

การประเมินประสิทธิภาพของการรังวัดแบบ Post-processing VRS สำหรับการรังวัดที่ดินในประเทศไทย PERFORMANCE ASSESSMENT OF POST-PROCESSING VRS FOR CADASTRAL SURVEYING IN THAILAND

สิริธร เปรียบจัตุรัส¹ และ อีทัต เจริญกัลยาณุตตา^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

*Corresponding author address: teetat.c@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน งานรังวัดที่ดินในประเทศไทยมีการนำเทคโนโลยีการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ (Network-based Real time Kinematic - NRTK) ด้วยเทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station - VRS) มาประยุกต์ใช้งาน โดยเทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือนเป็นเทคนิคการรับสัญญาณ GNSS จากสถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร (Continuously Operating Reference Stations - CORS) แล้วจะส่งไปยังศูนย์ควบคุม จากนั้นศูนย์ควบคุมจะทำการคำนวณสร้างแบบจำลองค่าแก้ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเครื่องรับของผู้ใช้งานจะส่งตำแหน่งโดยประมาณของตนเอง (ค่าพิกัดในรูปแบบ NMEA) ไปยังศูนย์ควบคุม จากนั้นศูนย์ควบคุมจะส่งข้อมูลจากสถานี CORS ที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้งานจำนวนอย่างน้อย 3 สถานีเพื่อจำลองสถานีเสมือน ณ ตำแหน่งโดยประมาณของเครื่องรับให้ผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์ อย่างไรก็ตามเทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือนยังสามารถทำงานแบบการประมวลผลภายหลัง (Post-processing VRS) ได้โดยการสร้างไฟล์สถานีฐานอ้างอิงเสมือน Virtual RINEX ผ่านเว็บไซต์ CORS WEB โดยผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำการรังวัดแบบ Post-processing VRS มาประยุกต์ใช้ในการรังวัดที่ดินได้เช่นเดียวกับการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ด้วยเทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือน

คำสำคัญ: โครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์เทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือน, การรังวัดแบบ Virtual RINEX, การประมวลผลภายหลัง, การรังวัดที่ดิน

Abstract

Nowadays, the Network-based Real Time Kinematic (NRTK) - Virtual Reference Station (VRS) technique has been being applied for the Cadastral surveying in Thailand. The concept of VRS begins from a Continuously Operating Reference Stations (CORS) streams the GNSS data to the control center then the rover receiver must be sending its approximate position to the control center via NMEA format. After that, the control center will simulate the Virtual Reference Station (VRS) at its approximate position. However, the VRS technique can also operate in post processing mode, by generating the Virtual- RINEX data via the CORS WEB website. The results of this study showed that, the Post-processing VRS can also applied for the Cadastral surveying in Thailand.

Keywords: VRS, Virtual RINEX, Post-Processing VRS, Cadastral surveying

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยได้นำเทคโนโลยีการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ (Network-based Real time Kinematic - NRTK) ด้วยเทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station - VRS) [1] มาใช้ในการรังวัดที่ดิน โดยในแต่ละวัน การรังวัดที่ดินจะมีปริมาณงานเป็นจำนวนมาก ในทุกพื้นที่ทั่วประเทศ ทั้งนี้เทคนิค VRS จะใช้เวลาในการรังวัดเพียง 3-5 นาที โดยจะให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตร [2] และที่สำคัญ ในด้านของการปฏิบัติงานในสนามนั้น ต้องการเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพียงเครื่องเดียว ทั้งนี้เทคนิค VRS เริ่มต้นจากศูนย์ควบคุม รับข้อมูลสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS จากสถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร (Continuously Operating Reference Stations - CORS) ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมของสถานีผู้ใช้งานจะต้องส่ง

ตำแหน่งโดยประมาณของตนเอง (ค่าพิกัดในรูปแบบ National Marine Electronic Association - NMEA) ไปยังศูนย์ควบคุม จากนั้นศูนย์ควบคุมจะส่งข้อมูลจากสถานี CORS ที่อยู่โดยรอบสถานีผู้ใช้งานที่ใกล้ที่สุดจำนวน 3 สถานี ทำการคำนวณสร้างแบบจำลองค่าแก้ต่างๆ เช่น แบบจำลองค่าแก้ของนาฬิกาดาวเทียม แบบจำลองค่าแก้ของชั้นบรรยากาศ และแบบจำลองค่าแก้ของวงโคจรดาวเทียม เป็นต้น ณ ตำแหน่งโดยประมาณของสถานีผู้ใช้งานดังกล่าว และข้อมูลค่าแก้ที่คำนวณได้นั้น จะถูกส่งกลับไปให้สถานีผู้ใช้งาน โดยข้อมูลนี้เรียกว่าสถานีฐานอ้างอิงเสมือน และสถานีผู้ใช้งานจะนำไปประมวลผลร่วมกับข้อมูลรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีผู้ใช้งานได้ทำการรับสัญญาณดาวเทียมในสนาม ทำให้จะได้ค่าพิกัดในทันที

