Comparison of the Elevations by GNSS with Thailand Geoid Model 2017 and Leveling

1 2 3 4 5 6 7

[1,2,3,4,5,6] สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
[7] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

[1]E-mail address : prakobku@gmail.com, [2,3,4,5,6] E-mail address : p.wongkoet@gmail.com, [7]E-mail address : arunyupa-j@hotmail.com

การหาระดับสูงเหนือทะเลปานกลางของจุดต่างๆจากรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSSโดยคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือทรงรีและความสูงจีออยด์ ซึ่งความสูงจีออยด์หาได้จากแบบจำลอง TGM2017 โครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย โครงการนี้อยู่บริเวณ ตำบล เขาน้อย อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี โดยได้มีการรังวัดหาค่าระดับสูงวิธีดาวเทียม GNSS ที่หมุดระดับชั้นที่ 1 กรมแผนที่ทหารจำนวน 6 หมุด ซึ่งอยู่ในพื้นที่โครงการ เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับสูงที่ได้จากการรังวัดทั้งสองวิธีได้ค่าRMSE เท่ากับ 0.023 เมตร ซึ่งดีกว่า 12 มม√K หรือเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 การหาค่าระดับสูงวิธีดาวเทียม GNSS ใช้เวลาทำงานได้รวดเร็วกว่า และค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีการระดับ

คำสำคัญ : การรับสัญญาณดาวเทียม GNSS, ระดับสูงเหนือทะเลปานกลาง, แบบจำลองTGM2017

Abstract

Elevations above mean sea level of points are determined by GNSS method from the relationship between ellipsoidal height and geoid undulation. Geoid undulation of points is computed from TGM2017. The project area is at Khao Noi Subdistrict, Tha Muang District, Kanchanaburi Province. Elevations of six points in the project area are first order benchmarks determined by The Royal Thai Survey Department. Elevations of the same six points are observed by GNSS method. Comparison of elevations by both methods found that RMSE of elevations by GNSS method is equal to 0.023 meter which is better than 12 mm√K (third order leveling specification). Determination of elevations by GNSS method save cost and time compared to leveling method.

Keywords : GNSS, Elevation, TGM2017

1.

การสำรวจรังวัดความสูงของภูมิประเทศ มีความสำคัญสำหรับงานทางด้านวิศวกรรมหลายแขนง อีกทั้งยังสามารถวางแผนกิจกรรมทางการบริหารของประเทศได้มากมาย ปัญหาสำคัญของงานทางด้านการสำรวจและทำแผนที่ของด้านวิศวกรรม คือขีดจำกัดเรื่องเวลาและค่าใช้จ่าย ขาดบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในงานสำรวจและทำแผนที่ ซึ่งอาจจะเห็นได้บ่อยครั้งจากงานที่ผิดพลาดส่งผลกระทบต่อผู้ว่าจ้างประชาชนทั่วไป รวมถึงงบประมาณ เพื่อขจัดปัญหาต่างๆเหล่านี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงทำการศึกษางานทางด้านการรังวัดสัญญาณGNSS ประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองยีออยด์ TGM2017 เทียบค่าระดับชั้น1จากกรมแผนที่ทหาร เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองยีออยด์TGM2017 หาค่าระดับสูงหรือค่าความสูงออร์โทเมตริก (Elevation or Orthometric height) จากการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS โดยคำนวณจากแบบจำลอง TGM2017 ประกอบพื้นผิว 3 ลักษณะคือ พื้นผิวจริงในภูมิประเทศ พื้นผิวทรงรีและพื้นผิวจีออยด์ โดยพื้นผิวจีออยด์ใกล้เคียงกับระดับทะเลปานกลางมากที่สุด โดยที่ปัจจุบันโครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย(Development of Precise Geoid Model of Thailand) [6] ได้ถูกนำมาใช้ในปี พ.ศ.2560 ซึ่งเรียกแบบจำลองดังกล่าวว่า TGM2017 สามารถรังวัดหาค่าระดับได้โดยมีความละเอียดถูกต้องยิ่งขึ้น และเนื่องด้วยการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมในระบบ GNSS ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้น ซึ่งทำให้สามารถรังวัดหาพิกัดและระดับของจุดต่างๆบนพื้นผิวโลกได้อย่างรวดเร็ว มีความถูกต้องสูง และประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าวิธีการระดับ

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาวิจัย โดยการเปรียบเทียบการรังวัดระดับความสูงของหมุดระดับระหว่างวิธีการจากโครงข่ายดาวเทียม GNSS Network แบบจลน์ในทันที (Real-time kinematic : RTK) กับค่าระดับสูงของหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 6 หมุด ใน

พื้นที่ประมาณ 10 ตารางกิโลเมตร ซึ่งได้ทำการศึกษาในพื้นที่ตำบล เขาน้อย อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี

2.

