

ประสิทธิภาพการรังวัดด้วยเทคโนโลยี GNSS บนพื้นที่ลาดชัน:
กรณีศึกษา โรงพยาบาลแหลมฉบัง จ.ชลบุรี
Surveying efficiency on slope areas with GNSS technology:
A case study of Laem Chabang Hospital, Chonburi Province

ดาราพร ผู้สิงห์¹ และ อนุเผ่า อบแพทย²

กลุ่มวิจัยนวัตกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการจัดการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา¹

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์²

E-mail: daraporn@eng.src.ku.ac.th¹, fengaha@ku.ac.th²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการสำรวจรังวัดด้วยวิธีการทางระบบดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) บนพื้นที่ลาดชันในเบื้องต้น โดยใช้การหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นตัวชี้วัดเปรียบเทียบการรังวัดด้วยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) และวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic, RTK) ด้วยเครื่องมือรังวัดระบบดาวเทียม GNSS ยี่ห้อ Topcon รุ่น GR5 ซึ่งทำการรังวัดหาค่าพิกัดในพื้นที่ปฏิบัติงานจริง จำนวนสิบห่มด ณ โรงพยาบาลแหลมฉบัง จ.ชลบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ลาดชันและตั้งอยู่ในชุมชน ผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบกับห่มดหลักฐานพบว่า วิธีการรังวัดแบบจลนในทันที (RTK) มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.025 เซนติเมตร และวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (VRS) มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.054 เซนติเมตร ทั้งสองวิธีนี้มีค่าความต่างเฉลี่ยรวมกันอยู่ที่ 0.033 เมตร จึงสรุปว่า วิธีการรังวัดแบบจลนในทันที (RTK) มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (VRS) แต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้งสองวิธี อีกทั้งค่าความต่างของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน จึงสามารถนำค่าพิกัดมาใช้งานร่วมกันได้ หลังจากนั้น จึงได้สำรวจพื้นที่ศึกษาโดยใช้กล้องประมวลผลรวม (Total Station) และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS เก็บค่าพิกัดของห่มดอ้างอิงพิกัดโดยวิธีการรังวัดแบบสถิต (Static Survey) และใช้ในการเก็บรายละเอียดอื่น ๆ ที่กล้อง Total Station ไม่อาจเข้าไปถึงด้วยวิธีการรังวัดแบบจลนในทันที (RTK) รวมไปถึงการจัดทำแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems, GIS) และโปรแกรมควอนตัมจีไอเอส (Quantum GIS) โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงประกอบเพื่อความถูกต้องมากขึ้น

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพการรังวัด; GNSS; พื้นที่ลาดชัน; การรังวัดวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง; การรังวัดแบบจลนในทันที; ควอนตัมจีไอเอส

Abstract

The aim of this research is to understand surveying efficiency on slope areas using Global Navigation Satellite System (GNSS). The root mean square error (RMSE) is used to be a key indicator

to compare the efficiency of Virtual Reference Station (VRS) method and Real Time Kinematic (RTK) method using GNSS, Topcon brand and GR5 version. The surveys conducted on the slope areas where Laem Chabang Hospital, Chonburi Province located. The results of the study, when compared with the reference benchmarks, found that Real-Time Kinematic (RTK) measurement methods have an RMSE of 0.025 centimeters and the RMSE of Virtual Reference Station (VRS) techniques is 0.054 centimeters. We found that both of these methods have a difference RMSE of 0.033 meters. Therefore, we can conclude that Real-Time Kinematic (RTK) methods have less tolerance than the Virtual Reference Station (VRS) methods but are still acceptable. Considered that the coordinates obtained by surveying with satellite systems have the coordinates close to the reference benchmarks. The differences in both methods still have comparable values, which make those values reliable and able to apply both methods together. After that, we surveyed in the slope areas to perform topographic surveying and import to GIS (Geographic Information Systems). We used the Total Station equipment for positioning benchmarks to collect data and using GNSS satellite receivers to collect coordinates of the reference benchmarks using the static surveying method and collecting of other details that the Total Station may not reach with the Real-Time Kinematic Survey (RTK). Finally, after collecting all the data, we can then mapped using Quantum GIS with satellite imagery as a base map for highly detailed to be assembled for greater accuracy as well.

Keywords: Surveying efficiency; Slope surveying; Static Surveying; Virtual Reference Station; Real-Time Kinematic; QGIS

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ได้จัดทำโครงการการสำรวจจริงวัดและจัดทำแผนที่ภูมิประเทศให้แก่โรงพยาบาลแหลมฉบัง ตั้งอยู่ที่ 188/36 หมู่ที่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี 20230 พื้นที่ทั้งหมดจำนวน 50,074 ตร.ม. ความแตกต่างของพื้นที่สูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 13.221 เมตร จากค่าระดับบนทั้งหมด KUSRC0002 และ KUSRC0003 ซึ่งถือว่ามีความลาดชันค่อนข้างมาก และสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรคโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น พื้นที่

บริเวณโรงพยาบาล มีลักษณะเป็นอาคารอยู่ชิดติดกัน และมีประชาชนเข้ามาใช้บริการตลอดเวลา ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการทำงาน เป็นต้น นอกจากนี้พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขา โดยมีสภาพภูมิประเทศที่มีภูเขาทิวเขวเป็นอุปสรรคสำคัญในการรับสัญญาณดาวเทียมของอุปกรณ์ GNSS นอกจากนั้น บริเวณดังกล่าว ยังไม่มีหมุดหลักฐานอ้างอิงฟิสิกส์ที่มีความถูกต้องเพียงพอ จึงต้องมีการนำเครื่องรับสัญญาณ GNSS เข้ามาช่วยในการสำรวจจริงวัดและได้จัดทำหมุดหลักฐานขึ้นใหม่ เพื่อใช้ในการอ้างอิงและเพื่อการใช้งานในอนาคต