อย่างไรก็ตามเทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือนนั้น ยังสามารถทำงานแบบการประมวลผลภายหลัง (Post processing) ได้ เรียกว่า

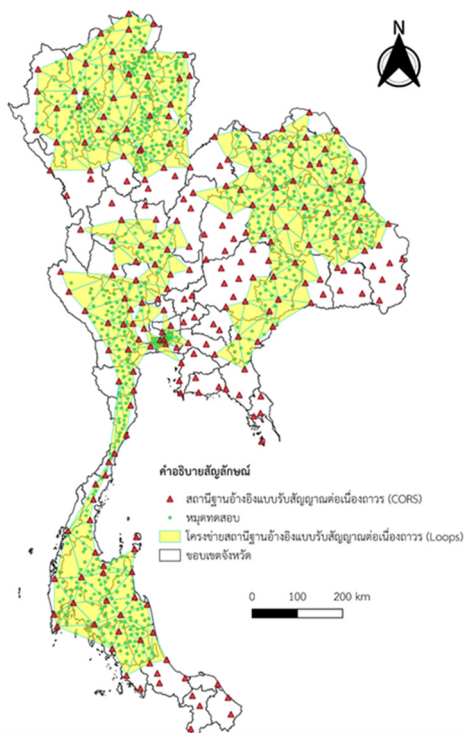
Post-processing VRS โดยการสร้างไฟล์สถานีฐานอ้างอิงเสมือน Virtual RINEX (Receiver Independent Exchange Format) ผ่านทางเว็บไซต์ผู้ให้บริการข้อมูลสถานีฐานอ้างอิงถาวร (CORS WEB) โดย Virtual RINEX จะเป็นไฟล์ข้อมูลที่สร้างขึ้นตามโครงสร้างข้อมูล RINEX ซึ่งจะถูกระดมผลจากข้อมูลรับสัญญาณดาวเทียมของสถานี CORS จำนวน 3 สถานี ที่อยู่ใกล้ที่สุดกับตำแหน่งที่ผู้ใช้ระบุ (คือตำแหน่งคร่าวๆ ของการรับสัญญาณดาวเทียมในสนามแบบ Static ของสถานีผู้ใช้งาน) จากนั้นจึงนำไฟล์ Virtual RINEX มาประมวลผลร่วมกับข้อมูลรับสัญญาณดาวเทียมในสนามแบบ Rapid Static ของสถานีผู้ใช้งาน ทั้งนี้ เนื่องจากการรังวัดที่ดินจะมีปริมาณงานเป็นจำนวนมาก ในทุกพื้นที่ทั่วประเทศ ซึ่งในบางพื้นที่อาจจะไม่มีสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ทำให้การติดต่อสื่อสารผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ตระหว่างศูนย์ควบคุมและสถานีผู้ใช้งาน ของเทคนิค VRS ไม่สามารถกระทำได้นั้น การรังวัดแบบ Post-processing VRS จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหานี้ได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการรังวัดแบบ Post-processing VRS สำหรับงานการรังวัดที่ดินในประเทศไทย

3. พื้นที่และข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

3.1. พื้นที่ศึกษาวิจัย



รูปที่ 1 ตำแหน่งของสถานี CORS และจุดทดสอบ [2]

ขอบเขตพื้นที่การศึกษาระดับประเทศไทย 36 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำพูน เชียงราย พะเยา ลำปาง แพร่ น่าน อุตรดิตถ์ นครสวรรค์ สุพรรณบุรี สระแก้ว กาฬสินธุ์ ขอนแก่น นครพนม บึงกาฬ ร้อยเอ็ด สกลนคร อุตรดิตถ์ ยโสธร มุกดาหาร อำนาจเจริญ กระบี่ ชุมพร ตรัง นครศรีธรรมราช พังงา พัทลุง ภูเก็ต ระนอง สุราษฎร์ธานี กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี และราชบุรี โดยตำแหน่งสถานี CORS จำนวน 239 สถานี และตำแหน่งจุดทดสอบในการรังวัดด้วยวิธี Rapid Static และการรังวัดด้วยเทคนิค VRS ดังแสดงในรูปที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนจุดทดสอบที่เลือกในลูบขนาดต่างๆ

