การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองความสูงเชิงเลข กับข้อมูลการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องรังวัดและDGPS

ปฏิวัติ สอางชัย [1]

สัญญา สราภิรมย์ [2]

[1] *สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี pat.flat6@gmail.com*

[2] *สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี sunyas@g.sut.ac.th*

บทคัดย่อ: การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลค่าพิกัดสามมิติที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS โดยใช้วิธี Rapid static และ Kinematic กับการสำรวจด้วยกล้องวัดมุมและกล้องระดับ และทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าความสูงระหว่าง Grid DEM ที่มีการจับคู่ภาพแบบต่าง ๆ กับการสำรวจด้วยกล้องระดับและการสำรวจด้วย DGPS แบบ Rapid static ข้อมูล Grid DEM ที่ใช้เปรียบเทียบถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการโฟโตแกรมเมตรีที่มีจุดควบคุมภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS แบบ Rapid static ผลการศึกษาเปรียบเทียบสรุปได้ว่าความถูกต้องของการสำรวจด้วย DGPS ที่มีการวัดแบบ Rapid static ให้ค่าผิดพลาดที่ต่ำกว่าแบบ Kinematic โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 0.06 เมตรและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.02815 เมตร ขณะที่การเปรียบเทียบในส่วนข้อมูล Grid DEM ที่ได้จากการวัดค่าความสูงจากแบบจำลองทรวดทรงสามมิติ (Stereoscopic model) พบว่าการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติที่ความละเอียดของจุด 5 เมตรให้ค่าความถูกต้องของค่าความสูงดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากการสำรวจด้วยกล้องระดับ และ DGPS โดยทำการตรวจสอบ 39 จุดทั้งบนพื้นที่ราบและพื้นที่ต่างระดับฉับพลัน

ABSTRACT: The purpose of the study is to compare the accuracy of 3D coordinates achieved from Rapid static and Kinematic DGPS surveys to the Total station conventional survey as well as to compare elevation values achieved from Grid DEM with different details of image matching to the Rapid statics DGPS and conventional surveys. These Grid DEM data resulted from the photogrammetric process using ground controlled points of Rapid static DGPS survey. The study result can be concluded that the Rapid static survey shows higher accuracy than the Kinematic survey. Its average error is 0.06 meter while the standard deviation is 0.02815 meter. For the comparison of Grid DEM data whose elevation achieved from Stereoscopic model, it shows that Grid DEM data with 5-meter automatic image matching carry the best accuracy when compare to the Rapid statics DGPS and conventional surveys. The 39 point data on flat and abruptly changed terrains are performed in the comparison.

KEYWORDS: DEM, DGPS, Photogrammetry, Accuracy comparison

1. บทนำ

ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) เป็นข้อมูลที่แสดงลักษณะของพื้นผิวโลกในรูปแบบดิจิตอลที่กำลังเป็นที่ต้องการสูงในการใช้งานสาขาต่างไม่ว่าจะเป็นการใช้งานด้าน การศึกษาเชิงอุทกวิทยา การศึกษาการหมุนเวียนของอากาศ

การแปลธรณีสัณฐานวิทยา ความลาดชันและทิศด้านลาดหรือการเลือกตำแหน่งสถานีกระจายสัญญาณโทรคมนาคม การได้มาของข้อมูล DEM เพื่อใช้ในงานประเภทต่างๆสามารถทำได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็น การสำรวจจากภาคสนามด้วยกล้องวัดมุมและกล้องระดับ การสำรวจด้วย Differential Global Positioning System (DGPS) การสำรวจด้วย Light Detection and Ranging (LIDAR) การสำรวจด้วยเครื่อง 3Line Scanner หรือ การสำรวจด้วยโฟโตแกรมเมตรีด้วยข้อมูลประเภทต่างๆ ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันออกไป เช่น การสำรวจด้วย LIDAR จะได้ข้อมูล DEM ที่มีความละเอียดสูงมากถึงระดับ 20 เซนติเมตรต่อจุดภาพหรือมากกว่า แต่ก็ต้องแลกมาด้วยการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากและราคาในการบินสำรวจที่สูง หรือการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องวัดมุมและกล้องระดับ ที่ต้องใช้เวลาและบุคลากรจำนวนมากในการสำรวจพื้นที่ขนาดใหญ่แต่ก็ให้ความน่าเชื่อถือของข้อมูลสูง ซึ่งสิ่งสำคัญของการได้มาซึ่งข้อมูลในแต่ละแบบก็คือความแตกต่างของความละเอียดและความถูกต้องดังนั้นข้อมูล DEM ที่จะนำมาใช้งานจึงมีความละเอียดและความถูกต้องน่าเชื่อถือสำหรับงานแต่ละประเภทตามความต้องการซึ่งแตกต่างกันออกไป

