

การสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายออร์โธโดยใช้
โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลข : พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นายปวิวัติ สอวงชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

**CONSTRUCTION OF DIGITAL ELEVATION MODEL
DATA AND ORTHOPHOTO USING DIGITAL AERIAL
PHOTOGRAMMETRY : SURANAREE UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY CAMPUS AREA**

Patiwat Sa-angchai

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Geoinformatics
Suranaree University of Technology
Academic Year 2008**

การสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายออร์โธโดยใช้
โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลข : พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.สุวิทย์ อ่องสมหวัง)

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สราภิรมย์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงกต ทศานนท์)

กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ แม่นยำ)

คณบดีสำนักวิชาวิทยาศาสตร์

ปฎิบัติ สอนชัย : การสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายออร์โธโดยใช้

โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลข : พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(CONSTRUCTION OF DIGITAL ELEVATION MODEL DATA AND

ORTHOPHOTO USING DIGITAL AERIAL PHOTOGRAMMETRY : SURANAREE

UNIVERSITY OF TECHNOLOGY CAMPUS AREA) อาจารย์ที่ปรึกษา :

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สราภิรมย์, 110 หน้า.

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือการสร้างชุดข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายออร์โธครอบคลุมพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีโดยใช้วิธีโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลขและ DGPS พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูล ข้อมูลตั้งต้นเป็นภาพถ่ายทางอากาศสี มาตรฐาน 1:25,000 ที่มีขนาดเซลล์ของการกราดภาพเป็นข้อมูลเชิงเลขอยู่ที่ 25 ไมครอน ชุดข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขสร้างด้วยวิธีการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือ โดยค่าจุดผิดพลาดควบคุมภาพถ่ายที่ใช้ในกระบวนการสร้างชุดข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขได้จากการสำรวจรังวัดด้วย DGPS แบบสถิติอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกต้องที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการวัดแบบจลน์และการวัดแบบจลน์ที่มีการย้อนกลับ ผลการเปรียบเทียบข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือกับจุดตรวจสอบที่ทำการรังวัดด้วยกล้องสำรวจบนพื้นที่ราบและพื้นที่ต่างระดับนับพลัน พบว่าแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติที่มีการเลือกจับคู่จุดภายในระยะห่าง 5 เมตรให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุด (0.504 เมตร) และข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือสามารถแสดงพื้นผิวจริงของภูมิประเทศได้ดีที่สุดและมีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 0.781 เมตร

ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าผิดพลาดจากภาพถ่ายตัดแก้แบบออร์โธและแบบโพลิโนเมียลเมื่อเทียบกับจุดควบคุมภาพถ่าย พบว่าภาพถ่ายตัดแก้แบบออร์โธให้ความถูกต้องสูงกว่า ในขณะที่ผลการเปรียบเทียบด้วยวิธีการซ้อนทับของชั้นข้อมูลอาคาร แหล่งน้ำและถนนที่สร้างจากภาพถ่ายที่มีการตัดแก้ทั้งสองวิธีแสดงความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยแบบไม่มีทิศทางแน่นอน

สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล

ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PATIWAT SA-ANGCHAI : CONSTRUCTION OF DIGITAL ELEVATION
MODEL DATA AND ORTHOPHOTO USING DIGITAL AERIAL
PHOTOGRAMMETRY : SURANAREE UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY CAMPUS AERA. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
SUNYA SARAPIROME, Ph.D. 110 PP.

DIGITAL ELEVATION MODEL/ DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING
SYSTEM/ PHOTOGRAMMETRY/ ACCURACY COMPARISON

The objective of the study is to construct sets of digital elevation model (DEM) data and orthophoto covering the Suranaree University of Technology using digital aerial photogrammetry and DGPS and compare their accuracies. The original data used were color air photos with the scale of 1:25,000 and were scanned with 25 micron resolution. Sets of DEM data were achieved from automatic and manual image matching. The set of control points as input for DEM data construction process were obtained from the rapid static DGPS survey. By testing, this survey was more accurate than kinematic and backward kinematic DGPS surveys. By comparing with checking points obtained from surveying using total station and leveling equipment on flat and sudden-change-level areas and comparing profiles of sets of DEM data, the set of DEM data from automatic image matching, of which point selection was in a distance of 5 m, showed its lowest average error (0.504 m), while DEM data from manual image matching could show the best actual topographic surface with average error 0.781 m.