ขนาดลูบ (กม.)	10-30	30-50	50-70	70-90	90-110
จำนวนจุดทดสอบ	11	81	204	70	8

3.2. เครื่องมือและข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i80 (ดังแสดงในรูปที่ 2) ซึ่งทำการรังวัดจุดทดสอบด้วยวิธี Static (บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที ระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมเท่ากับ 1 ชั่วโมง) และในขณะที่เดียวกันก็รับสัญญาณดาวเทียมด้วยเทคนิค VRS ไปพร้อมกัน โดยการรังวัดจุดทดสอบนั้น เลือกการตั้งรับสัญญาณดาวเทียมในตำแหน่งที่โล่ง ปราศจากสิ่งบดบังรอบทิศ รวมจำนวนทั้งสิ้น 374 จุด กระจายใน 230 ลูบ ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้จำแนกกลุ่มของจุดทดสอบตามค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างสถานีฐานถาวรสามด้านได้แก่ 10-30, 30-50, 50-70, 70-90 และ 90-110 กิโลเมตร (ดูตารางที่ 1 ประกอบ) [3] แล้วทำการเลือกจุดทดสอบจำนวน 3 จุด จาก Centroids ของลูบสามเหลี่ยมเท่านั้น ซึ่งจะได้จำนวนจุดทดสอบในแต่ละช่วงของลูบดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนั้นจะแบ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยได้ดังนี้



รูปที่ 2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i80 [4]

3.2.1. ข้อมูลการรังวัดด้วยวิธี STATIC

ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมการรังวัดที่เวลานาน 60 นาที จำนวน epoch ละ 1 วินาที โดยการเลือกการตั้งรับสัญญาณดาวเทียมในตำแหน่งที่โล่ง ปราศจากสิ่งบดบังรอบทิศ

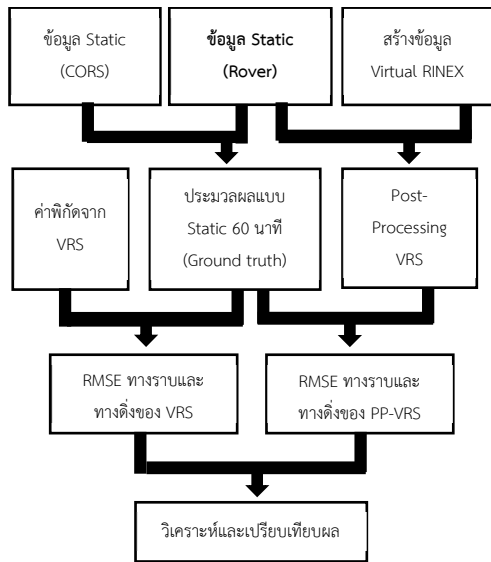
3.2.2. ข้อมูลการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ เทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือน (VRS)

ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมการรังวัดที่เวลานาน 1 นาที จำนวน epoch ละ 1 วินาที และดำเนินการรังวัดในเวลาเดียวกันกับการรังวัดค่าพิกัดด้วยวิธี Static

3.2.3. ข้อมูล VIRTUAL RINEX

ข้อมูลไฟล์ VIRTUAL RINEX จำนวน 60 นาที ซึ่งได้จากเว็บไซต์โครงข่าย CORS WEB ของกองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน โดยเลือกตำแหน่ง Virtual Position และเวลาเดียวกันกับการรังวัดค่าพิกัดด้วยวิธี Static

4. วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3 ผังการดำเนินงานวิจัย

4.1. การเตรียมข้อมูลการรังวัด

4.1.1. การรังวัดด้วยวิธี STATIC

การรังวัดด้วยวิธี Static เป็นการรังวัดแบบสัมพัทธ์โดยจะใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป โดยที่สถานีฐาน (Base station) ตั้งอยู่บนตำแหน่งที่ทราบค่าพิกัด ส่วนสถานีจร (Rover station) ตั้งไว้บนตำแหน่งที่ต้องการจะทราบค่า วิธีนี้เครื่องรับสัญญาณทั้งสองสถานีจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 4 ดวง และต้องตั้งรับสัญญาณไว้ไม่น้อยกว่า 30 นาที เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผลในภายหลังโดยจะได้ค่าความถูกต้องตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร ถึง 2.5 เซนติเมตร สำหรับเส้นฐาน (Base line) ความยาวไม่เกิน 20 ถึง 30 กิโลเมตร [5],[6],[7],[8] ในงานวิจัยนี้รับสัญญาณดาวเทียม GNSS เป็นระยะเวลา 60 นาที โดยรับสัญญาณ 30 วินาที ต่อ 1 epoch ในตำแหน่งที่ค่อนข้างโล่ง ปราศจากสิ่งบดบังรอบทิศ (เท่าที่สามารถ

ทำได้) รับข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2562 ถึง วันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2562