2.1 เพื่อรังวัดหาค่าระดับสูงของหมุดระดับขั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารด้วยรังวัดวิธี GNSS ที่ในพื้นที่ตำบลเขาน้อย อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการรังวัดหาระดับสูงของหมุดระดับจากการรังวัดวิธีดาวเทียมGNSS และค่าระดับสูงของหมุดระดับขั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารซึ่งรังวัดด้วยวิธีการระดับในพื้นที่โครงการ

3

3.1 งานวิจัยที่ผ่านมา

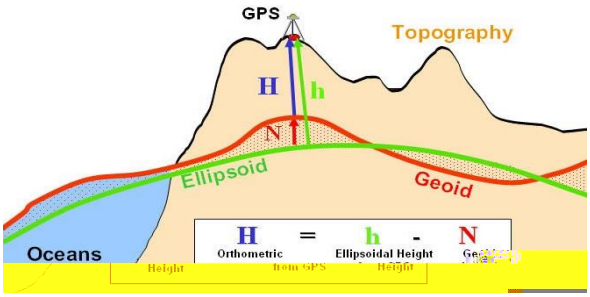
กรมแผนที่ทหารและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2560) ได้ร่วมกันจัดทำโครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย (Development of Precise Geoid Model of Thailand) ซึ่งเรียกว่า TGM2017 [5] และได้รายงานผลการดำเนินงานไว้ว่า การทดสอบการใช้งานแบบจำลองยีออยด์รายละเอียดสูงในการหาค่าระดับด้วยเทคนิคการสำรวจข้อมูลด้วยเทคนิคการสำรวจด้วยเทคโนโลยี GNSS ซึ่งผลการทดสอบความถูกต้องแบบสัมบูรณ์และแบบสัมพัทธ์เปรียบเทียบกับหมุดตรวจสอบ 100 หมุด ได้แสดงให้เห็นถึง ความถูกต้องของแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงอยู่ในระดับดีกว่า 10 ซม. และมีความเทียบเท่ากับมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3 และได้รายงานความคุ้มค่าในการหาค่าระดับด้วยเทคโนโลยี GNSS ควบคู่ไปกับการใช้แบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงบริเวณประเทศไทย ได้พัฒนาขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินระดับแบบทั่วไปโดยใช้กล้องระดับ (Conventional leveling) ซึ่งมีความถูกต้องของค่าระดับใกล้เคียงกัน จะให้ความคุ้มค่าที่เหนือกว่าในระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสายของการเดินระดับมีระยะมากกว่า 10 กม. ขึ้นไป [5]

และในปีต่อมา วัชโรตม์ พันโยธา (2561) ได้ศึกษาการประเมินความถูกต้องค่าระดับสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยในพื้นที่ติดตามการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า ค่าระดับสูงภูมิศาสตร์ที่รังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบจลน์ มีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.081 เมตร โดยวิธีการหาค่าระดับสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ [7]

3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.2.1 กรอบอ้างอิงระบบดาวเทียมและการหาระดับสูงจากการรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS

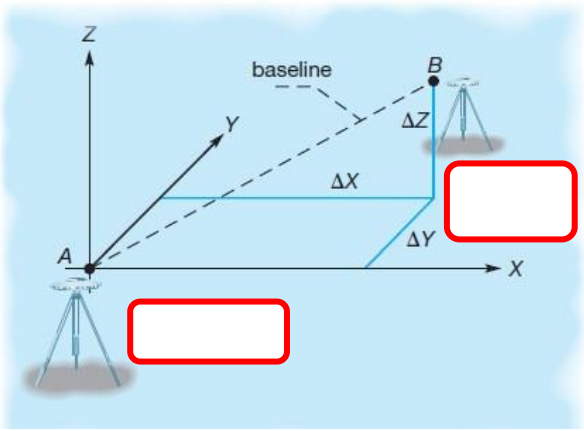
ระบบกรอบอ้างอิงที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอสคือ World Geodetic System 1984 (WGS84) ประกอบด้วยทรงรี WG584 และแกนอ้างอิงสามมิติ XYZ มีจุดศูนย์กลางมวลของโลกเป็นจุดกำเนิดในระบบพิกัด Geocentric Coordinate System โดยจุด origin อยู่ที่ Mass Center ของโลก แกน X ผ่าน Greenwich Meridian แกน Z อยู่บนแกนหมุนของโลก (Conventional Terrestrial Pole : CTP และ)แกน Y อยู่บนระนาบศูนย์สูตรในระบบมือขวา (right-handed coordinate system) เช่นเดียวกับตำแหน่งดาวเทียม ในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะมี software แปลงพิกัดจากระบบพิกัดของดาวเทียมในแต่ละระนาบ มาเป็นระบบพิกัด Geocentric Coordinate System และนำข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมาคำนวณปรับแก้โครงข่ายดาวเทียม (GNSS Network) ในระบบพิกัดนี้ ค่าที่ปรับแก้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แล้ว จะแปลงเป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์ และความสูงเหนือทรงรี h (Ellipsoidal height) ซึ่งระบบพิกัดภูมิศาสตร์สามารถแปลงเป็นพิกัดกริดในระบบUTM (Universal Transverse Mercator) และเมื่อทราบค่าความสูงจีออยด์ N (geoid height or geoid undulation or geoid separation) จากแบบจำลองจีออยด์ ก็จะสามารถคำนวณหาค่าระดับสูง H (Elevation or Orthometric height) จากความสัมพันธ์ $H = h - N$ ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นความสัมพันธ์ของทั้งสามค่าดังกล่าว



1ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับ ค่าความสูงเหนือทรงรี และค่าความสูงเหนือยีออยด์ [4]

3.2.2 การรังวัด GNSS แบบจลน์ในทันที (Real-time kinematic : RTK)

วิธีการนี้มักถูกเรียกโดยย่อว่า RTK ซึ่งหลักการทำงานของวิธีการรังวัดหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ด้วย วิธีการทำงานแบบจลน์ในทันทีนั้น ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2 [3]



คำนวณค่าพิกัดสถานีหลักและสถานีจร [3]

ตั้งเครื่องรับสัญญาณ GPS เหนือหมุดA ซึ่งทราบค่าพิกัด หรือสถานีหลัก และตั้งเครื่องรับสัญญาณ GPS เหนือหมุด B ที่ต้องการทราบค่าพิกัด หรือสถานีจร ที่จุดทั้งสอง รับสัญญาณดาวเทียมพร้อมกันอย่างน้อย 4 ดวง เครื่องรับสัญญาณ GPS จะมีการคำนวณหาค่าพิกัดในระบบ Geocentric coordinate system จากผลต่างค่าพิกัดที่คำนวณจากดาวเทียม นำไปบวกกับค่าพิกัดที่ทราบค่าแล้วของหมุด A ก็จะเป็นค่าพิกัดของหมุด B ตามที่ต้องการ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารระหว่างเครื่องรับทั้งสอง ซึ่งอาจเป็นเครื่องรับและส่งคลื่นวิทยุหรือ การใช้โทรศัพท์มือถือ และอาศัยสัญญาณอินเทอร์เนต ทำให้สถานีรับจร สามารถทราบค่าตำแหน่งที่ถูกต้องได้ทันที โดยเครื่องรับสัญญาณมีโปรแกรมแปลงเป็นค่าพิกัดในระบบภูมิศาสตร์คือค่าพิกัดละติจูด ค่าพิกัดลองจิจูด และค่าความสูงเหนือทรงรี หรือพิกัดกริดUTM และเมื่อประมวลผลกับแบบจำลองจีออยด์ ก็จะทราบค่าระดับสูง ได้ทันที

4

4.1 คัดเลือกหมุดระดับชั้นที่ 1 และหมุดGPSของกรมแผนที่ทหาร ในพื้นที่โครงการ ตำบลเขาน้อย อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี

4.2 รังวัดค่าพิกัดภูมิศาสตร์คือค่าพิกัดละติจูด ค่าพิกัดลองจิจูด และค่าความสูงเหนือทรงรี ของหมุดระดับชั้นที่ 1 ที่ได้คัดเลือกไว้ โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม อย่างน้อย 2 เครื่อง