By comparing with the set of control points, the ortho-rectified air photo showed more accurate result than the polynomial-corrected one. Digitized GIS data

layers using sources from both types of air photo namely, building, water body, and road were compared by overlay technique. The overlay showed a little mismatching without any certain relationship.

School of Remote Sensing

Student's Signature _____

Academic Year 2008

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สราภิรมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุวิทย์ อ่องสมหวัง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงกต ทศานนท์ และ อาจารย์ ดร.คุณัญญา ชาญลิจิต ที่ได้ให้คำปรึกษาและปรับแก้โครงร่างวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงเป็นวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณวินัย เขาวเรศ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล คุณไชยา ยอดโลกสูง เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสำรวจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ในการออกสำรวจภาคสนามและความรู้ด้านการใช้ซอฟต์แวร์

ขอขอบคุณ คุณโชติภา กุศลรัตน์ คุณสมพร ชอบธรรม และ คุณเพ็ญประไพ ภู่ทอง สำหรับความช่วยเหลือในการดำเนินการศึกษาและการทำงานภาคสนาม

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การอบรมเลี้ยงดู รวมถึงส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา

ปฎิวัติ สอวงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 พื้นที่ศึกษา.....	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ปรัชญ่วรรณกรรม.....	5
2.1.1 โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศ.....	5
2.1.2 การรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายด้วย GPS.....	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	23
3.1 การคัดเลือกวิธีการรังวัดด้วย DGPS ที่ถูกต้องที่สุด.....	25
3.2 การคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่าย.....	26
3.3 การสำรวจค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายและการแปลงระบบพิกัด.....	28
3.4 การสร้าง DEM และ DSM และผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของความสูงของ DEM และ DSM ที่ได้.....	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ และการจับคู่ภาพด้วยมือ.....	30
3.4.2 การสร้างข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข.....	33
3.4.3 การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของความสูงระหว่างแบบจำลองความสูง ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ (Grid DSM) และการจับคู่ภาพด้วยมือ (Grid DEM).....	33
3.5 การตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ และแบบ โพลีโนเมียล และผลการเปรียบเทียบ.....	34
3.5.1 การตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ และแบบ โพลีโนเมียล.....	34
3.5.2 การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบระหว่างภาพถ่ายออร์โธ กับภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยสมการ โพลีโนเมียล.....	36
3.6 การสร้างและการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่าย ที่ตัดแก้ด้วยสมการ โพลีโนเมียล.....	36
3.6.1 การสร้างชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ ด้วยสมการ โพลีโนเมียล.....	36
3.6.2 การเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ ด้วยสมการ โพลีโนเมียล.....	37
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล.....	38
4.1 การคัดเลือกวิธีการรังวัดด้วย DGPS ที่ถูกต้องที่สุด.....	38