4.1.2. เทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือน

Virtual Reference Station (VRS) เป็นสถานีอ้างอิงที่สมมุติขึ้น ซึ่งอยู่ห่างจากตำแหน่งของผู้ใช้ RTK เพียงไม่กี่เมตร สำหรับตำแหน่งนี้ข้อมูลการรังวัดจะถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องถาวร (CORS) ซึ่งเมื่อได้รับสัญญาณแล้วจะส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อทำการคำนวณสร้างแบบจำลองของค่าแก้ต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองค่าแก้ของนาฬิกา ดาวเทียม แบบจำลองค่าแก้ของชั้นบรรยากาศ และแบบจำลองค่าแก้ของวงโคจรดาวเทียม ซึ่งในระบบ VRS ผู้ใช้งานต้องส่งพิกัดตำแหน่งโดยประมาณของตนเอง (ค่าพิกัดในรูปแบบ NMEA) ให้ศูนย์ควบคุมซึ่งศูนย์ควบคุมจะทำการใช้ข้อมูลจากสถานี CORS ที่อยู่โดยรอบผู้ใช้งาน และค่าแก้ที่คำนวณได้ สร้างหรือสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมาและส่งกลับไปให้ผู้ใช้งาน [9] ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์เทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือน รับสัญญาณดาวเทียมทุก 1 วินาที ได้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม 60 วินาที อย่างต่อเนื่องจำนวน 15 ครั้ง และดำเนินการรังวัดในเวลาเดียวกันกับการรังวัดค่าพิกัดด้วยวิธี Static

4.1.3. VIRTUAL RINEX

Virtual RINEX เป็นการเก็บข้อมูลของการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์เทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือนเพื่อนำข้อมูลนั้นมาใช้ในการประมวลผลภายหลัง ด้วยซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ โดยข้อมูลการรังวัดนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ต้องกำหนดตำแหน่งของสถานีอ้างอิงที่ต้องการและความสูงเหนือทอร์รี่ ระบบจะสร้างข้อมูล Virtual RINEX โดยมีค่าพิกัดตำแหน่งใกล้เคียงกันขึ้นมา [10] ซึ่งการสร้างไฟล์สถานีฐานอ้างอิงเสมือน Virtual RINEX สามารถสร้างผ่านเว็บไซต์ CORS WEB ของกรมที่ดิน โดยเลือกตำแหน่ง Virtual Point และเวลาเดียวกันกับการรังวัดค่าพิกัดด้วยวิธี Static มีข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาที

4.2. การประมวลผลข้อมูล (POST PROCESSING)

คณะวิจัยเลือกซอฟต์แวร์ Trimble Business Center (TBC) เวอร์ชัน 5.0 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ พัฒนาโดยบริษัท Trimble Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับประมวลผลข้อมูลดาวเทียม GNSS ในภายหลัง โดยมีความสามารถในการประมวลผลข้อมูล GNSS ของกลุ่มดาวเทียม GPS, GLONASS, Galileo และ Beidou (BDS) ร่วมกันได้ รวมถึงสามารถประมวลผลข้อมูล GNSS ร่วมกับวงโคจรดาวเทียมรายละเอียดสูงได้รองรับข้อมูลที่ได้จากการรังวัดด้วยเครื่องมือหลากหลายรุ่นและยี่ห้อ โดยทำการประมวลผลดังนี้

4.2.1. ประมวลผลข้อมูล STATIC

การประมวลผลข้อมูลการรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบ Static ในภายหลัง จำนวน 60 นาที เพื่อกำหนดให้เป็นค่าพิกัดอ้างอิง (Ground Truth) โดยใช้ตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมรายละเอียดสูงของระบบดาวเทียม GPS, GLONASS, Galileo, Beidou และ QZSS สำหรับการประมวลผลในแต่ละหมุดทดสอบ โดยจะทำการโยงยึดค่าพิกัดอ้างอิงจากสถานีฐานอ้างอิงถาวร ที่อยู่ใกล้กับหมุดทดสอบมากที่สุด จำนวน 2 สถานี

4.2.2. ประมวลผลข้อมูล VIRTUAL RINEX

การประมวลผลข้อมูล Virtual RINEX กับข้อมูลการรับสัญญาณแบบ Rapid Static ในภายหลัง จำนวน 1, 2, 3 และ 10 นาที และมี epoch เดียวกันกับข้อมูลการรับสัญญาณการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์เทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือน (NRTK-VRS) ใช้ค่าปรับแก้วงโคจรดาวเทียมแบบ Broadcast ของระบบดาวเทียม GPS, GLONASS, Galileo และ Beidou

4.3. การหาค่าต่างรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (ROOT MEAN SQUARE ERROR - RMSE)

การวิเคราะห์ค่าความถูกต้องในตำแหน่งทางราบ จะคำนวณได้จากสมการที่ 1 [11]

$$RMSE_{hor.} = \sqrt{\frac{\sum((N_{check} - N_{data})^2 + (E_{check} - E_{data})^2)}{n}} \quad (1)$$

โดยที่

$RMSE_{hor.}$ คือค่าต่างของรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตำแหน่งทางราบ

N_{check} คือค่าพิกัดในแนวเหนือ-ใต้ ของการรังวัดแบบสถิต (Ground Truth)

N_{data} คือค่าพิกัดในแนวเหนือ-ใต้ ของการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์เทคนิคสถานีฐานอ้างอิงเสมือน และ ค่าพิกัดในแนวเหนือ-ใต้ ของการรังวัดแบบ post-processing VRS

