การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้นทุนต่ำ สำหรับนำมาใช้ในการเฝ้าติดตามแผ่นดินถล่ม

The Positioning Accuracy Assessment of Low-Cost GNSS Receiver for the Use of Landslide Monitoring.

พรชัย พรชัยพูลทวี, พุทธิพล ดำรงชัย*, เขตโสภณ ภิญโญ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
**Corresponding author; E-mail address: puttipol.d@cmu.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบดาวเทียมแบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Navigation Satellite System: GNSS) ได้ถูกนำมาใช้ในการเฝ้าติดตามแผ่นดินถล่มอย่างแพร่หลาย โดยนำเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสัมพัทธ์และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบยีออเดติกมาใช้ในการรังวัด ทำให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งสูง แต่อย่างไรก็ตามการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบยีออเดติกมาใช้ในการเฝ้าติดตามแผ่นดินถล่มยังมีข้อจำกัดอยู่ คือราคาที่ค่อนข้างสูง ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้นทุนต่ำซึ่งประกอบขึ้นจากบอร์ดรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ u-blox ที่มีโมดูล ZED-F9P และจานรับสัญญาณราคาประหยัด โดยได้เลือกใช้เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic : RTK) ซึ่งมีจุดเด่นคือสามารถให้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงได้แบบทันทีทันใด ผู้วิจัยจำลองการเคลื่อนตัวของแผ่นดินจากการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้นทุนต่ำและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบยีออเดติกมาติดตั้งบนเสาทดสอบที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวราบและแนวดิ่ง จากนั้นแบ่งการทดสอบออกเป็นการเคลื่อนตัวแนวราบ และการเคลื่อนตัวแนวดิ่ง เพื่อนำค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ทั้งสองประเภทมาประเมินและเปรียบเทียบความถูกต้องกับค่าการเคลื่อนตัวที่แท้จริง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้นทุนต่ำให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งดีกว่าระดับเซนติเมตรและมีความถูกต้องด้อยกว่าเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบยีออเดติกเล็กน้อย

คำสำคัญ: จีเอ็นเอสเอส, อาร์ทีเค, การเคลื่อนตัวของแผ่นดิน

Abstract

The Global Navigation Satellite System (GNSS) is widely used for monitoring landslide because relative survey techniques and geodetic GNSS receivers' performance can provide high positioning accuracy. However, due to their high cost, geodetic GNSS receivers have limitations for landslide monitoring. This research evaluates positioning accuracy using low-cost GNSS receivers with u-blox ZEDF9P receiver boards and antennas. The study employs the real-time kinematic (RTK) survey technique, providing accurate real-time positions. We simulated land displacements using a low-cost GNSS receiver and a geodetic GNSS receiver set on pillars that could be moved horizontally and vertically. The tests were conducted in horizontal and vertical displacements to evaluate and compare the results from the low-cost and geodetic GNSS receivers with the actual displacements. The test results showed that the low-cost GNSS receiver provides better centimeter-level positioning accuracy and has slightly inferior accuracy than the geodetic GNSS receiver.

Keywords: GNSS, RTK, Land movement

1. บทนำ

แผ่นดินถล่ม (Landslide) ถือเป็นภัยพิบัติธรรมชาติที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมาก และยากที่จะคาดการณ์การเกิดล่วงหน้าเพราะมีตัวแปรในการทำให้เกิดแผ่นดินถล่มมากมาย ไม่ว่าจะเป็นลักษณะทางกายภาพของชั้นดิน กิจกรรมต่างๆที่มนุษย์ทำบริเวณนั้น และสาเหตุอื่นๆ นอกจากนี้พื้นที่ที่มีแนวโน้มจะเกิดแผ่นดินถล่มยังมีความอันตรายเนื่องจากไม่สามารถคาดการณ์ความยาว ความกว้าง และปริมาตรที่จะถล่มได้

จากการศึกษาการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมขั้นสูงมาใช้เฝ้าระวังแผ่นดินถล่มแทนอุปกรณ์สำรวจจำพวกกล้องประมวลผลรวมอัตโนมัติ (Total Station) เครื่องวัดความเอียง (Inclinometer) หรืออุปกรณ์สำรวจอื่นๆ พบว่าเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมขั้นสูงสามารถให้ความถูกต้องใกล้เคียงกับอุปกรณ์สำรวจที่กล่าวมา และยังมีข้อได้เปรียบกว่าตรงที่