4.2 ผลการคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่าย.....	44
4.3 ผลการสำรวจค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายด้วย DGPS และการแปลงระบบพิกัด.....	47
4.4 ผลการสร้าง DEM และ DSM และผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง ของความสูงของ DEM และ DSM ที่ได้.....	49
4.4.1 การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ และการจับคู่ภาพด้วยมือ.....	49
4.4.2 ผลการสร้างข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข.....	56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของความสูงระหว่างแบบจำลองความสูง ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ (Grid DSM) และการจับคู่ภาพด้วยมือ (Grid DEM).....	58
4.4.3.1 เปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ.....	58
4.4.3.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยภาพตัดขวาง.....	62
4.5 ผลการตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ และแบบโพลีโนเมียล และผลการเปรียบเทียบ ค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบ.....	66
4.5.1 ผลการตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธและแบบโพลีโนเมียล.....	66
4.5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบระหว่างภาพถ่าย ออร์โธกับภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยพิกัดด้วยสมการโพลีโนเมียล.....	68
4.6 ผลการสร้างและการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่าย ที่ตัดแก้ด้วยสมการ โพลีโนเมียล.....	70
4.6.1 ผลการสร้างชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ ด้วยสมการ โพลีโนเมียล.....	70
4.6.2 ผลการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ ด้วยสมการ โพลีโนเมียล.....	70
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	76
รายการอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบผลของระบบ AAT ของแต่ละซอร์ฟแวร์	20
4.1 เปรียบเทียบค่า RMSE ที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าพิกัดสามมิติบนพื้นราบระหว่าง การรังวัดด้วยกล้องวัดมุมและกล้องระดับกับการรังวัดด้วย DGPS แบบสถิติอย่างรวดเร็ว แบบจลน์และแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ	39
4.2 แสดงค่าผิดพลาดของความสูงของ DGPS เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยกล้อง ระดับในจุดตรวจสอบบนพื้นราบ	41
4.3 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการรังวัดด้วยกล้องระดับกับค่าระดับที่ได้จากการรังวัด ด้วย DGPS แบบต่างๆ บนพื้นที่ต่างระดับอย่างฉับพลัน	42
4.4 แสดงค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายด้วย DGPS แบบสถิติอย่างรวดเร็ว ซึ่งผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรม SKI Pro II ร่วมกับ ArcGIS 9 มีระบบพิกัดแบบ UTM WGS1984 โซน 48 เหนือ	48
4.5 แสดงค่าการจัดวางภายนอกของภาพถ่ายทางอากาศแต่ละภาพ	49
4.6 แสดงจำนวนจุดที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติที่ระยะห่างต่างๆ และการจับคู่ภาพด้วยมือ	52
4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ที่ได้จากการจับคู่ ภาพแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยกล้องสำรวจบนจุดตรวจสอบ บนพื้นที่ราบ	59
4.8 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ที่ได้จากการจับคู่ ภาพแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยกล้องสำรวจบนจุดตรวจสอบ บนพื้นที่ต่างระดับฉับพลัน	60
4.9 แสดงค่าคงที่ของสมการโพลีโนเมียลที่ใช้ในการตัดแก้ภาพถ่ายทางอากาศ	66
4.10 แสดงค่าผิดพลาดของค่าพิกัดบนภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยพิกัดจาก GCP เพียงอย่างเดียว	69
4.11 แสดงค่าผิดพลาดของค่าพิกัดบนภาพถ่ายออร์โธ	69

