การเปรียบเทียบค่าระดับท้องถิ่นด้วยการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์แบบอาศัยเครือข่าย

Comparison of Local Elevation with Network-based Real-time Kinematics

กฤษณา ชูลิตพันธ์พงศ์[1] วรพันธ์ แก้วพิทยาภรณ์[2] และ กนกศักดิ์ ซื่อธานุวงศ์3*

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จ.กรุงเทพมหานคร

**Corresponding author; E-mail address: kanoksak.s@mail.rmutk.ac.th*

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบค่าระดับท้องถิ่นด้วยการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เป็นการสร้างแบบจำลองความสูงยีออยด์อันดูเรชั่นที่ได้จากการรังวัดหมุดควบคุมงานสำรวจในบริเวณนั้น และทำการทดสอบหาค่าระดับเพื่อเปรียบเทียบค่าระดับของหมุดควบคุมการสำรวจรังวัด การรังวัดหมุดควบคุมงานสำรวจใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสถิต กล้องระดับ และกล้องประมวลผลรวม การทดสอบค่าระดับจากแบบจำลองความสูงที่ได้จากหมุดควบคุมการสำรวจรังวัด ใช้วิธีการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่าย แบบจำลองความสูงยีออยด์อันดูเรชั่นมีด้วยกันหลากหลาย เช่น EGM96 ; EGM2008 เป็นแบบจำลองความสูงสากล , TGM2017 เป็นแบบจำลองความสูงท้องถิ่นประเทศไทย แบบจำลองความสูงเหล่านี้ใช้วิธีการรังวัดแรงโน้มถ่วงของโลก การรังวัดด้วยดาวเทียม การรังวัดด้วยอากาศยาน หรือการรังวัดด้วยการเดินระดับ ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดเหล่านี้นำมาพิจารณา สร้างเป็นแบบจำลองความสูงโดยใช้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์(ϕ,λ) และค่ายีออยด์อันดูเรชั่น(N) มาสร้างเป็นตำแหน่งกริดและค่าเฉลี่ยยีออยด์อันดูเรชั่น ซึ่งระยะกริดที่สร้างแบบจำลองความสูงประมาณหนึ่งลิปดา หรือประมาณหนึ่งพันแปดร้อยเมตร หรือมากกว่านั้น เมื่อนำแบบจำลองความสูงเหล่านี้ มาทำการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์อาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากมีระยะกริดที่ยาว จึงมีแนวคิดในการสร้างแบบจำลองความสูงจากหมุดควบคุมงานสำรวจในบริเวณนั้นๆ โดยใช้ข้อมูลจากหมุดควบคุมการสำรวจได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสถิต(ϕ,λ,h) และค่าระดับจากกล้องระดับ(H) นำมาสร้างเป็นไฟล์แบบจำลองความสูงยีออยด์อันดูเรชั่น ผลจากการทดสอบแบบจำลองความสูงยีออยด์อันดูเรชั่นที่สร้างขึ้นจากหมุดควบคุมและทำการทดสอบหมุดควบคุมด้วยการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่าย มีความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง 0.0137 เมตร

คำสำคัญ: การสำรวจรังวัด, แบบจำลองความสูง, การรังวัดด้วยดาวเทียม

Abstract

Comparison of local values with network-based real-time kinematics surveying using the Internet is a geoid undulation modeling obtained by survey control points in that the area and performing a level test to compare the level values of the survey control points. Survey control points use measure by GNSS static methods, Leveling and Total Station. Testing the elevation from the geoid undulation model obtained from the surveyor control points use network-based real-time kinematics surveying using the Internet methods. There are many different types of geoid undulation modeling available such as EGM96, EGM2008 is earth gravity model , TGM2017 is a model of height in Thailand. These geoid undulation models use earth's gravity method, satellite surveying, aircraft surveying, or leveling surveying the data obtained from survey measure are taken into consider create a geoid undulation model using by geographic coordinates(ϕ,λ) and geoid undulation height(N). The grid distance modeled to about one second, or about one thousand eight hundred meters or more because of the long grid distance when taking these may be inaccurate due to the long grid distance. Therefore, the idea was to create a geoid undulation model from the survey control points in that area using data from the survey control points from static satellite surveying (ϕ,λ,h). and the elevation value from the leveling(H) is then created as a geoid undulation model file. Results from testing the geoid undulation model generated from control points and performing control point tests with network-based real-time kinematics surveying has a vertical tolerance of 0.0137 meters.

