

เปรียบเทียบการหาค่าระดับสูงระหว่างวิธีรังวัดโครงข่ายดาวเทียมและวิธีการระดับตามลำแม่น้ำยม จังหวัดแพร่

COMPARISON OF ELEVATION MEASUREMENTS BETWEEN GNSS AND LEVELING METHOD ALONG YOM RIVER PHRAE PROVINCE

ประกอบด้วย มณีเนตร¹ กุขงค์ วงษ์เกิด² รณชัย บำเพ็ญอยู่³ กฤษณา มณีเนตร⁴ และอรุณยุพา บัวทรัพย์⁵

^{1,2,3}สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพมหานคร

⁴บริษัท เอ็ม.ซี.อี.เอเชีย จำกัด

⁵สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

^{1,4}E-mail address: prakobku@gmail.com, ^{2,3}E-mail address :p.wongkoet@gmail.com, ⁵E-mail address : arunyupa-j@hotmail.com

บทคัดย่อ

จากการได้มีโครงการพัฒนาแบบจำลองย็อยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทยการหาค่าระดับสูงโดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมได้ถูกนำมาใช้แทนที่วิธีการระดับแบบดั้งเดิมในโครงการนี้ได้มีการสร้างหมุดถาวรจำนวน 6 หมุดบนสะพานและบนดินตามลำแม่น้ำยม อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ได้มีการรังวัดหาค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของหมุดถาวรด้วยวิธีสถิต โดยใช้เทคนิคการรังวัดแบบสัมพัทธ์โดยการรังวัดพร้อมกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง คำนวณหาค่าย็อยด์อันดูเลชันจากTGM2017 แล้วคำนวณหาค่าระดับสูงด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียมได้มีการรังวัดหาค่าระดับสูงด้วยวิธีการระดับโดยกล้องระดับแบบดิจิทัลเมื่อเปรียบเทียบค่าระดับสูงที่ได้จากการรังวัดทั้งสองวิธี ค่า RMSE จากการหาค่าระดับสูงวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS ให้ผลเท่ากับหรือดีกว่า 12 mm/K หรือเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 การหาค่าระดับวิธี GNSS จึงดีกว่าการหาค่าระดับสูงแบบการระดับสำหรับพื้นที่โครงการนี้

คำสำคัญ : TGM2017, โครงข่ายดาวเทียม GNSS, RMSE

Abstract

According to the Development of Precise Geoid Model of Thailand, elevations of objects or ground points are determined by GNSS network method instead of conventional leveling. Six permanent monuments are constructed on bridges and on ground along Yom river Mueang District Phrae Province for this project. Measuring geographic coordinates of monuments by static method, 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 monuments by the method of closed circuit differential leveling by digital level. After comparing elevations by both method. The RMSE of elevations by GNSS method is equal to 0.027 meter or better than 12mm/Kor Order 3 (leveling). Elevations by GNSS method is better than leveling method for this project area.

Keywords : TGM2017, GNSS network, RMSE

1. คำนำ

ปัจจุบันโครงการพัฒนาแบบจำลองย็อยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย (Development of Precise Geoid Model of Thailand) [6] ได้ถูกนำมาใช้ในปี พ.ศ.2560 ซึ่งเรียกแบบจำลองดังกล่าวว่า TGM2017 สามารถรังวัดหาค่าระดับได้โดยมีความละเอียดถูกต้องยิ่งขึ้น และเนื่องด้วยการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมในระบบ GNSS ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้น ซึ่งทำให้สามารถรังวัดหาค่าพิกัดและระดับของจุดต่างๆ บนพื้นผิวโลกได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องสูง และโดยที่โครงการนี้เป็นโครงการศึกษาสำรวจออกแบบปรับปรุงภูมิทัศน์ถนนเลียบบนแม่น้ำยม จะต้องมีการสำรวจทำแผนที่ภูมิประเทศและมีการหยั่งน้ำในแม่น้ำยม ด้วยจำเป็นต้องสร้างหมุดควบคุมทางราบและทางตั้งสำหรับใช้อ้างอิงในโครงการ อย่างน้อย 3 คู่ ซึ่งจะต้องสร้างไว้ใช้อ้างอิงในงานก่อสร้างด้วย โดยค่าพิกัดทางราบจะต้องยึดโยงจากหมุดหลักฐานทางราบ(หมุดGPS)ของกรมแผนที่ทหารโดยวิธีโครงข่าย GNSS และค่าระดับสูงจะต้องยึดโยงจากหมุดหลักฐานระดับอ้างอิงทะเลปานกลางของโยธาธิการและผังเมืองซึ่งเป็นหมุดเฉลิมพระเกียรติที่ได้ยึดโยงมาจากหมุดระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร โดยการรังวัดหาค่าพิกัดทางราบและหาค่าระดับสูงจะต้องมีความละเอียดถูกต้องตามมาตรฐานที่ยอมรับได้หรือมาตรฐานสากล

