การประเมินค่าความสูงออร์โทเมตริกจากข้อมูลแบบจำลองความสูงยีออยด์ด้วยโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง

Evaluation Orthometric Height derived from GNSS CORS network using various Geoid Model

พงษ์ศักดิ์ จินดาศรี[1] พัชราวดี จิตสุทธิ[1*]

[1] ฝ่ายพัฒนาเทคโนโลยีและดิจิทัล สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)

*Corresponding author; E-mail address: pongsak@hii.or.th

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ มุ่งหมายเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการรังวัดค่าความสูงอิลิปซอยด์ ด้วยระบบดาวเทียมนำทาง (GNSS) โดยใช้ข้อมูลจากโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง (GNSS CORS network หรือ NRTK) ร่วมกับข้อมูลแบบจำลองความสูงยีออยด์ต่างชนิด ได้แก่ แบบจำลองท้องถิ่น (TGM2017) และแบบจำลองสากล (EGM2008, EGM96) และทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากแบบจำลองความสูงแต่ละชนิด กับข้อมูลความสูงจากงานระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร โดยใช้พื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างเป็นพื้นที่ศึกษาด้วยการรังวัดแบบจลน์ แนวคิด (Virtual Reference Station: VRS) จากการศึกษาพบว่าค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการรังวัดโดยใช้แบบจำลองความสูงที่ต่างชนิดกัน เทียบกับค่าความสูงหมุดระดับชั้นที่ 1นั้น ข้อมูลแบบจำลองความสูงยีออยด์ TGM2017 EGM2008 และ EGM96 มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) 0.030 เมตร, 0.841 เมตร และ 0.933 เมตร ตามลำดับ โดยแบบจำลองความสูงยีออยด์ท้องถิ่น TGM2017 นั้น ให้ค่าความถูกต้องที่ดีกว่าแบบจำลองความสูงสากล ดังนั้น การใช้โครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่องร่วมกับแบบจำลองความสูงยีออยด์ท้องถิ่น จะเป็นทางเลือกสำหรับงานสำรวจหาค่าระดับความสูงของภูมิประเทศที่มีความแม่นยำและยังสามารถลดระยะเวลาในการสำรวจเทียบค่าระดับน้ำทะเลปานกลางเช่นกัน

คำสำคัญ: แบบจำลองความสูง, ยีออยด์, สถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง

Abstract

This study focuses on assessing the accuracy of the orthometric heights using GNSS Network-based Real Time Kinematic (NRTK) with different geoid model; the local model (TGM17) and global model (EGM2008, EGM96). And evaluate the accuracy of observed orthometric heights with the elevation information of primary benchmarks of the Royal Thai Survey Department. The lower Chao Phraya River basin was selected to be the study area and carried out in Kinematic technique; Virtual Reference Station (VRS). The results have shown, the comparison differences between the estimated orthometric heights with the geoid model from NRTK and the primary benchmarks elevation are shown the RMSE of 0.030 m, 0.841 m and 0.933 m for TGM17, EGM2008 and EGM96 respectively. From these results, orthometric height estimated from NRTK with the local geoid model (TGM17) could archive better accuracy than any global geoid model. Therefore, the potential of the CORS network with a local geoid model can be one of the better options for any survey works and also can be the shorty measurement base on mean sea level as well.