1.1 การสำรวจหาตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม

การสำรวจหาตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม ทำโดยอาศัยหลักการหาระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณ GPS กับดาวเทียม GPS ในระบบ NAVSTAR ที่ทำการตรวจวัดพิกัดของสถานีอ้างอิงให้ถูกต้องตลอดเวลา หากเครื่องรับสัญญาณสามารถหาระยะทางระหว่างตัวเครื่องรับกับดาวเทียมได้ตั้งแต่ 4 ดวงขึ้นไปก็จะสามารถแก้สมการเพื่อหาตำแหน่งในแนวราบและแนวดิ่ง (x,y,z) หรือพิกัดสามมิติของเครื่องรับบนพื้นโลกได้ การหาระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณสามารถทำได้ 2 วิธีคือ 1) การหาระยะทางแบบ Pseudoranging ซึ่งเป็นการหาระยะทางโดยเทียบเวลาของดาวเทียมที่ส่งมากับเวลาของเครื่องรับสัญญาณ ค่าแตกต่างของเวลาที่ได้ก็คือเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมสู่เครื่องรับเมื่อคูณด้วยความเร็วแสงก็จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ ด้วยวิธีการนี้ระยะทางที่คำนวณได้สามารถเกิดความผิดพลาดได้จากปัจจัยหลายอย่างเช่น ความคลาดเคลื่อนระหว่างเวลาของดาวเทียมกับเครื่องรับ ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ และสิ่งแวดล้อมของเครื่องรับสัญญาณเป็นต้น 2) การหาระยะทางด้วยวิธีการวัดเฟสของสัญญาณจากดาวเทียมขณะที่มาถึงเครื่องรับสัญญาณ วิธีการนี้อาศัยการวัดความต่างเฟสของสัญญาณดาวเทียมจากเครื่องรับ 2 เครื่องที่รับสัญญาณดาวเทียม 2 ดวงพร้อมกัน (Double differencing) ขณะที่ดาวเทียมเคลื่อนที่ไปค่าความต่างเฟสดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาระยะทางได้อย่างแม่นยำผ่านกระบวนการทางสถิติที่มีความซับซ้อนสูง [4]

จากวิธีการหาระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับดังกล่าวสามารถแบ่ง GPS ออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ GPS แบบนำหน (navigation GPS) ที่ใช้การหาระยะทางแบบ Pseudoranging และ GPS แบบรังวัดที่ใช้การวัดระยะทางแบบ Double differencing ร่วมกับการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Differential positioning) ที่มีเครื่องรับสัญญาณเครื่องหนึ่งตั้งอยู่บนสถานีฐานที่ทราบค่าพิกัดคอยส่งค่าปรับแก้พิกัดให้เครื่องรับที่อยู่ในระบบเดียวกัน สามารถแบ่งวิธีการรังวัดด้วย GPS แบบรังวัดออกเป็น 2 ประเภท คือ การรังวัดแบบสถิต (Static survey) ที่มีความแม่นยำสูงที่สุดแต่ใช้เวลาต่อจุดมากกว่า 1 ชั่วโมง และการรังวัดแบบจลน์ (Kinematic survey) มีความแม่นยำต่ำกว่าแบบสถิตเล็กน้อยแต่ใช้เวลาต่อจุดน้อยกว่า 1 นาที [1][2][4]

1.2 การสำรวจด้วยภาพถ่ายผ่านกระบวนการโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลข

โฟโตแกรมเมตรีในที่นี้เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลพิกัดสามมิติที่มีความน่าเชื่อถือของวัตถุและสิ่งแวดล้อมผ่านการบันทึกตรวจวัดและแปลตีความข้อมูลจากภาพถ่าย[3] ที่ปัจจุบันการสำรวจด้วยโฟโตแกรมเมตรีสามารถทำได้ในรูปแบบที่เป็นดิจิตอลโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง กล้องที่ใช้ถ่ายภาพ ตัวภาพถ่าย และ ภูมิประเทศ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวได้จากข้อมูล ค่าการจัดวางภายใน(Interior orientation) ค่าการจัดวางภายนอก (Exterior orientation) และ ค่าปรับแก้ของกล้องถ่ายภาพ ด้วยสมการร่วมเส้น (Colinearity equation) โดยสมการดังกล่าวต้องใช้ค่าพิกัดบนพื้นโลกที่ปรากฏในภาพถ่ายมากกว่า 3 จุดเพื่อหาค่าการจัดวางภายนอกของภาพถ่าย (space resection) ในทางกลับกันหากทราบค่าการจัดวางภายนอก และการจัดวางภายในของภาพถ่าย 2 ภาพที่อยู่ติดกัน บริเวณที่ซ้อนทับกันของ

ภาพดังกล่าวก็จะสามารถหาค่าพิกัดสามมิติบนพื้นโลกได้เช่นกัน (space forward intersection)[3]

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลค่าพิกัดสามมิติที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS โดยใช้วิธี Rapid static และ Kinematic เมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยกล้องวัดมุมและกล้องระดับ

2) เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าความสูงระหว่าง Grid DEM กับการสำรวจด้วยกล้องระดับ และ การสำรวจด้วย DGPS (Rapid static)

3. เงื่อนไขของการศึกษาเปรียบเทียบ

การศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้จำกัดอยู่ที่เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาดังต่อไปนี้

- Total station Topcon GTS-301
- กล้องระดับ Topcon AT-G3
- DGPS Leica GPS System 500 รุ่น SR510 (2 เครื่อง)
- สร้าง Grid DEM ด้วยโปรแกรม Arc GIS 9

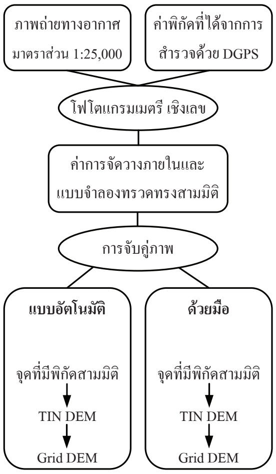
4. การสำรวจพิกัดสามมิติ

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้พื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นพื้นที่ในการศึกษาเปรียบเทียบการสำรวจภาคสนามด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1) การสำรวจภาคสนามด้วยกล้อง Total station ของ Topcon รุ่น GTS-301 และกล้องระดับของ Topcon รุ่น AT-G3 เพื่อให้ได้พิกัดสามมิติของจุดตรวจสอบบนพื้นราบ 20 จุด และค่าความสูงบนพื้นที่ต่างระดับฉับพลัน 19 จุด โดยค่าพิกัดทางราบทำการสำรวจอ้างอิงจากหมุดหลักฐานของกรมที่ดิน และค่าระดับจากหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารที่อยู่ใกล้พื้นที่ศึกษามากที่สุด