Keywords: surveying, geoid undulation model, GNSS

1. บทนำ

การสำรวจภูมิประเทศ ค่าระดับบนภูมิประเทศมีส่วนความสำคัญในการแสดงพื้นผิวภูมิประเทศ สำหรับการวางแผนความสูงต่ำของพื้นที่ในการออกแบบสิ่งที่ต้องการ เช่น การก่อสร้างสิ่งต่างๆ การสร้างถนน การสร้างทางรถไฟ การขุดร่องน้ำ การทำสนามกอร์ฟ การหาปริมาณดินตัดดินถม เป็นต้น การสำรวจรังวัดเพื่อให้ได้มาซึ่งแผนที่ภูมิประเทศ จำเป็นต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์การสำรวจรังวัด เช่น กล้องระดับ กล้องประมวลผลรวม หรือการรังวัดด้วยดาวเทียมกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก เพื่อให้มีความสะดวก รวดเร็ว และให้ความละเอียดเพียงพอต่อการทำแผนที่ภูมิประเทศ ในงานวิจัยจึงเลือกวิธีการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่าย อินเตอร์เน็ต เนื่องจากมีศูนย์ข้อมูลค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องแห่งชาติ(NCDC) มีหน้าที่ให้บริการค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงที่มีเอกภาพเป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศแก่หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และประชาชนทั่วไป โดยบูรณาการข้อมูลจากสถานีอ้างอิงค่าพิกัดแบบต่อเนื่อง (CORS : Continuously Operating Reference Stations) ของหน่วยงานภาครัฐต่างๆ ทั่วประเทศ มีบริการให้ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบจลน์ (Network Real Time Kinematics) ในการสำรวจรังวัดใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมติดโพน 1 ชุด รหัสเชื่อมต่อระบบเครือข่ายศูนย์อ้างอิงค่าพิกัดด้วยสัญญาณอินเตอร์เน็ต กำหนดค่าการรังวัดดาวเทียม พื้นหลักฐาน การฉายแผนที่ แบบจำลองความสูง เช่น EGM2008 หรือ TGM2017[6] เพื่อต้องการทำแผนที่ภูมิประเทศ ก็สามารถกำหนดตำแหน่งที่ต้องการบริเวณพื้นที่ภูมิประเทศนั้นได้ ซึ่งตำแหน่งทางราบให้ความละเอียด 1-5 เซนติเมตร และกรมที่ดินก็ประกาศใช้ในการรังวัดที่ดิน ส่วนทางดิ่งขึ้นอยู่กับแบบจำลองความสูงที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งค่าระดับ ถ้าเป็นแบบจำลองความสูงสากล EGM2008 จากงานวิจัยหลายๆ งานวิจัยได้สรุปความละเอียดอยู่ที่ประมาณ 50-100 เซนติเมตร ส่วนแบบจำลองความสูงของประเทศไทย TGM2017[6] ให้ความละเอียดอยู่ที่ประมาณ 5-15 เซนติเมตร

ในงานวิจัย การเปรียบเทียบค่าระดับแบบท้องถิ่นด้วยวิธีการรังวัดโครงข่ายรังวัดแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่าย ตั้งสมมุติฐานว่าแบบจำลองความสูงจีออยด์อันดูเรชั่นที่สร้างขึ้นจากหมุดควบคุมงานสำรวจ มีความละเอียดถูกต้องมากกว่าแบบจำลองความสูงในแบบอื่นๆ เนื่องจากแบบจำลองความสูง EGM2008 หรือ TGM2017[6] มีระยะกริดอย่างน้อยหนึ่งลิปดา หรือระยะกริดประมาณหนึ่งพันแปดร้อยเมตร แต่แบบจำลองความสูงที่สร้างขึ้นจากหมุดควบคุมงานสำรวจมีระยะกริดน้อยกว่า ฉะนั้นการเฉลี่ยหาค่าระดับก็น่าจะให้ความละเอียดถูกต้องมากกว่า

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อเปรียบเทียบค่าระดับแบบจำลองความสูงจีออยด์อันดูเรชั่นที่สร้างขึ้นจากหมุดควบคุมการสำรวจ

1.1.2 สร้างเป็นไฟล์แบบจำลองความสูงจีออยด์อันดูเรชั่นด้วยโปรแกรม Trimble Grid Factory

1.1.3 ทดสอบหาค่าระดับบนหมุดควบคุมด้วยวิธีการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

1.2 ขอบเขตการศึกษา

1.2.1 พื้นที่สนามฟุตบอล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เขตพื้นที่เทคนิคกรุงเทพ

1.2.2 เครื่องมือรังวัดด้วยดาวเทียม ใช้เครื่องรับสัญญาณ CHC I50 GNSS ติดตั้งไฟล์แบบจำลองความสูงที่สร้างขึ้นและทดสอบค่าระดับโดยการรังวัดกาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

1.2.3 กล้องระดับใช้ LEICA NAK2 หาค่าระดับเพื่อทำการเปรียบเทียบกับการรังวัดด้วยแบบจำลองความสูง

1.2.4 กล้องประมวลผลรวมใช้ SOKKIA FX101 หาค่าพิกัดทางราบเพื่อตรวจสอบระยะทาง

1.2.5 โปรแกรมสร้างแบบจำลองความสูง Trimble Grid Factory สำหรับสร้างไฟล์ข้อมูลเพื่อนำเข้าในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

1.2.6 ข้อมูลแบบจำลองความสูงประเทศไทย TGM2017 สำหรับเปรียบเทียบค่าระดับ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถใช้เครื่องมือการรังวัดทางภาคพื้นดิน เช่น กล้องประมวลผลรวม กล้องระดับ ในการรังวัดหมุดควบคุมงานสำรวจได้อย่างถูกต้อง

1.3.2 สามารถใช้เครื่องมือการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิติและแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้อย่างถูกต้อง

1.3.3 สามารถสร้างไฟล์แบบจำลองความสูงโดยอาศัยข้อมูลการรังวัดทางภาคพื้นดินและเครื่องรับรับสัญญาณด้วยดาวเทียมบนหมุดควบคุมงานสำรวจได้อย่างถูกต้อง

1.3.4 สามารถเปรียบเทียบข้อมูลค่าระดับบนหมุดควบคุมพื้นที่การสำรวจได้อย่างถูกต้องและนำไปสู่การรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในการสำรวจตำแหน่งต่างๆ บนภูมิประเทศ