4.3 คำนวณหาค่าความสูงเหนือจีออยด์ TGM2017

4.4 คำนวณหาค่าระดับสูงโดยวิธีดาวเทียม GNSS

4.5 เปรียบเทียบผลการรังวัดค่าระดับสูงโดยวิธีดาวเทียม GNSS กับค่าระดับสูงของหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร

ดำเนินงานวิจัยในพื้นที่โครงการ ตำบลเขาน้อย อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรีดังนี้

5.1 การคัดเลือกหมุดระดับชั้นที่ 1 และหมุดหลักฐานทางราบ (หมุด GPS) ของกรมแผนที่ทหาร

ได้ทำการคัดเลือกหมุดระดับชั้นที่ 1 และหมุดหลักฐานทางราบ(หมุด GPS)ของกรมแผนที่ทหารในพื้นที่โครงการ จำนวน 6 หมุด ตำแหน่งหมุดในพื้นที่โครงการ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแต่ละหมุดมีค่าระดับสูง (ทศนิยม 5 ตำแหน่ง ตามข้อมูลของกรมแผนที่ทหาร) ดังแสดงในตารางที่ 1



ตำแหน่งหมุดระดับระดับชั้นที่ 1 ในพื้นที่โครงการ

ค่าระดับสูงของหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร

BMR.9	26.16174	เขื่อนแม่กลอง อ.ท่าม่วง
PBM 622-39	25.15209	ร.ร.เขาดินวิทยาอุทร อ.ท่าม่วง
SBM.4169-59	25.42492	น็อตป้ายบอกทาง อ.เมือง
SBM.4168-39	23.87743	สะพานคลองชลประทาน อ.ท่าม่วง
GPS 3487	24.49356	สวนรุกขชาติ ร.9
SBM.1607-2-59	22.77236	ฐานสะพานลอยตรงข้าม ร.ร.ท่าม่วงราษฎ์บำรุง

5.2 การกำหนดสถานีหลักและสถานีจรในการรังวัดหาค่าระดับสูง

ในการรังวัดค่าระดับสูงของหมุดที่ใช้ในการวิจัยด้วยโครงข่ายดาวเทียม GNSS วิธี RTK โดยกำหนดให้ สถานีหลัก (Base Station) คือ (1) หมุด BMR.9 และสถานีจร ได้แก่ (2) หมุด PBM 622-39 (3) หมุด SBM.4169-59 (4) หมุด SBM.4168-39 (5) หมุด GPS 3487 (6) หมุด SBM.1607-2-59 โดยที่หมุด BMR.9 ของสถานีหลักเป็นหมุด GPS ซึ่งกรมแผนที่ทหารได้รังวัดและปรับแก้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ และค่าความสูงเหนือทรงรี ไว้แล้ว

5.3 การตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ได้ทำการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบGNSS แบบ Geodetic ยี่ห้อ Hemisphere รุ่น S321 มีความละเอียดถูกต้องทางราบ 8 mm + 1 ppm RMSE และมีความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง 15 mm + 1 ppm RMSE โดยตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจำนวนอย่างน้อย 2 เครื่อง เครื่องแรกตั้งเหนือหมุด BMR.9 ด้วยสามขา (Tripod) เป็นสถานีหลัก ดังแสดงในรูปที่ 4



4 ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเหนือสถานีหลักหมุด BMR9

ส่วนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอีก 1 – 2 เครื่อง ตั้งเหนือสถานีจรด้วยสามขา(Tripod) เป็นระยะเวลา 3 – 5 นาที ดังแสดงในรูปที่ 5



ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเหนือสถานีจร หมุดGPS3487

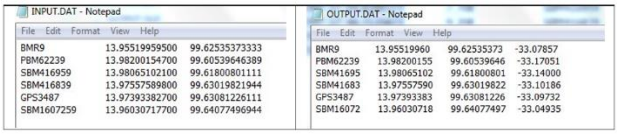
5.4 รังวัดหาค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinates) ค่าละติจูด (Latitude) และค่าลองจิจูด (Longitude) และค่าความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal height) ของแต่ละหมุด โดยได้ตั้งค่าพิกัดภูมิศาสตร์ และค่าความสูงเหนือทรงรีไว้ที่สถานีหลักและได้รังวัดสถานีจรโดยวิธี โดยได้ตั้งบนสามขา และใช้เวลารังวัด 3 - 5 นาทีในแต่ละสถานีจร ดังแสดงในตารางที่ 2

