ความถูกต้องของพิกัดตำแหน่งจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส โดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน

Positional Accuracy Using Virtual Reference Station GPS Technique

ธนัช สุขวิมลเสรี[1] และ ปรียาพร โกษา[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
Email: fengtnsr@ku.ac.th, kosa@sut.ac.th>

บทคัดย่อ

การรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนเป็นรูปแบบหนึ่งของการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายแบบจลน์ในทันที ซึ่งค่าความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของพิกัดตำแหน่ง รวมถึงขอบเขตการทำงานมีความต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งโครงข่าย ส่งผลให้เกิดความคล่องตัวในการปฏิบัติงานและประหยัดเวลาในการทำงาน บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความถูกต้องของพิกัดตำแหน่งจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน โดยใช้หมุดหลักฐานถาวรจำนวน 10 หมุด ซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ครอบคลุมพื้นที่ 743,760 ตารางเมตร ผลการศึกษาพบว่า ค่าพิกัดในทางราบและทางดิ่งที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน และประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 นั้น จะให้ความถูกต้องอยู่ในระดับ 10 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส แบบสถานีอ้างอิงเสมือน จะเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับงานรังวัดที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงมากนัก ทั้งยังประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานด้วย

คำสำคัญ

สถานีอ้างอิงเสมือน แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ดาวเทียมระบบจีพีเอส

Abstract

Virtual Reference Station (VRS) is a type of network-based Real Time Kinematic GPS technique. The accuracy and reliability of the coordinates are based on the density and efficiency of the reference station in the network. Moreover, a homogeneous operational area within the network is the advantage. The flexibility and saving hours in a field operation are also included as the result. The purpose of the study is to evaluate the positional accuracy from VRS method of 10 permanent stations distributed in the Kasetsart University (Bangkhen Campus) and covers 743,760 m2. The result presents that the accuracy of horizontal position and orthometric heights from VRS applied by Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) are better than 10 and 30 cm, respectively. Then, it can be concluded that the GPS- derived orthometric heights by VRS is an alternative method for time and cost saving in field surveying where a high accuracy of the orthometric heights is not required.