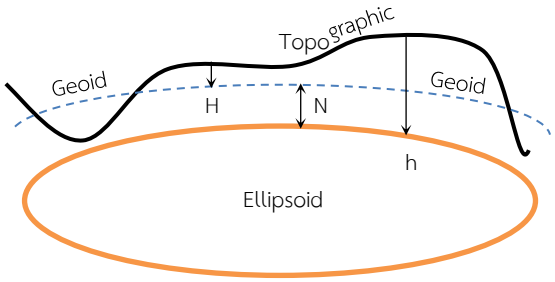
1.4 สมมติฐาน

การรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเพื่อทำแผนที่ภูมิประเทศต้องอาศัยแบบจำลองความสูง ซึ่งมีหลายระดับ เช่น แบบจำลองความสูงสากล(EGM2010) แบบจำลองท้องถิ่นประเทศไทย (TGM2017) ซึ่งเป็นแบบจำลองภาพรวมของพื้นที่ มีกริดขนาดใหญ่ทำให้ในการหาค่าระดับเฉลี่ยอาจมีความคลาดเคลื่อน ในงานวิจัยจึงคาดว่าถ้าสร้างแบบจำลองความสูงจากหมุดควบคุมการรังวัดบริเวณพื้นที่นั้นๆ และนำไปทำการรังวัด อาจทำให้ได้ค่าระดับเฉลี่ยมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง และมีความสะดวกในการรังวัดทำแผนที่ภูมิประเทศ เนื่องจากใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นผิวอ้างอิงการสำรวจรังวัด

พื้นผิวอ้างอิงการสำรวจรังวัดในประเทศไทยแบ่งออกเป็น พื้นหลักฐานอ้างอิงทางราบใช้รูปทรงรีสากล(World Geodetic System 1984 : WGS84) และรูปทรงรีท้องถิ่น(Everest 1830 : Indian1975) และพื้นหลักฐานอ้างอิงทางดิ่งสากล(EGM2008) และท้องถิ่นในประเทศไทย (TGM2017) ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวอ้างอิงการรังวัดทางราบและทางดิ่งประกอบด้วย พื้นผิวโลก(Topographic Surface) พื้นผิวระดับ(Geoid) และพื้นผิวรูปทรงรี(Ellipsoid)



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์พื้นผิวอ้างอิง

$$H = h + N \quad (1)$$

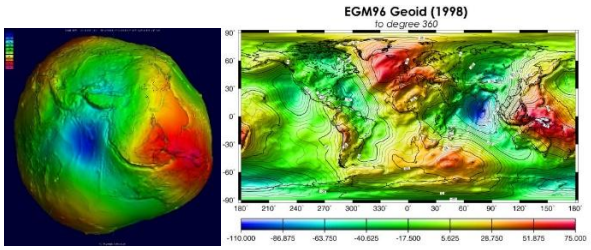
H หมายถึง ความสูงระดับน้ำทะเลปานกลาง (Orthometric Height)
h หมายถึง ความสูงบนรูปทรงรี (Ellipsoid Height)
N หมายถึง ยีออยด์อันดูเรชั่น (Geoid Undulation)

2.2 ข้อมูลแบบจำลองความสูง

ข้อมูลแบบจำลองความสูงสากล(Earth Gravitational Model : EGM) เป็นแบบจำลองความสูงความโน้มถ่วงของโลกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงพื้นผิวระดับ เผยแพร่โดย(National Geospatial-Intelligence Agency : NGA) เป็นแบบจำลองความสูงชุดของสัมประสิทธิ์ตัวเลขฮาร์โมนิกทรงกลม และชุดแบบจำลองความสูงด้วยค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ข้อมูลรังวัดจากหลายแหล่งจะนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองฮาร์โมนิกทรงกลมที่ประกอบด้วยกริดแต่ละช่องที่แตกต่างกันไปตามค่าพิกัดภูมิศาสตร์โลก ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะนำไปคำนวณหาค่าความสูงยีออยด์(Geoid Undulation) ตามแต่ละขนาดของช่องกริดที่กำหนดขึ้น แบบจำลองความสูงยีออยด์ก็สามารถนำไปคำนวณหาค่าระดับความสูงบนพื้นผิวภูมิประเทศได้ เมื่อทำการรังวัดด้วยดาวเทียมกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ซึ่งจะได้ค่าความสูงบนรูปทรงรีตามสมการที่ (1) เนื่องจากแบบจำลองความสูงยีออยด์เป็นตัวแทนของตารางกริดที่มีขนาด กริดแต่ละช่องขึ้นอยู่กับการสร้างแบบจำลองความสูง เมื่อต้องการค่าความสูงยีออยด์ ณ. ตำแหน่งใดๆ ของค่าพิกัดภูมิศาสตร์บนโลก จำเป็นจะต้องทำการหาค่าเฉลี่ย(Interpolation) บนแบบจำลองความสูง

2.2.1 แบบจำลองความสูง EGM96

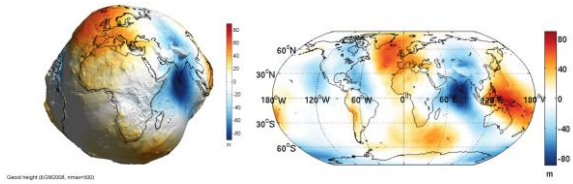
แบบจำลองความสูง EGM96 เป็นแบบจำลองความสูงฮาร์โมนิกทรงกลมแรงโน้มถ่วงโลก โดยความร่วมมือจากหลายหน่วยงานภายในประเทศสหรัฐอเมริกา(NGA,NASA,GSFC,NRL) และภายนอกประเทศแบบร่วมมือหลายโครงการในประเทศ แอฟริกา แคนาดา เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ยุโรปตะวันออก อดีตสหภาพโซเวียต บริเวณบางส่วนของอาร์กติก แอนตาร์กติก และทำการปรับปรุงฐานข้อมูลเพิ่มเติมหาค่าเฉลี่ยแบบจำลองความสูงจาก 30’x30’ เป็น 15’x15’