ดังนั้น โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการสำรวจรังวัด และจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ ให้แก่โรงพยาบาลแหลมฉบัง เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนผังการใช้ประโยชน์พื้นที่ และการกำหนดพื้นที่ในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ โดยได้ดำเนินการวางแผนและออกแบบวิธีการสำรวจรังวัดให้สอดคล้องกับข้อจำกัดต่าง ๆ ของพื้นที่ก่อนดำเนินการ รวมไปถึงการกำหนดสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่จะปรากฏในแผนที่ให้ทีมสำรวจได้รับทราบ เพื่อเตรียมการปฏิบัติงาน นอกจากนี้ เนื่องจากในโครงการนี้ได้มีการทดลองนำวิธีการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) เข้ามาใช้ จึงได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์ในการหาตรวจสอบประสิทธิภาพการสำรวจรังวัดด้วยวิธีการทางระบบดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) ในเบื้องต้น โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งจากเทคนิคการรังวัดด้วยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) และจากวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic, RTK) รวมไปถึงการจัดทำแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยโปรแกรมควอนตัมจีไอเอส (QGIS) และนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและเพิ่มรายละเอียดในการนำไปใช้งาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณปรับแก้งานวงรอบ

การคำนวณหาความคลาดเคลื่อนทางมุม (Angular error of closure) โดยหาผลต่างระหว่างผลบวกของมุมภายในที่วัดได้ในสนามกับผลบวกของมุมภายในที่คำนวณจากสูตร $(n-2) \times 180^\circ$ เมื่อ n คือจำนวนมุม และตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางมุมต่างจากค่าความคลาดเคลื่อนทางมุมที่ยอมรับได้ (Least count) เท่าใด ถ้ามี

ค่ามากกว่า จะต้องตรวจสอบมุมในงานภาคสนามใหม่ทั้งหมด ซึ่งหากความคลาดเคลื่อนทางมุมอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จะปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางมุมให้แก่มุมทุกมุมเท่า ๆ กัน ทั้งนี้กำหนดค่า Least count ของกล้อง SOKKIA เท่ากับ $5''$ แล้วคำนวณค่า azimuth ของแนววงรอบจากมุมภายในที่ปรับแก้แล้วแปลงค่าพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinate) ของแนววงรอบเป็นพิกัดฉาก (Rectangular Coordinate) ทำการหาผลรวมของ Departure และ Latitude แล้วคำนวณหาอัตราส่วนความถูกต้องสัมพัทธ์ (Relative accuracy ratio) สำหรับการดำเนินงานในส่วนนี้ มีการกำหนดอัตราส่วนความถูกต้องโดยใช้เกณฑ์การยอมรับของงานวงรอบชั้นที่ 3 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนความถูกต้องสัมพัทธ์เท่ากับ 1:5,000 หากค่าอัตราส่วนความถูกต้องสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ให้ทำการปรับแก้งานวงรอบโดยกฎของเข็มทิศ (Compass rule) ทั้งนี้โดยการให้ถ่วงน้ำหนักค่าปรับแก้ตามความยาวของแนววงรอบและแยกปรับแก้ตามระยะของแนววงรอบในแนวแกน X (ค่าปรับแก้ Departure) และแนวแกน Y (ค่าปรับแก้ Latitude) นำค่า Departure และ Latitude ที่ปรับแก้แล้ว ไปคำนวณหาค่าพิกัด (x, y) ของหมุดวงรอบ ทั้งนี้พิกัดของหมุด St.6 เท่ากับ 707979, 1450820 เมตร นำค่า Departure และ Latitude ที่ปรับแก้แล้ว นำไปคำนวณหาค่า azimuth และระยะทางที่ปรับแก้แล้วจะได้ค่าพิกัดที่ถูกต้อง [1]

2.2 การรังวัดหาค่าพิกัดดาวเทียมด้วยระบบ GNSS

2.2.1 การรังวัดแบบสถิต (Static Survey)

เป็นการรังวัดแบบสัมพัทธ์โดยจะใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปตั้งไว้บนหมุดที่เราต้องการจะทราบค่าพิกัด โดยวิธีนี้จะใช้ในการวัดหมุดหลักฐาน ซึ่งต้องการตำแหน่งพิกัดที่แม่นยำมาก ในการวัดหาค่าตำแหน่งแต่ละหมุดนั้นจะต้องใช้ระยะเวลา 4 - 7 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่ถูกต้อง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS ณ โรงพยาบาลแหลมฉบัง จ.ชลบุรี

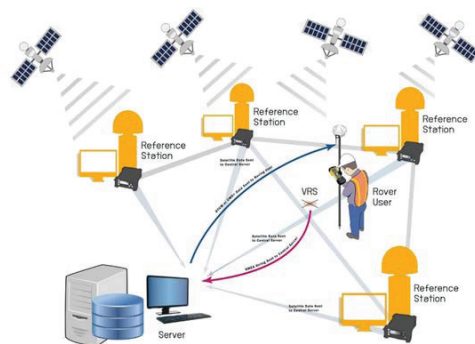
2.2.2 การรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real-time kinematic survey, RTK)