Keywords: orthometric heights, geoid model, CORS network

1. คำนำ

ปัจจุบันงานรังวัดด้วยดาวเทียมมีบทบาทสำคัญในงานด้านการสำรวจที่ต้องการค่าความถูกต้องของตำแหน่ง นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้ก็ยังเป็นค่าพิกัดในสามมิติ ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จึงถือเป็นผลพลอยได้จากงานรังวัดดาวเทียม แต่อย่างไรก็ตามวิธีการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบและทางดิ่งสูง ยังมีข้อจำกัดเนื่องมาจากการสิ้นเปลืองแรงงาน เวลา และเงินทุนในการตั้งสถานีฐาน (Single base station) ในทุก ๆ ครั้งที่ทำสำรวจ ทำให้หน่วยงานภาครัฐเล็งเห็นข้อจำกัดดังกล่าวจึงได้มีการติดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง (GNSS CORS: Global Navigation Satellite System Continuously Operating Reference Station Continuously Operating Reference Stations) สนับสนุนด้านการรังวัดในภารกิจของหน่วยงานนั้น ๆ แต่ยังไม่ได้มุ่งเน้นในการหาค่าความสูงเหนือระดับทะเล

ปานกลางหรือความสูงออร์โทเมตริก เนื่องจากยังมีค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางที่เกิดจากการใช้แบบจำลองความสูงสากล อยู่มากในการสำรวจระดับท้องถิ่น เช่น ในพื้นที่ประเทศไทย

ส่งผลทำให้หลายหน่วยงานให้ความสำคัญ กับการหาค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลางหรือความสูงออร์โทเมตริก โดยประยุกต์ใช้กับการรังวัดด้วยดาวเทียม โดยใช้ข้อมูลจากสถานีพิกัดอ้างอิงแบบต่อเนื่อง ในขณะเดียวกัน กรมแผนที่ทหาร ได้พัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย โดยเป็นแบบจำลองความสูงยีออยด์ท้องถิ่น (Local geoid model) หรือ TGM17 (Thailand Geoid Model 2017) [1,2]

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้หาค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียม ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ แนวคิด (Virtual Reference Station: VRS) ใช้ค่าความสูงจากการรังวัดด้วยดาวเทียมซึ่งเป็นความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal height) บนกรอบอ้างอิงค่าพิกัด ITRF 2008 epoch 2018 แปลงมาเป็นค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลางหรือความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric height) [6] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากสถานีพิกัดอ้างอิงแบบต่อเนื่องร่วมกับแบบจำลองความสูงยีออยด์ท้องถิ่น (Local geoid model) TGM2017 และแบบจำลองความสูงยีออยด์สากล (Global geoid model) EGM96, EGM2008 เพื่อช่วยในการพิจารณาการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างที่เกี่ยวข้องกับค่าระดับทางดิ่งในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

เปรียบเทียบการรังวัดด้วยดาวเทียม ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์โครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง แนวคิด (Virtual Reference Station: VRS) ผ่านการทอนค่า Geoid ที่ต่างชนิดกัน เทียบกับข้อมูลค่าความสูงจากงานระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหาร

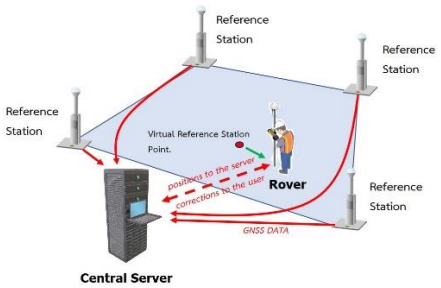
3. แนวคิดทฤษฎี

3.1. การรังวัดแบบจลน์โดยอาศัยระบบเครือข่ายหรือ NRTK (Network-based Real Time Kinematic)