รูปที่ 2 แบบจำลองความสูง EGM96
https://www.geocities.ws/geodsci/geoidhist.htm

2.2.2 แบบจำลองความสูง EGM2008

แบบจำลองความสูง EGM2008 เป็นแบบจำลองความสูงจากการปรับปรุง EGM96 จัดทำโดย (U.S. National Geospatial-Intelligence Agency : NGA) เป็นการเพิ่มข้อมูลจากดาวเทียม(Gravity Recovery and Climate Experiment : GRACE) ซึ่งเป็นดาวเทียมของนาซ่า ที่วัดสนามความโน้มถ่วงของโลกปล่อยสู่วงโคจรในปี 2002 โดยที่โมเดลนี้ได้เผยแผ่ในปี 2008 จึงเรียกว่า EGM2008 ความละเอียดของ EGM2008 ประกอบด้วยกริดที่แต่ละช่องมีขนาด 1′ x 1′ หรือประมาณบรรจุค่า coefficients ประมาณ 4 ล้านค่า

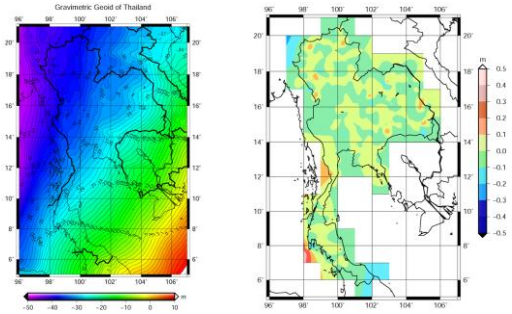


รูปที่ 3 แบบจำลองความสูง EGM2008
https://www.researchgate.net

2.2.3 แบบจำลองความสูง TGM2017

แบบจำลองความสูง (Thailand Gravitational Model 2017 : TGM2017) เป็นแบบจำลองความสูงของประเทศไทย ซึ่งเป็นโครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย[6] ของกรมแผนที่ทหารและคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่(2560) การรังวัดข้อมูลใช้วิธีการรังวัดความโน้มถ่วงพิภพทั้งทางภาคพื้นดินและทางอากาศ และผนวกข้อมูลบางส่วนตามแถบพรมแดนระหว่างประเทศและน่านน้ำอ่าวไทยโดยใช้แบบจำลองยีออยด์สากล EGM2008 และแบบจำลองผิวทะเลสากล DTU13 ร่วมการคำนวณ วิธีคำนวณใช้วิธีการปรับแก้ด้วยเทคนิคของลีสท์สแควร์ชนิดสมการการวัด เพื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติจากผล

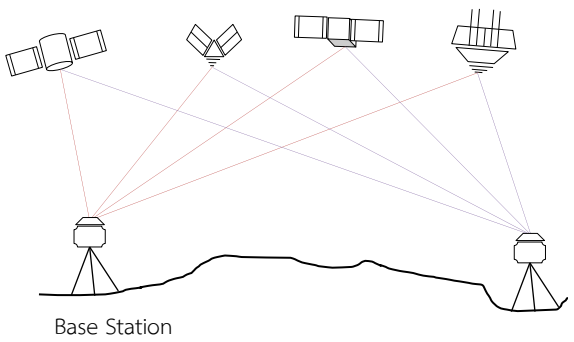
การปรับแก้ และได้จัดทำข้อมูลความโน้มถ่วงพิภพอะนอมอลลี่บนตำแหน่งกริดที่เหมาะสมบริเวณพื้นที่ทั่วประเทศไทยประมาณ 1 ลิบดาหรือ 18 กม. และได้ทำทดสอบการใช้งานแบบจำลองยีออยด์รายละเอียดสูงในการหาค่าระดับ ด้วยเทคนิคการสำรวจข้อมูลด้วยเทคโนโลยี GNSS ซึ่งผลการทดสอบความถูกต้องแบบสัมบูรณ์และแบบสัมพัทธ์เปรียบเทียบกับหมุดตรวจสอบ 100 หมุด ให้ความถูกต้องอยู่ที่ระดับดีกว่า 10 ซม. และมีความเทียบเท่ากับมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3



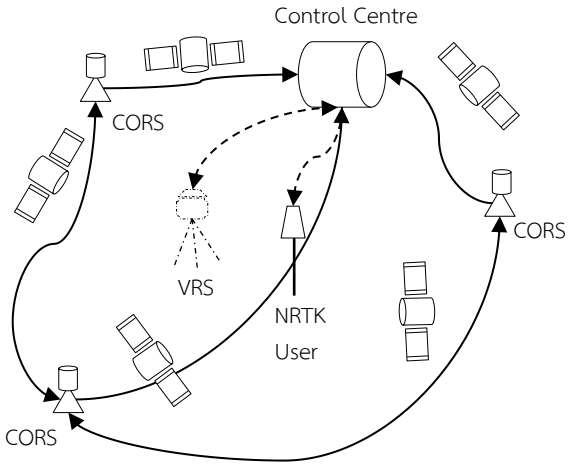
รูปที่ 4 แบบจำลองความสูง TGM2017[6]

2.3 การสำรวจรังวัดหมุดควบคุม

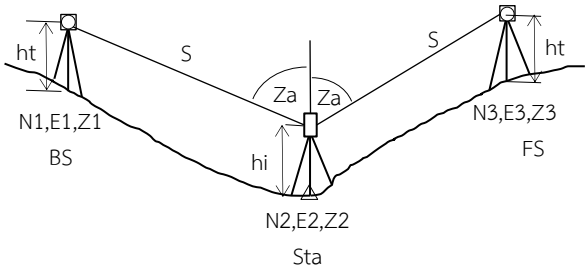
การสำรวจรังวัดหมุดควบคุมสำรวจ ใช้วิธีการรังวัดด้วยระบบสัญญาณดาวเทียมกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกแบบสถิติ การรังวัดด้วยกล้องระดับ การรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม การรังวัดในงานสำรวจส่วนใหญ่ใช้การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ โดยสถานีฐาน(Base Station) และสถานีจร (Rover Station) ซึ่งมีวิธีการรังวัดแบบสถิต(Static) และวิธีการรังวัดแบบจลน์ทันทีทันใด(Real time kinematic : RTK) การรังวัดด้วยกล้องระดับใช้วิธีการรังวัดแบบโครงข่ายและอ่านค่าระดับแบบสามสายใย เพื่อตรวจสอบการอ่านบนสนาม การรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมจะได้ข้อมูลทั้งทางราบและทางดิ่ง ซึ่งเป็นกล้องสำรวจที่มีระบบคอมพิวเตอร์ติดตั้งอยู่ภายในตัว ประกอบด้วย การรังวัดทิศทางแสดงผลเป็นตัวเลขบนหน้าจอแสดงผล การวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ปริซึมสะท้อน(Prism) และวัตถุสะท้อน(Reflector less) การบันทึกข้อมูลการรังวัดในหน่วยความจำโปรแกรมสำหรับการรังวัดในงานสำรวจ และระบบการสื่อสารเพื่อควบคุมการทำงานของกล้องประมวลผลรวม