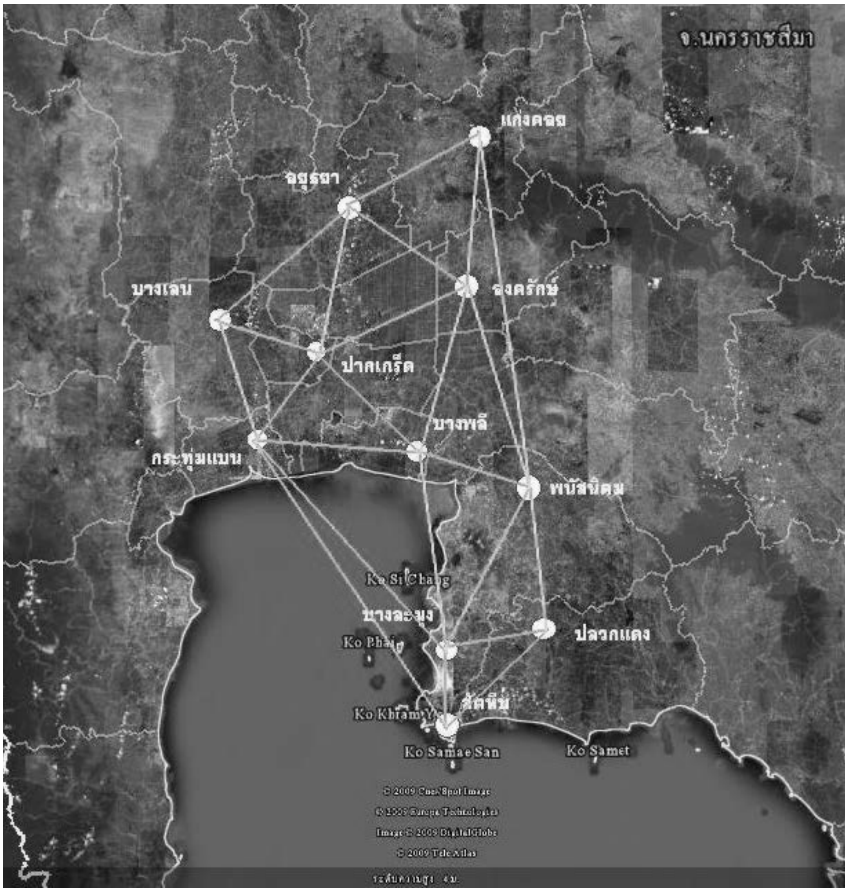
Keywords

virtual reference station, earth gravitational model 2008, GPS

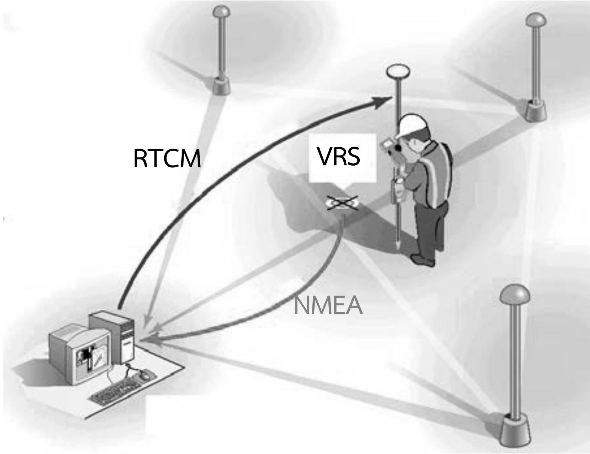
1. บทนำ

การรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ระบบเครือข่ายแบบจลน์ในทันที (Network-based RTK GPS) มีทั้งสิ้น 3 รูปแบบ ได้แก่ Flächen-Korrectur-Parameter (FKP), Virtual Reference Station (VRS) และ Master Auxiliary Concept (MAC) [1] ในประเทศไทยมีการใช้เพียงรูปแบบสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station) โดยกรมที่ดินซึ่งเป็นหน่วยงานที่ควบคุมดูแล และมีการติดตั้งสถานีฐานถาวรจำนวนทั้งสิ้น 11 สถานี ในลักษณะเป็นโครงข่าย (GPS network) แต่ละสถานีจะมีระยะห่างกันประมาณ 50–80 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1

ในการรังวัดโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนนั้น มีหลักการคือการใช้สถานีฐานถาวรหลายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมระบบจีพีเอสพร้อมกัน และมีศูนย์ควบคุม (Control center) เพื่อคำนวณค่าแก้อันเนื่องมาจากวงโคจรดาวเทียม (Satellite orbit error) และค่าแก้อันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ (Atmospheric error) ในการสื่อสารระหว่างสถานีเคลื่อนที่ (Rover station) และศูนย์ควบคุม เป็นการสื่อสารแบบสองทาง (Bi-directional communication) โดยสถานีเคลื่อนที่จะส่งพิกัดตำแหน่งโดยประมาณของตนไปยังศูนย์ควบคุมทางเครือข่ายสื่อสาร จากนั้นศูนย์ควบคุมจะคำนวณและประมาณค่าแก้จากสถานีฐานทุกสถานีสำหรับตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่นั้น จึงเปรียบกับว่ามีสถานีอ้างอิงเสมือนอยู่ในบริเวณใกล้กับสถานีเคลื่อนที่ [2] ดังแสดงในภาพที่ 2 ทั้งนี้ ที่ศูนย์ควบคุมจะมีเซิร์ฟเวอร์และโมเด็มในการสื่อสาร และสามารถสื่อสารได้พร้อมกันหลายๆ สถานีเคลื่อนที่ในเวลาเดียวกัน การรังวัดโดยวิธีนี้มีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบอยู่ในระดับเซนติเมตร



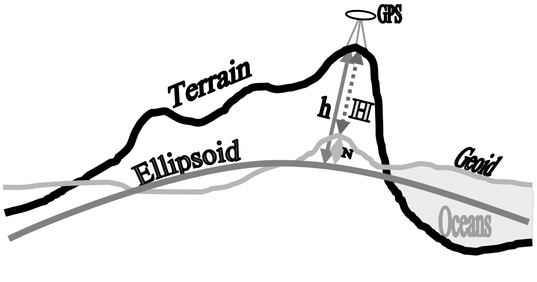
ภาพที่ 1 โครงข่ายสถานีอ้างอิงของกรมที่ดิน



ภาพที่ 2 หลักการรังวัดโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน

ค่าพิกัดทางดิ่งจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส เป็นความสูงเหนือทรงรี (Ellipsoidal height, h) ซึ่งอยู่ในระบบพิกัดของรูปทรงรี ในขณะที่ความสูงที่ได้จากการเดินระดับ เป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือที่เรียกว่า ความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric height, H) ดังนั้น ในการแปลงความสูงเหนือทรงรีไปเป็นความสูงออร์โทเมตริก จึงจำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างจีออยด์กับรูปทรงรี ซึ่งก็คือ ความสูงจีออยด์ (Geoid undulation, N) นั่นเอง ความสัมพันธ์ของค่าความสูง แสดงได้ดังภาพที่ 3

ความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริก จึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องของค่าความสูงเหนือทรงรีที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส และค่าความสูงจีออยด์ซึ่งสามารถคำนวณได้จากแบบจำลองความสูงจีออยด์ที่มีอยู่ อย่างไรก็ดีประเทศไทยยังไม่มีแบบจำลองความสูงจีออยด์ท้องถิ่น ดังนั้น จึงต้องอาศัยแบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ (Earth Gravitational Model) หรือแบบจำลองความสูงจีออยด์ของพิภพ ทั้งนี้ แบบจำลองที่ถือว่าดีและทันสมัยที่สุดในปัจจุบันก็คือ Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)



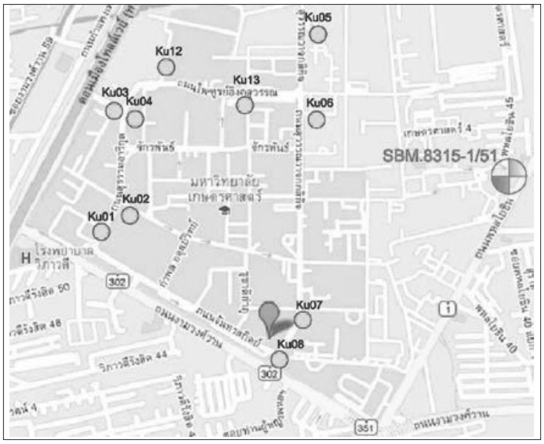
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของค่าความสูงออร์โทเมตริก ค่าความสูงเหนือทรงรี และค่าความสูงจีออยด์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความถูกต้องของพิกัดตำแหน่งจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส โดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน

2. วิธีดำเนินการศึกษา

2.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการวิจัยได้ดำเนินการรังวัดเหนือหมุดหลักฐานซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่ของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จำนวน 10 หมุด ครอบคลุมพื้นที่โดยประมาณ 743,760 ตารางเมตร มีความสูงที่แตกต่างกันไม่เกิน 0.900 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตำแหน่งหมุดหลักฐานของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

2.2 การรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน ได้แก่ ค่าพิกัดทางราบ ซึ่งอ้างอิงกับพื้นหลักฐาน WGS84 และค่าพิกัดทางดิ่งจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ของหมุดหลักฐานของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จำนวน 10 หมุด รังวัดโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบสองความถี่รุ่น Trimble R8 GNSS และ Topcon GR-3 ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6

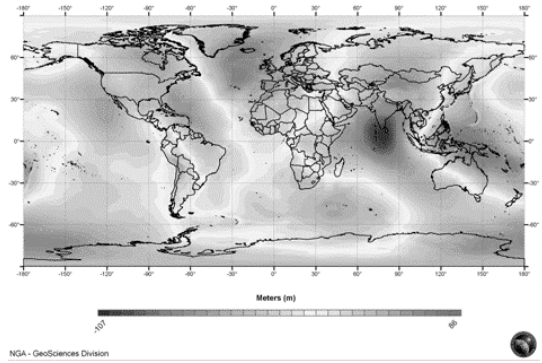
ภาพที่ 5 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมรุ่น Trimble R8 GNSS

2.2.2 ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดด้วยวิธีการเดินระดับ โดยใช้กล้องระดับ Leica NA2 และไม้ระดับ (Staff) ที่รังวัดเหนือหมุดหลักฐานของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จำนวน 10 หมุด ในเกณฑ์งานชั้นที่ 3 ตามข้อกำหนดของ Federal Geodetic Control Committee (FGCC) ค.ศ. 1984 [3] โดยโยงค่าระดับจากหมุดหลักฐานการระดับชั้นที่ 1 SBM.8315-1/51 ซึ่งรังวัดโดยกรมแผนที่ทหาร เมื่อ พ.ศ. 2554 ดังแสดงในภาพที่ 7 และดำเนินการปรับแก้ค่าระดับทั้งโครงข่ายโดยวิธีลีสแควร์