การรังวัดแบบจลน์โดยอาศัยระบบเครือข่ายหรือ NRTK (Network-based Real Time Kinematic) ถูกพัฒนามาเพื่อช่วยลดข้อจำกัดของระยะเส้นฐาน และผู้ใช้งานไม่ต้องเสียเวลาในการติดตั้งสถานีอ้างอิง Reference station (Base) ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสำรวจได้ แม้มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ (Rover) แค่เครื่องเดียว จึงมีการพัฒนาแนวคิดการรังวัดแบบจลน์โดยอาศัยระบบเครือข่ายหรือ NRTK (Network-based Real Time Kinematic) ให้มีความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตร [3] และมีความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดสูงโดยความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของค่าพิกัด ตลอดจนขอบเขตในการทำงานนั้นเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันตลอดทั้งโครงข่าย ทำให้มีพื้นในการทำงานเพิ่มมากขึ้น [4] สำหรับหน่วยงานของผู้วิจัยได้ทดลองให้บริการแก่ผู้บุคคลหรือหน่วยงานทั่วไป ในการรังวัดแบบจลน์โดยอาศัยระบบเครือข่ายหรือ NRTK (Network-based Real Time Kinematic) แบบสถานีฐานเสมือน (Virtual Reference Station : VRS) ร่วมการทอนค่าเป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลางจากความสูงยีออยด์ท้องถิ่น (local geoid) เพื่อทดแทนการสำรวจเดินระดับด้วยกล้องสำรวจ

3.2. แนวคิดของระบบเครือข่ายสถานีฐานเสมือน (Virtual Reference Station : VRS)

แนวคิด Virtual Reference Station หรือ VRS สถานีผู้ใช้งานจะส่งค่าพิกัดตำแหน่งโดยประมาณของตัวเองไปยังศูนย์ควบคุมฯ จากนั้นศูนย์ควบคุมฯ จะทำการคำนวณและประมาณค่าแก้ต่าง ๆ จากสถานีฐานทุกสถานีสำหรับตำแหน่งโดยประมาณของสถานีผู้ใช้งาน) นั้น แล้วทำการคำนวณตำแหน่งสถานีผู้ใช้งานที่ถูกต้องโดยการใช้ค่าแก้ดังกล่าว ดังนั้นจึงเสมือนว่ามีสถานีเทียม (Virtual Reference Station) สำหรับอ้างอิงใกล้ ๆ กับสถานีผู้ใช้งาน [3, 4, 7] แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 Virtual Reference Station (VRS)

โดยเทคนิค VRS เป็นเทคนิคหนึ่งของวิธีการรังวัด NRTKและจากการประมวลข้อมูลพื้นฐาน ผลกระทบของความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับความยาวของ Baseline หากอยากจะลดผลกระทบดังกล่าวลง สามารถทำได้โดยการสร้างความแตกต่างของ Observables เช่นวิธี Double Differences เป็นต้นจากหลักการที่ว่าการปฏิบัติงานที่ดีต่อการใช้เส้น Baselines ที่สั้นๆ เพื่อให้สร้าง Reference Station เสมือนใกล้กับ Rover ทำให้เกิดการพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่มีอยู่ทำให้เกิด การสร้างเครือข่ายสถานีอ้างอิงเพื่อช่วยลดระยะของ Baseline ลง จนเกิดเป็นแนวคิดการสร้างสถานีเสมือนจริง จากการรังวัดจริงของเครือข่ายสถานีที่อ้างอิงที่หลากหลายอย่างน้อยสามสถานีที่อยู่ล้อมรอบ และส่งข้อมูลเหล่านั้นกลับไปยังสถานี Rover ผลของแนวคิดนี้ทำให้มีความแม่นยำในการหาตำแหน่ง [6]

3.3. แบบจำลองความสูงยีออยด์ (geoid modeling)

ยีออยด์ คือ ผิวระดับอ้างอิงมูลฐานหรือผิวศักยภาพความถ่วงของโลก (level surface หรือ equipotential surface on geoid, $W=W_0$ ดังรูปที่ 3) ที่มีความสำคัญต่อการกำหนดค่าระดับความสูงต่ำของภูมิประเทศและส่งผลต่อค่าความถูกต้องในการรังวัดโดยตรง โดยเฉพาะการคำนวณกา