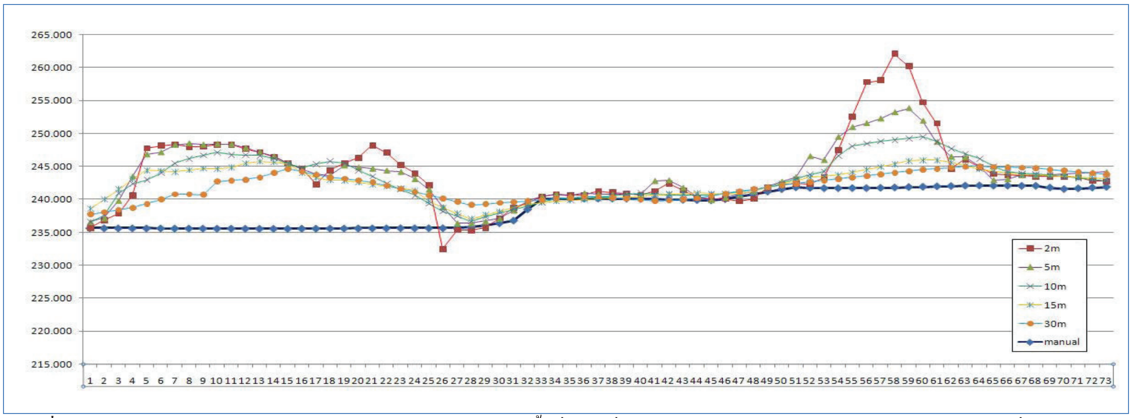
2) การสำรวจด้วย DGPS ทำการสำรวจพิกัดสามมิติกับจุดตรวจสอบทั้งหมด 39 จุดซึ่งเป็นจุดตรวจสอบชุดเดียวกับที่ดำเนินการในข้อ 1) โดยมีวิธีการสำรวจ 2 วิธีได้แก่ ก) แบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid static) ซึ่งทำการรังวัดจุดละ 2 ครั้งจากสถานีฐานที่ต่างกันสองสถานี โดยใช้เวลาต่อจุด 15 นาที ข) แบบจลน์ (Kinematic) โดยมีการวัดเริ่มต้นแบบสถิตบนสถานีฐาน (Static initial) แล้วทำการรังวัดจุดตรวจสอบทั้ง 39 จุด ใช้เวลาจุดละต่ำกว่า 1 นาที ให้เครื่องรับได้รับสัญญาณ 10 รอบสัญญาณต่อการวัด 1 จุด

3) การสร้าง Grid DEM จากแบบจำลองทรวดทรงสามมิติ (Stereoscopic model) จะใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:25,000 จำนวน 3 ภาพ กำหนดให้มีจุดควบคุมภาพถ่ายในพื้นที่ศึกษาทั้งสิ้น 11 จุดกระจายอยู่ทั่วบริเวณมหาวิทยาลัยแล้วทำการรังวัดค่าพิกัดสามมิติของจุดควบคุมด้วย DGPS แบบ Rapid static จากนั้นนำค่าพิกัดที่ได้ร่วมกับภาพถ่ายทางอากาศมาสร้างแบบจำลองทรวดทรงสามมิติ(Stereoscopic model)ของพื้นที่ศึกษา เพื่อทำการวัดค่าความสูงของพื้นที่ในจุดที่ต้องการทราบค่าด้วยวิธีการจับคู่ภาพในแบบจำลองทรวดทรงสามมิติ ซึ่งแบ่งการจับคู่ภาพออกเป็นแบบอัตโนมัติและด้วยมือโดยวิธีการจับคู่แบบอัตโนมัติกำหนดให้มีการคัดเลือกจุดที่เหมือนกันบนภาพคู่ซ้อนภายในระยะต่างๆกันในแต่ละชุดของข้อมูลจุดเหมือน ระยะเหล่านี้ได้แก่ 2, 5, 10, 15 และ 30 เมตร จากนั้นจึงนำจุดที่ทราบค่าพิกัดทั้งสามแกนที่ได้ไปสร้างเป็นแบบจำลองพื้นผิวด้วยการประมาณค่าในช่วงตามวิธีโครงข่ายสามเหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ (TIN – Triangulated Irregular Network) ตามด้วยการคำนวณค่าประจำกริด ซึ่งมีขนาด 60 ซ.ม. x 60 ซ.ม.จากข้อมูล TIN ขั้นตอนดังกล่าวแสดงได้ตามภาพที่ 1

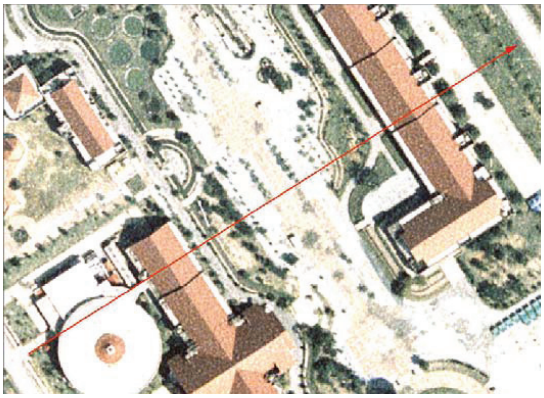


ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการการสร้าง Grid DEM จากภาพถ่ายทางอากาศ