ค่ารังวัดพิกัดภูมิศาสตร์และความสูงเหนือทรงรี

Point	Latitude	Longitude	Ellipsoidal height (h)
BMR9	13°57' 18.7185402"N	99°37' 31.2734374"E	-6.867
PBM622-39	13° 58' 55.205568"N	99°36' 19.4272681"E	-8.016
SBM4169-59	13° 58' 50.343674"N	99°37' 04.8288373"E	-7.708
SBM4168-39	13°58' 32.0732311"N	99°37' 48.7135873"E	-9.208
GPS3487	13°58' 26.1617756"N	99°37' 50.9241376"E	-8.602
SBM1607-2-59	13° 57' 37.1058372"N	99° 38' 26.789892"E	-10.293

5.5 การคำนวณหาค่าความสูงเหนือจีออยด์ (Geoid Undulation)

ในการคำนวณหาค่าความสูงเหนือจีออยด์ (Geoid Undulation) ของแต่ละหมุด จากโปรแกรมการคำนวณของแบบจำลอง TGM2017 เพื่อให้เป็นไปตามรูปแบบของโปรแกรมคำนวณ จะต้องจัดชื่อของแต่ละหมุดให้อักษรและตัวเลขเรียงต่อกันโดยไม่เว้นวรรคหรือมีเครื่องหมายขั้นไว้ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinates) คือค่าละติจูด (Latitude) และคือค่าลองจิจูด (Longitude) จะต้องแปลงหน่วยเป็นองศามีจุดทศนิยม (ควรใช้ทศนิยมไม่น้อยกว่า 8 ตำแหน่ง เพื่อให้สอดคล้องกันกับค่าพิกัดที่มีความละเอียดหน่วยฟิลิปดาทศนิยม 5 ตำแหน่ง) เมื่อนำชื่อหมุด ค่าพิกัดละติจูด และค่าพิกัดลองจิจูด โดยจัดเป็นสดมภ์ที่ 1 สดมภ์ที่ 2 และสดมภ์ที่ 3 ตามลำดับ รวมจำนวน 3 สดมภ์ โดยการนำเข้า INPUT DAT แล้วเมื่อประมวลผล จะปรากฏผลเป็น OUTPUT DAT แสดงผลเป็น 4 สดมภ์ คือสดมภ์ที่ 1 เป็นชื่อหมุด สดมภ์ที่ 2 เป็นค่าละติจูด สดมภ์ที่ 3 เป็นค่าลองจิจูด และสดมภ์ที่ 4 เป็นค่าความสูงเหนือจีออยด์ เป็นไปตามรูปแบบของโปรแกรมคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 6



การนำเข้าข้อมูลและการแสดงผลค่าความสูงจีออยด์ในโปรแกรมคำนวณของTGM2017

ค่าความสูงเหนือจีออยด์TGM2017 ของแต่ละหมุด ที่คำนวณจากโปรแกรม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 พร้อมได้แสดงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ละติจูดและลองจิจูด ไว้ด้วย

3 คำนวณค่าความสูงเหนือยีออยด์TGM2017

Point	Latitude	Longitude	Geoid Undulation
BMR9	13.95519959	99.62535373	-33.079
PBM622-39	13.98200155	99.60539646	-33.171
SBM4169-59	13.98065102	99.61800801	-33.140
SBM4168-39	13.97557590	99.63019822	-33.102
GPS3487	13.97393383	99.63081226	-33.097
SBM1607-2-59	13.96030718	99.64077497	-33.049

5.5 การคำนวณค่าระดับสูง (Elevation)

จากค่าความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal height) ในตารางที่ 2 ซึ่งรังวัดจากโครงข่ายดาวเทียม และค่าความสูงเหนือจีออยด์ (Geoid Undulation) ของแต่ละหมุดตามที่แสดงในตารางที่ 3 นำมาคำนวณหาค่าระดับสูง (Elevation or Orthometric height) จากความสัมพันธ์ $H = h - N$ ซึ่งการหาค่าระดับสูง (Elevation) ดังกล่าวอาจถือได้ว่าเป็นการรังวัดหาค่าระดับวิธีอ้อม (Indirect Measurement) ดังแสดงในตารางที่ 4

คำนวณค่าระดับความสูง

Point	Ellipsoidal height	Geoid Undulation	Elevation
BMR9	-6.867	-33.079	26.212
PBM622-39	-8.016	-33.171	25.155
SBM4169-59	-7.708	-33.140	25.432
SBM4168-39	-9.208	-33.102	23.894
GPS3487	-8.602	-33.097	24.495
SBM1607-2-59	-10.293	-33.049	22.756