สามารถรังวัดได้ในทุกสภาพอากาศ ให้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องได้ตลอดเวลา และลดความเสี่ยงต่อผู้ที่เข้าไปทำการรังวัด [1-3] ซึ่งปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมได้ถูกพัฒนาขึ้นให้มีราคาที่ถูกลง แต่ยังสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้หลายระบบ หลายความถี่ และมีความสามารถในการประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าพิกัดแบบเรียลไทม์ จึงสามารถใช้เทคนิคที่เรียกว่าการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic Survey : RTK) ซึ่งมีความเหมาะสมอย่างมากในการนำไปใช้เฝ้าติดตามเพื่อเฝ้าระวังแผ่นดินถล่ม ที่ต้องการค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงแบบทันทีทันใดและสามารถให้ข้อมูลค่าพิกัดได้ตลอดเวลา [4-7]

ในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้นทุนต่ำซึ่งประกอบขึ้นจากบอร์ดรับสัญญาณต้นทุนต่ำ รายละเอียดวิธีการดำเนินการอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ ผลการทดสอบ และสรุปผลการศึกษาพร้อมข้อเสนอแนะ จะกล่าวในหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้

2. วิธีการดำเนินการและอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้นทุนต่ำซึ่งประกอบขึ้นจากบอร์ดรับสัญญาณยี่ห้อ u-blox โมดูล ZED-F9P และจานรับสัญญาณราคาประหยัด 2 ชนิด ได้แก่ จานรับสัญญาณยี่ห้อ u-blox รุ่น ANN-MB และจานรับสัญญาณยี่ห้อ ArduSimple รุ่น ANT2B โดยผลิตเสาทดสอบที่สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งแนวราบและแนวดิ่งที่ติดสเกลบาร์สำหรับอ่านค่าการเคลื่อนตัวที่แท้จริง เพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของแผ่นดินโดยนำเครื่องรับสัญญาณแบบยีออเดติก และเครื่องรับสัญญาณแบบต้นทุนต่ำที่ใช้เสาอากาศแตกต่างกันมาติดตั้งบนเสาดังกล่าว จากนั้นเปิดเครื่องรับสัญญาณเพื่อคำนวณค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงด้วยวิธีการรังวัดแบบ RTK และบันทึกข้อมูลค่าพิกัดทุกๆ 1 วินาที แล้วเริ่มจำลองการเคลื่อนตัวของแผ่นดินโดยการเลื่อนรางทดสอบในแนวราบและแนวดิ่ง หลังจากนั้นค่าพิกัดที่ได้จะถูกแปลงเป็นค่าการเคลื่อนตัวในลักษณะค่าการเคลื่อนตัวแบบสัมพัทธ์ คือการอ้างอิงค่าพิกัดที่มีการเคลื่อนตัวเทียบกับค่าพิกัดตำแหน่งเริ่มต้น จากนั้นนำค่าการเคลื่อนตัวที่รังวัดได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ทั้งสองชนิดมาประเมินความถูกต้องโดยใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error : RMSE) โดยถือว่าค่าการเคลื่อนตัวที่อ่านได้จากสเกลบาร์เป็นค่าที่ถูกต้อง

2.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบยีออเดติกและแบบต้นทุนต่ำ

รูปที่ 1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบยีออเดติก ยี่ห้อ CHC รุ่น i80