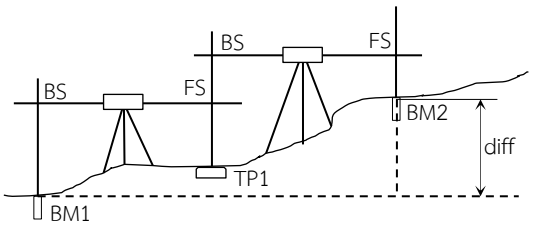
รูปที่ 5 การรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสถิต



รูปที่ 6 การรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่าย



รูปที่ 7 แการรังวัดด้วกล้องประมวลผลรวม

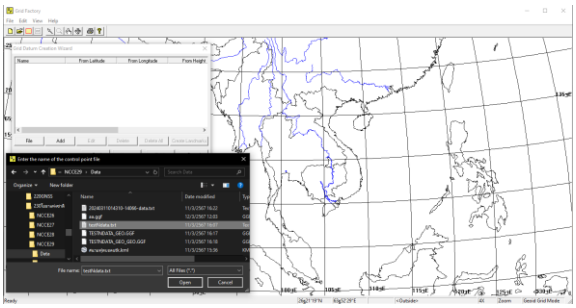


รูปที่ 8 การรังวัดค่าต่างระดับ

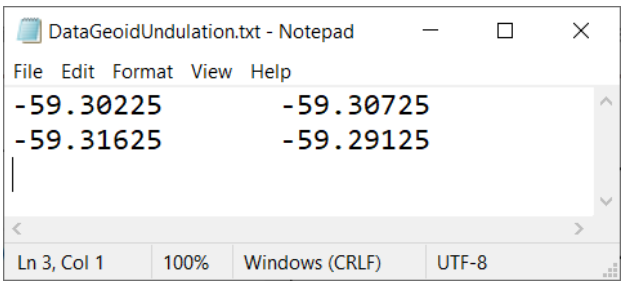
2.4 การสร้างแบบจำลองความสูง

การสร้างแบบจำลองความสูงยีออยด์อันดูเรชั่น ใช้โปรแกรม Trimble Grid Factory โดยการนำเข้าค่าพิกัดภูมิศาสตร์ทางราบ(ϕ,λ) จากการรังวัดด้วยดาวเทียมกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก และค่ายีออยด์อันดูเรชั่น(N) บนหมุดควบคุมงานสำรวจ มาสร้างเป็นไฟล์แบบจำลองความสูงยีออยด์ให้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบอาศัยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Trimble Grid Factory เริ่มจากการติดตั้งโปรแกรมซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ฟรี จากเว็บไซต์ (https://forms.trimble.com/globalTRLTAB.aspx?Nav=Collection-37882) และขั้นตอนการการสร้างไฟล์ Trimble Grid Factory Utility: Creating Files in Trimble (.ggf) Format