หลักการทำงานของ RTK คือ ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยนำเครื่องที่หนึ่งวางไว้ในตำแหน่งที่รู้ค่าแน่นอนตลอดเวลาเป็นสถานีหลัก (Base station) ส่วนเครื่องที่สองคือเครื่องรับ ซึ่งเป็นสถานีเคลื่อนที่ (Rover station) โดยนำไปวางไว้บนตำแหน่งที่ต้องการจะทราบค่าพิกัด ในกรณีของวิธีการหาค่าพิกัดแบบจลน์ในทันทีนั้น เครื่องรับสัญญาณจะต้องมีการสื่อสารระหว่างเครื่องรับทั้งสองเครื่องผ่านทางคลื่นวิทยุหรือสัญญาณอินเทอร์เน็ต ทำให้สถานีเคลื่อนที่หรือสถานีรับจลน์ (Rover station) สามารถทราบค่าพิกัดตำแหน่งที่ถูกต้องหน้างานได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านการประมวลผลในภายหลัง ทั้งสองสถานีจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 5 ดวง ความถูกต้องที่ได้จะอยู่ในระดับ 1 ถึง 5 เซนติเมตร สำหรับเส้นทางที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร ด้วยวิธีนี้ ทีมวิจัยใช้ในการเก็บค่าพิกัดรายละเอียดต่าง ๆ ที่กล้อง Total Station ไม่สามารถ

เข้าถึงได้ โดยมีข้อดีคือสามารถเก็บค่าพิกัดได้อย่างรวดเร็ว ส่วนข้อเสียคือบางพื้นที่สัญญาณดาวเทียมไม่สามารถเข้าถึงได้ จึงอาจทำให้ตำแหน่งคลาดเคลื่อนได้

2.2.3 การรังวัดแบบวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS)

การรังวัดด้วยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) เป็นเทคโนโลยีการรับสัญญาณที่ทำเป็นโครงข่าย โดยมีสถานีรับค่า 24 ชั่วโมง โดยใช้สถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวร (Continuously Operating Reference Station, CORS) อย่างน้อย 3 สถานี ตามภาพที่ 2 จึงช่วยลดข้อจำกัดด้านระยะทางออกไปได้ถึงประมาณ 70 กิโลเมตร ซึ่งจะสามารถปรับแก้ชั้นบรรยากาศในขณะที่เคลื่อนย้ายสถานีรับเพื่อให้ได้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งต่ำกว่า 4 เซนติเมตร และส่งข้อมูลการรังวัดมายังศูนย์ควบคุมส่วนกลาง หลังจากนั้นผู้ใช้งานจะทำการเชื่อมต่อระบบจากเครื่องรับสัญญาณโดยการเข้ารหัสจากผู้ให้บริการเครือข่ายและเครื่องรับฯ จะส่งค่าพิกัดโดยประมาณไปยังศูนย์ควบคุมส่วนกลาง หลังจากนั้นระบบจะสร้างตำแหน่งสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station, VRS) ให้ใกล้กับตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมของผู้ใช้งาน การทำงานจะเหมือนการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีที่มีเส้นฐานสั้น ๆ จากสถานีอ้างอิงเสมือน ผู้ใช้งานจะได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูง ณ เวลานั้น หากมีการเคลื่อนที่ออกห่างจากระยะสถานีอ้างอิงเสมือนมากเกินไป ระบบจะคำนวณและสร้างสถานีอ้างอิงเสมือนใหม่ให้ ณ ตำแหน่งใกล้กับเครื่องรับ ในการสำรวจรังวัดแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง สถานีควบคุมสามารถคำนวณหาค่าพิกัดได้ในความละเอียดสูงมาก



ภาพที่ 2 ภาพการทำงานของ GNSS ด้วยวิธี VRS [3]

3. กระบวนการสำรวจรังวัดและขั้นตอนดำเนินงาน

3.1 การรังวัดด้วยกล้อง Total Station

ใช้สำหรับพื้นที่ที่สัญญาณดาวเทียมเข้าไปไม่ถึง แต่ต้องทำการวางหมุดให้สามารถส่องเห็นถึงกันได้เท่านั้น เนื่องจากโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตัวบุคคลมีสูง และยังไม่สามารถได้ค่าพิกัดที่ใช้งานได้ ต้องนำค่ามุมภายใน ระยะทางและทิศทางมาทำการคำนวณปรับแก้วงรอบปิดแบบบรรจบตัวเองโดยการใช้อุปกรณ์เข็มทิศ (Compass rule) ในการปรับแก้ จึงจะได้ค่าพิกัดที่ใช้งานได้ โดยสรุปการทำงานวงรอบได้ดังนี้ 1) สร้างแผนที่สังเขปและรายละเอียดที่ต้องทำ และตั้งเกณฑ์การทำงานตามมาตรฐาน 2) กำหนดตำแหน่งของหมุดรังวัดเป็นวงรอบปิดบรรจบตัวเอง มีหมุดจำนวน 13 หมุด คือ St.6, St.7, St.8, St.9, St.10, St.12, St.13, St.1, St.2, St.3, St.4, St.5 ตามลำดับ 3) ใช้หมุด St.6 เป็นหมุดเริ่มต้นในการทำวงรอบ ซึ่งทุกหมุดใช้การวัดมุมย้อน จำนวน 2 ชุด (Set 0, Set 90) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของมุมภายใน 4) เก็บรายละเอียดได้ทั้งหมด 880 จุด ซึ่งเป็นไปตามแผนการสำรวจที่กำหนดไว้ในข้างต้น 5) คำนวณหาความคลาดเคลื่อนทางมุมที่ยอมให้ (Interior Angle) โดยการวัดมุมทั้ง 2 ชุด โดยแต่ละชุดมีค่าต่างกันไม่เกิน 5" 6) การคำนวณปรับแก้วงรอบปิดแบบบรรจบตัวเองโดยใช้กฎของเข็มทิศ (Compass rule) สำหรับงานภาคสนาม มีค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (Accuracy Ratio) เท่ากับ 1: 50000 ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์ของงานวงรอบขั้นที่ 3