ความสูงออร์โทเมตริก การคำนวณหาผิวยีออยด์ (geoid determination) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการสร้างแบบจำลองความสูงยีออยด์ (geoid modeling) [1] ซึ่งแบบจำลองความสูงยีออยด์สากลนั้น จะถูกคำนวณโดยใช้ค่าความโน้มถ่วงของโลกจากหลายๆแหล่ง ทำให้การนำไปใช้ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน สามารถเกิดความผันผวน ±100 ซม. ได้ ในระยะต่อมาจึงมีการปรับปรุงค่าความสูงยีออยด์ให้เข้ากับแต่ละภูมิภาค หรือประเทศของตน ซึ่งจะถูกเรียกว่า แบบจำลองความสูงยีออยด์ท้องถิ่น [5,8]

EGM96 (Earth Gravity Model of 1996) เป็นแบบจำลองยีออยด์สากล ถูกสร้างโดยความร่วมมือของ National Imagery and Mapping Agency (NIMA), NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) และ Ohio State University โครงการนี้ได้รวบรวมข้อมูลความโน้มถ่วงจากหลายๆแหล่งของโลก ด้วยวิธีที่แตกต่างกันบ้าง จากข้อมูลดาวเทียม GEOSAT และ ERS-1 ข้อมูลเหล่านี้จะนำมาหาค่าที่เรียกว่า coefficients ของ EGM96 แรงโน้มถ่วงของโลกมีลักษณะเป็นฟังก์ชั่น Harmonic ซึ่งจะคำนวณได้ก็ต่อเมื่อทราบค่า coefficients ที่กล่าวไว้ข้างต้นนั่นเอง โมเดล EGM96 ความละเอียดของกริดที่แต่ละช่องมีขนาด 15′ x 15′

EGM2008 (Earth Gravitational Model) ถูกสร้างโดย U.S. National Geospatial- Intelligence Agency (NGA) แบบจำลองยีออยด์สากลนี้ได้ปรับปรุงจาก EGM96 โดยเพิ่มข้อมูลจากดาวเทียม Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) เป็นข้อมูล จากดาวเทียม GRACE-1 และ GRACE-2 ที่วัดสนามความโน้มถ่วงของโลกปล่อยสู่วงโคจรในปี 2002 และได้เผยแพร่แบบจำลองนี้ในปี 2008 ความละเอียดของกริดที่แต่ละช่องมีขนาด 1′ x 1′

TGM2017 (Thailand Geoid Model 2017) เป็นแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่นความละเอียดสูงที่อ้างอิงผิวระดับบริเวณประเทศไทย ถูกพัฒนาโดยกรมแผนที่ทหารร่วมกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยปรับปรุงการคำนวณจาก EGM2008 คำนวณร่วมกับค่าความสูงยีออยด์จากหมุดร่วม GPS และหมุดระดับจำนวน 206 สถานีของกรมแผนที่ทหาร และแบบจำลองชนิดความโน้มถ่วงพิภพ CMU0701 จากการวัดภาคพื้นดิน 3,947 สถานี ความละเอียดของกริดมีขนาด 3” x 3” หรือประมาณ 90ม. x 90ม. [1] แสดงในรูปที่ 2

ในการพัฒนาระยะแรกนั้น ให้ชื่อแบบจำลองว่า THAI12H ทำการคำนวณโดยกำหนดให้อยู่ในระบบไร้กระแสน้ำขึ้นน้ำลง (non-tidal system) และสร้างความสูงยีออยด์ตามสมการที่ (1)

$$N = N_M + \frac{R}{4\pi\gamma\sigma} \iint (\Delta g_F - \Delta g_M) S(\psi)\, d\sigma + \delta N_I \qquad (1)$$

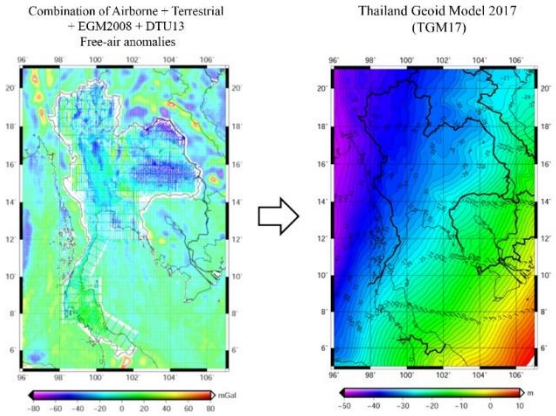
โดยที่ σ คือพื้นผิวของลูกโลกจริง R คือ ค่ารัศมีเฉลี่ยของโลก γ คือ ความโน้มถ่วงพิภพปกติบนทรงรี ระบบ WGS84 S คือ ฟังค์ชันของ Strokesซึ่งแปรผันตาม ψ and Δg_F ความโน้มถ่วงอนอมอลลี่ที่มีการคำนวณค่าแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ Δg_M คือ ความโน้มถ่วงอนอมอลลี่จาก EGM2008 และ N_M คือความสูงยีออยด์จาก EGM2008 [9]

ในการคำนวณความสูงยีออยด์นั้นสามารถคำนวณค่าแก้เนื่องจากผลกระทบทางอ้อม δN_I ได้จากสมการที่ (2)

$$\delta N_I = -\frac{\pi k \rho H^2}{\gamma} \qquad (2)$$

ค่าแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศจะถูกนำไปใช้กับค่าความโน้มถ่วงที่วัดได้ ดังนั้นค่าความสูงยีออยด์จึงได้จากการรวมค่า N_M และ δN_I โดยใช้ความสูงเฉลี่ยกริดขนาด ขนาด 3” ผลที่ได้ คือแบบจำลอง THAI12H ที่มีค่าความถูกต้องทางดิ่ง ±50 ซม.

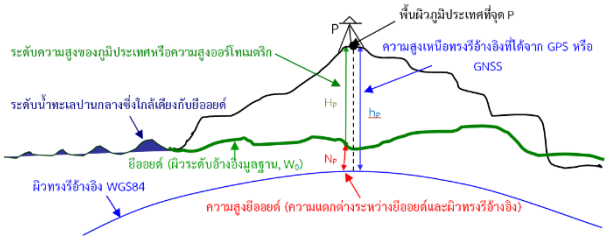
ต่อมาได้มีการปรับปรุงแบบจำลอง และได้เผยแพร่แบบจำลองยีออยด์ล่าสุดในปี 2017 ชื่อว่า TGM17 ซึ่งแบบจำลองความละเอียดสูงนี้ ให้ค่าความถูกต้องทางดิ่งโดยปกติที่ 10 ซม. ในพื้นที่ทั่วไป และให้ 2-5 ซม. ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล [1,9]



รูปที่ 2 การปรับปรุง Thailand Geoid Model 2017 (TGM2017)

3.4. ความสูงออร์โทเมตริก

แบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงจะใช้ทฤษฎีของสโตกส์การคำนวณหายีออยด์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของลูกโลกจริง ยีออยด์ และทรงรีอ้างอิง จะเห็นได้ว่าความสูงยีออยด์ (geoid undulation) คือระยะที่วัดตามแนวเส้นดิ่งที่ตั้งฉากกับผิวยีออยด์ (ซึ่งเส้นดิ่งนี้พุ่งผ่านจุด P) เขียนเป็นสมการพื้นฐานได้ว่าดังสมการที่ (3) แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือทรงรี และความสูงออร์โทเมตริก [5]

$$Hp = hp - Np \qquad (3)$$

โดยที่ Hp คือความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric Height) hp คือความสูงเหนือทรงรีอ้างอิง (Ellipsoidal Height) และ Np คือ ความสูงยีออยด์ (Geoid Height) หรือค่าความแตกต่างระหว่างพื้นผิวยีออยด์และ

พื้นผิวทรงรีตามแนวเส้นดิ่งที่พุ่งผ่านจุด P จากสมการดังกล่าวสามารถแปลงค่าความสูงเหนือทรงรีมาเป็นค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง หรือความสูงออร์โทเมตริกได้ จะพบว่าค่าความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกนั้นขึ้นอยู่กับค่าความถูกต้องของค่าความสูงเหนือทรงรีที่ได้จากงานรังวัดด้วยดาวเทียม และค่าความถูกต้องของการหาค่า N จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะหาค่าความสูงเหนือทรงรีที่ถูกต้องในระดับ ดังนั้นค่าความถูกต้องของค่า N จะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการหาค่าความสูงออร์โทเมตริกจากงานรังวัดดาวเทียม โดยค่าความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจะขึ้นอยู่กับค่าความถูกต้องของค่าความสูงเหนือทรงรีที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียม และความสูงยีออยด์ [10]

การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องแบบจำลอง ในกระบวนการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องนี้จะดำเนินการ ตรวจสอบความถูกต้องของค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่ได้จาก แบบจำลองยีออยด์โดยวิธีการคำนวนค่าความถูกต้องแบบสัมบูรณ์ (Absolute Accuracy) เทียบความถูกต้องกับค่าระดับชั้นที่ 1 จากหมุดทดสอบ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดยใช้หลักทางสถิติของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square หรือ RMS.) [11] ดังสมการ (4) เพื่อนำไป คำนวณหาค่าการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

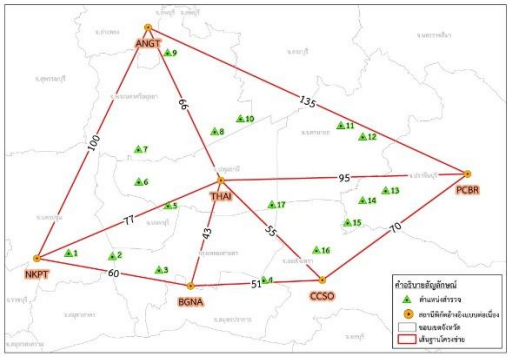
โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด
x คือ ค่าต่างระหว่างค่าระดับสูงที่ทำการรังวัดแบบจลน์กับค่าระดับชั้นที่ 1
$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าต่างระหว่างค่าระดับสูงที่ทำการรังวัดแบบจลน์ กับค่าระดับชั้นที่ 1

4. วิธีดำเนินการ

4.1. ข้อมูลและพื้นที่ใช้ในการศึกษา

4.1.1. พื้นที่ศึกษาบริเวณพระนครศรีอยุธยา ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา กรุงเทพและปริมณฑล ครอบคลุมพื้นที่ 9,680 ตารางกิโลเมตร ในพื้นที่บริการโครงข่ายสถานี GNSS CORS

4.1.2. การคัดเลือกเลือกหมุดระดับชั้นที่ 1 โดยเลือกชนิดหมุดหลักฐานถาวร PBM (Permanent Bench Mark) ซึ่งเกิดจากการถ่ายระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) ของประเทศไทยจากกล้องระดับ ตำแหน่งที่ตั้งเป็นที่โล่งแจ้งไม่มี อุปสรรคในการบดบังสัญญาณดาวเทียม มีจำนวน 17 หมุด แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนที่ตำแหน่งสำรวจและตำแหน่งสถานี

4.1.3. เชื่อมต่อรับค่าปรับแก้จากระบบเครือข่ายหรือ NRTK (Network-based Real Time Kinematic) ในตำแหน่งพื้นที่โล่งบนหมุดระดับ โดยใช้เวลาไม่น้อยกว่า 15 นาที และคัดเลือกข้อมูลที่อยู่ในโหมด Fixed Solution ผ่านการทอนค่า Geoid เป็นค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง ขณะสำรวจ ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ Leica รุ่น GS10 ระบบดาวเทียม GPS GLONASS และ BeiDou ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ Leica รุ่น GS10

5. ผลการศึกษา

5.1. ผลการการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียม

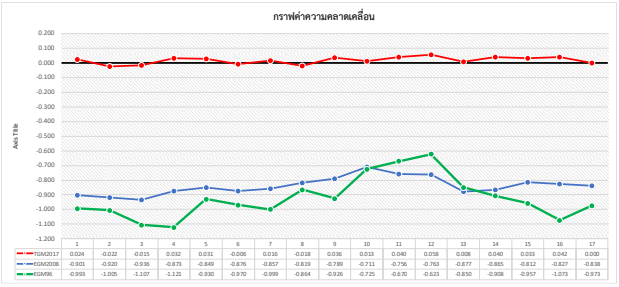
ข้อมูลการรังวัดโครงข่ายสัญญาณดาวเทียม แบบจลน์ (Network Real-Time Kinematic : NRTK) ที่ได้ทำการสำรวจและประมวลผลประมวลผลแล้ว จำนวน 17 จุด ผ่านการทอนค่า Geoid เพื่อหาค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง หรือความสูงออร์โทเมตริก ข้อมูลผลสำรวจหมุดระดับชั้นที่ 1 ค่าระดับอ้างอิงพื้นหลักฐานเกาะหลัก กรมแผนที่ทหาร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการสำรวจโครงข่ายสัญญาณดาวเทียมและหมุดระดับชั้นที่ 1

จุดสำรวจ	ค่าหมุดระดับชั้นที่ 1	ค่าระดับเทียบน้ำทะเลปานกลาง			ค่าความต่างสัมบูรณ์		
		TGM2017	EGM2008	EGM96	TGM2017	EGM2008	EGM96
1	1.812	1.788	2.713	2.805	0.024	0.901	0.993
2	1.460	1.482	2.380	2.465	0.022	0.920	1.005
3	1.467	1.482	2.403	2.574	0.015	0.936	1.107
4	0.405	0.373	1.278	1.526	0.032	0.873	1.121
5	2.059	2.028	2.908	2.989	0.031	0.849	0.930
6	2.135	2.141	3.011	3.105	0.006	0.876	0.970
7	3.204	3.188	4.061	4.203	0.016	0.857	0.999
8	4.127	4.145	4.946	4.991	0.018	0.819	0.864
9	5.001	4.965	5.790	5.927	0.036	0.789	0.926
10	4.561	4.548	5.272	5.286	0.013	0.711	0.725
11	5.185	5.145	5.941	5.855	0.040	0.756	0.669
12	6.415	6.357	7.178	7.038	0.058	0.763	0.623
13	3.915	3.907	4.792	4.765	0.008	0.877	0.850
14	4.307	4.267	5.172	5.215	0.040	0.865	0.908
15	2.970	2.937	3.782	3.927	0.033	0.812	0.957
16	3.357	3.315	4.184	4.430	0.042	0.827	1.073
17	3.095	3.095	3.933	4.068	0.000	0.838	0.973
ค่าสูงสุดสัมบูรณ์ (Absolute Maximum)					0.058	0.935	1.121
ค่าต่ำสุดสัมบูรณ์ (Absolute Minimum)					0.000	0.710	0.623
ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE)					0.030	0.841	0.933

6. บทสรุป

จากการศึกษาพบว่า การรังวัดแบบจลน์ แปลงค่าความสูงเหนือทรงรีเป็นค่าความสูงออร์โทเมตริก จากแบบจำลอง Geoid TGM2017 มีความคลาดเคลื่อนจากค่าหมุดระดับชั้นที่ 1 น้อยที่สุด โดยมีค่าสูงสุดสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.058 ค่าต่ำสุดสัมบูรณ์เท่ากับ 0.000 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.024 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.030 ส่วนแบบจำลอง Geoid EGM2008 มีความคลาดเคลื่อนจากค่าหมุดระดับชั้นที่ 1 ตามลำดับรอง โดยมีค่าสูงสุดสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.935 ค่าต่ำสุดสัมบูรณ์เท่ากับ 0.710 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.060 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.841 และแบบจำลอง Geoid EGM96 มีความคลาดเคลื่อนจากค่าหมุดระดับชั้นที่ 1 มากที่สุด โดยมีค่าสูงสุดสัมบูรณ์ เท่ากับ 1.121 ค่าต่ำสุดสัมบูรณ์เท่ากับ 0.623 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.142 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.933 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความคลาดเคลื่อนความสูงออร์โทเมตริกและหมุดระดับชั้นที่ 1

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ดร.พุทธิพล ดำรงชัย สำหรับคำแนะนำและสนับสนุนข้อมูลแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่นเพื่อใช้ในการทดสอบ ขอขอบพระคุณกรมแผนที่ทหารที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลหมุดระดับชั้นที่ 1 และสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาวิจัยนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] พุทธิพล ดำรงชัยและชัยวัฒน์ พรมทอง. (2560). การพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย. *วารสารแผนที่ ฉบับที่ 1 ปีที่ 37*, กรมแผนที่ทหาร, มกราคม – มิถุนายน 2560, หน้า 23-35.

[2] รุ่งโรจน์ เจริญยศ ธีทัต เจริญกาลัญญตา และเฉลิมชนม์ สถิระพจน์ (2562). การประเมินผลความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร สำหรับการรังวัดแปลงที่ดินในประเทศไทย. *วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย ปีที่ 20 ฉบับพิเศษ*, ISSN 1513-4261, 28 สิงหาคม 2562, หน้า 89-100.

[3] ธีรทัต เจริญกาลัญญตา และเฉลิมชนม์ สถิระพจน์. (2552). การประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย ผลการทดสอบเบื้องต้น. *วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 70 ปีที่ 22*, พฤศจิกายน 2552 - มกราคม 2553, หน้า 45-56.

[4] สมเกียรติ ทิพย์สุมณฑา และเฉลิมชนม์ สถิระพจน์. (2561). การประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายสถานี GNSS แบบต่างๆ ในประเทศไทย. *การประชุมวิชาการ เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ (GEOINFOTECH 2018)*, กรุงเทพมหานคร, 1-2 กุมภาพันธ์ 2561, หน้า 69.

[5] พุทธิพล ดำรงชัยและคณะ. (2552). การคำนวณหาจีออยด์บริเวณประเทศไทยขั้นต้น. *วิศวกรรมสาร มก.*, ISSN 1685-9317, ปีที่ 22, ฉบับที่ 67, ก.พ.-เม.ย. 2552, หน้า 29-41

[6] Hofmann – Wellenhof, B. Lichtenegger, H. and Wasle, E. (2008). *GNSS Global Navigation Satellite Systems, GPS, GLONASS, Galileo & more*. SpringerWienNewYork, pp. 537

[7] Janssen V. (2009). *A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK*. paper presented at the IGNSS 2009 Symposium, 1-3 December 2009. Australia., pp. 1-13

[8] Kuroishi, Y. (2001). *A New Geoid Model for Japan*. JGEOID2000, pp. 329-333

[9] Dumrongchai, P., C. Wichienchareon, and C. Promtong (2012). *Local Geoid Model for Thailand*. International Journal of Geoinformatics, **8**(4). pp 15-26

[10] Dumrongchai, P. and N. Duangdee (2019). EVALUATION OF TGM2017 FOR HEIGHT SYSTEM USING GNSS/LEVELING DATA IN THAILAND. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. Volume 10 No.10

[11] Charoenkalunyuta, T., Satirapod, C., Lee, H. and Choi, Y. (2012). COMPARISON BETWEEN ABSOLUTE AND RELATIVE POSITIONAL ACCURACY ASSESSMENT - A CASE STUDY APPLIED TO DIGITAL ELEVATION MODELS, *Bulletin of Geodetic Sciences*, 25(1): e2019003, 2019.