และเนื่องจากในการสำรวจออกแบบและก่อสร้างทางวิศวกรรมในปัจจุบัน ซึ่งมีพื้นที่ไม่กว้างมาก จะต้องสร้างหมุดหลักฐานทางราบโดยการรังวัดวิธี GNSS ซึ่งการรังวัดวิธีดังกล่าวสามารถคำนวณหาค่าระดับสูงได้อยู่แล้วในโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาวิจัย โดยการเปรียบเทียบการรังวัดระดับความสูงของพื้นดินระหว่างวิธีการจากโครงข่ายดาวเทียม GNSS Network กับวิธีการระดับโดยใช้โดยกล้องระดับแบบดิจิทัล ซึ่งได้ทำการศึกษาในพื้นที่ของโครงการศึกษาสำรวจออกแบบปรับปรุงภูมิทัศน์ถนนเลียบริมแม่น้ำยมอำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อรังวัดหาค่าระดับจากการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมและรังวัดหาค่าระดับด้วยวิธีการระดับในพื้นที่โครงการศึกษาสำรวจออกแบบปรับปรุงภูมิทัศน์ถนนเลียบริมแม่น้ำยม อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่

2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการรังวัดหาระดับของพื้นดินจากการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมและรังวัดหาค่าระดับด้วยวิธีการระดับในพื้นที่โครงการ

3. การทบทวนวรรณกรรม

3.1 งานวิจัยที่ผ่านมา

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

กรมแผนที่ทหารและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2560) ได้ร่วมกันจัดทำโครงการพัฒนาแบบจำลองอียอดต์ความละเอียดสูงของประเทศไทย (Development of Precise Geoid Model of Thailand) ซึ่งเรียกว่า TGM2017 [5] และได้รายงานผลการดำเนินงานไว้ว่า การทดสอบการใช้งานแบบจำลองอียอดต์รายละเอียดสูงในการหาค่าระดับด้วยเทคนิคการสำรวจข้อมูลด้วยเทคนิคการสำรวจด้วยเทคโนโลยี GNSS ซึ่งผลการทดสอบความถูกต้องแบบสัมบูรณ์และแบบสัมพัทธ์เปรียบเทียบกับหมุดตรวจสอบ 100 หมุด ได้แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของแบบจำลองอียอดต์ความละเอียดสูงอยู่ในระดับดีกว่า 10 ซม. และมีความเทียบเท่ากับมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 3 และได้รายงานความคุ้มค่าในการหาค่าระดับด้วยเทคโนโลยี GNSS ควบคู่ไปกับการใช้แบบจำลองอียอดต์ความละเอียดสูงบริเวณประเทศไทย ได้พัฒนาขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินทางแบบทั่วไปโดยใช้กล้องระดับ (Conventional leveling) ซึ่งมีความถูกต้องของค่าระดับใกล้เคียงกัน จะให้ความคุ้มค่าที่เหนือกว่าในระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสายของการเดินทางมีระยะมากกว่า 10 กม. ขึ้นไป [5]

วิชโรตม์ พันโยธา (2561) ได้ศึกษาการประเมินความถูกต้องค่าระดับสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองอียอดต์ความละเอียดสูงของประเทศไทยในพื้นที่ติดตามการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า

ค่าระดับสูงภูมิศาสตร์ที่รังวัดด้วยดาวเทียม GNSS แบบสถิต มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean error) เท่ากับ 0.017 เมตร และค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.085 เมตร โดยวิธีการหาค่าระดับสูงภูมิประเทศแบบสัมบูรณ์ [7]