5.6 การเปรียบเทียบค่าระดับสูง

เมื่อนำค่าระดับสูง (Elevation or Orthometric height) ของแต่หมุด

มาเปรียบเทียบกับค่าระดับสูงของกรมแผนที่ทหาร (Royal Thai Survey Department : RTSD) ซึ่งใช้วิธีการระดับชั้นที่ 1 มีค่าคลาดเคลื่อนหรือค่าผลต่างระดับ (Difference) โดยไม่คิดเครื่องหมาย ดังแสดงในตารางที่ 5

เปรียบเทียบค่าระดับสูงหาโดยวิธีดาวเทียม GNSS กับหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร

Point	Elevation by GNSS	Elevation by RTSD	Discrepancy
BMR9	26.212	26.16174	0.050
PBM622-39	25.155	25.15209	0.002
SBM4169-59	25.432	25.42492	0.007
SBM4168-39	23.894	23.87743	0.016
GPS3487	24.495	24.49356	0.002
SBM1607-2-59	22.756	22.77236	-0.016
Max.discrepancy			0.050
Min.discrepancy			0.002
RMSE			0.023

5.7 การวิเคราะห์ผล

จากการรังวัดหาค่าระดับสูงโดยวิธี ดาวเทียมGNSS จำนวน 6 หมุด ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 และได้เปรียบเทียบกับค่าระดับสูงของหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งรังวัดโดยวิธีการระดับดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าระดับสูงจากการรังวัดวิธีดาวเทียม GNSS และวิธีการระดับ มีค่าต่างกันสูงสุด 0.050 เมตร ค่าต่างกันต่ำสุด 0.001 เมตร และมีค่า RMSE เท่ากับ 0.023 เมตร โดยจุดที่ต่างกันสูงสุดอยู่ที่หมุดBMR9 ซึ่งเป็นสถานีหลักและเป็นทั้งหมุดระดับ และหมุดGPS ของกรมแผนที่ทหาร การที่ Fixed ค่าพิกัดภูมิศาสตร์และค่าความสูงเหนือทรงรีไว้ ทีสถานีหลักค่าระดับที่รังวัดได้จึงเป็นอิสระต่อกัน และพิจารณาระยะทางจากหมุด BMR9 ไปยังหมุดอื่นๆ ค่าคลาดเคลื่อนที่แต่ละหมุดมีค่าน้อยกว่าค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Allowable error) ดังเช่นหมุดPBM 622-39 มีระยะทางห่างจากหมุด BMR9 เท่ากับ 3.655 กิโลเมตร มีค่าคลาดเคลื่อนผลต่างค่าระดับสูง (Difference) เท่ากับ 0.001 เมตร มีค่าน้อยกว่าค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Allowable error) คือ $12\ mm\sqrt{K} = 0.012\sqrt{3.665} = 0.023$ เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดงานระดับชั้นที่ 3 มาตรฐาน วสท.[6] และมาตรฐาน FGCC1984 [2] รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 6

ค่าคลาดเคลื่อนระดับและค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

Point	Distance from BMR 9,km.	Discrepancy, m	Allowable error,m
PBM 622-39	3.665	0.002	0.023
SBM 4169-59	2.924	0.007	0.021
SBM 4168-39	2.313	0.016	0.018
GPS 3487	2.154	0.002	0.018

[1] FGCC (1989). Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Tecnhiques, pp.123-132.

[2] FGCC (1984). Standards and Specifications for Geodetic Control Networks, pp.3-6 - 3-7.

[3] Ghilani and Wolf (2012).Elementary Surveying : An Introduction to Geomatics. Pearson Educational Limited, pp.345-359.

[4] การหาค่าระดับด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS Leveling) [Internet]. [cited 2020 Mar 10. Available from: http://kqgnss.blogspot.com/2018/05/gps-leveling.html

[5] กรมแผนที่ทหารและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2017). โครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย. หน้า 200 – 201.

[6] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) (2558). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาและจัดทำเกณฑ์การปฏิบัติวิชาชีพวิศวกรรมสำรวจ. หน้า 39.

[7] วัชโรตม์ พันโยธา (2561) การประเมินความถูกต้องค่าระดับสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยในพื้นที่ติดตามการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.ประเทศไทย