ภาพที่ 7 การรังวัดด้วยวิธีการเดินระดับ โดยใช้กล้องระดับและไม้ระดับ

ภาพที่ 6 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมรุ่น Topcon GR-3

2.2.3 แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 (Earth Gravitational Model 2008, EGM2008) ได้รับการพัฒนาและเผยแพร่โดยกลุ่มพัฒนา EGM ของหน่วยงานอัจฉริยะเชิงพื้นที่แห่งชาติสหรัฐอเมริกา (U.S. National Geospatial-Intelligence Agency, NGA) แบบจำลองนี้ ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ฮาร์มอนิกทรงกลมที่ขยายเพิ่มขึ้นถึงระดับขั้น (Degree) 2,190 และอันดับ (Order) 2,159 โดยมีความละเอียด (Resolution) ของแบบจำลอง 5′x 5′ [4] ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 [5]

3. การวิเคราะห์ผล

ผลลัพธ์ของพิกัดในสามมิติจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน และการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิง [6] และค่าระดับซึ่งได้จากการเดินระดับ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1 ค่าพิกัดในสามมิติที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน และประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ด้วยเครื่องรับสัญญาณ Trimble R8 GNSS เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิง และค่าระดับซึ่งได้จากการเดินระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 9 พบว่า ผลต่างของค่าพิกัดในทางราบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.081 เมตร ในทางตะวันออก และ -0.056 เมตร ในทางเหนือ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.013 เมตร ในทางตะวันออก และ 0.018 เมตร ในทางเหนือ เมื่อพิจารณาผลต่างของค่าพิกัดในทางดิ่งหรือผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก พบว่ามีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ -0.220 เมตร และ 0.026 เมตร ตามลำดับ

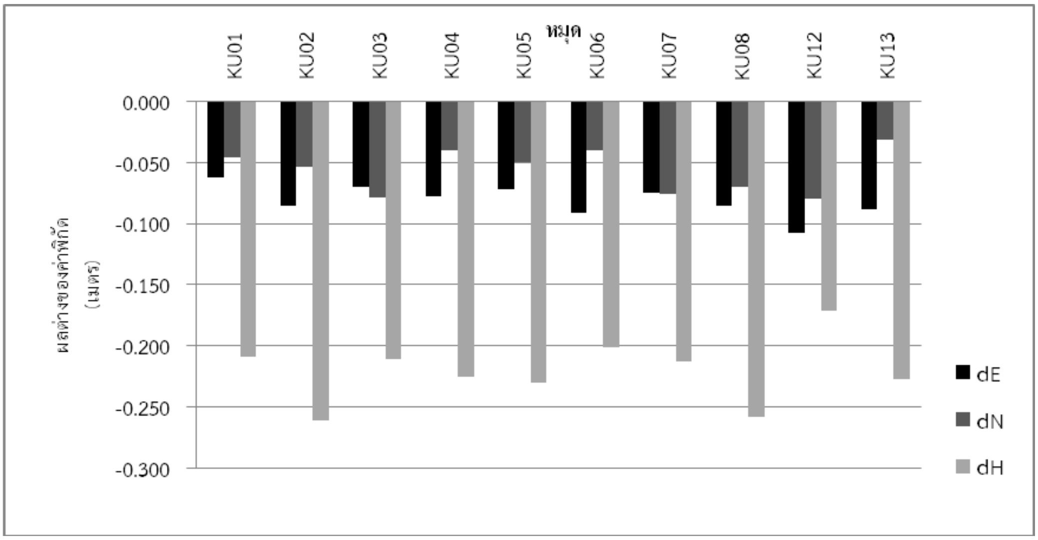
3.2 ค่าพิกัดในสามมิติที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน และประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ด้วยเครื่องรับสัญญาณ Topcon GR-3 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงและค่าระดับซึ่งได้จากการเดินระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 10 พบว่า ผลต่างของค่าพิกัดในทางราบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.089 เมตร ในทางตะวันออก และ -0.061 เมตร ในทางเหนือ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.017 เมตร ในทางตะวันออก และ 0.018 เมตร ในทางเหนือ เมื่อพิจารณาผลต่างของค่าพิกัดในทางดิ่งหรือผลต่างของค่าความสูงออร์โทเมตริก พบว่า มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ -0.230 เมตร และ 0.032 เมตร ตามลำดับ

ในการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนด้วยเครื่องรับสัญญาณทั้งสองรุ่นจะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้ ความถูกต้องของพิกัดในทางราบและทางดิ่ง มีค่าโดยประมาณ 10 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างของค่าพิกัดในสามมิติ จะมีค่าโดยประมาณ 4 เซนติเมตร