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสี แสดงพื้นที่ศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	4
2.1 ลักษณะการบินถ่ายภาพ เพื่อให้ได้ภาพถ่ายทางอากาศที่มีส่วนเหลื่อมตามแนวบินมากกว่า ร้อยละ 60 และมีส่วนเหลื่อมของแนวบินประมาณร้อยละ 30	5
2.2 การหมุนของสถานีตรวจวัดรอบแกนต่างๆ	6
2.3 สภาวะร่วมเส้นที่ตำแหน่งถ่ายภาพ (O) จุดภาพของวัตถุบนภาพถ่าย (p) และจุดของวัตถุ บนพื้นโลก (Ground Point P) วางตัวอยู่บนเส้นตรงเดียวกัน	7
2.4 กระบวนการเล็งสกัดหรือ Space Forward Intersection	9
2.5 การรับสัญญาณของระบบกำหนดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว	11
2.6 การทำงานของการกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์	12
2.7 Carrier Phase Model	12
2.8 การเลือกจุดที่ถูกตัดจากเฟสของสัญญาณดาวเทียมที่ได้รับ	15
2.9 ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างขึ้นจาก ก) ข้อมูลความสูงจาก LIDAR ข) ข้อมูลความสูงจากการสำรวจด้วย DGPS และ ค) จุดความสูงจากแผนที่แสดง ลักษณะภูมิประเทศ	16
2.10 ข้อมูลภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นจากภาพดาวเทียม IKONOS	17
2.11 ขั้นตอนการสร้าง DEM จากภาพถ่ายทางอากาศแบบออด โนมิติ	19
2.12 a) จุด A และ B ที่ปรากฏบนภาพอากาศที่เกิดการเบนออกจากฐาน b) สภาวะร่วมเส้น ของลำแสงจากจุด B A' และจุดเปิดถ่ายภาพ	21
3.1 ผังการทำงานทั้งหมดในการศึกษา	24
3.2 จุดตรวจสอบที่ใช้ทั้งทางราบและทางตั้ง	25
3.3 การกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่าย	27
3.4 การสร้างโครงข่ายของการสำรวจด้วย DGPS	29
3.5 แผนผังการศึกษาการสร้างพื้นผิวสามมิติเชิงเลข	34
3.6 กระบวนการสร้างภาพถ่ายออร์โธจากภาพถ่ายร่วมกับแบบจำลองพื้นผิว	34
3.7 แผนผังการสร้างภาพถ่ายออร์โธ	35
3.8 แผนผังการศึกษาการสร้างชั้นข้อมูลจากภาพถ่ายออร์โธ	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 แผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดบนพื้นราบด้วย DGPS และกล้องสำรวจ.....	40
4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของค่าความสูงที่ได้จากการรังวัดด้วย DGPS แบบต่างๆ บนพื้นที่ราบกับการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องระดับ.....	42
4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของความสูงที่ได้จากการรังวัดบนพื้นที่ต่างระดับ นับพลันด้วย DGPS และกล้องสำรวจ.....	43
4.4 ภาพการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายที่เลือกไว้สำหรับการรังวัดด้วย DGPS.....	45
4.5 จุดควบคุมภาพถ่ายที่ทำการสำรวจเพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข.....	46
4.6 โครงข่ายตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายภายในพื้นที่ศึกษา.....	47
4.7 จุดโยงหรือ Tie Point () จำนวน 134 จุด ที่ขยายออกไปจากจุดควบคุมหลัก (Δ).....	49
4.8 แบบจำลองทรวงทรงสามมิติที่ได้จาก Aerial Triangulation ซึ่งแสดงผล แบบ Stereo Anaglyph.....	50
4.9 ภาพตัวอย่างกลุ่มของจุด (Mass Point) ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติภายในระยะห่าง (ก) 2 เมตร (ข) 5 เมตร (ค) 10 เมตร (ง) 15 เมตร (จ) 30 เมตร และ (ฉ) การจับคู่ภาพด้วยมือ.....	51
4.10 แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือ.....	53
4.11 แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่าง ของจุด 2 เมตร.....	53
4.12 แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่าง ของจุด 5 เมตร.....	54
4.13 แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่าง ของจุด 10 เมตร.....	54
4.14 แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่าง ของจุด 15 เมตร.....	55
4.15 แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่าง ของจุด 30 เมตร.....	55
4.16 ภาพรวมของเส้นชั้นความสูงที่มีระยะห่างระหว่างเส้นชั้นความสูง 5 เมตร.....	57
4.17 ภาพขยายของเส้นชั้นความสูงที่มีระยะห่างระหว่างเส้นชั้นความสูง 1 เมตร.....	58