2.1.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบยีออเดติก

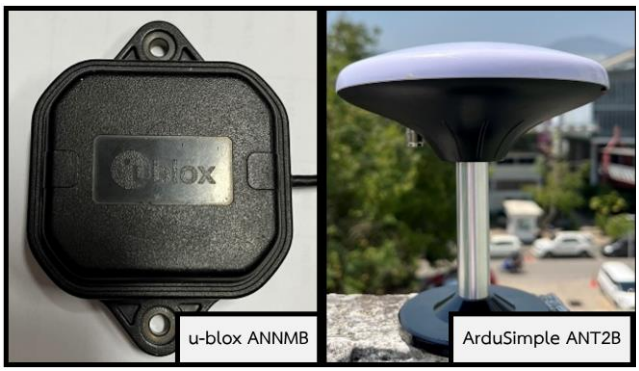
เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบยีออเดติก ชนิดหลายความถี่ประกอบไปด้วยจานรับสัญญาณดาวเทียมแบบยีออกเดติกยี่ห้อ CHC รุ่น i80 สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ 4 ระบบ ได้แก่ GPS, Galileo, GLONASS และ Beidou และรีโมทย์คอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งซอฟต์แวร์ประมวลผลค่าพิกัดที่มีความถูกสูง Landstar 7 ซึ่งสามารถให้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องจากการใช้เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบ RTK ทางราบอยู่ที่ 8 มิลลิเมตร และทางดิ่งอยู่ที่ 15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 (https://chcnav.es/es/productos/i80-gnss)

รูปที่ 2 บอร์ดรับสัญญาณดาวเทียมต้นทุนต่ำ u-blox โมดูล ZED-F9P

2.1.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้นทุนต่ำ

บอร์ดรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้นทุนต่ำ ชนิดหลายความถี่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ 4 ระบบ เช่นเดียวกันกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบยีออเดติก ยี่ห้อ u-blox ที่มีโมดูล ZED-F9P ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นโมดูลที่ผลิตมาใช้สำหรับประมวลผลค่าพิกัดแบบ RTK โดยเฉพาะ มีความถูกต้องเมื่อใช้เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบ RTK ทางราบและทางดิ่งอยู่ที่ระดับเซนติเมตรโดยประมาณ (https://www.sparkfun.com/products) นำมาประกอบเข้ากับจานรับ

สัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ u-blox รุ่น ANNMB และจานรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ ArduSimple รุ่น ANT2B ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 จานรับสัญญาณดาวเทียมต้นทุนต่ำ

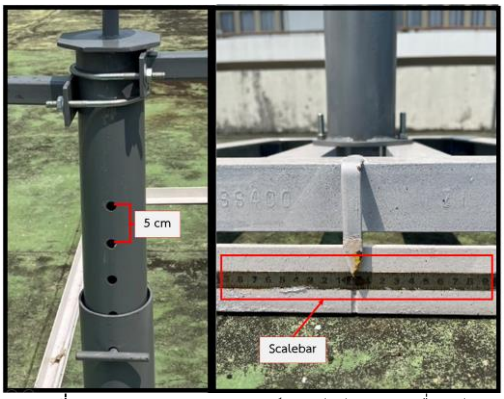
2.2 สถานีอ้างอิงถาวร

สถานีอ้างอิงถาวรที่ติดตั้งอยู่บนดาดฟ้าอาคารสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท CHC NAVTECH THAILAND CO., LTD (CHCNAV) ในการนำมาใช้สำหรับศึกษาวิจัยทางด้านการสำรวจด้วยดาวเทียม ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งมีค่าพิกัดอ้างอิงจากการรับสัญญาณดาวเทียมตลอดเวลาโดยใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น C220GR ซึ่งประมวลผลเป็นโครงข่ายร่วมกับสถานีอ้างอิงอื่นๆในประเทศไทยของบริษัท CHCNAV เพื่อนำมาใช้เป็นสถานีฐานสำหรับรับส่งค่าปรับแก้ค่าพิกัดสำหรับใช้เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบ RTK เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูง

รูปที่ 4 สถานีอ้างอิงถาวรบนดาดฟ้าอาคารสำรวจภาควิชาวิศวกรรมโยธา

2.3 เสาและรางทดสอบสำหรับใช้จำลองการเคลื่อนตัว

เสาทดสอบจะถูกติดตั้งอยู่บนรางเลื่อนมีลักษณะดังรูปที่ 5 ที่ตัวเสามีช่องที่เจาะไว้ทั้งหมด 8 ช่อง แต่ละช่องห่างกัน 5 เซนติเมตร และมีสลักสำหรับใช้ล็อคเพื่อจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่ง ส่วนที่รางเลื่อนจะมีสเกลบาร์ความละเอียด 1 มิลลิเมตรติดตั้งไว้ ใช้สำหรับเลื่อนเพื่อจำลองการเคลื่อนตัวในระนาบราบ



