การหาค่าระดับสูงของหมุดระดับตามถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตก จังหวัดชุมพรด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียม

ELEVATION MEASUREMENTS OF BENCHMARKSBESIDE THE RURAL ROADALONGTHE WESTCOAST OF CHUMPHON PROVINCE BY GNSS METHOD

ประกอบ มณีเนตร[1] ธนศักดิ์ วิศรี[2] ธีรพงษ์ ฉวีราช[3] ภุชงค์ วงษ์เกิด[4] รณชัย บำเพ็ญอยู่[5] กฤษฎา มณีเนตร[6] และอรุณยุพา บัวทรัพย์[7]

[1,4,5]สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
[2,3]บริษัทอินทิเกรเทด เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแทนท์ จำกัด
[6]บริษัท เอ็ม.ซี.อี.เอเชีย จำกัด
[7]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

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

บทคัดย่อ

การหาค่าระดับสูงเหนือระดับทะเลปานกลางโดยวิธีการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมGNSSได้ถูกนำมาใช้แทนที่วิธีการหาระดับสูงแบบดั้งเดิม ภายหลังจากได้มีโครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยโดยที่โครงการอยู่ห่างจากหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารประมาณ 20 กิโลเมตร ได้มีการสร้างหมุดระดับจำนวน 17 หมุด ห่างกันประมาณ 500 เมตร ตามข้างถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตกจังหวัดชุมพร ได้มีการรังวัดหาค่าพิกัดของหมุดชั่วคราวที่สร้างไว้ใกล้เคียงกับหมุดระดับด้วยวิธีสถิตย์ใช้เทคนิคการรังวัดแบบสัมพัทธ์โดยการรังวัดพร้อมกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง คำนวณหาค่าความสูงเหนือยีออยด์TGM2017 แล้วคำนวณหาค่าระดับสูงด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียมและได้มีการรังวัดหาค่าระดับของสูงหมุดระดับด้วยวิธีการระดับแบบครบวงจรโดยการอ่านสามสายใย การหาค่าระดับสูงของหมุดระดับวิธีโครงข่ายดาวเทียมมีความถูกต้องดีกว่าหรือเท่ากับ12 mm√K หรือเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 และทำงานได้รวดเร็วกว่าการหาค่าระดับสูงเหนือระดับทะเลปานกลางแบบการระดับสำหรับพื้นที่โครงการนี้

คำสำคัญ : หมุดระดับ, TGM2017, โครงข่ายดาวเทียม GNSS

Abstract

Elevationsof objects or ground points above mean sea level are determined by GNSS network method instead of conventional leveling, afterthe Development of PreciseGeoid Model of Thailand. The project area is about 20 kilometers far from the first order of benchmark determined by Royal Thai Survey Department.Seventeenpermanent benchmarksare constructed beside the rural roadalongthe west coast ofChumphon Province by spacing about 500 meters. Measuring coordinates of temporary points nearby seventeen benchmarks by staticmethod,observing simultaneously at least 1 hours (by technique of relative positioning).Compute geoid undulation from TGM2017 and compute elevations by GNSS method. Measuring elevations of benchmarks by the method of three wires closed circuit differential leveling by level instrument. Measuring elevations by GNSS method is equal or better than 12 mm√Kor Order 3 (leveling). Elevations above mean sea level by GNSS method is faster than leveling method for this project area.

Keywords : Benchmark, TGM2017, GNSS network

1.คำนำ

สำรวจรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมาก และได้ถูกนำมาใช้แทนการสำรวจด้วยวิธีการดั้งเดิม(Conventional Ground survey) ซึ่งทำให้สามารถรังวัดหาพิกัดและระดับของจุดต่างๆบนพื้นผิวโลกได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องสูงและเนื่องด้วยโครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย(Development of Precise Geoid Model of Thailand) [5] ได้ถูกนำมาใช้ในปีพ.ศ.2560 ซึ่งเรียกแบบจำลองดังกล่าวว่า TGM2017 จากแบบจำลองดังกล่าวสามารถรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมหาค่าระดับได้โดยมีความละเอียดถูกต้อง