3.2 การรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS

มีการสร้างหมุดหลักฐานเพื่อใช้ในการสร้างระวางแผนที่ สำหรับการออกแบบแผนที่และการรังวัดแผนที่ โดยหมุดหลักฐานแผนที่เป็นหมุดอ้างอิงตำแหน่งทางราบที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม โดยการวางโครงหมุดหลักฐานแผนที่ กระจายครอบคลุมบริเวณที่ต้องการทราบตำแหน่งที่ตั้งแนวเขตและเนื้อที่ที่ดิน โดยหมุดหลักฐานแผนที่จะถูกฝังไว้ในตำแหน่งที่มีความมั่นคงถาวร ซึ่งในการรังวัดครั้งนี้มีหมุดหลักฐานจำนวน 3 หมุด คือหมุด KUSRC0001 KUSRC0002 และ KUSRC0003 โดยหมุด KUSRC0001 ตั้งอยู่ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา บริเวณหน้าตึกศรีธรรมเกษตร หมุด

KUSRC0002 อยู่บริเวณหน้าประตูฝั่งสนามกีฬาแหลมฉบัง และหมุด KUSRC0003 อยู่บริเวณหน้าพลต 1 ภายในโรงพยาบาลแหลมฉบัง ชื่อหมุดห้องไฟฟ้า โดยสามารถเข้าไปดูข้อมูลแต่ละหมุดได้จากภาพที่ 3 ซึ่งเป็นบันทึกรายละเอียดหมุดหลักฐานทั้งหมดในแผนที่โรงพยาบาลแหลมฉบัง ใช้วิธีการสำรวจรังวัดแบบ static โดยการตั้งเครื่องรับสัญญาณบนหัวหมุดอ้างอิง ซึ่งตั้งที่หมุด KUSRC0001 เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง และหมุด KUSRC0002 และ KUSRC0003 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากดำเนินการเก็บข้อมูลแล้ว จะส่งข้อมูลไปทำการประมวลผลภายหลัง (Post process) ที่ AUSPOS - Online GPS Processing Service โดยค่าที่ส่งไปนั้นจะต้องเป็นไฟล์ RINEX2 และต้องรู้ค่าความสูงของขาตั้งสามขา (Tripod) Antenna Type คือ TPSGR5 แล้วจึงนำค่าไปใช้ได้ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาดำเนินการปรับแก้ค่าความสูง Geoid Height จากแบบจำลองย็อยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย (Thailand Geoid Model 2017, TGM2017) เพื่อให้ค่าความสูงทางดิ่งมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น จากเว็บไซต์ <https://www.rtsd.mi.th/main/> โครงการพัฒนาแบบจำลองย็อยด์/ ส่วนวิธี Real Time Kinematic (RTK) นั้น จะใช้ในการดำเนินการเก็บข้อมูลรายละเอียดโดยทางเทคนิคเป็นการใช้ GNSS อย่างน้อย 2 ตัว โดยตัวที่หนึ่งตั้งที่หมุดอ้างอิงเพื่อทำเป็น base และตัวที่สองนำไปเป็น rover ในการรังวัดตามจุดที่ต้องการ โดยวิธีนี้เมื่อรังวัดแล้วเสร็จสามารถนำไปใช้ได้ทันที ซึ่งการรังวัดที่จะทำได้ค่าอย่างมีประสิทธิภาพนั้นควรเป็นการรับสัญญาณที่เป็นแบบ fix และ float เท่านั้น ซึ่งเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งจากการรังวัดทางราบอยู่ที่ ± 4 เซนติเมตร โดยเครื่อง GNSS ที่นำมาใช้งานเป็นยี่ห้อ Topcon รุ่น GR5 โดยมีค่าความถูกต้องของอุปกรณ์ (RMS) เมื่อทำการรังวัดด้วยวิธี RTK อยู่ที่ H: 5 mm + 0.5 ppm, V: 10 mm + 0.8 ppm และ Static อยู่ที่ H: 3.0 mm + 0.1 ppm, V: 3.5 mm + 0.4 ppm



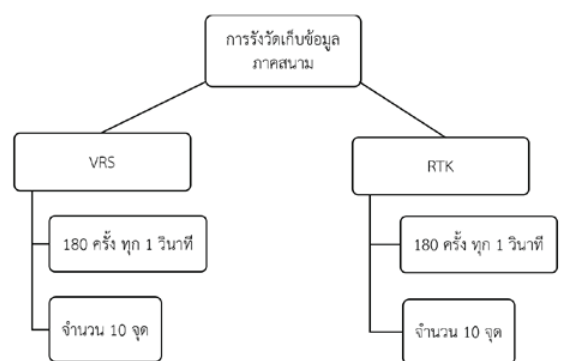
ภาพที่ 3 ก ข ค แสดงแบบบันทึกรายละเอียดหมวดหลักฐาน KUSRC0001 KUSRC0002 และ KUSRC0003 3.3 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการรังวัดด้วยวิธีการทางระบบดาวเทียม

จากการทดสอบประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์สำหรับงานรังวัดที่ดิน [4] โดยใช้เทคนิคการรังวัดแบบสถิต Static, RTK และ VRS จากการศึกษาพบว่าเทคนิค RTK และเทคนิค VRS จะให้ค่าความถูกต้องในทางราบใกล้เคียงกันในระดับ 4 เซนติเมตร ในขณะที่ [5] ได้ทำการทดลองประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน พบว่าเมื่อใช้ค่าความสูงย่อยของ EGM2008 วิธี RTK จะมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.07 เมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.04 เมตร วิธี VRS มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.07 เมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.03 เมตร ส่วนวิธีการกำหนดจุดเดี่ยวตำแหน่งสูง (Precise Point Positioning, PPP) มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.13 เมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.12 เมตร จะพบว่าวิธี RTK และวิธี VRS ให้ความถูกต้องในระดับที่ไม่

แตกต่างกัน แต่วิธี PPP จะให้ผลที่แม่นยำสองวิธีข้างต้น ซึ่ง [6] ได้ประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายสถานี GNSS แบบต่าง ๆ ในประเทศไทยพบว่าระบบ VRS ให้ความถูกต้องและความแม่นยำมากที่สุดสำหรับผลการทดสอบการรังวัดแปลงที่ดินในประเทศไทย โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร (Continuously Operating Reference Station, CORS) ของกรมที่ดิน ผลการศึกษาพบว่า การรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียม GNSS แบบจลน์ โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร ในรูปขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ารูปที่มีขนาดใหญ่กว่า และการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียม GNSS แบบจลน์นี้ ให้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบไม่เกิน 4 เซนติเมตร [7] นอกจากนี้ [8] ได้ศึกษาค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบด้วยค่าคลาดเคลื่อนรากที่สองกำลังสองเฉลี่ยโดยอาศัยแนวคิดด้วยสถานีอ้างอิงเสมือนของโครงข่าย GNSS แบบจลน์ เวลาจริงในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) มีค่า 1.5 เซนติเมตร ในขณะที่ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่ได้จากการประมวลผลคือ 3.4 เซนติเมตร ค่าจากตัวชี้วัดทั้งสอง มีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าเฉลี่ย 1.9 เซนติเมตร ต่อมา [9] ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของการรังวัดดาวเทียมจากโครงข่ายแบบจลน์ในทันที (RTK) ในประเทศไทย กรณีศึกษาการกระจายตัวของจุดทดสอบเพื่อทดสอบความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบในแนวกันชน (Buffer line) ที่แตกต่างกัน โดยการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ด้วยวิธี VRS เปรียบเทียบกับวิธีสถิต (Static survey) แบบสัมผัส ที่อยู่ใกล้กับ CORS ในตำแหน่งเดียวกัน โดยมีจุดทดสอบจำนวน 2,122 จุด อยู่ในรูปของ CORS การแบ่งระยะแนวกันชนจาก CORS ออกเป็น 4 ระยะได้แก่ 15, 30, 45 และมากกว่า 45 กิโลเมตร

ผลจากการศึกษาพบว่า รากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของจุดทดสอบที่อยู่ในแนวกันชนของแต่ละระยะ มีค่า RMSE ทางราบ 0.026, 0.036, 0.037 และ 0.039 เมตร ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่า RMSE ทางราบแปรผันตามระยะห่างจาก CORS ที่ใกล้ที่สุด [10] ได้ทำการวิจัยเรื่องการประเมินประสิทธิภาพของ Total Station เพื่อเป็นการอ้างอิงตำแหน่งสำหรับ GNSS ในการทดสอบความแม่นยำ

วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (Real-Time Kinematic, RTK) และวิธีการรังวัดด้วยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) มีการรังวัดภาคสนามดังนี้ การรังวัดด้วยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (Real Time Kinetic, RTK) โดยทำการเก็บข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียม 180 ข้อมูล รวมถึงศึกษาการรังวัดแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) ที่อ้างอิงจากกรมที่ดิน โดยทำการเก็บข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียม 180 ข้อมูล ผ่านการรังวัดดาวเทียมจากเครื่อง GNSS ยี่ห้อ Topcon รุ่น GR5 ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การดำเนินงานรังวัดภาคสนาม

หลังจากเก็บค่าพิกัดเรียบร้อยแล้ว นำมาทำการคำนวณค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) และวิธีการรังวัดด้วยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง

(Virtual Reference Station, VRS) และนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับระหว่างวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) และวิธีการรังวัดด้วยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ และสรุปผล

ในของการหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) วิธีการรังวัดเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) และวิธีการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) ตามสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ [7] ดังนี้

สมการที่ 1

$$RMSE_r = \sqrt{\sum \frac{(N_{static} - N_{i(VRS)})^2 + (E_{static} - E_{i(VRS)})^2}{n}}$$

สมการที่ 2

$$RMSE_r = \sqrt{\sum \frac{(N_{static} - N_{i(RTK)})^2 + (E_{static} - E_{i(RTK)})^2}{n}}$$

$RMSE_r$ คือ RMSE ของตำแหน่งทางราบ หน่วยเมตร
 N_{static} คือ ค่าพิกัดของแนวเหนือ-ใต้ ของการรังวัดแบบ stat