E_{check} คือค่าพิกัดในแนวตะวันออก-ตะวันตก ของการรังวัดแบบ Rapid Static

E_{data} คือค่าพิกัดในแนวตะวันออก-ตะวันตก ของการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์เทคนิคสถานีฐานอ้างอิง และค่าพิกัดในแนวตะวันออก-ตะวันตก ของการรังวัดแบบ post-processing VRS และ n คือจำนวนหมุดทดสอบ

ในขณะที่ตำแหน่งในทางตั้งจะวิเคราะห์ค่าความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal Height) บนพื้นหลักฐาน WGS 1984 [12]

ทั้งนี้ จะทำการเปรียบเทียบระหว่างความแตกต่างของค่าพิกัดจากค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง โดยจะใช้ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัด Static ในภายหลังที่กำหนดให้เป็นค่าพิกัดอ้างอิง มา

เปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากการรังวัดแบบ post-processing VRS และค่าพิกัดจากการรังวัดแบบ VRS

5. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องในตำแหน่งทางราบและตำแหน่งทางตั้ง โดยการหาค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง คำนวณได้จากสมการที่ 1 พบว่า

5.1. ค่า RMSE ทางราบระหว่างเทคนิค VRS และ POST-PROCESSING VRS

ผลการศึกษาค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยของการรังวัด VRS ซึ่งรังวัดที่ระยะเวลา 1 นาที จำนวน epoch ละ 1 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 4 พบว่าในรูปขนาด 10-30, 30-50, 50-70, 70-90 และ 90-110 กิโลเมตร มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยเท่ากับ 0.029, 0.034, 0.041, 0.084 และ 0.036 เมตร ตามลำดับ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าลูบที่มีขนาดเล็กให้ค่าความถูกต้องทางราบที่ต่ำกว่าลูบขนาดใหญ่ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Charoenkalunyuta, T. et al. [3] และในลูบที่มีขนาดใหญ่อาจจะเกิดค่ากระโดดขนาดใหญ่ได้ ดังเช่นในลูบ 70-90 กิโลเมตรที่มีค่า RMSE ถึง 0.084 เมตร

ในขณะที่ผลการศึกษาค่า RMSE ทางราบระหว่างเทคนิค VRS และ Post-processing VRS ในขนาดลูบ 10-30, 30-50, 50-70, 70-90 และ 90-110 กิโลเมตร ซึ่งรังวัดที่เวลา 1, 2, 3 และ 10 นาที ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3 นั้นมีดังนี้ 1) ขนาดลูบ 10-30 กม. ที่รังวัดด้วยเทคนิค VRS (ตัวหนา) และเทคนิค Post processing VRS ซึ่งรังวัดข้อมูลระยะเวลานานเท่ากับ 1, 2, 3 และ 10 นาที มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยเท่ากับ 0.029, 0.033, 0.022, 0.019 และ 0.021 เมตร ตามลำดับ 2) ขนาดลูบ 30-50 กม. นั้น มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยเท่ากับ 0.034, 0.046, 0.037, 0.037 และ 0.040 เมตร ตามลำดับ 3) ขนาดลูบ 50-70 กม. มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยเท่ากับ 0.041, 0.039, 0.038, 0.037 และ 0.038 เมตร ตามลำดับ 4) ขนาดลูบ 70-90 กม. นั้น มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยเท่ากับ 0.084, 0.044, 0.040, 0.040 และ 0.055 เมตร ตามลำดับ และ 5) ขนาดลูบ 90-110 กม. นั้น มีค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยเท่ากับ 0.036, 0.733, 0.234, 0.045 และ 0.038 เมตร ตามลำดับ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าในลูบขนาดเดียวกันค่า RMSE ทางราบระหว่างเทคนิค VRS และ Post-processing VRS ให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน คือมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบในระดับเซนติเมตร โดยลูบที่มีขนาดเล็กให้ค่าความถูกต้องทางราบที่ต่ำกว่าลูบขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับเทคนิค VRS และระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมที่นานกว่าให้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่าด้วย อย่างไรก็ตามในลูบที่มีขนาดใหญ่ และระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมสั้น (ประมาณ 1-2 นาที) อาจเกิดค่ากระโดดขนาดใหญ่ ได้ดังเช่นเทคนิค Post-processing VRS โดยในลูบ 90-110 กิโลเมตร ที่ให้ค่า RMSE ใน

ระดับเดซิเมตร ซึ่งหากมีการรับสัญญาณดาวเทียมที่นานพอ (ตั้งแต่ 3 นาทีขึ้นไป) ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบจะอยู่ในระดับเซนติเมตร

ตารางที่ 2 RMSE ทางราบเฉลี่ยของการรังวัดแบบ post-processing VRS ที่เวลา 1, 2, 3 และ 10 นาที ตามลำดับ และค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยของ VRS ที่เวลา 1 นาที (หน่วย : เมตร)