อยู่ในเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 ตามมาตรฐานของวสท. หรือตามมาตรฐานของ FGCC1984 [2]

เนื่องจากพื้นที่โครงการตามถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตก จังหวัดชุมพรอยู่ห่างจากหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารประมาณ 20 กิโลเมตร ในโครงการศึกษาวิจัยนี้ จึงได้นำวิธีการหาค่าระดับด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียมมาใช้เพื่อหาค่าระดับสูงของหมุดระดับตามถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตก จังหวัดชุมพร โดยโยงยึดค่าระดับสูงจากหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียมไปยังหมุดโครงข่ายดาวเทียมที่สร้างอยู่ใกล้หมุดระดับโครงการตรวจสอบความถูกต้องค่าระดับหมุดโครงข่ายดาวเทียมที่สร้างให้อยู่ใกล้หมุดระดับโครงการ โดยโยงยึดกับหมุดจีพีเอสของกรมแผนที่ทหาร แล้วหาค่าระดับสูงของหมุดระดับโครงการด้วยวิธีการระดับแบบสามสายใย ให้ค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อโยงยึดค่าระดับสูงจากหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารอย่างน้อย 1 หมุด ไปยังหมุดโครงข่ายดาวเทียมที่สร้างให้อยู่ใกล้หมุดระดับโครงการตามถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตก จังหวัดชุมพร

2.2 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องค่าระดับหมุดโครงข่ายดาวเทียมที่สร้างให้อยู่ใกล้หมุดระดับโครงการ โดยโยงยึดกับหมุดระดับชั้นที่ 1 หนึ่งหมุด แล้วตรวจสอบกับหมุดระดับชั้นที่ 1 อีกหนึ่งหมุด หรือตรวจสอบกับหมุดจีพีเอสของกรมแผนที่ทหารอีก หนึ่งถึงสองหมุด

2.3 เพื่อหาค่าระดับสูงของหมุดระดับโครงการ โดยอ้างอิงจากหมุดระดับโครงข่ายดาวเทียมด้วยวิธีการระดับแบบสามสายใย

3. การทบทวนวรรณกรรม

3.1 งานวิจัยที่ผ่านมา

ชัยวัฒน์ พรมทองและคณะ (2548) ได้รายงานการวิจัยเรื่องค่าความสูงออร์โธเมตริกจากการสำรวจด้วยดาวเทียม GPS ในประเทศไทย ได้รายงานผลการวิจัย สรุปได้ว่าค่าความสูงออร์โธเมตริกที่ใช้จากการปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานระบบ GPS ทั้งประเทศ ไม่สามารถนำไปใช้แทนการวัดระดับชั้นที่ 3 ได้ แต่อาจนำไปใช้ในการสำรวจหาความสูงออร์โธเมตริกในเฉพาะพื้นที่ที่มีขนาดไม่กว้างนักได้ [6]

กรมแผนที่ทหารและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [2560]ได้ร่วมกันจัดทำโครงการพัฒนาแบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย (Development of Precise Geoid Model of Thailand) ซึ่งเรียกว่า TGM2017 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]

วัชโรตม์ พันโยธา (2561) ได้ศึกษาการประเมินความถูกต้องค่าระดับสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองยีออยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยในพื้นที่ติดตามการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่าค่าระดับสูงภูมิศาสตร์ที่รังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบสถิต มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean error) เท่ากับ 0.017 เมตร และค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.085 เมตร โดยวิธีการหาค่าระดับสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ [8]

3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.2.1ระบบพิกัดอ้างอิง (Reference Coordinate System)

ในงานการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมมีระบบพิกัดอ้างอิงประกอบด้วย 3 ระบบคือ (1)ระบบพิกัดของดาวเทียม (Satellite reference coordinate system)(2) ระบบพิกัดฉากสามมิติที่จุดศูนย์กลางโลก (Geocentric coordinate system)และ(3)ระบบพิกัดภูมิศาสตร์หรือระบบยีออเดติค (Geographic or Geodetic coordinate system)