ตารางที่ 1 ผลต่างของค่าพิกัดในสามมิติที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน และประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ด้วยเครื่องรับสัญญาณ Trimble R8 GNSS กับค่าพิกัดอ้างอิงและค่าระดับ

หมุด	พิกัดอ้างอิง (เมตร)		ค่าระดับ (เมตร)	พิกัดจากการรังวัดโดยวิธี VRS (เมตร)			ผลต่างของค่าพิกัด (เมตร)		
	E	N	H	E	N	H	dE	dN	dH
KU01	669101.356	1531409.021	0.996	669101.2940	1531408.9760	0.788	-0.062	-0.045	-0.208
KU02	669222.134	1531477.078	0.406	669222.0490	1531477.0250	0.146	-0.085	-0.053	-0.260
KU03	669155.300	1531916.457	1.006	669155.2310	1531916.3790	0.796	-0.069	-0.078	-0.210

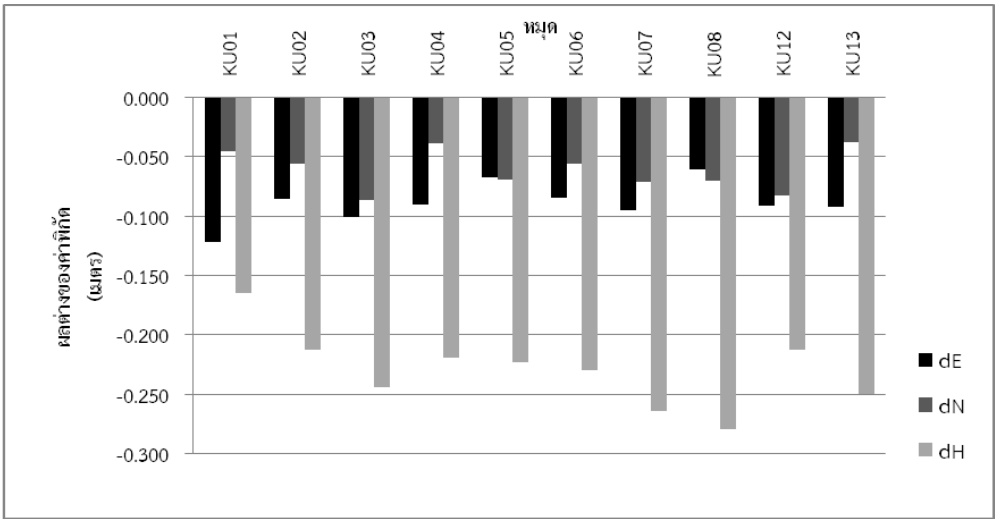
หมุด	พิกัดอ้างอิง (เมตร)		ค่าระดับ (เมตร)	พิกัดจากการรังวัดโดยวิธี VRS (เมตร)			ผลต่างของค่าพิกัด (เมตร)		
	E	N	H	E	N	H	dE	dN	dH
KU04	669243.141	1531882.147	0.574	669243.0640	1531882.1070	0.349	-0.077	-0.040	-0.225
KU05	669964.927	1532238.525	1.253	669964.8560	1532238.4760	1.023	-0.071	-0.049	-0.230
KU06	669966.140	1531883.902	0.948	669966.0490	1531883.8620	0.747	-0.091	-0.040	-0.201
KU07	669946.391	1531038.869	1.114	669946.3170	1531038.7940	0.902	-0.074	-0.075	-0.212
KU08	669854.934	1530867.455	1.156	669854.8490	1530867.3860	0.898	-0.085	-0.069	-0.258
KU12	669373.680	1532100.760	0.947	669373.5730	1532100.6810	0.776	-0.107	-0.079	-0.171
KU13	669699.714	1531989.224	0.910	669699.6260	1531989.1930	0.683	-0.088	-0.031	-0.227
						Min.	-0.107	-0.079	-0.260
						Max.	-0.062	-0.031	-0.171
						Mean	-0.081	-0.056	-0.220
						S.D.	±0.013	±0.018	±0.026



ภาพที่ 9 ผลต่างของค่าพิกัดในสามมิติที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน และประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ด้วยเครื่องรับสัญญาณ Trimble R8 GNSS กับค่าพิกัดอ้างอิงและค่าระดับ

ตารางที่ 2 ผลต่างของค่าพิกัดในสามมิติที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนและประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ด้วยเครื่องรับสัญญาณ Topcon GR-3 กับค่าพิกัดอ้างอิงและค่าระดับ