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.18 แผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของค่าความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือ และแบบอัตโนมัติที่มีระยะห่างของจุด 2 เมตร 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตร และ 30 เมตร กับการสำรวจภาคสนามบนพื้นที่ราบ.....	61
4.19 แผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของค่าความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือและ แบบอัตโนมัติที่มีระยะห่างของจุด 2 เมตร 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตร และ 30 เมตร กับ การสำรวจภาคสนามบนพื้นที่ต่างระดับชัน.....	61
4.20 การเปรียบเทียบภาคตัดขวางของแบบจำลองความสูงของพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ ประกอบด้วยอาคารและลานโล่งอยู่ร่วมกัน ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆ.....	63
4.21 การเปรียบเทียบภาคตัดขวางของแบบจำลองความสูงของพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ ประกอบด้วยทุ่งหญ้าเตี้ยๆ และแนวป่าปลูกอยู่ร่วมกันที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆ.....	64
4.22 การเปรียบเทียบภาคตัดขวางของแบบจำลองความสูงของพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ ต่างระดับชัน ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆ.....	65
4.23 ภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากการปรับแก้ด้วยแบบจำลองความสูงเชิงเลขของพื้นที่ศึกษา.....	67
4.24 ภาพถ่ายทางอากาศที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล.....	68
4.25 การเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลอาคารที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล (เส้นประ) บริเวณอาคารบริหาร.....	71
4.26 การเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลอาคารที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล (เส้นประ) บริเวณสนามเทนนิส.....	72
4.27 การเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลถนนที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล (เส้นประ) ถนนระหว่างประตู 1 และประตู 2.....	73
4.28 การเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลถนนที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล (เส้นประ) บริเวณสามแยกประตู 2.....	74
4.29 การเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลแหล่งน้ำที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล (เส้นประ) บริเวณหน้าบ้านพักอธิการบดี.....	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ได้เข้ามามีบทบาทต่อผู้ใช้งานในระดับทั่วไปมากขึ้น เช่น การสร้างฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ขึ้นมาใช้งานเองของหน่วยงานต่างๆ ที่ผ่านมาข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่สร้างขึ้นส่วนมากจะเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบสองมิติ (2 Dimensions: 2D) ที่มองลงมาจากด้านบน (Plan View) และข้อมูลที่จัดทำขึ้นขาดรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับมิติที่ 3 ทำให้ฐานข้อมูลขาดความสมบูรณ์และไม่สามารถใช้ฐานข้อมูลเพื่อตอบสนองความต้องการได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การสร้างฐานข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบสามมิติ (3 Dimensions: 3D) จึงเป็นทางออกของปัญหาที่ช่วยให้ฐานข้อมูลมีความสมบูรณ์ขึ้นและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานตลอดจนการแสดงผลหรือการเรียกดูแบบ Real Time อีกทั้งการแสดงผลแบบสามมิติยังช่วยให้ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถที่จะเข้าใจงานฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากสามารถมองเห็นวัตถุและภูมิประเทศจากมุมมองต่างๆ ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

ในอดีตแนวความคิดการสร้างฐานข้อมูลสามมิติไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากความสามารถของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ของคอมพิวเตอร์ยังไม่สูงเพียงพอรวมทั้งซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานด้านนี้น้อย ซึ่งในปัจจุบันหน่วยประมวลผลกลางมีความเร็วสูงขึ้น ประกอบกับข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างฐานข้อมูลไม่ว่าจะเป็นภาพถ่ายทางอากาศ หรือภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงมีแพร่หลายมากขึ้น ทำให้การทำงานประมวลผลข้อมูลสามมิติซึ่งมีความซับซ้อนและมีปริมาณข้อมูลมากกว่าปกติสามารถทำได้อย่างถูกต้องแม่นยำ สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

ในปัจจุบันกระบวนการและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสำรวจค่าความสูงของพื้นผิวโลกมีหลายชนิดเช่น RADAR Interferometry, RADAR Altimeter, โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศ (Aerial Photogrammetry) และการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องระดับ ซึ่งการใช้กระบวนการต่างๆ ที่กล่าวมานั้นล้วนมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไปเช่น การสำรวจด้วย RADAR จะมีความแม่นยำสูงในระดับเซนติเมตรแต่การเข้าถึงข้อมูลประเภทนี้สามารถทำได้ยาก เนื่องจากข้อมูลมีราคาสูงและความยุ่งยากในการใช้งาน หรือการสำรวจภาคสนามที่มีความแม่นยำสูงแต่ก็ใช้แรงงาน เวลา และค่าใช้จ่ายมาก ขณะที่การสำรวจด้วยโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศ สามารถทำได้โดยสะดวกมากกว่า

เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสามารถหาได้ง่าย และความแม่นยำก็อยู่ในเกณฑ์ดี มีความรวดเร็วและราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ (Leica Geosystems, n.d.)

ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์สองมิติของพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้มีการสร้างขึ้นมาก่อนแล้วในโครงการพัฒนาฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (สัญญา สราภิรมย์ และคณะ, 2549) การสร้างฐานข้อมูลดังกล่าวสร้างขึ้นจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird 2 ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 62 เซนติเมตรเป็นหลัก ข้อมูลดังกล่าวได้มีการตรวจแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตมาแล้วโดยทางผู้ผลิตข้อมูล และทางโครงการคำนึงถึงการเชื่อมต่อกันของข้อมูลที่สร้างขึ้นกับข้อมูลเชิงพื้นที่ของพื้นที่โดยรอบ จึงไม่ได้มีการปรับแก้อีกครั้งเพื่อให้มีความถูกต้องตรงกับพื้นที่จริงมากที่สุด ทำให้ประสบปัญหาหากการใช้งานจริงในภาคสนามในระดับปฏิบัติการ โดยค่าพิกัดที่ได้จากฐานข้อมูลที่จัดทำขึ้นยังมีความผิดพลาดอยู่ในระดับหนึ่ง นอกจากนี้ข้อมูลคุณลักษณะ (Attribute) ที่สร้างขึ้นมุ่งเน้นที่การใช้งานแบบสองมิติที่ยังขาดข้อมูลในมิติที่สาม เช่น ความสูงของอาคาร จึงมีความจำเป็นที่จะต้องแก้ไขฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์สองมิติของพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ให้เป็นข้อมูลที่มีความแม่นยำในเชิงพื้นที่ในระดับความผิดพลาดไม่เกิน 2.828 เมตร (ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของแผนที่มาตราส่วน 1:10,000) ในแนวราบ โดยใช้กระบวนการโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศ ร่วมกับภาพถ่ายทางอากาศจากกรรมแผนที่ทหารก่อนที่จะทำการสร้างฐานข้อมูลสามมิติต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เปรียบเทียบความถูกต้องของการรังวัดด้วย DGPS ทั้งสามแบบได้แก่ การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว การรังวัดแบบจลน์ และการรังวัดแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ และเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือบนพื้นที่ราบและพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างฉับพลัน

1.2.2 สร้างภาพถ่ายออร์โธจากภาพถ่ายทางอากาศสีด้วยแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ให้ ความแม่นยำสูงกว่า

1.2.3 เปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่สร้างจากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายตัดแก้แบบโพลีโนเมียล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สร้างขึ้นในการศึกษาต้องมีความถูกต้องอยู่ในระดับมาตราส่วน 1:10,000 หรือใหญ่กว่า

1.3.2 ใช้ข้อมูล Digital ที่กราดภาพจากภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:25,000 ที่มีขนาดจุดภาพ 25ไมครอน คิดเป็นความละเอียดเชิงพื้นที่ 60 เซนติเมตรบนพื้นดิน

1.3.3 ชั้นข้อมูลที่เลือกใช้ในการศึกษาอย่างน้อย 3 ชั้นข้อมูล ได้แก่ อาคารและสิ่งปลูกสร้าง ความสูงภูมิประเทศ และแหล่งน้ำ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผลเปรียบเทียบความถูกต้องของการรังวัดด้วย DGPS ที่ดีที่สุดที่ใช้ในการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่าย และ ผลเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือ

1.4.2 ภาพถ่ายออร์โธรีโธซีด้วยการสร้างจากภาพถ่ายทางอากาศสีและแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ให้ความถูกต้องมากกว่า