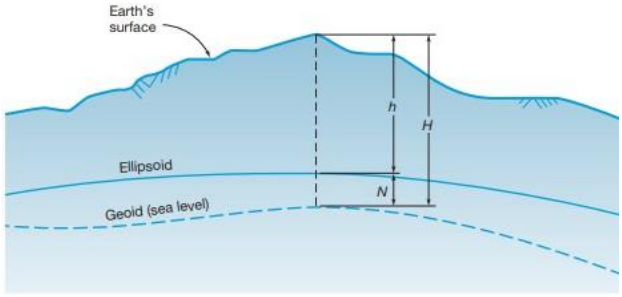
ระบบพิกัดของดาวเทียมในแต่ละระนาบโคจรของดาวเทียม (GPSมีทั้งหมด 6 ระนาบ) จะเป็นระบบพิกัดฉากสามมิติ โดยมีจุดศูนย์กำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของโลก(Earth's mass center)และเป็นจุดโฟกัสของวงรีที่ดาวเทียมอยู่ใกล้สุด แกน Xอยู่บนเส้นเชื่อมโยงระหว่างจุดโฟกัสของวงรีซึ่งเป็นวงโคจรของดาวเทียม แกน Y อยู่ในระนาบของวงโคจร และแกน Z ตั้งฉากกับระนาบของวงโคจร ในระบบมือขวา พิกัด Z มีระยะห่างจากค่าเฉลี่ยของวงโคจร ซึ่งมีค่าน้อยมาก ในระบบพิกัด Geocentric Coordinate System โดยจุด origin อยู่ที่ Mass Center ของโลก แกน X ผ่าน Greenwich Meridian แกน Z อยู่บนแกนหมุนของโลก (Conventional Terrestrial Pole : CTP และแกน Y อยู่บนระนาบศูนย์สูตรในระบบมือขวา (right-handed coordinate system)

ในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะมี software แปลงพิกัดจากระบบพิกัดของดาวเทียมในแต่ละระนาบ มาเป็นระบบพิกัดGeocentric Coordinate System และนำข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมาคำนวณปรับแก้ Network ในระบบพิกัดนี้ค่าที่ปรับแก้แล้ว จะแปลงเป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์ และความสูงhเหนือทรงรี (Ellipsoidal height)ซึ่งระบบพิกัดภูมิศาสตร์สามารถแปลงเป็นพิกัดกริดในระบบUTM (Universal Transverse Mercator) [3]

3.2.2 การหาระดับสูงจากการรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS

จากการรังวัดโครงข่ายดาวเทียม GNSS เมื่อปรับแก้โครงข่ายแล้วจะได้ค่าพิกัดพิกัดละติจูด (Latitude) และพิกัดลองจิจูด (Longitude) และ

ความสูงเหนือทรงรี *h* (Ellipsoidal height) ซึ่งจากค่าพิกัดละติจูด และค่าพิกัดลองจิจูดสามารถคำนวณหาค่าความสูงจีออยด์ *N* (geoid height or geoid undulation or geoid separation) จากโปรแกรมแบบจำลองจีออยด์แล้วคำนวณหาค่าระดับสูง *H* (Elevation or Orthometric height) จากความสัมพันธ์ $H = h - N$ ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นความสัมพันธ์ของทั้งสามค่าดังกล่าว [5]



รูปที่ 1ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับ ค่าความสูงเหนือทรงรี และค่าความสูงยีออยด์

4. กรอบแนวคิดในการวิจัย

4.1 ในพื้นที่โครงการตามถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตก จังหวัดชุมพร จะต้องสร้างหมุดโครงข่ายดาวเทียม จำนวน 17– 19 หมุด เพื่อรังวัดหาค่าระดับสูงวิธีโครงข่ายดาวเทียมโดยยึดโยงกับหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร อย่างน้อย 1 หมุด แล้วตรวจสอบค่าระดับสูงโดยยึดโยงกับหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารอีกอย่างน้อย 1 หมุด หรือตรวจสอบค่าระดับสูงโดยยึดโยงกับหมุดหลักฐานทางราบ(หมุดจีพีเอส)ของกรมแผนที่ทหารซึ่งทราบความสูงเหนือทรงรีและเมื่อทราบความสูงเหนือจีออยด์TGM2017 ก็จะสามารถคำนวณหาค่าระดับสูงของหมุดจีพีเอสได้