$N_{i(VRS)}$ คือ ค่าพิกัดของแนวเหนือ-ใต้ ของการรังวัดแบบ VRS

$N_{i(RTK)}$ คือ ค่าพิกัดของแนวเหนือ-ใต้ ของการรังวัดแบบ RTK

E_{static} คือ ค่าพิกัดของแนวตะวันออก-ตะวันตก ของการรังวัดแบบ static

$E_{i(VRS)}$ คือ ค่าพิกัดของแนวตะวันออก-ตะวันตก ของการรังวัดแบบ VRS

$E_{i(RTK)}$ คือ ค่าพิกัดของแนวตะวันออก-ตะวันตก ของการรังวัดแบบ RTK

i คือ ข้อมูลแต่ละ Epoch ที่ 1

n คือ จำนวนหมุดที่ใช้ทดสอบ

3.4 กระบวนการสร้างแผนที่

ในส่วนของการแผนที่ จะประกอบด้วยข้อมูลสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ อาคารสิ่งก่อสร้าง ถนน รางน้ำ ต้นไม้ ขอบเขตแนวรั้ว และเส้นระดับความสูง ซึ่งเมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดจากการคำนวณแล้ว ก็จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างแผนที่ แต่ละชั้นข้อมูล โดยได้มีการดำเนินการออกแบบฐานข้อมูลและพัฒนากระบวนการนำเข้าข้อมูลและทำแผนที่ด้วยโปรแกรมควอนตัมจีไอเอส (QGIS) และได้มีการนำภาพถ่ายดาวเทียมเข้ามาใช้ตรวจสอบและประเมินผลจากการดำเนินการเพื่อความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น หลังจากนั้นได้มีการจัดทำ Layout แผนที่ และ Export ออกมาเป็นไฟล์รูปภาพ หรือไฟล์ PDF ดังภาพที่ 5

4. ผลลัพธ์ที่ได้และการวิเคราะห์

จากการทดสอบการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมที่โรงพยาบาลแหลมฉบัง โดยทำการนำค่าพิกัดของวิธีการรังวัดเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) และวิธีการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real-Time Kinematic, RTK) มาเปรียบเทียบกับหมุดวงรอบที่ใช้อ้างอิง จำนวน 10 หมุด โดยใช้เครื่อง GNSS ยี่ห้อ Topcon รุ่น GR5 ในการรังวัดตามตารางที่ 1 โดยตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) และค่าความต่างของสองตัวชี้วัด ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยโดยรวมของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของวิธีการรังวัดเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) อยู่ที่ 0.205 เมตร หรือ 20.5 เซนติเมตร ส่วนวิธีการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) อยู่ที่ 0.189 เมตรหรือ 18.9 เซนติเมตร และค่าความต่างระหว่างสองตัวชี้วัดอยู่ที่ 0.033 เมตร หรือ 3.3 เซนติเมตร ตามลำดับ และจากตารางที่ 3 เป็นผลการทดสอบค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของหมุดหลักฐานอ้างอิง เปรียบเทียบกับ ค่ารากที่

สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ที่นำมาใช้ในการอ้างอิงพิกัด โดยใช้หมุดทองไฟฟ้า ซึ่งเป็นหมุดวงรอบตรงจุดเดียวกันกับหมุดหลักฐาน KUSRC0002 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหมุดหลักฐานพบว่า วิธีการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) อยู่ที่ 0.025 เมตร หรือ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับหมุดหลักฐานมากกว่าวิธีการรังวัดเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station,

VRS) ที่มีค่าพิกัดอยู่ที่ 0.054 เมตร หรือ 5.4 เซนติเมตร ซึ่งค่าความต่างของสองตัวชี้วัดนี้มีค่าความต่างกันอยู่ที่ 0.029 เมตร หรือ 2.9 เซนติเมตร ดังนั้นทั้งสองวิธีการนี้ จึงมีค่าความต่างกันไม่มากและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 4 เซนติเมตร [7]

เมื่อนำข้อมูลผลการทดสอบค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของวิธี VRS และ RTK จากตารางที่ 2 แสดงในรูปแบบกราฟแท่งและกราฟเส้นตามภาพที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 แผนที่โรงพยาบาลแหลมฉบัง อำเภอกะป้อ จ.ชลบุรี

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดของวิธีการรังวัดเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) และวิธีการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) และหมุดวงรอบที่ใช้อ้างอิง