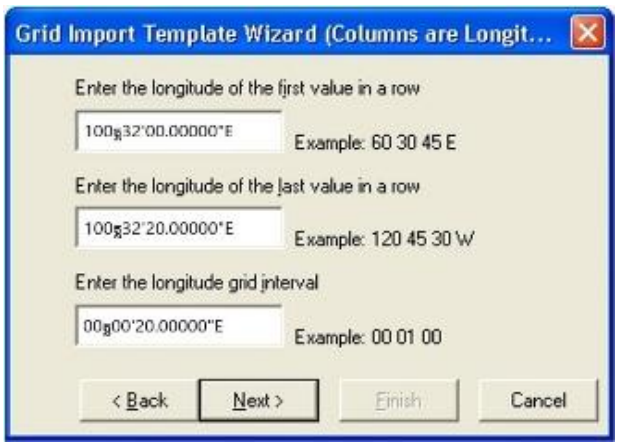


รูปที่ 9 โปรแกรม Trimble Grid Factory



รูปที่ 10 ข้อมูลยีออยด์ดันดูเรชั่นหมุดควบคุม

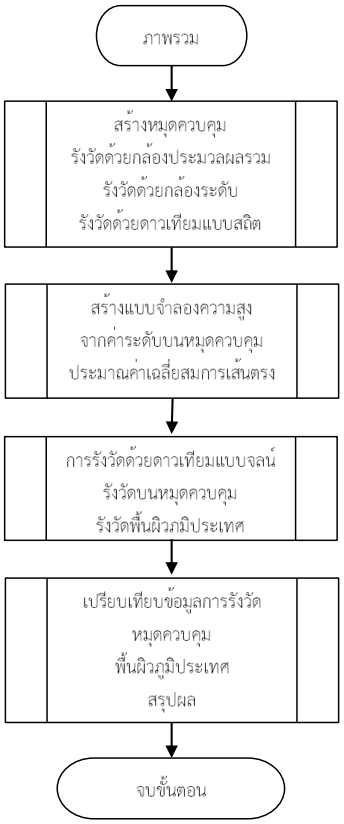
รูปที่ 11 การกำหนดค่ากริดละติจูด



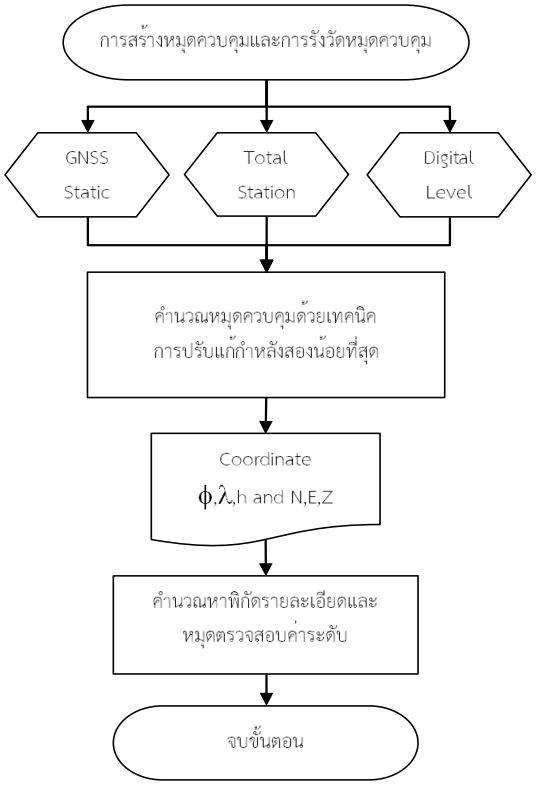
รูปที่ 12 การกำหนดค่ากริดลองจิจูด

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

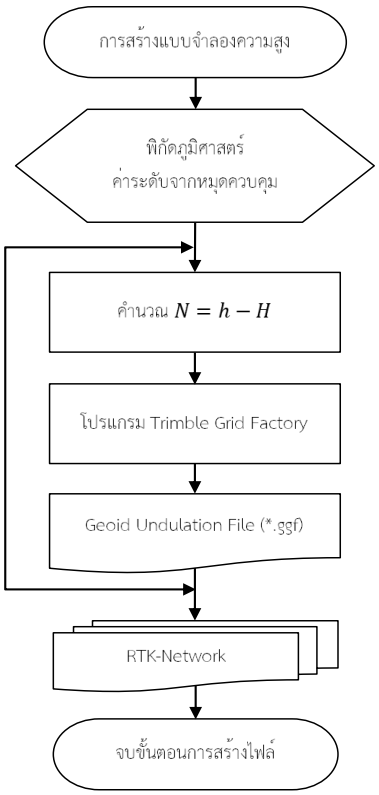
การเปรียบเทียบค่าระดับท้องถิ่นด้วยการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์แบบอาศัยเครือข่าย เป็นการสร้างไฟล์แบบจำลองความสูง(Geoid Undulation) จากหมุดควบคุมงานสำรวจ ซึ่งในการรังวัดทำแผนที่ภูมิประเทศจะต้องเก็บข้อมูลทางราบและทางดิ่งของจุดควบคุมงานสำรวจและรายละเอียด มาทำการประมวลผลหาค่าพิกัดตำแหน่งของจุดต่างๆ ที่ต้องการ โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการรังวัดด้วยเทปวัดระยะ กล้องประมวลผลรวม และกล้องระดับ ซึ่งมีอุปกรณ์ คน และเวลา ที่จะต้องใช้ประกอบการรังวัดมาก จึงมีแนวคิดในการใช้ การรังวัดทำแผนที่ภูมิประเทศด้วยการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์แบบอาศัยเครือข่าย เพื่อต้องการลดอุปกรณ์ คน และเวลาลง และจะต้องมีความละเอียดถูกต้องเพียงพอต่อการทำแผนที่ภูมิประเทศในงานสำรวจนั้นๆ มีภาพรวมในการดำเนินงานวิจัยดัง ผังงานในรูปที่ 3 ซึ่งมีขั้นตอนหลักในการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 13 ภาพรวมการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 14 การรังวัดหมุดควบคุมงานสำรวจ



รูปที่ 15 การสร้างแบบจำลองความสูงยีออยด์อันดูเรชั่น

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการรังวัดหมุดควบคุมด้วยดาวเทียมแบบสถิต

การรังวัดหมุดควบคุมการสำรวจจำนวน 4 หมุดครอบคลุมพื้นที่การทำงาน เพื่อใช้ในการรังวัดทำแผนที่ภูมิประเทศ ใช้วิธีการรังวัดดาวเทียมแบบสถิติ โดยออกแบบการรังวัดเป็นโครงข่าย และใช้สถานีฐาน CUSV00THA เป็นจุดอ้างอิงในการประมวลผลค่าพิกัด ได้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ($\phi,\lambda,$h) และค่าพิกัดยูทีเอ็ม(N,E,H) ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดภูมิศาสตร์จากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสถิต

	ค่าพิกัดภูมิศาสตร์		
หมุด	Latitude	Longitude	Ellipsoid height
1	13° 42' 50.14" N	100° 32' 13.71" E	-27.514 m
2	13° 42' 48.46" N	100° 32' 10.43" E	-27.524 m
3	13° 42' 46.52" N	100° 32' 11.48" E	-27.507 m
4	13° 42' 48.21" N	100° 32' 14.75" E	-27.505 m

ตารางที่ 2 ค่าพิกัดยูทีเอ็มจากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสถิต

	ค่าพิกัดยูทีเอ็มด้วยดาวเทียมแบบสถิต		
หมุด	North	East	Elevation
1	1516617.081	666218.284	2.862
2	1516564.820	666120.133	2.854
3	1516505.568	666151.950	2.868
4	1516558.202	666249.821	2.869