หมุด	พิกัดอ้างอิง (เมตร)		ค่าระดับ (เมตร)	พิกัดจากการรังวัดโดยวิธี VRS (เมตร)			ผลต่างของค่าพิกัด (เมตร)		
	E	N	H	E	N	H	dE	dN	dH
KU01	669101.356	1531409.021	0.996	669101.235	1531408.976	0.832	-0.121	-0.045	-0.164
KU02	669222.134	1531477.078	0.406	669222.049	1531477.023	0.194	-0.085	-0.055	-0.212
KU03	669155.300	1531916.457	1.006	669155.200	1531916.371	0.762	-0.100	-0.086	-0.244
KU04	669243.141	1531882.147	0.574	669243.051	1531882.109	0.355	-0.090	-0.038	-0.219
KU05	669964.927	1532238.525	1.253	669964.860	1532238.456	1.030	-0.067	-0.069	-0.223
KU06	669966.140	1531883.902	0.948	669966.056	1531883.847	0.719	-0.084	-0.055	-0.229
KU07	669946.391	1531038.869	1.114	669946.296	1531038.798	0.850	-0.095	-0.071	-0.264
KU08	669854.934	1530867.455	1.156	669854.874	1530867.385	0.877	-0.060	-0.070	-0.279
KU12	669373.680	1532100.760	0.947	669373.589	1532100.678	0.735	-0.091	-0.082	-0.212
KU13	669699.714	1531989.224	0.910	669699.622	1531989.187	0.661	-0.092	-0.037	-0.249
						Min.	-0.121	-0.086	-0.279
						Max.	-0.060	-0.037	-0.164
						Mean	-0.089	-0.061	-0.230
						S.D.	±0.017	±0.018	±0.032



ภาพที่ 10 ผลต่างของค่าพิกัดในสามมิติที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือนและประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 ด้วยเครื่องรับสัญญาณ Topcon GR-3 กับค่าพิกัดอ้างอิงและค่าระดับ

4. การสรุปผล

จากการวิจัยแสดงให้เห็นถึง ศักยภาพของรูปแบบการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสโดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน และประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 เพื่อหาค่าพิกัดในทางราบ และทางดิ่งหรือค่าความสูงออร์โทเมตริกนั้น จะให้ความถูกต้องอยู่ในระดับ 10 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างของค่าพิกัดในสามมิติ จะมีค่าโดยประมาณ 4 เซนติเมตร ซึ่งจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานสำรวจเพื่อการทำแผนที่ที่ไม่ต้องการความถูกต้องและความละเอียดสูง ทั้งยังช่วยลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานภาคสนามลงอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม การวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาเฉพาะกรณีศึกษาพื้นที่ขนาดเล็ก ดังนั้นจึงควรพิจารณาศึกษาในกรณีพื้นที่ขนาดใหญ่และมีสภาพภูมิประเทศที่แตกต่าง เพื่อประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

5. กิติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ คุณวราวุฒิ ชัยมีแรง นิสิตระดับปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แผนกเครื่องมือสำรวจ บริษัทฮอลลีวู้ด อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด และ บริษัทเซเว่น เอส โปร จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการรังวัด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Tekmon Geomatics. Network RTK (Online). Retrieved January 20, 2013, from: http://tekmon.gr/2011/03/network-rtk-2/

[2] Landau, H., Vollath, U., and Chen, X. Virtual Reference Station Systems. Journal of Global Positioning Systems. Vol. 1, No. 2: 137-143.

[3] Federal Geodetic Control Committee. Standards and Specifications for Geodetic Control Networks (Online). Retrieved December 10, 2012, from: http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/tech_pub/1984-stds-specs-geodetic-control-networks.htm

[4] ธนัช สุขวิมลเสรี, อรรถวุฒิ ศรีกมลศิริศักดิ์ และณัฐกิตติ์ ดำรงอุตสาหกิจ. 2553. การศึกษาเปรียบเทียบความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศักยภาพของพิภพ ค.ศ. 1996 และ ค.ศ. 2008. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี, 12-14 พฤษภาคม 2553, 242.

[5] National Geospatial-Intelligence Agency, Office of GEOINT Sciences. Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) (Online). Retrieved December 10, 2012, from: http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html

[6] ธนัช สุขวิมลเสรี. 2544. โครงข่ายหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียมระบบ GPS ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิศวกรรมสาร มก. 14 (42): 14-22.