4.2 รังวัดหมุดโครงข่ายดาวเทียม ด้วยเทคนิค Relative Positioning วิธี Static โดยยึดโยงกับหมุดที่ทราบพิกัดทางราบและระดับสูง ให้มีความละเอียดถูกต้องเท่ากับหรือดีกว่า ตามเกณฑ์Order C1ของมาตรฐาน FGCC1989 (Federal Geodetic Control Committee 1989) [1] และคำนวณปรับแก้โครงข่ายดาวเทียมวิธี Least square คำนวณหาค่าความสูงยีออยด์ (Geoid Undulation) จาก TGM2017 แล้วคำนวณหาค่าระดับสูงด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS

4.3 ตรวจสอบความถูกต้องค่าระดับสูงของหมุดโครงข่ายดาวเทียมที่สร้างอยู่ใกล้หมุดระดับโครงการว่าอยู่ในเกณฑ์กำหนดงานระดับชั้นที่ 3 มาตรฐานวสท. [7] และมาตรฐาน FGCC1984 [2] หรือไม่

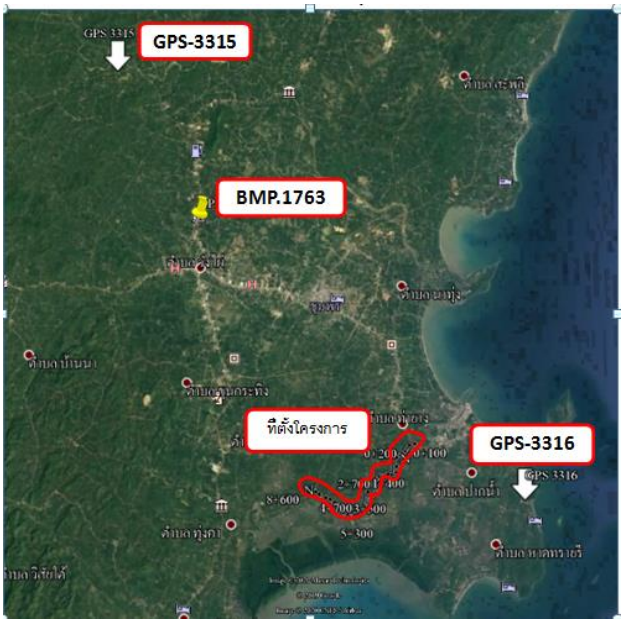
4.4 รังวัดหาค่าระดับสูงของหมุดระดับโครงการ โดยวิธีการระดับด้วยกล้องระดับ โดยยึดโยงค่าระดับจากหมุดโครงข่ายดาวเทียมที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องตามข้อ4.3 แล้วคำนวณปรับแก้ค่าระดับสูง ด้วยวิธีการระดับ (Closed Circuit Differential Leveling) ให้มีความละเอียดถูกต้องเท่ากับหรือดีกว่า *12 mm√K* ตามเกณฑ์กำหนดงานระดับชั้นที่ 3 มาตรฐานวสท. [7] และมาตรฐาน FGCC1984 [2]

5.ระเบียบวิธีวิจัย

ดำเนินงานวิจัยในพื้นที่ของโครงการตามถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตก จังหวัดชุมพรดังนี้

5.1 คัดเลือกหมุดอ้างอิง

ได้คัดเลือกหมุดอ้างอิงที่อยู่ใกล้พื้นที่โครงการ จากหมุดระดับชั้นที่ 1 จำนวน 1 หมุด คือ หมุดBMP.1763 และหมุดจีพีเอสของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 2 หมุด คือ หมุดGPS3315 และหมุดGPS3316 ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ที่ตั้งโครงการและหมุดของกรมแผนที่ทหารจำนวน 3 หมุด