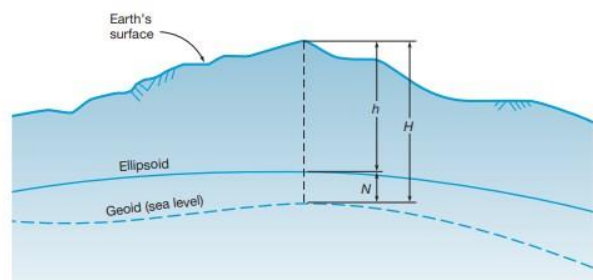
3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.2.1 กรอบอ้างอิงระบบดาวเทียมGNSS

ระบบกรอบอ้างอิงที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอส คือ 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) และแกน Y อยู่บนระนาบศูนย์สูตรในระบบมือขวา (right-handed coordinate system) เช่นเดียวกับตำแหน่งดาวเทียมในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะมี software แปลงพิกัดจากระบบพิกัดของดาวเทียมในแต่ละระนาบ มาเป็นระบบพิกัด Geocentric Coordinate System และนำข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมาคำนวณปรับแก้โครงข่ายดาวเทียม (GNSS Network) ในระบบพิกัดนี้ค่าที่ปรับแก้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม GNSSแล้ว จะแปลงเป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์คือพิกัดละติจูด (Latitude) และพิกัดลองจิจูด (Longitude) และความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal height) ซึ่งระบบพิกัดภูมิศาสตร์สามารถแปลงเป็นพิกัดกริดในระบบ UTM (Universal Transverse Mercator) ได้ [3]

3.2.2 การหาระดับสูงจากการรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS

จากการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมGNSS เมื่อปรับแก้โครงข่ายแล้ว จะได้ค่าพิกัดละติจูด (Latitude) พิกัดลองจิจูด (Longitude) และความสูงเหนือทรงรี h (Ellipsoidal height) ซึ่งจากค่าพิกัดละติจูด และค่าพิกัดลองจิจูดสามารถคำนวณหาค่าความสูงจีโออยด์ N (geoid height or geoid undulation or geoid separation) จากโปรแกรมแบบจำลองจีโออยด์แล้วคำนวณหาค่าระดับสูง H (Elevation or Orthometric height) จากความสัมพันธ์ $H = h - N$ ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นความสัมพันธ์ของทั้งสามค่าดังกล่าว [3]



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับ ค่าความสูงเหนือทรงรี และค่าความสูงเหนือจีโออยด์

4. กรอบแนวคิดในการวิจัย

4.1 ในพื้นที่โครงการจะต้องสร้างหมุดควบคุมทางราบและทางตั้งจำนวน 6 หมุด ในแต่ละโครงการ เพื่อรังวัดหาค่าระดับสูงวิธีโครงข่ายดาวเทียมโดยยึดโยงกับหมุดหลักฐานทางราบ (หมุดจีพีเอส) ของกรมแผนที่ทหารที่ทราบพิกัดละติจูดพิกัดลองจิจูดและความสูงเหนือทรวงรี อย่างน้อย 1 หมุด แล้วตรวจสอบค่าระดับสูงกับหมุดระดับที่รังวัดโดยวิธีการระดับโดยยึดโยงค่าระดับมาจากหมุดหลักฐานระดับ จำนวน 1 หมุด

4.2 รังวัดโครงข่ายดาวเทียมของหมุดควบคุมทางราบและระดับ ด้วยเทคนิค Relative Positioning วิธี Static โดยยึดโยงกับหมุดที่ทราบพิกัดทางราบและระดับสูงให้มีความละเอียดถูกต้องเท่ากับหรือดีกว่า ตามเกณฑ์ Order C2-II ของมาตรฐาน FGCC1989 (Federal Geodetic Control Committee 1989) [1] และคำนวณปรับแก้โครงข่ายดาวเทียมวิธี Least square คำนวณหาค่าความสูงจีโออยด์ (Geoid Undulation) จาก TGM2017 แล้วคำนวณหาค่าระดับสูงด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS

4.3 รังวัดหาค่าระดับหมุดควบคุมทางราบและทางตั้งโดยวิธีการระดับด้วยกล้องระดับแบบดิจิตอล โดยยึดโยงค่าระดับจากหมุดหลักฐานระดับแล้วคำนวณปรับแก้ระดับสูง ด้วยวิธีการระดับ (Closed Circuit Differential Leveling) ให้มีความละเอียดถูกต้องเท่ากับหรือดีกว่า 12 mm/K ตามเกณฑ์กำหนดงานระดับชั้นที่ 3 มาตรฐานวสท.[7] และมาตรฐาน FGCC1984 [2]

4.4 เปรียบเทียบผลการรังวัดค่าระดับสูงวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS กับวิธีการระดับ

5.ระเบียบวิธีวิจัย

ได้ดำเนินงานวิจัยในพื้นที่ของโครงการศึกษาสำรวจออกแบบปรับปรุงภูมิทัศน์ถนนเลียบริมแม่น้ำยมอำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ ดังนี้

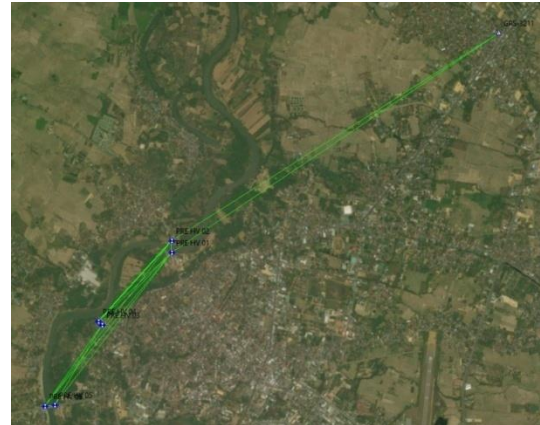
5.1 การสร้างหมุดควบคุมทางราบและทางตั้ง

ได้สร้างหมุดควบคุมทางราบและทางตั้งในพื้นที่โครงการ จำนวน 6 หมุด เป็นหมุดถาวร คือ หมุดPRE HV01, หมุดPRE HV02, หมุดPRE HV03, หมุดPRE HV04, หมุดPRE HV05 และหมุดPRE HV06 โดยรังวัดเป็นโครงข่ายดาวเทียม (GNSS Network) ยึดโยงกับหมุดอ้างอิงทางราบและทางตั้งของกรมแผนที่ทหารจำนวน 1 หมุดคือหมุดGPS3211ซึ่งแสดงค่าพิกัดละติจูด พิกัดลองจิจูด และค่าความสูงเหนือทรวงรี เป็นงานรังวัดดาวเทียมชั้น B ซึ่งมีความถูกต้องเท่ากับ 1 ppm. และใช้อ้างอิงกับหมุดหลักฐานระดับของกรมโยธาธิการและผังเมืองจำนวน 1 หมุด คือหมุดมฐ.ผ.ม.พร 9 - 72 โดยรังวัดวิธีการระดับเพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบค่าระดับสูง

5.2 การรังวัดโครงข่ายดาวเทียม

ได้ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Geodetic GPS's (Dual frequency) จำนวนอย่างน้อย 3 - 4 เครื่อง เหนือหมุด GPS3211 และตั้งเหนือหมุดที่สร้างขึ้นทั้ง 6 หมุด โดยรังวัดด้วยเทคนิค Relative

Positioning วิธี Static รังวัดพร้อมกันไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง ซึ่งจะต้องรังวัดให้ครบทุกหมุดเป็นโครงข่ายดาวเทียม (GNSS Network) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงข่ายดาวเทียม

การรังวัดด้วยเทคนิคดังกล่าวเพื่อชดเชย ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาและเวลาในเครื่องจีพีเอส ค่าการหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ ionospheric & tropospheric และค่าคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบอื่นๆ โดยค่ามาตรฐานความถูกต้องทางตำแหน่งสัมพัทธ์ที่ความเชื่อมั่น 95% (Accuracy Standards for Geometric Relative Positioning Accuracy at 95% Confidence Level)จะต้องเท่ากับหรือดีกว่า 1 : 20,000 or 50 ppm. ตามเกณฑ์ Order C2-II ของมาตรฐาน FGCC1989 (Federal Geodetic Control Committee 1989) [1] ดังแสดงในรูปที่ 3

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 _a (ppm)	1:e	P (ppm)	P _a (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 3 มาตรฐานความถูกต้องผลต่างระดับสำหรับความถูกต้องทางตำแหน่งสัมพัทธ์