ขนาดรูป(กม.)	10-30	30-50	50-70	70-90	90-110
VRS 1 นาที	0.029	0.034	0.041	0.084	0.036
PP-VRS 1 นาที	0.033	0.046	0.039	0.044	0.733
PP-VRS 2 นาที	0.022	0.037	0.038	0.040	0.234
PP-VRS 3 นาที	0.019	0.037	0.037	0.040	0.045
PP-VRS 10 นาที	0.021	0.040	0.038	0.055	0.038

5.2. ค่า RMSE ทางตั้งระหว่างเทคนิค VRS และ POST-PROCESSING VRS

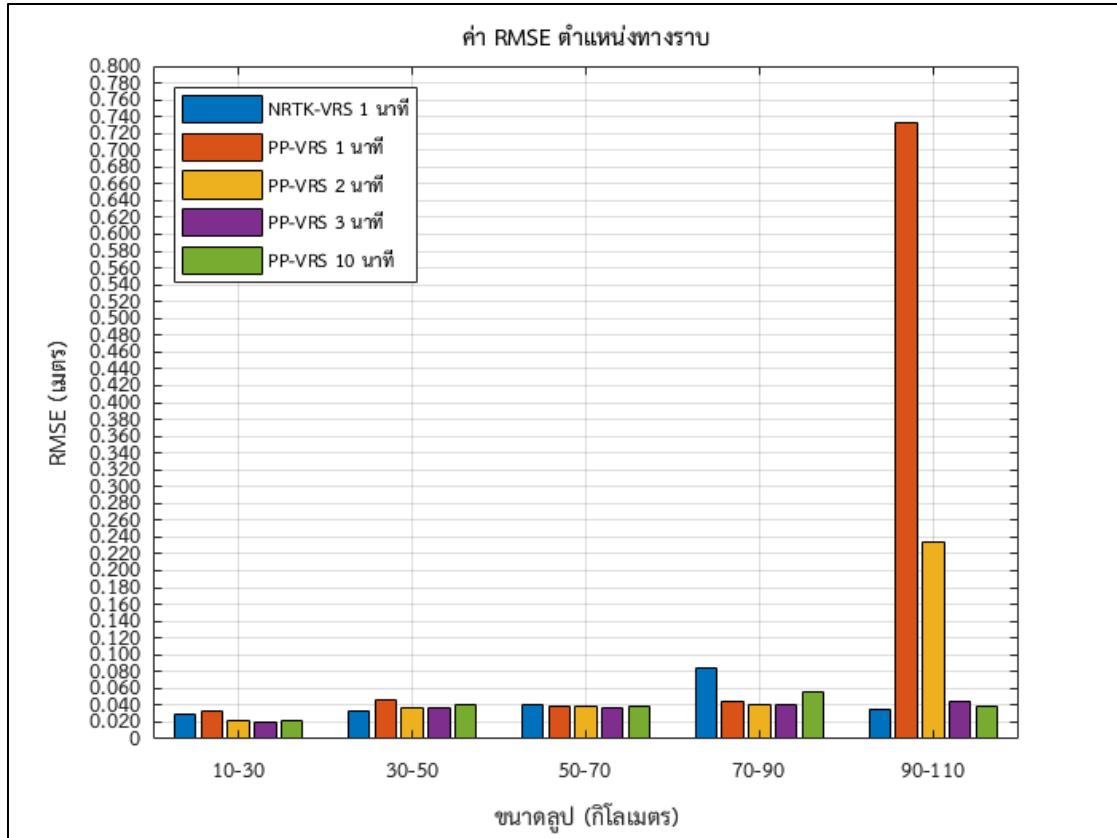
ผลการศึกษาค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ยของการรังวัดด้วยเทคนิค VRS ซึ่งรังวัดที่ระยะเวลา 1 นาที จำนวน epoch ละ 1 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 5 พบว่าในรูปขนาด 10-30, 30-50, 50-70, 70-90 และ 90-110 กิโลเมตร มีค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.182, 0.216, 0.222, 0.263 และ 0.241 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่ารูปที่มีขนาดเล็กให้ค่าความถูกต้องทางตั้งที่ดีกว่ารูปขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามค่าความถูกต้องทางตั้งยังอยู่ในระดับ 2 เดซิเมตร ดังนั้นจึงยังไม่สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านวิศวกรรมก่อสร้างได้

ผลการศึกษาค่า RMSE ทางตั้งระหว่างเทคนิค VRS และ Post-processing VRS ในขนาดรูป 10-30, 30-50, 50-70, 70-90 และ 90-110 กิโลเมตร ซึ่งรังวัดที่เวลา 1, 2, 3 และ 10 นาที ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 4 นั้นมีดังนี้ 1) ขนาดรูป 10-30 กม. ที่รังวัดด้วยเทคนิค VRS (ตัวหนา) และเทคนิค Post processing VRS ซึ่งรังวัดข้อมูลระยะเวลานานเท่ากับ 1, 2, 3 และ 10 นาที มีค่า RMSE