5.2 งานสร้างหมุดโครงข่ายดาวเทียม

ได้สร้างหมุดโครงข่ายดาวเทียมเป็นหมุดชั่วคราว จำนวน 19 หมุดโดยแต่ละหมุดตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งที่มีมุมกั้นฟ้าไม่น้อยกว่า 15 องศา และไม่มีอาคารสูง หรือต้นไม้ หรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำให้เกิด Multipath และตั้งอยู่ใกล้กับหมุดระดับโครงการ โดยยึดโยงกับหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารจำนวน1หมุด คือหมุดBMP.1763และยึดโยงกับหมุดจีพีเอสของกรมแผนที่ทหาร 2 หมุด คือ หมุดGPS3315 และหมุดGPS3316รวมเป็นหมุดสำหรับรังวัดโครงข่ายดาวเทียม (GNSSNetwork)จำนวน 22 หมุดเพื่อใช้สำหรับอ้างอิงในการหาค่าระดับสูงของหมุดระดับโครงการ

5.3 งานสร้างหมุดระดับโครงการ

ได้สร้างหมุดระดับโครงการเป็นหมุดถาวร จำนวน 17 หมุดตามเขตทางของถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตก จังหวัดชุมพรแต่ละหมุดอยู่ห่างกันประมาณ 0.500กิโลเมตร

5.4 งานรังวัดโครงข่ายดาวเทียม

ได้ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Geodetic GPS's (Dual frequency) จำนวนอย่างน้อย 4- 5 เครื่อง โดยตั้งเหนือหมุดBMP.1763 หมุดGPS3315 หมุดGPS3316และเหนือหมุดโครงข่ายดาวเทียมที่สร้างขึ้นทั้ง 19 หมุด รังวัดด้วยเทคนิค Relative Positioning วิธี Static รังวัด

พร้อมกันไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง สำหรับการรังวัด 1 ชุด ซึ่งจะต้องรังวัดให้ครบทุกหมุดดังแสดงโครงข่ายดาวเทียม(GNSS network)ในรูปที่ 3



รูปที่ 3โครงข่ายดาวเทียม(GNSS network)

การรังวัดด้วยเทคนิคดังกล่าวเพื่อชดเชย ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาและเวลาในเครื่องจีพีเอส ค่าการหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ ionospheric& tropospheric และค่าคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบอื่นๆ โดยค่ามาตรฐานความถูกต้องทางตำแหน่งสัมพัทธ์ที่ความเชื่อมั่น 95% (Accuracy Standards for Geometric Relative Positioning Accuracy at 95% Confidence Level) จะต้องเท่ากับหรือดีกว่า 1 : 100,000 or 10 ppm สำหรับตำแหน่งทางราบ และจะต้องเท่ากับหรือดีกว่า 1 : 67,000 or 15 ppm สำหรับค่าระดับ ตามเกณฑ์Order C1ของมาตรฐาน FGCC1989 (Federal Geodetic Control Committee 1989) ดังแสดงในรูปที่ 4

Elevation difference accuracy standards for geometric relative positioning techniques.

(95 percent confidence level)					
Order	Class	Minimum elevation difference accuracy standard		(From table 1) Minimum geometric relative position accuracy standard	Minimum geoid height difference accuracy standard
		p_s (ppm)	1:e	p (ppm)	p_w (ppm) 1:n
AA	-	2	1:500,000	0.1	2 1:500,000
A	-	2	1:500,000	0.1	2 1:500,000
B	-	5	1:200,000	1	5 1:200,000
1	-	15	1: 67,000	10	10 1:100,000
2	I	20	1: 50,000	20	10 1:100,000
2	II	50	1: 20,000	50	20 1: 50,000
3	I	100	1: 10,000	100	40 1: 25,000

NOTE: THESE ELEVATION DIFFERENCE ACCURACY STANDARDS ARE TO BE USED ONLY FOR ELEVATION DIFFERENCES DETERMINED INDIRECTLY FROM ELLIPSOID HEIGHT DIFFERENCE MEASUREMENTS.

FOR DIRECT VERTICAL MEASUREMENT TECHNIQUES SUCH AS DIFFERENTIAL OR TRIGONOMETRIC LEVELING, USE ONLY THE ACCURACY STANDARDS GIVEN IN THE FGCC 1984 DOCUMENT, SECTION 2.2, PAGES 2-2 and 2-3.

รูปที่ 4 มาตรฐานความถูกต้องผลต่างระดับสำหรับความถูกต้องทางตำแหน่งสัมพัทธ์

5.5 ปรับแก้โครงข่ายดาวเทียมด้วยวิธีลิสท์สแควร์ (Least square adjustment)

ใช้โปรแกรม Magnet Tool คำนวณและปรับแก้โครงข่ายดาวเทียมด้วยวิธีลิสท์สแควร์ โดยตั้งค่าพิกัดกริดในระบบUTMที่หมุดGPS3315 และหมุด GPS3316 (Fixed Horizontal) และตั้งค่าระดับที่หมุด BMP.1763(Fixed Vertical)ตามค่าที่กรมแผนที่ทหารระบุไว้ จากการคำนวณปรับแก้หมุดโครงข่ายดาวเทียมทั้ง 22 หมุด มีค่าคลาดเคลื่อนบรรจบทางราบและระดับในแต่ละ Loop ต่ำสุดเท่ากับ 0.11 ppm (ราบ) 0.02 ppm (ระดับ) และสูงสุดเท่ากับ 6.48ppm (ราบ) 10.61ppm (ระดับ) ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องทางราบดีกว่า 1 : 100,000 หรือ 10 ppm และมีความละเอียดถูกต้องทางระดับดีกว่า 1 : 67,000 หรือ 15 ppm ตามเกณฑ์Order C1 ของมาตรฐานของ FGCC 1989และเมื่อใช้ TGM2017 ในโปรแกรมก็จะคำนวณค่าระดับสูงของแต่ละหมุดได้แสดงค่าพิกัดกริดระบบ UTMบนพื้นหลักฐานWGS84 และค่าระดับความสูงเหนือทะเลปานกลางของหมุดโครงข่ายดาวเทียมแต่ละหมุดในตารางที่ 1

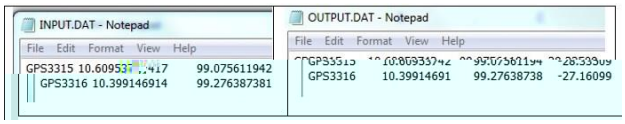
ตารางที่ 1 ค่าพิกัดกริดUTM และค่าระดับสูงหมุดโครงข่ายดาวเทียม

Point	N	E	Elevation.
A1	1148810.085	520912.393	3.168
B2	1148856.981	520743.568	2.362
GPS12/1	1152290.652	524074.405	2.646
GPS12/2	1151949.267	523712.752	2.029
GPS12/3	1151615.272	523442.799	3.430
GPS12/4	1151091.719	523462.678	3.824
GPS12/5	1150912.311	523045.412	2.962
GPS12/6	1150816.323	522621.132	2.388
GPS12/7	1150360.650	522462.353	3.241
GPS2/8	1149914.143	522309.029	3.278
GPS12/9	1149803.412	521982.668	3.052
GPS12/10	1149266.053	521869.666	2.881
GPS12/11	1148926.265	521604.452	2.589
GPS12/12	1148776.672	521156.592	2.675
GPS12/13	1148855.760	520719.851	2.282
GPS12/14	1149229.803	520444.269	2.232
GPS12/15	1149517.165	520067.349	2.512
GPS12/16	1149732.300	519588.924	2.377
GPS12/17	1149990.561	519186.263	2.853
BMP1763	1164298.838	512667.464	32.938
GPS3315	1172807.355	508270.822	23.707
GPS3316	1149557.286	530253.229	3.546

5.6 การหาค่าความสูงเหนือจีออยด์ (Geoid Undulation) ของหมุดหลักฐาน

จากหมุดหลักฐานทางราบ (หมุดGPS) ของกรมแผนที่ทหาร คือหมุด GPS3315 และหมุดGPS3316ซึ่งเป็นงานรังวัด GPS ชั้น B ได้ระบุค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์คือค่าละติจูด (Latitude) และค่าลองจิจูด (Longitude) และค่าความสูงเหนือทรงรี (h) ซึ่งจากพิกัดดังกล่าวสามารถหาค่าความสูงเหนือจีออยด์ TGM2017 โดยการนำเข้าข้อมูลค่าละติจูด (Latitude) และค่าลองจิจูด (Longitude) หน่วยเป็นองศาทศนิยม (Decimal degrees) โดยจัดเป็นสดมภ์ที่ 1 สดมภ์ที่ 2 และสดมภ์ที่ 3 ตามลำดับ รวมจำนวน 3 สดมภ์ โดยการนำเข้าINPUT DAT แล้ว เมื่อประมวลผล จะปรากฏผลเป็น OUTPUT DAT แสดงผลเป็น 4 สดมภ์ คือ

สดมภ์ที่ 1 เป็นชื่อหมุด สดมภ์ที่ 2 เป็นค่าละติจูด สดมภ์ที่ 3 เป็นค่าลองจิจูด และสดมภ์ที่ 4 เป็นค่าความสูงเหนือจีออยด์เป็นไปตามรูปแบบของโปรแกรมคำนวณ โดยไม่มีหัวเรื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การนำเข้าข้อมูลและการแสดงผลค่าความสูงจีออยด์ในโปรแกรมคำนวณของTGM2017

ค่าความสูงเหนือจีออยด์ TGM2017 ของแต่ละหมุดที่คำนวณจากโปรแกรมได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 พร้อมได้แสดงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ละติจูดและลองจิจูด ไว้ด้วย

ตารางที่ 2 คำนวณหาค่าความสูงเหนือยีออยด์ TGM2017

Point	Latitude	Longitude	Ellipsoidal height	Geoid Undulation
GPS3315	10° 36'34.33470"N	99°04'32.20299"E	-4.586	-28.335
GPS3316	10° 23'56.92889"N	99°16'34.99457"E	-23.640	-27.161

5.7 การตรวจสอบความถูกต้องค่าระดับสูง

ได้ตรวจสอบความถูกต้องค่าระดับสูงของหมุดโครงข่ายดาวเทียมที่สร้างอยู่ใกล้หมุดระดับโครงการโดยการตรวจสอบกับค่าระดับสูงของหมุดจีพีเอสของกรมแผนที่ทหารที่คำนวณค่าระดับสูงจากค่าความสูง h เหนือทรงรี (Ellipsoidal height) และค่าความสูงเหนือยีออยด์ N (geoid height or geoid undulation or geoid separation) จากความสัมพันธ์ $H = h - N$ โดยที่ H เป็นค่าระดับสูง (Elevation or Orthometric height) ของหมุด GPS3315 และหมุด GPS3316 เหนือยีออยด์ TGM2017 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าระดับสูงของหมุด GPS3315 และหมุดGPS3316เหนือยีออยด์TGM2017

Point	Ellipsoidal height	Geoid Undulation	Elevation
GPS3315	-4.586	-28.335	23.749
GPS3316	-23.640	-27.161	3.521

5.8 การเปรียบเทียบค่าระดับ**สูง**

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าระดับสูงของหมุด GPS3315 และหมุด GPS3316 จากตารางที่ 2 ซึ่งหาโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS กับค่าระดับสูงของหมุด GPS3315 และหมุด GPS3316 จากตารางที่ 3 ซึ่งหาจากความสูงเหนือยีออยด์ TGM2017 และค่าความสูงเหนือทรงรีรังวัดโดยกรมแผนที่ทหารดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าระดับสูงของหมุด GPS3315 และ หมุดGPS 3316

Point	Elevation from		Discrepancy
	GNSS network	TGM2017	
GPS3315	23.707	23.749	0.042
GPS3316	3.546	3.521	0.025

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าระดับสูงของหมุด GPS3315 และหมุด GPS3316 ที่รังวัดโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS ต่างจากค่าระดับสูงซึ่งคำนวณจากความสูงเหนือยีออยด์ TGM2017 และค่าความสูงเหนือทรงรีรังวัดโดยกรมแผนที่ทหาร มีค่าระดับสูงต่างกันเท่ากับ 0.042 เมตร และ 0.025 เมตร และโดยที่หมุดโครงข่ายดาวเทียมอยู่ห่างจากหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร (คือหมุด BMP1763) เป็นระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์กำหนดงานระดับชั้นที่ 3 ของมาตรฐาน วสท. และมาตรฐาน FGCC1984 [2] เท่ากับ $12\ mm\sqrt{K}$ หรือ เท่ากับ $0.012\sqrt{20} = 0.054$ เมตร ดังนั้นค่าระดับสูงของหมุดโครงข่ายดาวเทียมที่รังวัดในโครงการนี้ จึงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