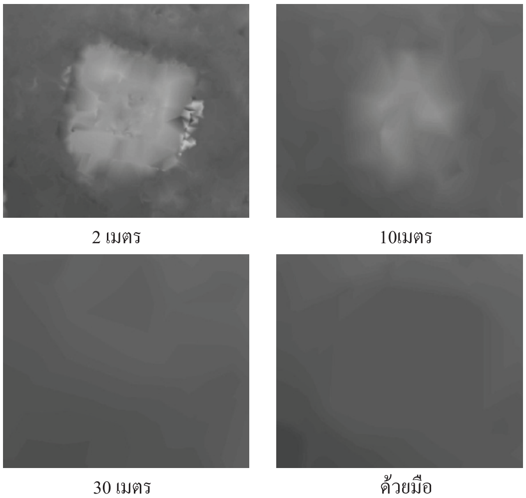
จากวิธีการดังกล่าวจะได้ DEM ออกมาทั้งสิ้น 6 ชุดที่มีจำนวน mass point แตกต่างกันในแต่ละวิธีการจับคู่ดังที่แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบภาคตัดขวางของแบบจำลองความสูงของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆได้แก่ การจับคู่อัตโนมัติที่ระยะห่างของจุด 2 5 10 และ 30 เมตร และการจับคู่ด้วยมือ



ภาพที่ 3 แสดงทิศทางของภาคตัดขวางในภาพที่ 2

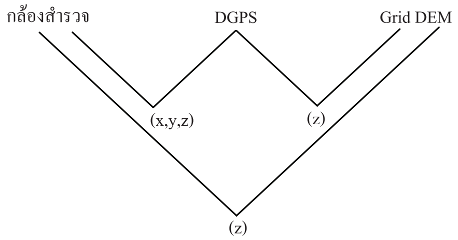


ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบ DEM ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติที่ความละเอียด 2, 10 และ 30 เมตรและการจับคู่ภาพด้วยมือตามลำดับ

พบว่า DEM ที่ได้จาก mass point ที่มีความละเอียด 2 เมตร จะแสดงความแตกต่างของระดับพื้นผิวได้อย่างละเอียด แต่บ่อยครั้งจะพบจุดที่มีการจับคู่ภาพผิดพลาดทำให้ค่าความสูงที่ได้แตกต่างไปจากบริเวณข้างเคียงอย่างผิดปรกติ โดยจะปรากฏเป็นหลุมลึกที่แสดงด้วยสีดำ หรือเป็นจุดสูงโดดที่แสดงด้วยสีขาว ความผิดพลาดนี้จะพบกระจายอยู่ทั่วภาพ และเมื่อลดความละเอียดของ mass point ลงเป็น 15 และ 30 เมตร จะพบว่าจุดที่มีความผิดพลาดดังกล่าวลดลงตามรายละเอียดของ DEM ขณะที่การจับคู่ภาพด้วยมือจะสามารถให้รายละเอียดของ Grid DEM ได้ตามความต้องการ โดยในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงอย่างรวดเร็วจะใช้ mass point จำนวนมากเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวได้อย่างสมบูรณ์และบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของความสูงน้อยก็จะใช้จำนวน mass point น้อยลงทำให้สามารถแสดงพื้นผิวได้ดีโดยไม่จำเป็นต้องมี mass point จำนวนมากจนเกินไป ภาพที่ 2 เป็นตัวอย่างภาพตัดขวางที่ได้จากชุดข้อมูลการจับคู่ที่มีรายละเอียดแตกต่างกันในทิศทางที่แสดงในภาพที่ 3 ซึ่งเป็นภาพถ่ายออร์โถ โดยในภาพตัดขวางจะแสดงให้เห็นถึงข้อดีข้อด้อยในแต่ละรายละเอียดตามที่กล่าวข้างต้น จะสังเกตเห็นว่าในการจับคู่ภาพด้วยมือของการศึกษาครั้งนี้จะไม่นำเอาความสูงของอาคารมาใช้แสดง

5. ผลการศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องของพิกัดสามมิติ

การศึกษาครั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจแบบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงค่าที่จะใช้เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลแต่ละชุด

การศึกษาเปรียบเทียบเหล่านี้จะครอบคลุมการเปรียบเทียบค่าพิกัดสามมิติจากกล้องสำรวจและ DGPS บนพื้นที่ราบและพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนระดับฉับพลัน ความถูกต้องของค่าความสูงระหว่างข้อมูลที่ได้จากกล้องสำรวจและ Grid DEM และความถูกต้องของค่าความสูงที่ได้จาก DGPS และ Grid DEM ผลการเปรียบเทียบสรุปได้ดังนี้

1) ผลการเปรียบเทียบระหว่างการสำรวจด้วยกล้องสำรวจและ DGPS

- เปรียบเทียบความถูกต้องพิกัดสามมิติบนพื้นราบซึ่งแสดงด้วยค่า RMSE (Root Mean Square Error) ดังสรุปได้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่า RMSE (เมตร) ของการวัดด้วย DGPS เปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยกล้องสำรวจบนพื้นราบ

	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เบี่ยงเบนมาตรฐาน
Rapid Static	0.01310	0.06043	0.10955	0.02815
Kinematic	0.01500	0.12631	0.16962	0.01453

จากตารางที่ 1 ค่า RMSE ที่ได้จากการวัดแบบ Rapid static มีค่าผิดพลาดเฉลี่ยดีที่สุดในจุดตรวจสอบจำนวน 20 จุดอยู่ที่ 0.06043 เมตร ซึ่งดีกว่าค่าเฉลี่ยของการวัดแบบ Kinematic แต่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) 0.02815 เมตร ซึ่งสูงกว่าของการวัดแบบ Kinematic แสดงว่าการกระจายของค่าผิดพลาดของวิธีการวัดแบบ Rapid static สูงกว่าของการวัดแบบ Kinematic

- เปรียบเทียบความถูกต้องค่าความสูงบนพื้นที่ต่างระดับฉับพลัน ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าผิดพลาด (เมตร) ในการวัดค่าความสูงของการวัดด้วย DGPS เปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยกล้องระดับ

	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เบี่ยงเบนมาตรฐาน
Rapid static	0.00396	0.03054	0.10573	0.01334
Kinematic	0.00063	0.01096	0.02543	0.00686

จากตารางที่ 2 ค่าความสูงของพื้นที่ต่างระดับฉับพลันที่ได้จากการวัดแบบ Kinematic จะมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01096 เมตรและค่า SD อยู่ที่ 0.006860 เมตร ซึ่งดีกว่าการวัดแบบ Rapid static ที่มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.03054 เมตร และค่า SD อยู่ที่ 0.01334 เมตร

2) ผลการเปรียบเทียบค่าความสูงที่ได้ระหว่าง Grid DEM และข้อมูลการสำรวจด้วยกล้องระดับสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า Grid DEM ที่ได้จากการจับคู่ภาพที่ 5 เมตรให้ค่าผิดพลาดของความสูงเฉลี่ย 0.504 เมตร และค่า SD 0.201 เมตร ซึ่งดีที่สุดและการจับคู่ภาพที่ 30 เมตรมีค่าความผิดพลาดสูงที่สุดขณะที่การจับคู่ภาพด้วยมือมีค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดี

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความสูงจากข้อมูล Grid DEM ที่ได้จากกระบวนการ photogrammetry แบบต่างๆ และการสำรวจด้วยกล้องระดับ

	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เบี่ยงเบนมาตรฐาน
อัตโนมัติ 2 เมตร	0.021	0.977	1.888	0.463
อัตโนมัติ 5เมตร	0.042	0.504	0.940	0.201
อัตโนมัติ10 เมตร	0.097	0.899	2.293	0.511
อัตโนมัติ15 เมตร	0.043	0.857	2.737	0.523
อัตโนมัติ 30 เมตร	0.001	1.285	4.635	0.981
ด้วยมือ	0.319	0.781	1.363	0.243

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของความสูงจากข้อมูล Grid DEM ที่ได้จากกระบวนการ photogrammetry แบบต่างๆ และการสำรวจด้วย DGPS