รูปที่ 5 เสาทดสอบและสเกลบาร์สำหรับอ่านการเคลื่อนตัว

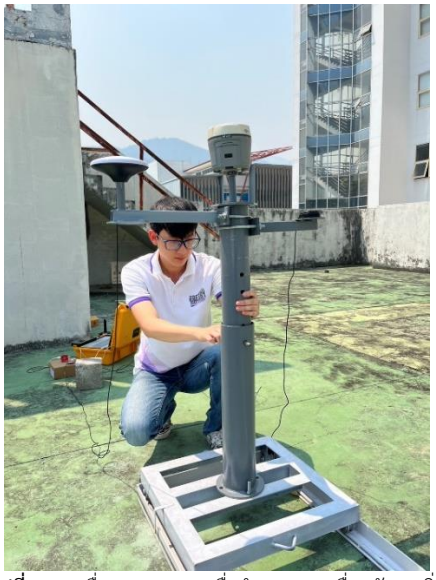
2.4 วิธีการเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลค่าพิกัดจากเครื่องรับสัญญาณทั้งสองแบบ เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงและได้ค่าพิกัดแบบทันทีทันใด ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลนในทันที (RTK) ซึ่งเป็นการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปมาทำการรับสัญญาณในช่วงเวลาเดียวกัน น่านฟ้าเดียวกัน โดยต้องมีหนึ่งเครื่องตั้งอยู่บนจุดที่ทราบค่าพิกัดแน่นอน เรียกว่า สถานีฐาน และอีกเครื่องตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดเรียกว่า สถานีจร และทั้งสองสถานีจะทำการติดต่อกันเพื่อรับส่งค่าปรับแก้สำหรับคำนวณให้ค่าพิกัดมีความถูกต้องสูง ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้สถานีฐานบนดาดฟ้าอาคารสำรวจ และนำเครื่องรับสัญญาณทั้งสามรูปแบบไปติดตั้งบนเสาทดสอบดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 (เรียกว่าสถานีจร) จากนั้นเริ่มบันทึกข้อมูลค่าพิกัดทุกๆ 1 วินาที พร้อมกับจำลองการเคลื่อนตัวของแผ่นดินโดยใช้เสาทดสอบ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แนวแกน ดังนี้

รูปที่ 6 การเลื่อนรางทดสอบเพื่อจำลองการเคลื่อนตัวทางราบ

2.4.1 การทดสอบการเคลื่อนตัวทางราบ

ทำการล็อคช่องทางดิ่งให้เสาอยู่นิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ทางดิ่ง เลื่อนรางทดสอบไปที่ตำแหน่งเริ่มต้น (ถือว่าตำแหน่งนี้มีค่าการเคลื่อนตัวเท่ากับ 0 เซนติเมตร) แล้วเริ่มบันทึกข้อมูลค่าพิกัดโดยใช้ความถี่ทุกๆ 1 วินาทีจนครบ 1 นาที จากนั้นเลื่อนไปยังตำแหน่ง 5 เซนติเมตรจากจุดเริ่มต้น แล้วค้างไว้ที่ตำแหน่งนี้ จนกระทั่งครบ 1 นาที จึงเลื่อนไปยังตำแหน่ง 10 เซนติเมตรต่อและค้างไว้เหมือนเดิม ทำแบบนี้ซ้ำตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้นจนกระทั่งถึงตำแหน่งที่ 50 เซนติเมตร (0,5,10,15,.....,50 เซนติเมตร)