4.2 ผลการรังวัดหมุดควบคุมด้วยกล้องระดับและกล้องประมวลผลรวม

ตารางที่ 3 ค่าพิกัดยูทีเอ็มจากการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม

	ค่าพิกัดยูทีเอ็มด้วยกล้องประมวลผลรวม		
หมุด	North	East	Elevation
1	1516617.081	666218.284	30.000
2	1516564.812	666120.131	29.999
3	1516505.555	666151.959	30.002
4	1516558.199	666249.825	29.993

*การรังวัดหมุดควบคุมด้วยกล้องประมวลผลรวม รังวัดเป็นวงรอบโดยกำหนดจุดเริ่มต้นที่หมุด 1 ให้มีค่าพิกัดทางราบเท่ากับค่าพิกัดยูทีเอ็มที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมแบบสถิตและค่าระดับเริ่มต้นที่ 30.000 เมตร

ตารางที่ 4 ค่าต่างและค่าระดับจากการรังวัดด้วยกล้องระดับ

	ค่าต่างระดับและค่าระดับหมุดควบคุม	
หมุด	Differential	Elevation
1	-	30.000
2	-0.004	29.996
3	0.015	30.011
4	-0.005	30.006
1	-0.006	30.000

*การรังวัดหมุดควบคุมด้วยกล้องระดับ รังวัดเป็นลูปโครงข่ายและกำหนดค่าระดับจุดเริ่มต้นที่หมุด 1 เท่ากับ 30.000 เมตร

4.3 ข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองความสูง

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความสูงยีออยด์อันดูเรชั่น กำหนดให้ค่าระดับที่หมุด 1 +30.000 เมตร และ +1.7932 เมตร เป็นค่าการปรับแก้ให้เท่ากับค่าระดับบนหมุดควบคุม ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองความสูง

Latitude Longitude	13° 42' 40" N	13° 43' 00" N
100° 32' 20" E	-59.30225	-59.30725
100° 32' 00" E	-59.31625	-59.29125

4.4 ผลการรังวัดด้วยแบบจำลองความสูง TGM2017 และ BTC2024

การทดสอบใช้แบบจำลองความสูง TGM2017 และแบบจำลองความสูง BTC2024 ที่ได้จากการรังวัดข้อมูลจากหมุดควบคุมงานสำรวจด้วยวิธีการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ตามตารางที่ 6 และตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ค่าพิกัดที่ได้จากแบบจำลองความสูง TGM2017

	ค่าพิกัดยูทีเอ็มและค่าระดับแบบจำลองความสูง TGM2017		
หมุด	North	East	Elevation
1	1516617.188	666219.622	1.125
2	1516564.936	666121.485	1.142
3	1516505.689	666153.297	1.120
4	1516558.319	666251.169	1.104

ตารางที่ 7 ค่าพิกัดที่ได้จากแบบจำลองความสูง BTC2024

	ค่าพิกัดยูทีเอ็มและค่าระดับแบบจำลองความสูง BTC2024		
หมุด	North	East	Elevation
1	1516617.190	666219.618	30.039
2	1516564.914	666121.475	30.030
3	1516505.665	666153.297	30.025
4	1516558.303	666251.165	30.035

4.5 ผลการประเมินค่าต่างระดับระหว่างหมุดควบคุม

จากการประเมินหาค่าต่างระหว่างหมุดควบคุมโดยวิธีการรังวัดแบบต่างๆ ได้ผลตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลต่างค่าระดับระหว่างหมุดแต่ละวิธีการรังวัด

	ผลต่างค่าระดับระหว่างหมุดแต่ละวิธีการรังวัด				
หมุด	Level	GNSS	TS	TGM2017	BTC2024
1->2	-0.004	-0.008	-0.001	0.017	-0.009
2->3	0.015	0.014	0.003	-0.022	-0.005
3->4	-0.005	0.001	-0.009	-0.016	0.010
4->1	-0.006	-0.007	0.007	0.021	0.004

4.6 ผลการประเมินค่าต่างระยะราบ

ผลการหาค่าต่างระยะทางราบ โดยให้ระยะที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสถิตเป็นระยะจริงให้มีความถูกต้อง และการรังวัดด้วยวิธีการต่างๆ เป็นระยะสำหรับทดสอบ ได้ผลตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลต่างค่าระดับระหว่างหมุดแต่ละวิธีการรังวัด

	ผลต่างระยะราบระหว่างหมุดแต่ละวิธีการรังวัด			
หมุด	GNSS	TS	TGM2017	BTC2024
1->2	Fix	0.0053	-0.0166	0.0000
2->3	Fix	0.0094	-0.0068	-0.0003
3->4	Fix	0.0005	-0.0010	-0.0007
4->1	Fix	0.0042	-0.0041	0.0118

5. สรุปผล

การเปรียบเทียบค่าระดับท้องถิ่นด้วยการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เพื่อต้องการสร้างแบบจำลองความสูงของบริเวณที่ต้องการทำแผนที่ภูมิประเทศ ผลการประเมินความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัดที่หมุดควบคุมการสำรวจได้ตามตารางที่ 10 การประเมินความละเอียดถูกต้อง

ตารางที่ 10 ผลต่างค่าระดับระหว่างหมุดแต่ละวิธีการรังวัด

วิธีการรังวัด	$RMSE_N$	$RMSE_E$	$RMSE_H$
GNSS	0.0000	0.0000	0.0032
RTK-TGM2017	0.1154	1.3463	0.0189
RTK-BTC2024	0.1004	1.3418	0.0137
Total Station	0.0080	0.0049	0.0080

จากตารางผลการประเมินความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัดทางราบในการรังวัดแบบ RTK-TGM2017 และแบบ RTK-BTC มีการขยับเลื่อนไปทางเหนือ(0.1154, 0.1004 เมตร) และทางตะวันออก(1.3463, 1.3418 เมตร) ตามลำดับ เนื่องจากการประมวลผลแบบสถิตใช้สถานีฐาน CUSV00THA แต่การรังวัดดาวเทียมแบบจลน์อาศัยเครือข่ายระบบอินเตอร์เน็ตใช้สถานีฐานอ้างอิง(CORS) ทำให้มีการเลื่อนขยับไปในทางแนวเดียวกัน ถ้าต้องการปรับการเลื่อนขยับก็สามารถกำหนดค่าให้กับเครื่องรังวัดได้ ส่วนผลการประเมินความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัดทางดิ่งใช้วิธีการเทียบค่าต่างของแต่ละหมุดควบคุมการสำรวจ เปรียบเทียบกับค่าต่างระดับจากการรังวัดด้วยกล้องระดับ มีความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ 10 ช่อง $RMSE_H$ ผลจากการสร้างแบบจำลองความสูงจากหมุดควบคุมในงานสำรวจมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.0137 เมตร และมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าแบบจำลองความสูง TGM2017

5.1 ข้อเสนอแนะ

การสร้างแบบจำลองความสูงจากหมุดควบคุมงานสำรวจ เมื่อได้แบบจำลองความสูงแล้ว จะต้องทำการทดสอบหาค่าทั้งทางราบและทางดิ่งเพื่อดูความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองความสูง ถ้ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ก็สามารถนำไปทำการรังวัดทำแผนที่ภูมิประเทศได้ แต่ถ้ามีความเคลื่อนสูง จำเป็นจะต้องพิจารณาว่าเกิดขึ้นกับค่าใดในการรังวัด และปรับค่านั้นให้ถูกต้อง และทำการทดสอบอีกครั้ง เพื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อน จึงจะสามารถแบบจำลองความสูงไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของคณะนักวิจัย และนักศึกษาที่ช่วยในการรังวัดข้อมูล อ่าน เพิ่มเติม เปลี่ยนแปลง และแก้ไขบทความวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น คณะนักวิจัยขอขอบคุณมา ณ. โอกาสนี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมสำรวจ เทคนิคกรุงเทพ ที่บริการเครื่องมือสำหรับการรังวัด และพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขอขอบคุณแหล่งข้อมูลทุกแหล่งในเว็บไซต์ ที่อ้างอิงในบทความวิจัย

ขอขอบคุณการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ที่เผยแพร่ข้อมูลและจัดเวทีการประชุมวิชาการ

สุดท้ายขอบพระคุณประเทศไทย และโลกใบนี้ และผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่ยังไม่ได้กล่าวถึง และหวังว่าบทความวิจัยฉบับนี้มีประโยชน์ต่อผู้อ่าน ถ้ามีข้อเพิ่มเติม เปลี่ยนแปลง และแก้ไข คณะผู้วิจัยยินดีเป็นอย่างยิ่งในการแก้ไขข้อบกพร่องนั้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Erenoglu, R. C. (2017). A comprehensive evaluation of GNSS- and CORS-based positioning and terrestrial surveying for cadastral surveys. Survey Review, 49(352), 28–38. https://doi.org/10.1080/00396265.2015.1104093

[2] Even-Tzur, G., & Steinberg, G. (2009). USING AN OFFICIAL UNDULATION MODEL FOR ORTHOMETRIC HEIGHT ACQUISITION BY GNSS. Survey Review, 41(313), 292–300. https://doi.org/10.1179/003962609X451546

[3] Chayanin Hankansujarit and Constantin-Octavian Andrei. (2018). Atmospheric Water Estimation Using GNSS Precise Point Positioning Method. ENGINEERING JOURNAL Volume22, Issue 6. DOI:10.4186/ej.2018.22.6.37

[4] Pirti, A. (2007). Performance Analysis of the Real Time Kinematic GPS (RTK GPS) Technique in a Highway Project (Stake-Out). Survey Review, 39(303), 43–53. https://doi.org/10.1179/003962607X164989

[5] กรมที่ดิน (2023). ระเบียบกรมที่ดิน ว่าด้วยการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๖๖ (ประกาศ ณ วันที่ ๒๔ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๖).

[6] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2017). การพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์, กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย.

[7] ฐิติน บัวทอง, เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, พุทธิพล ดำรงชัย (2021). การสร้างแบบจำลองความสูงยีออยด์จาก ข้อมูลระบบนำทางด้วยดาวเทียม ด้วยวิธีแบบสถิตและแบบจลน์ โดยการประมาณค่าฟังก์ชันโพลิโนเมียล จากการสร้างกันชนหลายขนาด บนข้อมูลสถานีร่วมค่า

ความสูงออร์โทเมตริก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26. 26, (มิ.ย. 2021), SGI-15.

[8] ประกอบ มณีเนตร, ภุชงค์ วงษ์เกิด, สาคร เชื่อมั่น, ปฏิภาณ เชื่อมั่น, บุรินทร์ ทับสายทอง, สุทธิโชค หิรัตพรม, อรุณยุพา บัวทรัพย์ (2020). การเปรียบเทียบค่าระดับสูงที่รังวัดด้วยดาวเทียมกับค่าระดับสูงของหมุดกรมแผนที่ทหาร. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25. 25, (ก.ค. 2020), SGI11.

[9] ศตวรรษ มุกดาหาร และพุทธิพล ดำรงชัย (2020). การปรับปรุงแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่นในประเทศไทยโดยการใช้แบบจำลองภูมิประเทศเศษเหลือและความโน้มถ่วงพิภพภาคพื้นดิน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 43, ฉบับที่ 4, 2563, 505-516.

[10] สมเกียรติ ทิพย์สุมณฑา (2011). การประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายสถานี GNSS แบบต่างๆ ในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย