

การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS ACCURACY ASSESSMENT OF GPS-DERIVED ORTHOMETRIC HEIGHTS

ธนัช สุขวิลมสรี¹

Thanutch Sukwimolseree

เฉลิมชนม์ สติระพจน์²

Chalermchon Satirapod

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร 0-2579-7565 โทรสาร 0-2579-4575 E-mail fengtnsr@ku.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร 0-2218-6662 โทรสาร 0-2218-6653 E-mail chalermchon.s@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ดาวเทียมระบบ GPS ได้พัฒนาขึ้นให้มีบทบาทสำคัญในด้านการสำรวจที่มีความถูกต้องสูง ด้วยผลทางตำแหน่งจะอยู่ในระบบสามมิติ โดยค่าความสูงที่ได้รับจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS เป็นความสูงเหนือรูปทรงรี WGS84 ซึ่งแตกต่างจากค่าความสูงออร์โทเมตริกที่อ้างอิงกับพื้นผิวชื่อย่อย ในการประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมนั้น ความสูงออร์โทเมตริกจะมีความสำคัญมากกว่าความสูงเหนือรูปทรงรี ในการแปลงความสูงเหนือรูปทรงรีไปเป็นความสูงออร์โทเมตริก จึงจำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างชื่อย่อยกับรูปทรงรี ซึ่งก็คือความสูงชื่อย่อย วิธีการหนึ่งเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริกคือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงชื่อย่อยที่มีความถูกต้องร่วมกับความสูงจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS ด้วยประเทศไทย ยังไม่มีแบบจำลองความสูงชื่อย่อย ดังนั้นวิธีการเดียวที่จะให้ได้ค่าความสูงออร์โทเมตริกก็คือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงชื่อย่อยของพิภพ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงชื่อย่อย EGM96 จากผลการศึกษาพบว่า การทำระดับด้วย GPS นั้น จะให้ความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกในระดับเดซิเมตร

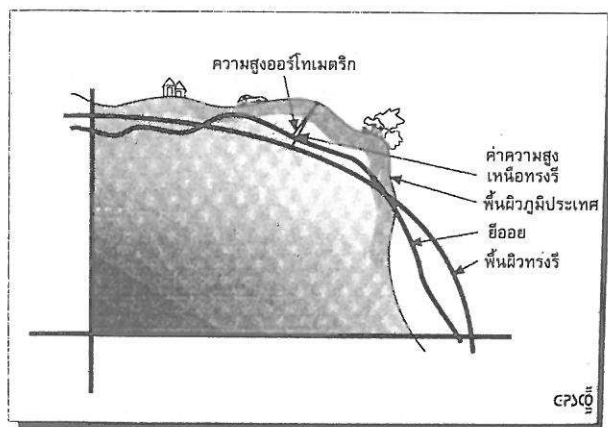
ABSTRACT

The Global Positioning System (GPS) has become an essential tool for high accuracy surveying. The positioning results derived from GPS are usually computed in a three-dimensional system. However, the GPS heights are typically heights above WGS84 ellipsoid, and these GPS ellipsoidal heights are not consistent with orthometric heights, which are referenced to the geoid. For most engineering applications,

the orthometric height is needed, rather than the ellipsoidal height. To accurately convert the ellipsoidal height into the orthometric height, we must know the relationship between the geoid and the ellipsoid, often known as the geoid height. The combination of an accurate geoid model with a GPS height, also called GPS levelling, plays a dominant role in achieving an accurate orthometric height. Unlike other developed countries, Thailand has not yet had an accurate local geoid model. Thus, the only viable way to do GPS levelling in Thailand is to use a global geoid model. This research aims to assess the accuracy of orthometric heights derived from GPS levelling using the EGM96 geoid model. The results show that the GPS levelling can provide orthometric heights accurate at decimeter level.

1. บทนำ

ดาวเทียมระบบ GPS ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยเฉพาะงานที่ต้องการความถูกต้องทางตำแหน่งสูง ได้แก่ งานสร้างหมุดหลักฐานหรือหมุดควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS จะอยู่ในระบบพิกัดของรูปทรงรีหรือระบบพิกัดทางขั้วโลก ที่มีค่าพิกัดทางราบเป็นละติจูดและลองจิจูด ส่วนพิกัดทางดิ่งเป็นค่าความสูงที่อ้างอิงกับพื้นผิวของรูปทรงรี ที่เรียกว่าความสูงเหนือรูปทรงรี (Ellipsoidal height) ในขณะที่ค่าความสูงที่ใช้กันในงานวิศวกรรมนั้น จะอ้างอิงกับระดับน้ำทะเลปานกลาง ที่เรียกว่าความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric height) หรือความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ความสัมพันธ์ของค่าความสูง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงออร์โทเมตริก ความสูงเหนือรูปทรวงรี และความสูงย็อย [1]

ในการแปลงค่าความสูงจากการรังวัดดาวเทียมซึ่งอยู่เหนือรูปทรวงรี ไปสู่ค่าความสูงออร์โทเมตริกนั้น จำเป็นจะต้องทราบค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรวงรีและพื้นผิวย็อย ที่เรียกว่า ความสูงย็อย (Geoidal height; N) ดังนั้นวิธีการหนึ่งเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริก ก็คือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงย็อย (Geoid model) ที่มีความถูกต้อง ร่วมกับค่าความสูงซึ่งได้รับการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS

ด้วยในประเทศไทย ยังไม่มีแบบจำลองความสูงย็อยท้องถิ่น (Local geoid model) ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบบจำลองความสูงย็อยของพิภพ (Global geoid model) แบบจำลองความสูงย็อยของพิภพมีอยู่หลายแบบจำลอง ตัวอย่างเช่น OSU91A และ EGM96 เป็นต้น [2] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างแบบจำลองความสูงย็อยของพิภพทั้งสอง พบว่าแบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือ EGM96

ในการศึกษาครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ร่วมกับแบบจำลองความสูงย็อย EGM96

2. วิธีดำเนินการศึกษา

2.1 การรวบรวมข้อมูลในการศึกษา

ในการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการดำเนินการศึกษา ประกอบด้วย

2.1.1 ค่าระดับหรือค่าความสูงออร์โทเมตริก

เป็นข้อมูลซึ่งได้จากการเดินระดับด้วยกล้องระดับ (Differential levelling) ในเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 (12 มิลลิเมตร คูณด้วย $\sqrt{K}$ โดย K เป็นระยะทางระหว่างหมุดทั้งสองและมีหน่วยเป็นกิโลเมตร) หรือเรียกว่า จำนวน 26 หมุด โดยจะพิจารณาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการวิเคราะห์

2.1.2 เส้นฐานจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS

เป็นข้อมูลที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม โดยใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต ผลลัพธ์จากการประมวลผลเส้นฐาน (GPS baseline solution) ประกอบด้วยเส้นฐานจำนวน 22 เส้น ซึ่งมีจุดปลายเส้นฐานเป็นหมุดระดับที่ทราบค่าระดับจากการเดินระดับด้วยกล้องระดับดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.1.1 โดยเส้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความยาวตั้งแต่ 8.8 กิโลเมตรจนถึง 70.8 กิโลเมตร ทั้งนี้ได้พิจารณาใช้ข้อมูลวงโคจรอย่างละเอียด (Precise ephemeris) ในการประมวลผลเส้นฐาน

2.1.3 แบบจำลองความสูงย็อย

แบบจำลองความสูงย็อยที่นำมาใช้ในการศึกษา คือ แบบจำลองความสูงย็อยของพิภพ ค.ศ.1996 (Earth Gravitational Model 1996) หรือที่เรียกโดยย่อว่า EGM96 แบบจำลองดังกล่าวให้ค่าความถูกต้องแบบสัมบูรณ์ (Absolute accuracy) ประมาณ 1 เมตร [3]

2.2 การประมวลผล

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ค่าความถูกต้องแบบสัมบูรณ์ของแบบจำลองความสูงย็อย EGM96 อยู่ที่ประมาณ 1 เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง อย่างไรก็ตาม ได้เสนอวิธีการหาค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางของหมุดปลายเส้นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลอง EGM96 เพื่อหาค่า N แบบสัมพัทธ์ ในพื้นที่ทดลองบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งวิธีการดังกล่าวให้ค่าความถูกต้องในระดับเซนติเมตร สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้หลักการที่คล้ายกับวิธีการดังกล่าว ด้วยการประมวลผลเส้นฐานและปรับแก้โครงข่าย โดยแยกกันอย่างอิสระทีละเส้นฐาน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของค่าพิกต์ของหมุดควบคุมซึ่งเป็นจุดปลายของเส้นฐานอีกด้านหนึ่ง ทั้งนี้ค่าพิกต์ทางตั้ง จะเป็นค่าความสูงเหนือรูปทรวงรี โดยอ้างอิงกับพื้นหลักฐานพิภพ WGS84

ในการแปลงค่าความสูงเหนือรูปทรวงรีไปเป็นค่าความสูงออร์โทเมตริกนั้น สามารถกระทำได้โดยการประมวลผลเพื่อปรับแก้โครงข่าย GPS ร่วมกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงย็อย EGM96 ด้วยสมการความสัมพันธ์ของค่าความสูง $\Delta H_{GPS} = \Delta h - \Delta N$ จะสามารถหาค่า ΔH ที่ได้จากผลการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ดังแสดงในตารางที่ 1 ในหลักแรกและหลักที่สองของตาราง แสดงเส้นฐานทั้ง 22 เส้นที่ใช้ในการศึกษา โดยเรียงตามความยาวเส้นฐาน หลักที่สามเป็นค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกระหว่างปลายเส้นฐานที่ได้จาก GPS ร่วมกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงย็อย EGM96 และหลักที่สี่เป็นค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกระหว่างปลายเส้นฐานที่ได้จากการเดินระดับ

ตารางที่ 1 ค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกระหว่างปลายเส้นฐานที่ได้จาก GPS และการเดินระดับ

เส้นฐาน	ความยาว (เมตร)	ΔH_{GPS} (เมตร)	ΔH_{Level} (เมตร)
BM1-BM2	8,859.33	0.599	0.538
BM1-BM3	18,621.97	-0.479	-0.439
TBMP1553 - TBMP435/1	19,194.32	19.573	19.600
OBMP1160 - TBMP1163	19,510.01	17.218	17.233
TBMP1926 - TBMP435/1	19,750.38	16.666	16.618
TBMP742 - TBMP1156	22,888.95	-12.407	-12.282
OTRI91 - TBMP1926	27,739.10	-102.888	-102.843
TBMP421 - TBMP420	27,781.89	43.282	43.582
OTRI358 - TBMP169	32,298.01	-175.343	-175.382
OBMP1675 - OBMP1683	32,498.08	14.465	14.657
TBMP073 - TBMP1580	34,087.59	0.995	1.058
TBMP1349 - TBMP742	36,755.68	-28.926	-28.797
TBMP169 - TBMP174	38,523.84	2.568	2.399
TBMP742 - OBMP1160	40,456.03	5.479	5.530
OTRI91 - TBMP1534	41,394.13	-89.993	-90.082
TBMP073 - OTRI358	44,732.79	192.500	192.610
OTRI91 - TBMP435/1	47,129.13	-86.222	-86.225
OBMP1152 - TBMP1600	50,781.73	261.865	262.257
TBMP174 - TBMP1349	55,465.89	33.346	33.171
TBMP174 - TBMP742	56,884.51	4.420	4.374
OTRI358 - TBMP174	68,193.96	-172.775	-172.983
OBMP1675 - TBMP1664	70,827.20	-164.121	-163.954

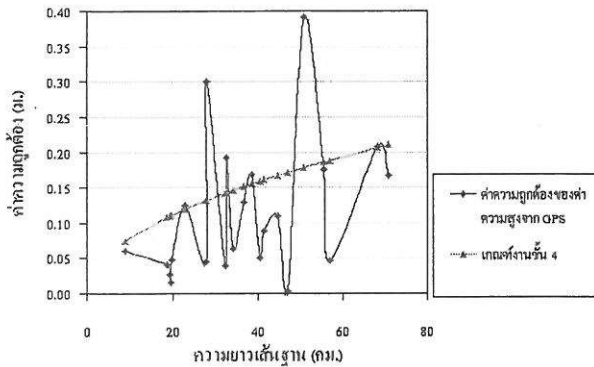
3. การวิเคราะห์ผล

ในการวิเคราะห์ผลต่างระหว่างค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS กับค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการเดินระดับ แสดงได้ดังตารางที่ 2 โดยมีค่าทางสถิติ ดังนี้คือ ค่าผลต่างมีค่าต่างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.037 เมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.392 เมตร มีค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.208 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.147 เมตร

นอกจากนี้หากพิจารณาความถูกต้องของค่าต่างที่คำนวณได้ กับเกณฑ์ของงานระดับชั้นที่ 4 (25 มิลลิเมตร คูณด้วย $\sqrt{K}$) จะพบว่ามีจำนวนเส้นฐานที่ผ่านเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 4 จำนวน 17 เส้น และไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 5 เส้น รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถูกต้องของค่าความสูงที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียม GPS กับค่าความถูกต้องของเกณฑ์งานระดับชั้น 4

ตารางที่ 2 ผลต่างระหว่างค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกระหว่างปลายเส้นฐานที่ได้จาก GPS และการเดินระดับ และค่าทางสถิติ

เส้นฐาน	ความยาว (เมตร)	$\Delta H_{Level} - \Delta H_{GPS}$ (เมตร)
BM1-BM2	8,859.33	-0.061
BM1-BM3	18,621.97	0.040
TBMP1553 - TBMP435/1	19,194.32	0.027
OBMP1160 - TBMP1163	19,510.01	0.015
TBMP1926 - TBMP435/1	19,750.38	-0.048
TBMP742 - TBMP1156	22,888.95	0.125
OTRI91 - TBMP1926	27,739.10	0.045
TBMP421 - TBMP420	27,781.89	0.300
OTRI358 - TBMP169	32,298.01	-0.039
OBMP1675 - OBMP1683	32,498.08	0.192
TBMP073 - TBMP1580	34,087.59	0.063
TBMP1349 - TBMP742	36,755.68	0.129
TBMP169 - TBMP174	38,523.84	-0.169
TBMP742 - OBMP1160	40,456.03	0.051
OTRI91 - TBMP1534	41,394.13	-0.089
TBMP073 - OTRI358	44,732.79	0.110
OTRI91 - TBMP435/1	47,129.13	-0.003
OBMP1152 - TBMP1600	50,781.73	0.392
TBMP174 - TBMP1349	55,465.89	-0.175
TBMP174 - TBMP742	56,884.51	-0.046
OTRI358 - TBMP174	68,193.96	-0.208
OBMP1675 - TBMP1664	70,827.20	0.167
ค่าเฉลี่ย (เมตร)		0.037
ค่าต่างมากที่สุด (เมตร)		0.392
ค่าต่างน้อยที่สุด (เมตร)		-0.208
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เมตร)		0.147



รูปที่ 2 ค่าความถูกต้องของค่าความสูงจาก GPS เปรียบเทียบกับเกณฑ์ของงานระดับชั้น 4

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานรังวัดดาวเทียมระบบ GPS ได้ถูกนำมาแทนที่การทำระดับด้วยกล้องระดับเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดที่ต้องการในหลายๆ งาน เช่น งานสำรวจเพื่องานทาง งานสำรวจเพื่องานก่อสร้าง หรืองานสำรวจเพื่อสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น จากผลการศึกษาเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัด GPS แสดงให้เห็นถึงค่าความถูกต้องที่ได้รับอยู่ในระดับเซนติเมตรถึงเดซิเมตร วิธีการดังกล่าวจึงเหมาะสำหรับการหาค่าระดับของตำแหน่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้หรือไม่สามารถหาค่าระดับได้ ทั้งยังช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานสนามอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณกองชื้ออเดซีและชื้ออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูล GPS และค่าระดับของหมุดระดับอ้างอิง ขอขอบคุณกองรังวัด กรมทรัพยากรธรณี ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลค่าระดับของหมุดระดับอ้างอิงเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณกองการสำรวจร่องน้ำ การท่าเรือแห่งประเทศไทย ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานสนามและเอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เฉลิมชนม์ สติระพจน์. การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีทีเอสเบื้องต้น (แปลและเรียบเรียง), โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2546.
- [2] ธนัช สุขวิลลเสรี. "ความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ร่วมกับแบบจำลองความสูงชีออ", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, โรงแรมรีเจนท์ ชะอำ เพชรบุรี, 19-21 พ.ค. 2547, หน้า SIE 1-6.

[3] NASA, EGM's official web site:

<http://cddisa.gsfc.nasa.gov/926/egm96/nasatm.html>.

[4] เฉลิมชนม์ สติระพจน์ และคณะ. "การหาค่าระดับเหนือน้ำทะเลปานกลางของสถานีวัดน้ำในอ่าวไทยด้วยจีทีเอส", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, โรงแรมรีเจนท์ ชะอำ เพชรบุรี, 19-21 พ.ค. 2547, หน้า SIE 53-58.