5.9 การรังวัดหาค่าระดับสูงหมุดระดับโครงการ

ได้มีการรังวัดหาค่าระดับสูงหมุดระดับโครงการจำนวน 17 หมุด โดยวิธีการระดับ (Closed Circuit Differential Leveling) ด้วยกล้องระดับอ่านค่าไม้ระดับแบบสามสายใย โดยโยงยึดค่าระดับจากหมุดโครงข่ายดาวเทียมแต่ละหมุดที่สร้างอยู่ใกล้กับหมุดระดับโครงการเป็นหมุดคู่กัน โดยมีค่าคลาดเคลื่อนบรรจบต่ำสุดเท่ากับ 0.00 มม. และมีค่าคลาดเคลื่อนบรรจบสูงสุดเท่ากับ 2.00 มม. ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องดีกว่า $12\ mm\sqrt{K} = 2.2$ มม. ตามมาตรฐานงานชั้น 3 ของวสท. และFGCC 1984 [2] มีค่าระดับสูง (Elevation) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าระดับสูงของหมุดระดับโครงการ

Point	Elevation	Point	Elevation
BMP	32.938	BM12/9	3.200
BM12/1	3.425	BM12/10	3.540
BM12/2	2.759	BM12/11	2.535
BM12/3	3.772	BM12/12	3.822
BM12/4	4.010	BM12/13	2.354
BM12/5	3.383	BM12/14	2.198
BM12/6	2.669	BM12/15	2.285
BM12/7	3.855	BM12/16	1.807
BM12/8	2.826	BM12/17	2.382

6.ผลการวิจัย

ในโครงการการหาค่าระดับสูงของหมุดระดับตามถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตก จังหวัดชุมพรด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียมมีผลงานวิจัยดังนี้

6.1 ได้มีการสร้างหมุดโครงข่ายดาวเทียมเป็นหมุดชั่วคราว จำนวน 19 หมุด โดยสร้างให้อยู่ในจุดใกล้เคียงกับหมุดระดับโครงการ ซึ่งเป็นหมุดถาวร จำนวน 17 หมุด โดยมีระยะทางห่างกันประมาณ 0.500 กิโลเมตร ในเขตทางตามถนนทางหลวงชนบทเลียบชายฝั่งตะวันตก

6.2 ได้มีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมจำนวน 19 หมุด โดยยึดโยงกับหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร คือหมุด BMP1763 และยึดโยงกับหมุดจีพีเอสของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 2 หมุด คือหมุดGPS3315 และหมุดGPS3316ซึ่งเป็นงานรังวัดดาวเทียมชั้น B เพื่อเปรียบเทียบและ

ตรวจสอบความถูกต้องค่าระดับสูงรวมรังวัดหมุดโครงข่ายดาวเทียมทั้งหมด 22 หมุดคำนวณปรับแก้โครงข่ายวิธีลิสท์สแควร์ (Least Square Adjustment) มีค่าคลาดเคลื่อนบรรจบทางราบสูงสุดเท่ากับ 6.48 ppm ซึ่งดีกว่า 1 : 100,000 หรือ 10 ppm และค่าคลาดเคลื่อนบรรจบทางระดับสูงสุดเท่ากับ 10.61 ppmซึ่งดีกว่า 67,000 หรือ 15 ppm ตามเกณฑ์Order C1 ของมาตรฐานของ FGCC 1989 [1]

6.3 จากการคำนวณหาค่าระดับสูงของหมุดโครงข่ายดาวเทียมจาก TGM2017 มีค่าระดับสูงดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับสูงของหมุด GPS3315 และหมุดGPS3316 ที่รังวัดโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS ต่างจากค่าระดับสูงซึ่งคำนวณจากความสูงเหนือยีออยด์ TGM2017 และค่าความสูงเหนือทรงรีรังวัดโดยกรมแผนที่ทหารมีค่าระดับสูงต่างกันเท่ากับ 0.042 เมตร และ 0.025 เมตร ตามลำดับและโดยที่พื้นที่โครงการมี