5.3 การปรับแก้โครงข่ายดาวเทียมด้วยวิธีลีสต์สแควร์ (Least square adjustment)

ได้รังวัดค่าพิกัดโดยยึดโยงกับหมุด GPS3211 ของกรมแผนที่ทหารโดยใช้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinate) ซึ่งเป็นพิกัดทางราบ (Horizontal) คือค่าพิกัดละติจูด (latitude) และค่าพิกัดลองจิจูด

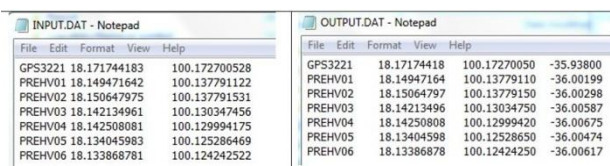
(Longitude) บนพื้นหลักฐานทรงรี WGS 84 และค่าพิกัดทางตั้ง (Vertical) คือความสูงเหนือทรงรี (ค่า h : Ellipsoidal height) เป็นโครงข่ายดาวเทียม (GNSS network) ใช้โปรแกรม Magnet Tool คำนวณและปรับแก้โครงข่ายดาวเทียมด้วยวิธีลีสท์สแควร์โดยการ Fixed Both (Horizontal and Vertical) ที่หมุด GPS3211 จากการคำนวณปรับแก้หมุดทั้ง 6 มีค่าคลาดเคลื่อนบรรจบทางราบและระดับในแต่ละ Loop ต่ำสุดเท่ากับ 0.21 ppm (ราบ) 0.84 ppm (ระดับ) และสูงสุดเท่ากับ 6.78 ppm (ราบ) 3.44 ppm (ระดับ) ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องดีกว่า 1 : 20,000 หรือ 50ppm ตามเกณฑ์ Order C1-II มาตรฐานของ FGCC 1989 [1] ได้แสดงค่าพิกัดทางราบเป็นพิกัดภูมิศาสตร์ในระบบ Geodetic Coordinate บนพื้นหลักฐาน WGS84 และค่าความสูงเหนือทรงรี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดภูมิศาสตร์และความสูงเหนือทรงรี

Name	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)
GPS3211	18°10'18.27906"N	100°10'21.72190"E	122.950
PRE HV01	18°08'58.09726"N	100°08'16.04859"E	117.789
PRE HV02	18°09'02.33268"N	100°08'16.04950"E	117.801
PRE HV03	18°08'31.68521"N	100°07'49.25139"E	116.815
PRE HV04	18°08'33.02734"N	100°07'47.98079"E	116.706
PRE HV05	18°08'02.56483"N	100°07'31.03176"E	118.112
PRE HV06	18°08'01.92705"N	100°07'27.27366"E	118.109

5.4 การหาค่าความสูงเหนือจีโออยด์ (Geoid Undulation)

ในการคำนวณหาค่าความสูงเหนือจีโออยด์ (Geoid Undulation) ของแต่ละหมุด จากโปรแกรมการคำนวณของแบบจำลอง TGM2017 เพื่อให้เป็นไปตามรูปแบบของโปรแกรมคำนวณ จะต้องจัดชื่อของแต่ละหมุดให้อักษรและตัวเลขเรียงต่อกันโดยไม่เว้นวรรคหรือมีเครื่องหมายขึ้นไว้ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinates) คือค่าละติจูด (Latitude) และค่าลองจิจูด (Longitude) จะต้องแปลงหน่วยเป็นองศา มีจุดทศนิยม (ควรใช้ทศนิยมไม่น้อยกว่า 8 ตำแหน่ง เพื่อให้สอดคล้องกันกับค่าพิกัดที่มีความละเอียดหน่วยฟิลิปดาทศนิยม 5 ตำแหน่ง) เมื่อนำชื่อหมุด ค่าพิกัดละติจูด และค่าพิกัดลองจิจูด โดยจัดเป็นสมรภ์ที่ 1 สมรภ์ที่ 2 และสมรภ์ที่ 3 ตามลำดับ รวมจำนวน 3 สมรภ์ โดยการนำเข้า INPUT DAT แล้ว เมื่อประมวลผล จะปรากฏผลเป็น OUTPUT DAT แสดงผลเป็น 4 สมรภ์ คือ สมรภ์ที่ 1 เป็นชื่อหมุด สมรภ์ที่ 2 เป็นค่าละติจูด สมรภ์ที่ 3 เป็นค่าลองจิจูด และสมรภ์ที่ 4 เป็นค่าความสูงเหนือจีโออยด์เป็นไปตามรูปแบบของโปรแกรมคำนวณ โดยไม่มีหัวเรื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4