	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	เบี่ยงเบนมาตรฐาน
อัตโนมัติ 2 เมตร	0.040	1.003	1.906	0.467
อัตโนมัติ 5เมตร	0.012	0.499	0.922	0.201
อัตโนมัติ10 เมตร	0.129	0.911	2.260	0.512
อัตโนมัติ15 เมตร	0.067	0.877	2.737	0.500
อัตโนมัติ 30 เมตร	0.045	1.320	4.616	0.976
ด้วยมือ	0.299	0.771	1.382	0.262

3) เปรียบเทียบความถูกต้องของค่าความสูงของ Grid DEM กับข้อมูลการสำรวจด้วย DGPS แบบ Rapid static เพียงอย่างเดียว เนื่องจากผลการสำรวจแบบ Rapid static ดีกว่าแบบ Kinematic ผลการเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่า Grid

DEM ที่ได้จากการจับคู่ภาพที่ 5 เมตร ให้ค่าผิดพลาดของความสูงเฉลี่ย 0.499 เมตร และค่า SD 0.201 เมตรซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดและการจับคู่ภาพที่ 30 เมตรมีค่าความผิดพลาดสูงที่สุด ขณะที่การจับคู่ภาพด้วยมือมีค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดีเช่นเดียวกัน

6. สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบ

จากการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลค่าพิกัดสามมิติที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS โดยใช้วิธี Rapid static และ Kinematic เมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยกล้องวัดมุมและกล้องระดับ พบว่าการสำรวจทั้งสองแบบให้ค่าความผิดพลาดของการวัดในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งการวัดแบบ Rapid static ให้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำกว่าเล็กน้อย โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 6 เซนติเมตร แต่มีค่า SD อยู่ที่ 2.8 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าค่า SD ของการวัดแบบ Kinematic(SD อยู่ที่ 1.4 เซนติเมตร) จากค่าความผิดพลาดดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าเมื่อมีเงื่อนไขของการใช้เครื่องมือตามการศึกษาครั้งนี้ การสำรวจด้วย DGPS สามารถใช้ได้กับงานสำรวจรังวัดที่มีรายละเอียดในระดับมาตราส่วน 1: 4,000 หรือเล็กกว่า

จากการศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าความสูงระหว่าง Grid DEM กับการสำรวจด้วยกล้องระดับและการสำรวจด้วย DGPS (Rapid static) พบว่า ความผิดพลาดของค่าความสูงของ Grid DEM เมื่อเปรียบเทียบกับกล้องสำรวจและ DGPS แล้วให้ค่าความผิดพลาดของค่าความสูงในทิศทางเดียวกัน โดย Grid DEM ที่ได้จากการจับคู่ภาพที่ 5 เมตรให้ค่าความผิดพลาดของความสูงเฉลี่ยและค่า SD ต่ำที่สุด การจับคู่ภาพด้วยมือให้ค่าความผิดพลาดของความสูงเฉลี่ยและค่า SD สูงกว่าการจับคู่ภาพที่ 5 เมตรเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในระดับค่อนข้างดี ผลดังกล่าวแสดงว่า Grid DEM ที่สร้างด้วยจุดควบคุมภาพถ่ายจาก DGPS และ กล้องสำรวจมีความแตกต่างกันน้อยมาก และเป็นที่ชัดเจนว่าการสำรวจด้วย DGPS สามารถสร้าง Grid DEM ที่ให้ค่าความถูกต้องไม่แตกต่างจากการใช้ข้อมูลจากกล้องสำรวจเป็นข้อมูลตั้งต้น ทั้งในพื้นที่ราบและพื้นที่ที่มีความต่างระดับฉับพลัน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สุรชัย รัตนเสริมพงศ์, 2546. ระบบสำรวจหาตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม. การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยข้อมูลภูมิสารสนเทศ. ห้องฝึกอบรมชั้น 1 ตึกดาวเทียม สทอภ..

[2] วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2549. การสำรวจรังวัด: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] Leica geosystems GIS & MAP Division, *Stereo Analyst User's Guide*. USA.

[4] Leica Geosystems AG, *GPS basics*. Switzerland.