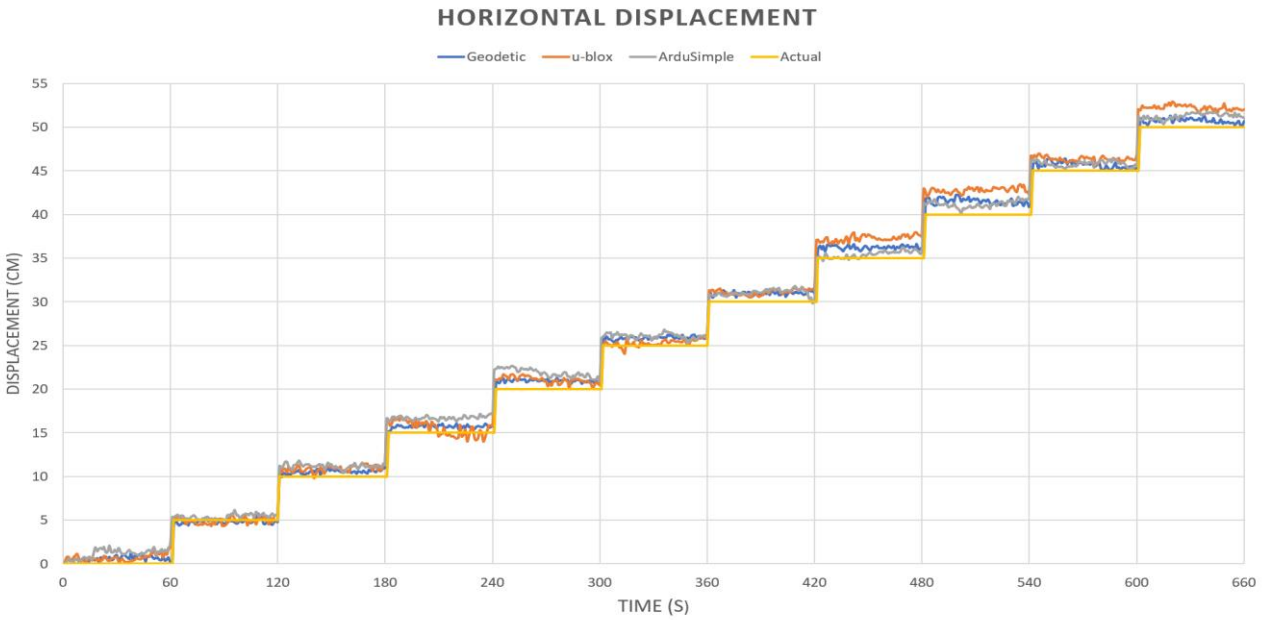
รูปที่ 7 การเลื่อนรางทดสอบเพื่อจำลองการเคลื่อนตัวทางดิ่ง

2.4.2 การทดสอบการเคลื่อนตัวทางดิ่ง

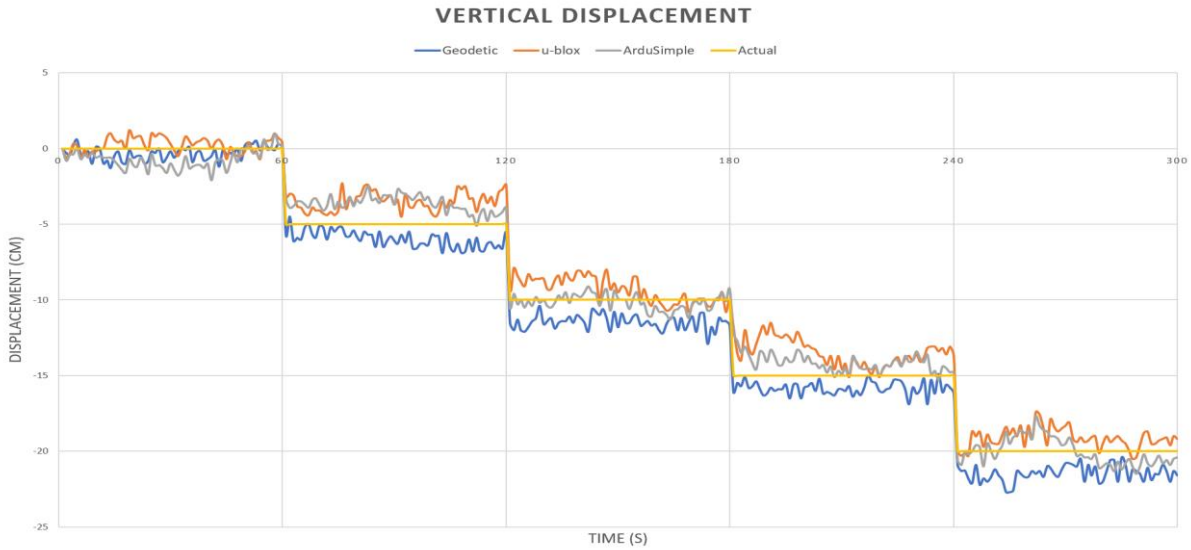
เลื่อนเสาทดสอบไปบริเวณขอบรางเพื่อให้รางเลื่อนล็อคไม่สามารถเคลื่อนที่ในแนวราบได้ จากนั้นเลื่อนเสาทดสอบในแนวดิ่งให้อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น (ถือว่าตำแหน่งนี้มีค่าการเคลื่อนตัวเท่ากับ 0 เซนติเมตร) แล้วเริ่มบันทึกข้อมูลค่าพิกัดโดยใช้ความถี่ทุกๆ 1 วินาทีจนครบ 1 นาที จากนั้นปลดล็อคสลักเพื่อเลื่อนเสาทดสอบลงมา 5 เซนติเมตร (1 ช่อง) แล้วค้างไว้จนกระทั่งครบ 1 นาที จึงเลื่อนลงไปตำแหน่ง 10 เซนติเมตรต่อ และค้างไว้เหมือนเดิม ทำแบบนี้ซ้ำตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้นจนกระทั่งถึงตำแหน่งที่ 20 เซนติเมตร (0,5,10,15,20 เซนติเมตร)

