิติที่ได้จากการทดสอบความสามารถของวิธี RTK และ Inversed RTK

| วิธีการทดสอบ | ลักษณะการทดสอบ | ค่าทางสถิติ | | | |
|--------------|-------------------------|----------------|----------------|---------------|-----------|
| | | ค่าต่ำสุด (ม.) | ค่าสูงสุด (ม.) | ค่าพิสัย (ม.) | S.D. (ม.) |
| RTK | แบบจำลองอยู่กับที่ | -13.351 | -13.272 | 0.079 | 0.013 |
| | แบบจำลองมีการเคลื่อนตัว | -13.351 | -12.921 | 0.430 | 0.101 |
| Inversed RTK | แบบจำลองอยู่กับที่ | -13.312 | -13.243 | 0.069 | 0.011 |
| | แบบจำลองมีการเคลื่อนตัว | -13.663 | -13.260 | 0.403 | 0.109 |

เมื่อพิจารณาค่าที่แสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ที่ได้จากวิธี RTK และ Inversed RTK ทั้งกรณีแบบจำลองอยู่กับที่และมีการเคลื่อนตัวนั้นให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของวิธีการทั้งสองวิธีนั้นไม่แตกต่างกัน ในกรณีทดสอบที่กำหนดให้แบบจำลองอยู่กับที่ จะพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ที่ระดับประมาณ 1 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงค่าพิสัยจะพบว่าวิธี RTK ให้ค่า 7.9 และวิธี Inversed RTK ให้ค่า 6.9 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณาถึงค่าพิสัยในกรณีทดสอบที่กำหนดให้แบบจำลองมีการเคลื่อนตัว โดยขณะทำการทดสอบผู้ขับแบบจำลองได้ทำการขับแบบจำลองขึ้นลงสูงสุด 0.35 เมตร แต่ค่าพิสัยที่ได้นั้นมีขนาด 43.0 และ 40.3 เซนติเมตร สำหรับวิธี RTK และ Inversed RTK ตามลำดับ

7. บทสรุป

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินความสามารถของวิธีการรับวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีและวิธีการรับวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีย้อนกลับ สำหรับตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแบบจำลอง ผลจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าประสิทธิภาพของวิธีการทั้งสองวิธีนั้นไม่แตกต่างกัน และวิธีการทั้งสองสามารถนำมาใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนตัวทางดิ่งได้ แต่ค่าความต่างตามแนวแกนดิ่งที่ตรวจจับได้นั้นยังมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ ซึ่งถ้าหากผู้ใช้ต้องการนำข้อมูลจากเครื่องรับไปใช้จริง จะต้องตระหนักถึงค่าความถูกต้องของค่าพิสัยที่ได้รับก่อนที่จะนำวิธีการทั้งสอง ดังนั้นงานวิจัยที่คณะผู้วิจัยจะดำเนินการต่อไปในอนาคตจะเป็นการหากระบวนการกรองค่าสัญญาณรบกวน (Noise) ที่มีอยู่ในข้อมูล เพื่อให้ค่าการเคลื่อนตัวทางดิ่งซึ่งตรวจจับได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสมีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีข้อมูลภาพเชิงภูมิศาสตร์ ภายใต้ทุนวิจัยกองทุนรัชดาภิเษก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lovse, J., W.F. Teskey, G. Lachapelle & M.E. Cannon (1995) Dynamic deformation monitoring of tall structures using GPS technology, *Journal of Surveying Engineering*, 121(1), 35-40.
- [2] Ashkenazi, V., H. Dodson, T. Moore & G.W. Roberts (1997) Monitoring the movements of bridges by GPS, *10th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation*, Kansas City, Missouri, 16-19 September, 1165-1172.
- [3] Guo, J., & S. Ge (1997) Research of displacement and frequency of tall building under wind loading using GPS, *10th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation*, Kansas City, Missouri, 16-19 September, 1385-1388.
- [4] Celebi, M., W. Prescott, R. Stein, K. Hudnut, J. Behr & S. Wilson (1998) Structural monitoring using GPS, *11th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation*, Nashville, Tennessee, 15-18 September, 929-935.
- [5] Roberts, G.W., A.H. Dodson & V. Ashkenazi (1999) Twist and deflect: monitoring motion of the Humber Bridge, *GPS World*, October, 24-34.

- [6] Roberts, G.W., X. Meng & A.H. Dodson (2000) Structural dynamic and deflection monitoring using integrated GPS and triaxial accelerometers, *13th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation*, Salt Lake City, Utah, 19-22 September, 59-68.
- [7] Nakamura, S. (2000) GPS Measurement of Wind-Induced Suspension Bridge Girder Displacement, *Journal of Structural Engineering*, 126(12), 1413-1419.
- [8] Ogaja, C. (2001) On-line GPS integrity monitoring and deformation analysis for structural monitoring applications, *14th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation*, Salt Lake City, Utah, 11-14 September.
- [9] Wong, K., Man, K. & Chan, W. (2001) Monitoring Hong Kong's Bridges Real-Time Kinematic Span the Gap, *GPS World*, July, 10-18.
- [10] Tamura, Y., Matsui, M., Pagnini, L.-C., Ishibashi, R. & Yoshida, A. (2002) Measurement of wind-induced response of buildings using RTK-GPS, *J. Wind Eng. and Industrial Aerodynamics*, 90, 1783-1793.
- [11] Rizos, C. (1997) *Principles and Practice of GPS surveying*, Monograph 17, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, 555pp.
- [12] Lambert, M. & Santerre, R. (2004) Speed Check Performance Monitoring with RTK GPS, *GPS World*, February, 14-23.