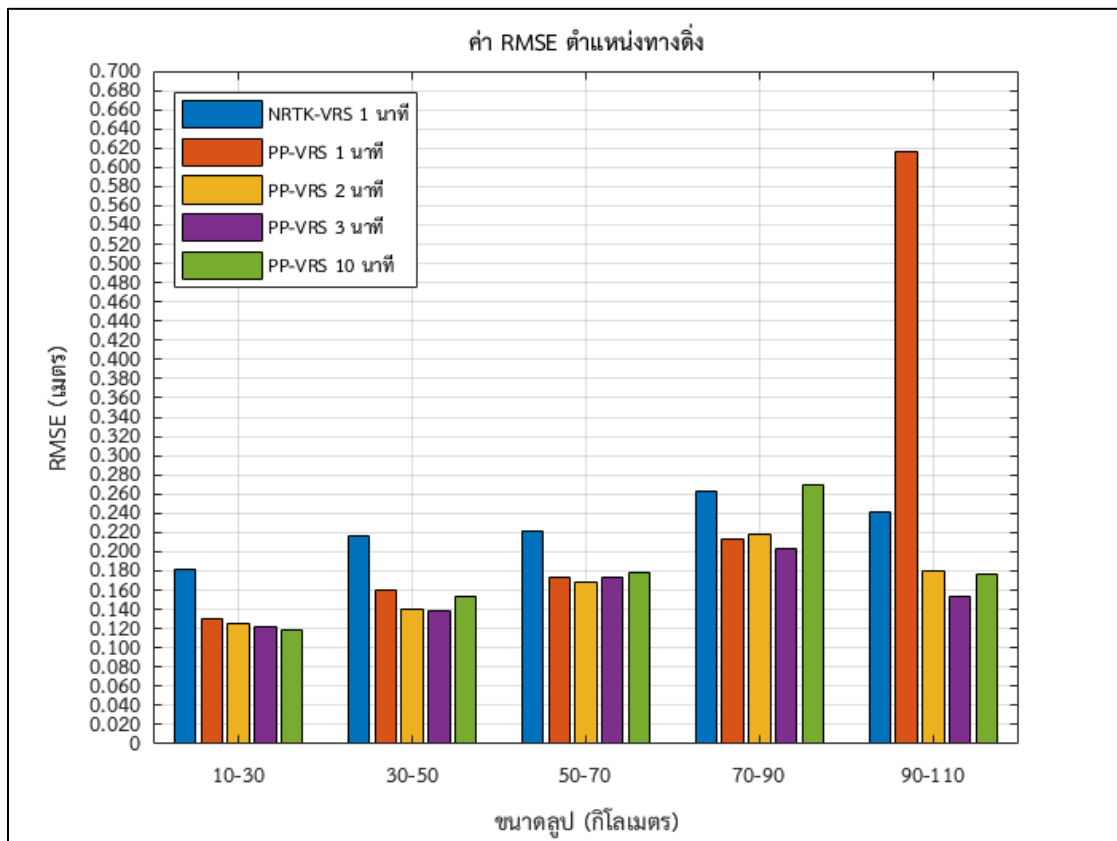
ทางตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.182, 0.131, 0.125, 0.122 และ 0.118 เมตร ตามลำดับ 2) ขนาดรูป 30-50 กม. นั้น มีค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.216, 0.160, 0.140, 0.139 และ 0.154 เมตร ตามลำดับ 3) ขนาดรูป 50-70 กม. มีค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.222, 0.173, 0.168, 0.174 และ 0.179 เมตร ตามลำดับ 4) ขนาดรูป 70-90 กม. นั้น มีค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.263, 0.213, 0.218, 0.204 และ 0.269 เมตร ตามลำดับและ 5) ขนาดรูป 90-110 กม. นั้น มีค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.241, 0.616, 0.180, 0.154 และ 0.177 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในรูปขนาดเดียวกันค่า RMSE ทางตั้งระหว่างเทคนิค VRS และ Post-processing VRS ให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน คือมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางตั้งในระดับ 2 เดซิเมตร โดยรูปที่มีขนาดเล็กให้ค่าความถูกต้องทางตั้งที่ดีกว่ารูปขนาดใหญ่เช่นเดียวกับเทคนิค VRS และระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมที่นานกว่าให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าด้วย อย่างไรก็ตามในรูปที่มีขนาดใหญ่และระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมสั้น (ประมาณ 1 นาที) อาจเกิดค่ากระโดดขนาดใหญ่ ได้ดังเช่นเทคนิค Post-processing VRS โดยในรูป 90-110 กิโลเมตร ที่ให้ค่า RMSE ถึง 0.616 เมตร ซึ่งหากมีการรับสัญญาณดาวเทียมที่นานพอ (ตั้งแต่ 2 นาทีขึ้นไป) ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางตั้งจะอยู่ในระดับ 2 เดซิเมตร