Point Name	Latitude (N)	Longitude (E)	Height (m)
GPS3221	18.171744183	100.172700528	-35.93800
PREHV01	18.149471642	100.137791122	-36.00199
PREHV02	18.150647975	100.137791531	-36.00298
PREHV03	18.142134961	100.130347456	-36.00587
PREHV04	18.142508081	100.129994175	-36.00675
PREHV05	18.134045983	100.125286469	-36.00474
PREHV06	18.133868781	100.124242522	-36.00617

รูปที่ 4 การนำเข้าข้อมูลและการแสดงผลค่าความสูงจีโออยด์ในโปรแกรมคำนวณของ TGM2017

ค่าความสูงเหนือจีโออยด์ TGM2017 ของแต่ละหมุดที่คำนวณจากโปรแกรมได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 พร้อมได้แสดงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ละติจูดและลองจิจูดไว้ด้วย

ตารางที่ 2 คำนวณหาค่าความสูงจีโออยด์จาก TGM2017

Point	Latitude	Longitude	Geoid Undulation
	(Degrees)	(Degrees)	N
GPS3221	18.17174418	100.1727005	-35.9380
PREHV01	18.14947164	100.1377911	-36.0020
PREHV02	18.15064797	100.1377915	-36.0030
PREHV03	18.14213496	100.1303475	-36.0059
PREHV04	18.14250808	100.1299942	-36.0068
PREHV05	18.13404598	100.1252865	-36.0047
PREHV06	18.13386878	100.1242425	-36.0062

5.5 การหาค่าระดับสูงโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS

จากการรังวัดและปรับแก้โครงข่ายดาวเทียม GNSS จะได้ค่าความสูง h เหนือทรงรี (Ellipsoidal height) ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และค่าความสูงเหนือจีโออยด์หาได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

และคำนวณหาค่าระดับสูง (Elevation) ของหมุด GPS3221 จาก $H = h - N$ ให้เป็นค่า Fixed และจุดอื่นๆก็สามารถคำนวณหาค่าระดับสูงได้เช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าระดับสูงโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS

Point Name	Geoid undulation	Ellipsoidal height	Elevation	Remark
	N	h	H	
GPS 3221	-35.938	122.950	158.888	Fixed
PRE HV 01	-36.002	117.790	153.792	
PRE HV 02	-36.003	117.802	153.805	
PRE HV 03	-36.006	116.815	152.821	
PRE HV 04	-36.007	116.737	152.744	
PRE HV 05	-36.005	118.126	154.131	
PRE HV 06	-36.006	118.101	154.107	

5.6 การหาค่าระดับสูงโดยวิธีการระดับ

ได้รังวัดหาค่าระดับสูงหมุดควบคุมทางราบและระดับ ทั้ง 6 หมุดโดยวิธีการระดับ (Closed Circuit Differential Leveling) ด้วยกล้องระดับแบบดิจิทัล (Digital Level) โดยโยงยึดค่าระดับสูงจากหมุดหลักฐานทางราบและระดับเดิมพระเกียรติของกรมโยธาธิการและผังเมือง มธ.ผ.ม. หมายเลข พร 9 -72 โดยมีค่าระดับ 0+000 ที่น้ำทะเลปานกลาง (รทก) หมุดดังกล่าวมีค่าระดับสูงเหนือน้ำทะเลปานกลางเท่ากับ 155.0665 เมตร โดยมีค่าคลาดเคลื่อนบรรจบเท่ากับ 11.1 มม. ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องดีกว่า $12 \text{ mm/VK} = 31.1 \text{ มม.}$ ตามเกณฑ์กำหนดงานระดับชั้นที่ 3

มาตรฐานวสท. [7] และมาตรฐานFGCC1984 [2] มีค่าระดับสูงดังที่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คำนวณค่าระดับสูงวิธีการระดับ