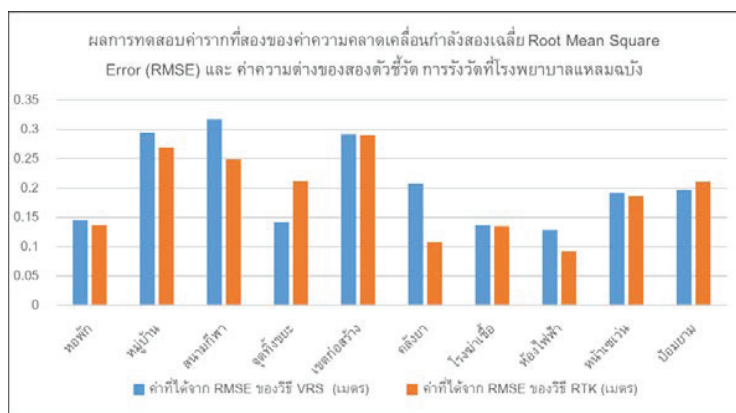
ชื่อหมุด	หมุดวงรอบที่ใช้อ้างอิง	หมุดวงรอบวิธี VRS	หมุดวงรอบวิธี RTK
	(x , y) (เมตร)	(x , y) (เมตร)	(x , y) (เมตร)
1. หมุดบริเวณหอพัก	708298, 1450776	708297.695, 1450775.656	708297.823, 1450775.602
2. หมุดบริเวณหมู่บ้าน	708248, 1450779	708247.188, 1450778.537	708247.543, 1450778.280
3. หมุดบริเวณคลังยา	708200, 1450779	708199.348, 1450778.897	708199.705, 1450778.879
4. หมุดบริเวณโรงฆ่าเชื้อ	708100, 1450821	708099.823, 1450820.602	708099.688, 1450820.706
5. หมุดบริเวณห้องไฟฟ้า (หมุดหลักฐาน)	707979, 1450820	707978.700, 1450819.720	707978.713, 1450819.936
6. หมุดบริเวณร้านสะดวกซื้อ	707982, 1450773	707981.398, 1450772.912	707981.564, 1450772.599
7. หมุดบริเวณที่รักษาความปลอดภัย	708122, 1450714	708121.509, 1450713.608	708121.477, 1450713.582
8. หมุดพื้นที่ก่อสร้าง	708184, 1450728	708183.930, 1450727.079	708183.110, 1450727.763
9. หมุดบริเวณสนามกีฬา	708268, 1450730	708267.433, 1450729.166	708267.659, 1450729.290
10. หมุดจุดทิ้งของเสีย	708394, 1450720	708393.553, 1450719.956	708393.372, 1450719.749

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) และค่าความต่างของสองตัวชี้วัด การรังวัดที่โรงพยาบาลแหลมฉบัง

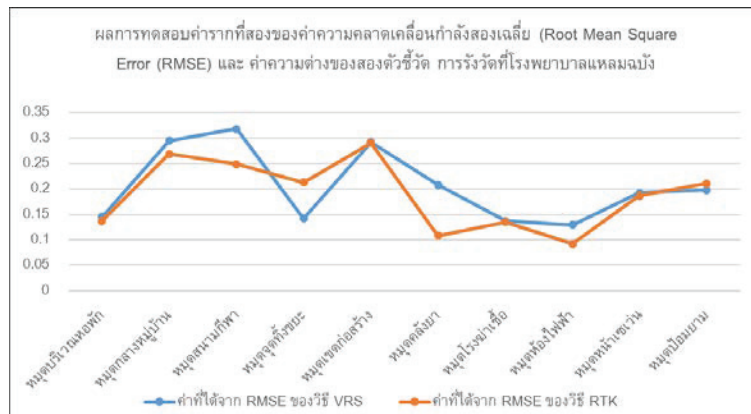
ชื่อหมวด	ค่าที่ได้จาก RMSE ของวิธี VRS (เมตร)	ค่าที่ได้จาก RMSE ของวิธี RTK (เมตร)	ค่าความต่างระหว่าง VRS และ RTK (เมตร)
1. หมวดบริเวณหอพัก	0.145	0.137	0.008
2. หมวดกลางหมู่บ้าน	0.295	0.269	0.026
3. หมวดคลังยา	0.208	0.108	0.100
4. หมวดโรงฆ่าเชื้อ	0.137	0.135	0.002
5. หมวดห้องไฟฟ้า(หมวดหลักฐาน)	0.129	0.092	0.037
6. หมวดหน้าร้านสะดวกซื้อ	0.192	0.187	0.005
7. หมวดบริเวณป้อมยามรักษาความปลอดภัย	0.198	0.211	0.013
8. หมวดพื้นที่ก่อสร้าง	0.292	0.291	0.001
9. หมวดบริเวณสนามกีฬา	0.318	0.249	0.069
10. หมวดบริเวณจุดทิ้งของเสีย	0.142	0.213	0.071
ค่าเฉลี่ยรวม	0.205	0.189	0.033

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของหมวดหลักฐานอ้างอิง เปรียบเทียบกับ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ที่นำมาอ้างอิง ของการรังวัดที่โรงพยาบาลแหลมฉบัง

ชื่อหมวด	ค่าที่ได้จาก RMSE ของวิธี VRS (เมตร)	ค่าที่ได้จาก RMSE ของวิธี RTK (เมตร)	ค่าความต่างระหว่างวิธี VRS และ RTK (เมตร)
หมวดห้องไฟฟ้า	0.129	0.092	0.037
KUSRC0002	0.054	0.025	0.029



ภาพที่ 6 กราฟแท่งแสดงผลการทดสอบค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) และค่าความต่างของสองตัวชี้วัด การรังวัดที่โรงพยาบาลแหลมฉบัง



ภาพที่ 7 กราฟเส้นแสดงผลการทดสอบค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) และ ค่าความต่างของสองตัวชี้วัด การรังวัดที่โรงพยาบาลแหลมฉบัง

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในโครงการนี้ได้มีการสำรวจรังวัดและจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ ให้แก่โรงพยาบาลแหลมฉบัง เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนกำหนดขอบเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ ซึ่งผลจากการดำเนินงานสามารถสร้างแผนที่ภูมิประเทศที่มีความแม่นยำ และได้มีการนำกระบวนการทางด้านการสารสนเทศภูมิศาสตร์ และภาพถ่ายดาวเทียมเข้ามาใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสำรวจรังวัดอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังได้มีการดำเนินการวิจัยในการตรวจสอบประสิทธิภาพการสำรวจรังวัดด้วยวิธีการทางระบบดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) ในเบื้องต้น โดยวิธีการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) และวิธีการรังวัดเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) ซึ่งใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) และ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของวิธีการรังวัดเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) เป็นตัวชี้วัด โดยการนำค่าพิกัดของวิธีการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) และการรังวัดเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual

Reference Station, VRS) มาเปรียบเทียบกับหมุดวงรอบที่ใช้อ้างอิง แล้วนำค่าความคลาดเคลื่อนมาหาค่าความต่างระหว่างสองตัวชี้วัด ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ทั้งสองวิธีมีค่าความต่างเฉลี่ยรวมกันอยู่ที่ 0.033 เมตร หรือ 3.3 เซนติเมตร ซึ่งไม่เกิน 4 เซนติเมตร ถือว่ามีความใกล้เคียงกันในทั้งสองวิธี และเมื่อเปรียบเทียบค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของหมุดหลักฐานพบว่า วิธีการของการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) อยู่ที่ 0.025 เมตร หรือ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับหมุดหลักฐานมากกว่าวิธีการรังวัดเทคนิคแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) ที่มีค่าพิกัดอยู่ที่ 0.054 เมตร หรือ 5.4 เซนติเมตร จึงเห็นได้ว่าวิธีการของการรังวัดเทคนิคแบบจลน์ (Real Time Kinematic, RTK) มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการรังวัดแบบสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (Virtual Reference Station, VRS) อย่างไรก็ตาม หมุดวงรอบที่ใช้อ้างอิงอาจจะมีความคลาดเคลื่อนปะปนแฝงอยู่ในเทคนิคที่ใช้ทำการรังวัด จึงอาจจะทำให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) มีความแปรปรวนอยู่บ้าง อย่างไรก็ตาม ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมมีค่าพิกัดใกล้เคียงกับหมุดหลักฐาน และค่าความต่างของ

ทั้งสองวิธียังมีค่าใกล้เคียงกันอีกด้วย ทำให้ค่าเหล่านั้นมีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้งานได้ และดำเนินการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศและนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems, GIS) พบว่าในการกำหนดหมุดสำรวจจวบจนครบ ควรเลือกตำแหน่งที่สามารถส่องกล้องเห็นถึงกันได้ และไม่ควรมีหมุดมากจนเกินไป เพื่อลดโอกาสความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการส่องกล้องรังวัด และในกรณีที่ต้องการจัดเก็บข้อมูลบริเวณภายในอาคาร ที่ซึ่งสัญญาณดาวเทียมอาจจะไม่สามารถเข้าไปถึงได้ อาจจะต้องเพิ่มหมุดย่อยเข้าไปในบริเวณอาคาร แล้วจึงทำการใช้กล้อง Total Station ในการเก็บรายละเอียด นอกจากนี้ ในการดำเนินการภาคสนาม พบว่าในการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสถิต (Static Survey) จำเป็นต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลอย่างน้อย 4 ชั่วโมง จึงต้องตรวจสอบสภาพอากาศก่อนทำการสำรวจ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาคีวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่ได้ร่วมกันวางแผนและลงพื้นที่สำรวจจัดทำแผนที่ รวมไปถึงโรงพยาบาลแหลมฉบัง ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินการสำรวจรังวัด

7. เอกสารอ้างอิง

[1] วิชัย เยี่ยงวีรชน (2548). การสำรวจรังวัด: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] สุทธิพล เอี่ยมประเสริฐกุล (2550). การหาค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางของบ่อน้ำบาดาลด้วย GPS. หน้า 309 สืบค้นจาก http://library.dmr.go.th/Document/Proceedings-Yearbooks/M_1/2550/30576.pdf

[3] KQ GNSS (2020). เทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดดาวเทียมด้วยระบบ GNSS. สืบค้นจาก <http://kqgnss.blogspot.com/2018/05/gnss.html> 06 June 2020.

[4] เจนพิธิกร สุนทรรัตน์ (2560). การทดสอบประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลนในทันทีสำหรับงานรังวัดที่ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] โชคชัย ตระกูลกุล (2555). การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียมนำหน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] สมเกียรติ ทิพย์สุนทนา (2560). การประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการรังวัดดาวเทียมแบบจลนโดยอาศัยเครือข่ายสถานี GNSS แบบต่าง ๆ ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] รุ่งโรจน์ เจริญยศ, ธีทัต เจริญกาลัญญูตา และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2562). การประเมินผลความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร สำหรับการรังวัดแปลงที่ดินในประเทศไทย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] นำพล คักดีสินทิ, ธีทัต เจริญกาลัญญูตา และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2562). การประเมินค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบด้วยค่าคลาดเคลื่อนรากที่สองกำลังสองเฉลี่ยที่เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอส อาศัยแนวคิดด้วยสถานีอ้างอิงเสมือน ของโครงข่ายจีเอ็นเอสเอสแบบจลน เวลาจริงในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] นิทัศน์พงษ์ นิเวศานนท์, ทยาทิพย์ ทองตัน และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2562). การประเมินประสิทธิภาพของการรังวัดดาวเทียมจากโครงข่ายแบบจลนในทันทีในประเทศไทย: กรณีศึกษาการกระจายตัวของจุดทดสอบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[10] Michael P, Sama (2020). Performance Evaluation of a Tracking Total Station as a Position Reference for Dynamic GNSS Accuracy Testing. Available via: https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://scholar.google.com/&httpsdir=1&article=1006&context=bae_facpub 06 June 2020.