ตารางที่ 3 RMSE ทางตั้งเฉลี่ยของการรังวัดแบบ post-processing VRS ที่เวลา 1, 2, 3 และ 10 นาที ตามลำดับ และค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ยของ VRS ที่เวลา 1 นาที (หน่วย : เมตร)

ขนาดรูป(กม.)	10-30	30-50	50-70	70-90	90-110
VRS 1 นาที	0.182	0.216	0.222	0.263	0.241
PP-VRS 1 นาที	0.131	0.160	0.173	0.213	0.616
PP-VRS 2 นาที	0.125	0.140	0.168	0.218	0.180
PP-VRS 3 นาที	0.122	0.139	0.174	0.204	0.154
PP-VRS 10 นาที	0.118	0.154	0.179	0.269	0.177



รูปที่ 4 ค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยของการรังวัดแบบ post-processing VRS เปรียบเทียบกับค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยของ VRS



รูปที่ 5 ค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ยของการรังวัดแบบ post-processing VRS เปรียบเทียบกับค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ยของ VRS

6. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาค่า RMSE ทางราบเฉลี่ยของการรังวัด VRS สรุปได้ว่าในลูปที่มีขนาดเล็กให้ค่าความถูกต้องทางราบที่ดีกว่าลูปขนาดใหญ่ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Charoenkalunyuta, T. et al. [3] และในลูปที่มีขนาดใหญ่อาจจะเกิดค่ากระโดดขนาดใหญ่ได้ ในขณะที่ผลการศึกษาค่า RMSE ทางราบระหว่างเทคนิค VRS และ Post-processing VRS ในขนาดลูปขนาดเดียวกันค่า RMSE ทางราบระหว่างเทคนิค VRS และ Post-processing VRS ให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน คือมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบในระดับเซนติเมตร โดยลูปที่มีขนาดเล็กให้ค่าความถูกต้องทางราบที่ดีกว่าลูปขนาดใหญ่เช่นเดียวกับเทคนิค VRS และระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมที่นานกว่าให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าด้วย อย่างไรก็ตามในลูปที่มีขนาดใหญ่และระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมสั้น (ประมาณ 1-2 นาที) อาจจะเกิดค่ากระโดดขนาดใหญ่ ได้ดังเช่นเทคนิค Post-processing VRS โดยในลูป 90-110 กิโลเมตร ที่ให้ค่า RMSE ในระดับเดซิเมตร ซึ่งหากมีการรับสัญญาณดาวเทียมที่นานพอ (ตั้งแต่ 3 นาทีขึ้นไป) ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบจะอยู่ในระดับไม่เกิน 4 เซนติเมตร ทั้งนี้การรังวัดที่ดินต้องการความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่ไม่เกิน 4 เซนติเมตร [12] ดังนั้นการรังวัดด้วยเทคนิค Post-processing VRS ที่รับสัญญาณดาวเทียมตั้งแต่ 3 นาทีขึ้นไป จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานการรังวัดที่ดินได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบดังกล่าว นั้น จากงานวิจัยนี้พบว่าทั้งการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และ Post-processing VRS จะให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบที่ตั้งอยู่ในระดับ 20 เซนติเมตร ซึ่งยังไม่แนะนำให้นำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมก่อสร้าง

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณกองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน ที่เอื้อเฟื้อและให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธีทัต เจริญภาสัณญูตา. (2555). ผลกระทบของค่าคลาดเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ต่อประสิทธิภาพจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทศึกษาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- [2] กองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน. (2561). คู่มือการรังวัดเฉพาะรายโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network). กรุงเทพมหานคร: กองฝึกอบรม กรมที่ดิน.
- [3] Charoenkalunyuta, T., Satirapod, C., Keitniyomrung, V., & Yomwan, P. (2019). Performance of Network-Based RTK GNSS for the Cadastral Survey in Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, 15(3).
- [4] Dirtworks Positioning. (2019). CHCNAV I80. Retrieved from <https://www.dirtworkspositioning.com/product-chc-i80.aspx>
- [5] Leick, A. (2004). *GPS Satellite Surveying*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Teunissen, P. J., & Kleusberg, A. (2012). *GPS for Geodesy*: Springer Science & Business Media.
- [7] Wang, J., Satirapod, C., & Rizos, C. (2002). Stochastic assessment of GPS carrier phase measurements for precise static relative positioning. *Journal of Geodesy*, 76(2), 95-104.
- [8] เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2548). เอกสารคำสอนวิชา 2108631 Advanced GPS Satellite Surveying งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wastle, E. (2007). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*: Springer Science & Business Media.
- [10] Dabove, P., Cina, A., & Manzano, A. M. (2016). How reliable is a Virtual RINEX? Paper presented at the 2016 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS).
- [11] FGDC, S. (1998). Geospatial positioning accuracy standards. Part 3: National standard for spatial data accuracy. In (pp. 25): Subcommittee for Base Cartographic Data.
- [12] กรมที่ดิน. (2563). ระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) พ.ศ. 2562. กรมที่ดิน