3. การประเมินผลและเปรียบเทียบความถูกต้อง

จากการเก็บข้อมูลค่าพิกัดผ่านเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในหัวข้อที่ 2.4 ผู้วิจัยนำข้อมูลค่าพิกัดที่ได้มาแปลงเป็นค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ โดยอ้างอิงจากพิกัด ณ ตำแหน่งเริ่มต้น โดยจะใช้เพียงข้อมูลค่าพิกัดที่มีสถานะ Fixed Solution เท่านั้น โดยแบ่งเป็นค่าการเคลื่อนตัวทางราบและทางดิ่ง ดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9 ตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเคลื่อนตัวที่มีการจำลองให้เคลื่อนที่ทุกๆ 5 เซนติเมตรภายใน 1 นาที ซึ่งค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบยีออเดติก และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบต้นทุนต่ำที่ใช้จานรับสัญญาณทั้งสองชนิด สามารถให้ค่าการเคลื่อนตัวทางราบและทางดิ่งที่มีลักษณะเกาะกลุ่มใกล้เคียงกับค่าการเคลื่อนตัวจริงที่อ่านได้จากสเกลบาร์



รูปที่ 8 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวทางราบของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแต่ละประเภท

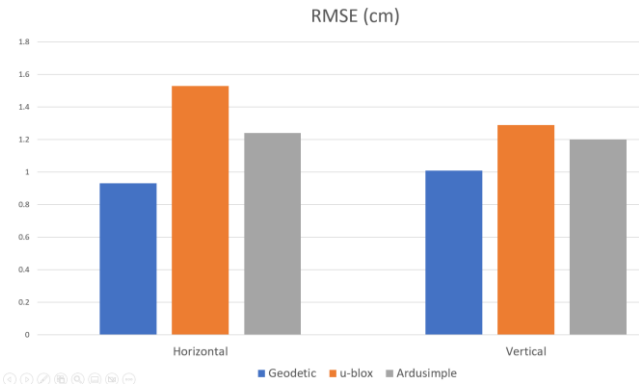


รูปที่ 9 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวทางดิ่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแต่ละประเภท

จากนั้นคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ของค่าการเคลื่อนตัวที่ได้เพื่อใช้ในการประเมินความถูกต้องดังสมการที่ (1)

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_T)^2}{n}} \qquad (1)$$

โดยที่ x_i คือค่าการเคลื่อนตัวที่ประมวลผลมาจากค่าพิกัดจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และ x_T คือค่าการเคลื่อนตัวจริงที่วัดอ่านจากสเกลบาร์ พบว่าความถูกต้องทางราบของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบยีออเดติกและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมต้นทุนต่ำที่ใช้จานรับสัญญาณยี่ห้อ u-blox และจานรับสัญญาณยี่ห้อ ArduSimple มีค่า RMSE เท่ากับ 0.93, 1.53 และ 1.24 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนความถูกต้องทางดิ่ง มีค่าเท่ากับ 1.01, 1.29 และ 1.20 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 10 และตารางที่ 1



รูปที่ 10 กราฟค่า RMSE ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแต่ละรูปแบบ

ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมต้นทุนต่ำสามารถให้ความถูกต้องสูงถึงในระดับเซนติเมตร มีความใกล้เคียงกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบยีออเดติก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการนำไปใช้เฝ้าติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นดินแทนเครื่องรับสัญญาณยีออเดติกที่มีราคาค่อนข้างสูง ซึ่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมต้นทุนต่ำที่ใช้จานรับสัญญาณ ArduSimple ให้ความถูกต้องดีกว่า u-blox ประมาณร้อยละ 32 เมื่อเทียบกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบยีออเดติกในทางราบ อย่างไรก็ตามความถูกต้องทางดิ่งของเครื่องรับสัญญาณต้นทุนต่ำทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

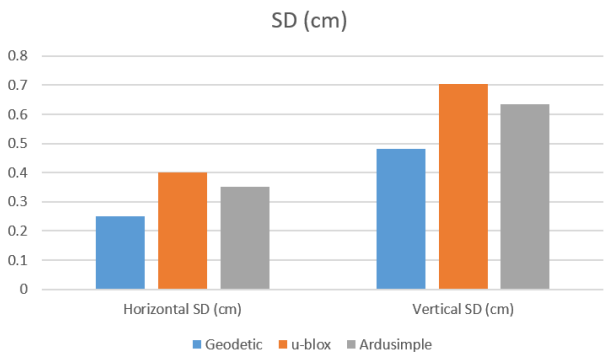
ตารางที่ 1 ค่า RMSE ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแต่ละรูปแบบ

	Horizontal RMSE (cm)	Vertical RMSE (cm)
Geodetic	0.93	1.01
u-blox	1.53	1.29
Ardusimple	1.24	1.20

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของค่าการเคลื่อนตัวเพื่อดูความเกาะกลุ่มของของค่าการเคลื่อนตัว ดังสมการที่ (2)

$$\mathrm{SD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (2)$$

โดยที่ x_i คือค่าการเคลื่อนตัวที่ประมวลผลมาจากค่าพิกัดจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และ $\bar{x}$ คือค่าเฉลี่ยจากค่าการเคลื่อนตัวจริงที่วัดอ่านจากสเกลบาร์พบว่า ค่า SD ทางราบของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบยีออเดติก และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมต้นทุนต่ำที่ใช้จานรับสัญญาณยี่ห้อ u-blox และจานรับสัญญาณยี่ห้อ ArduSimple มีค่าเท่ากับ 0.25, 0.40 และ 0.35 เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนทางดิ่งมีค่าเท่ากับ 0.48, 0.71 และ 0.64 เซนติเมตรตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 กราฟค่า SD ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแต่ละรูปแบบ

จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความเกาะกลุ่มของข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าเครื่องรับสัญญาณต้นทุนต่ำที่ใช้จานรับสัญญาณ u-blox มีความเกาะกลุ่มของข้อมูลน้อยที่สุดแต่ก็อยู่ในระดับเซนติเมตร ซึ่งมีสาเหตุมาจากรูปร่างจานรับสัญญาณของ u-blox เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมทำให้เมื่อนำไปวางบนฐานเกิดความคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี (multipath) ทำให้ค่าการเคลื่อนตัวที่วัดได้มีความแม่นยำต่ำกว่าเครื่องรับสัญญาณรูปแบบอื่น แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีความแม่นยำสูงในระดับเซนติเมตร