Point Name	Elevation	Remark
	By Digital Level	
มฐ.ผม.พร9 -72	155.0665	Fixed
PRE HV 01	153.785	
PRE HV 02	153.796	
PRE HV 03	152.849	
PRE HV 04	152.775	
PRE HV 05	154.159	
PRE HV 06	154.149	

5.7 การเปรียบเทียบค่าระดับสูง

จากการรังวัดหาค่าระดับสูงโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS และวิธีการระดับ (Closed Circuit Differential Leveling) เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบผลการรังวัดค่าระดับสูงจากหมุดที่รังวัดในโครงการทั้งหมด 6 หมุด โดยวิธีการรังวัดทั้งสองวิธีมีค่าคลาดเคลื่อน (Discrepancy) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าระดับสูงวิธีโครงข่ายดาวเทียมและวิธีการระดับ

Point Name	Elevation		Discrepancy
	By GNSS	By Digital Level	
PRE HV 01	153.792	153.785	0.007
PRE HV 02	153.805	153.796	0.009
PRE HV 03	152.821	152.849	0.028
PRE HV 04	152.744	152.775	0.031
PRE HV 05	154.131	154.159	0.028
PRE HV 06	154.107	154.149	0.042
Maximum			0.042
Minimum			0.007
Mean error			0.024
RMSE			0.027
SD			0.014

5.8 การวิเคราะห์ผล

ค่าระดับสูงจากการรังวัดโดยวิธี ดาวเทียมGNSS จำนวน 6 หมุด ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 และค่าระดับสูงซึ่งรังวัดโดยวิธีการระดับดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 เมื่อได้เปรียบเทียบค่าระดับสูงทั้งสองวิธี ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าระดับสูงจากการรังวัดวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSSและวิธีการระดับ (Closed Circuit Differential Leveling) มีค่าต่างกันสูงสุด 0.042 เมตร ค่าต่างกันต่ำสุด 0.007 เมตร ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.024 เมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.014 เมตร และ มีค่า RMSE เท่ากับ 0.027 เมตร และโดยที่ได้หาค่าระดับสูงจากการรังวัด

วิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSSจากหมุด GPS3221 มายังหมุด PRHV06 ซึ่งอยู่ไกลสุดแล้วหากได้มีการรังวัดหาค่าระดับสูงโดยวิธีการระดับจากหมุด GPS3221 มายังหมุด PRHV06 ซึ่งหมุดดังกล่าวได้หาค่าระดับสูงโดยวิธีการระดับโดยโยงยึดมาจากหมุดมฐ.ผม.9-72 เพื่อเปรียบเทียบค่าระดับสูงของหมุดดังกล่าวอยู่แล้ว และโดยที่ระยะทางระหว่างหมุดทั้งสองห่างกันเท่ากับ 6.662 กิโลเมตร ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ตามเกณฑ์กำหนดงานระดับชั้นที่ 3 มาตรฐานวสท. [7] และมาตรฐานFGCC1984 [2] เท่ากับ $12 \text{ mm}\sqrt{K} = 0.012\sqrt{6.622} = 0.031$ เมตร ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับหมุดอื่นๆ ได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 6 เนื่องจากค่า RMSE เท่ากับ 0.027 เมตร มีค่าน้อยกว่าค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สูงสุดซึ่งเท่ากับ 0.031 เมตร แสดงว่าหมุดที่ทดสอบโดยการรังวัดวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS อยู่ในเกณฑ์งานที่ยอมรับได้คือเกณฑ์กำหนดงานระดับชั้นที่ 3 มาตรฐานวสท. [7] และ มาตรฐาน FGCC1984 [2]

ตารางที่ 6 ค่าคลาดเคลื่อนระดับสูงและค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

Point	Distance from GPS3221, km.	Discrepancy, m	Allowable error, m
PRE HV 01	4.440	0.007	0.025
PRE HV 02	4.369	0.009	0.025
PRE HV 03	5.551	0.028	0.028
PRE HV 04	5.557	0.031	0.028
PRE HV 05	6.524	0.028	0.031
PRE HV 06	6.622	0.042	0.031