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาพบว่าค่าการเคลื่อนตัวที่คำนวณได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบยีออเดติก และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมต้นทุนต่ำที่ใช้จานรับสัญญาณต่างยี่ห้อกัน สามารถให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางดิ่งได้ดีในระดับเซนติเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณต้นทุนต่ำมีความถูกต้องเพียงพอสำหรับนำมาใช้ในงานเฝ้าติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นดิน และเนื่องจากพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดแผ่นดินถล่ม อาจทำให้อุปกรณ์ที่นำไปเฝ้าระวังเสียหาย เมื่อเทียบกับกับราคาที่ถูกกว่าเครื่องรับสัญญาณแบบยีออเดติกเป็นอย่างมากจึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้เฝ้าติดตามแผ่นดินถล่ม อีกทั้งด้วยการใช้เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบ RTK สามารถให้ข้อมูลค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงได้ตลอดเวลา ทำให้สามารถเก็บข้อมูลไปใช้วิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของพื้นที่ขนาดใหญ่อย่างเหมืองถ่านหิน หรือกองดินขนาดใหญ่เพื่อศึกษาและหาแนวทางการป้องกันเพื่อลดความเสียหายลงได้มหาศาล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสามรูปแบบบนดาดฟ้าอาคารสำรวจ แม้ว่าบริเวณทิศเหนือมีอาคาร 30 ปีของคณะวิศวกรรมศาสตร์บดบังน่านฟ้าทางทิศเหนือทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมที่โคจรทางด้านทิศเหนือได้ แต่ค่าพิกัดที่นำมาประมวลผลยังมีความถูกต้องสูงถึงระดับเซนติเมตร ซึ่งมีสาเหตุมาจากสถานีฐานอยู่ใกล้กับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเป็นอย่างมาก (เส้นฐาน 6 เมตร) ซึ่งหากนำไปในพื้นที่ที่ไกลจากสถานีฐานมากขึ้น ความถูกต้องของค่าพิกัดย่อมลดลงตามความยาวของเส้นฐาน จึงควรใช้ข้อมูลที่มากขึ้นเพื่อมาประมวลผลเป็นค่าพิกัด 1 ครั้ง เช่น นำข้อมูลทุกๆ 3 ถึง 5 วินาที หรือมากกว่า มาทำการเฉลี่ยเพื่อให้ข้อมูลค่าพิกัดที่ได้มีความน่าเชื่อถือ

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเก็บข้อมูลค่าพิกัดโดยให้เครื่องรับสัญญาณหยุดนิ่งอยู่กับที่ตั้งแต่ช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. พบว่าในช่วงเวลา 14.00 น. การเรียงตัวของดาวเทียมบริเวณดาดฟ้าอาคารสำรวจไม่ค่อยดีในเชิงเรขาคณิตดาวเทียม โดยประเมินได้จากค่า HDOP (Horizontal Dilution of Precision) ทำให้ค่าการเคลื่อนตัวทางราบที่รังวัดได้ในช่วงเวลาที่ 420 เป็นต้นไปค่าการเคลื่อนตัวสูงกว่าความเป็นจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท CHC NAVTECH THAILAND CO., LTD ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลและรายละเอียดวิธีใช้งานสถานีฐานบนดาดฟ้าอาคารวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จนได้ค่าปรับแก้จากสถานีฐานเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Bertacchini, E., Capitani, A., Capra, A., Castagnetti, C., Corsini, A., Dubbini, M., & Ronchetti, F. (2009). Integrated surveying system for landslide monitoring, Valoria landslide (Appennines of Modena, Italy). *In FIG Working Week 2009-Surveyors Key Role in Accelerated Development (pp. 1-11).* FIG Federation Internationale des Geometres.

[2] Zhu, X., Xu, Q., Zhou, J., & Deng, M. (2012). Remote landslide observation system with differential GPS. *Procedia Earth and Planetary Science*, 5, 70-75.

[3] Calcaterra, S., Cesi, C., Di Maio, C., Gambino, P., Merli, K., Vallario, M., & Vassallo, R. (2012). Surface displacements of two landslides evaluated by GPS and inclinometer systems: a case study in Southern Apennines, Italy. *Natural hazards*, 61(1), 257-266.

[4] Hamza, V., Stopar, B., Ambrožič, T., Turk, G., & Sterle, O. (2020). Testing multi-frequency low-cost GNSS receivers for geodetic monitoring purposes. *Sensors*, 20(16), 4375.

[5] Bellone, T., Dabove, P., Manzino, A. M., & Taglioretti, C. (2016). Real-time monitoring for fast deformations using GNSS low-cost receivers. *Geomatics, natural hazards and risk*, 7(2), 458-470

[6] Cina, A., & Piras, M. (2015). Performance of low-cost GNSS receiver for landslides monitoring: test and results. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(5-7), 497-514...

[7] Takasu, T., & Yasuda, A. (2009, November). Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. *In International symposium on GPS/GNSS (Vol. 1).* International Convention Center Jeju Korea.