6. ผลการวิจัย

ในการศึกษาโครงการนี้ ค่าระดับสูงที่รังวัดโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS มีความละเอียดถูกต้องอยู่ในเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 ตามมาตรฐานของวสท. และFGCC1984 และโดยที่โครงการนี้จะต้องรังวัดค่าพิกัดทางราบและระดับสูงของหมุดควบคุม เพื่อใช้อ้างอิงในการออกแบบปรับปรุงภูมิทัศน์ถนนเลียบริมแม่น้ำยมอำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ซึ่งได้ใช้วิธีโครงข่ายดาวเทียม (GNSS Network) หาพิกัดทางราบของหมุดควบคุมดังกล่าว การหาค่าระดับโดยวิธี GNSS ควบคู่กับการหาค่าพิกัดทางราบ มาใช้แทนการหาค่าระดับด้วยวิธีการระดับ (Closed Circuit Differential Leveling) ซึ่งต้องตั้งกล้องระดับและอ่านค่าไม้ระดับเป็นจำนวนมากๆจุด และต้องรังวัดมาตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนที่หมุดหลักฐานระดับอ้างอิงเป็นระยะทางรวม 6.722 กิโลเมตร ทำให้เสียเวลาในการทำงานมาก การหาระดับสูงวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS มาใช้แทนวิธีการระดับ จึงเหมาะสำหรับโครงการนี้มาก

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ในการสำรวจเพื่อออกแบบรายละเอียดและก่อสร้าง การที่จะหาค่าระดับสูงโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียมGNSSมาแทนวิธีการระดับ ควรใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GPS receivers) อย่างน้อย 3 –4 เครื่อง มาใช้รังวัดหาพิกัดทางราบและระดับ โดยเทคนิค Relative Positioning

รังวัดวิธี Static อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ซึ่งปกติจำเป็นต้องหาค่าพิกัดทางราบมาอ้างอิงในการใช้งานอยู่แล้ว

7.2 การหาค่าระดับสูงของหมุดควบคุมทางราบและทางตั้งในโครงการสำรวจออกแบบและก่อสร้างทางวิศวกรรม โดยวิธีโครงข่ายดาวเทียมGNSS เป็นการลดขั้นตอนการหาค่าระดับโดยวิธีการระดับ ทำให้ทำงานได้รวดเร็วขึ้นและประหยัดค่าใช้จ่ายขึ้นมาก

7.3 ในการรังวัดโครงข่ายดาวเทียม GNSS เพื่อหาค่าพิกัดทางราบ และระดับสูงของหมุดควบคุมในงานออกแบบรายละเอียดและก่อสร้างค่าคลาดเคลื่อนทางราบและระดับที่ยอมรับให้ควรรอยู่ใน Order C2 – II หรือดีกว่า นั่นคือค่าคลาดเคลื่อนทางราบและทางตั้งจะต้องเท่ากับหรือดีกว่า 1 : 20,000 หรือ 50 ppm.

7.4 ในการศึกษาเปรียบเทียบค่าระดับสูง ด้วยวิธีการระดับ กล้องระดับที่นำมาใช้จะต้องมีความละเอียดและวิธีการรังวัดตามเกณฑ์กำหนดงานระดับชั้นที่ 3

7.5 ควรจะได้ศึกษาเปรียบเทียบการรังวัดหาค่าระดับสูง ด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียม GNSS และวิธีการระดับในหลายๆภูมิภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีระดับความสูงต่ำที่แตกต่างกันมาก

เอกสารอ้างอิง

- [1] FGCC (1989). Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques, 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. 200-201.
- [4] Kavannagh (2006). Surveying Principles and Applications. Pearson Prentice Hall.
- [5] กรมแผนที่ทหารและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2017). โครงการพัฒนาแบบจำลองข้อมูลความละเอียดสูงของประเทศไทย. หน้า 200 – 201.
- [6] ชัยวัฒน์ พรหมทอง และคณะ (2548). รายงานการวิจัยเรื่องค่าความสูงออร์โธเมตริกจากการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS ในประเทศไทย. กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด ประเทศไทย.
- [7] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) (2558). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาและจัดทำเกณฑ์การปฏิบัติวิชาชีพวิศวกรรมสำรวจ. หน้า 39.
- [8] วิชโรตม์ พันโยธา (2561) การประเมินความถูกต้องค่าระดับสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองข้อมูลความละเอียดสูงของประเทศไทยในพื้นที่ติดตามการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.ประเทศไทย