1.4.3 ผลเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบระหว่างภาพถ่ายออร์โธรีโธกับภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยพิกัดจาก GCP เพียงอย่างเดียว

1.5 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตั้งอยู่ระหว่างพิกัด 176511E ถึง 181600E และ 1644865N ถึง 1649745N (UTM WGS1984 โซน 48 เหนือ) พื้นที่โดยประมาณ 10.528 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 1.1 ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศแสดงพื้นที่ศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2

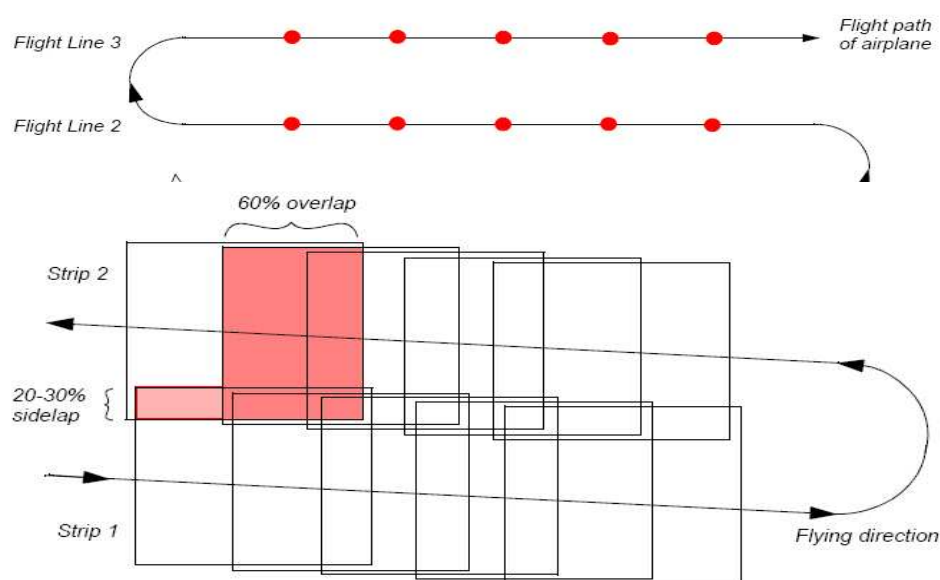
ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรัทัศนัวรรณกรรม

2.1.1 โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศ

พอล อาร์ดับเบิลยู (2517); วิชัย เขียงวีรชน (2549); Jensen, J. R. (2006) และ Leica Geosystems (n.d.) ระบุว่าโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเป็นกระบวนการที่ใช้ในการตรวจแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric Distortion) ที่เกิดขึ้นกับภาพถ่ายทางอากาศอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดและการเคลื่อนที่ในแนวต่างๆ ของสถานีตรวจวัด

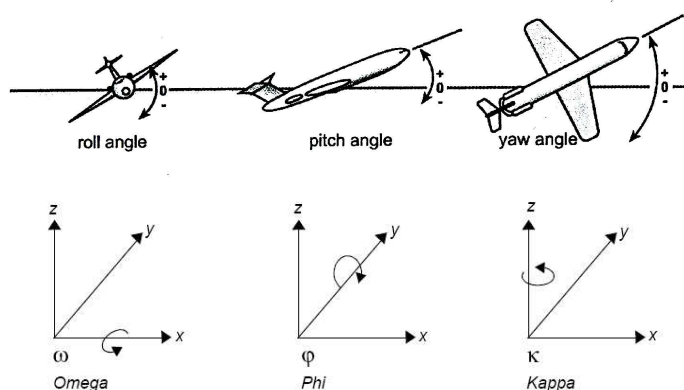
ในการถ่ายภาพทางอากาศเพื่อใช้งานโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศนั้นจะต้องมีการวางแผนการถ่ายภาพ เพื่อให้ภาพที่ได้มีความเหมาะสมกับงาน โดยภาพที่ได้จะต้องมีส่วนเหลื่อมตามแนวนิน (Overlap) มากกว่าร้อยละ 60 และมีส่วนเหลื่อมของแนวนิน (Sidelap) ประมาณร้อยละ 30 ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการบินถ่ายภาพ เพื่อให้ได้ภาพถ่ายทางอากาศที่มีส่วนเหลื่อมตามแนวนินมากกว่าร้อยละ 60 และมีส่วนเหลื่อมของแนวนินประมาณร้อยละ 30 (Leica Geosystems, n.d.)

ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตที่เกิดขึ้นกับภาพถ่ายทางอากาศเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดและการเคลื่อนที่ในแนวต่างๆ ของสถานีตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องบินที่มีการหมุนควงรอบแกนทั้งสาม (Exterior Orientation) ดังต่อไปนี้

1. สถานีตรวจวัดหมุนรอบแกน X เรียกมุมที่เกิดขึ้นรอบแกน X ว่ามุมโอเมก้า (Omega: ω)
2. สถานีตรวจวัดหมุนรอบแกน Y เรียกมุมที่เกิดขึ้นรอบแกน Y ว่ามุมฟี (Phi: φ)
3. สถานีตรวจวัดหมุนรอบแกน Z เรียกมุมที่เกิดขึ้นรอบแกน Z ว่ามุมแคปป์ (Kappa: κ)

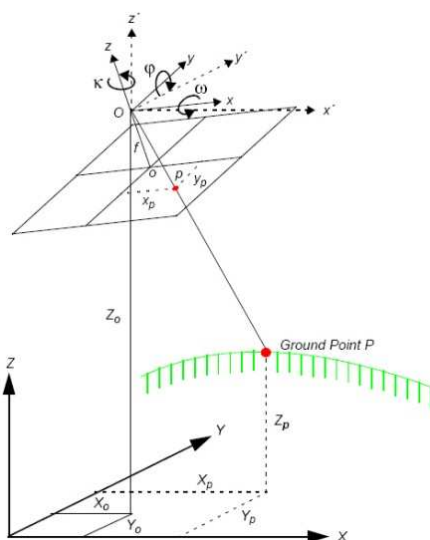


ภาพที่ 2.2 แสดงการหมุนของสถานีตรวจวัดรอบแกนต่างๆ (Leica Geosystems, n.d.)

นอกจากการหมุนรอบแกนต่างๆ นี้แล้วยังมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงหรือซ้ายขวาขณะทำการตรวจวัดอีกด้วย ซึ่งการเคลื่อนที่และการหมุนรอบแกนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว ทำให้เกิดการบิดเบือนเชิงเรขาคณิตของภาพถ่ายที่ได้ ซึ่งจะต้องนำมาทำการตรวจแก้ด้วยกระบวนการโฟโตแกรมเมตรี โดยกระบวนการโฟโตแกรมเมตรีจะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ 3 ส่วนคือ

- 1) กล้องถ่ายภาพ
- 2) ภาพถ่ายที่ได้
- 3) พื้นที่บริเวณที่ถูกถ่ายภาพ

ซึ่งความสัมพันธ์ของทั้งสามส่วนจะตั้งอยู่บนสภาวะร่วมเส้น (Colinearity Condition) โดยสภาวะนี้เป็นสภาวะที่ตำแหน่งถ่ายภาพ จุดภาพของวัตถุบนภาพถ่าย และจุดของวัตถุบนพื้นโลก วางตัวอยู่บนเส้นตรงเดียวกัน (พอล อาร์ดับเบิลยู, 2517; วิชัย เชียงวิจิตร, 2549; Jensen, 2006; Leica Geosystems, n.d.) ดังที่แสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงสภาวะร่วมเส้นที่ตำแหน่งถ่ายภาพ (O) จุดภาพของวัตถุบนภาพถ่าย (p) และจุดของวัตถุบนพื้นโลก (Ground Point P) วางตัวอยู่บนเส้นตรงเดียวกัน (Leica Geosystems, n.d.)

ความสัมพันธ์ระหว่าง 3 องค์ประกอบที่เรียกว่าสภาวะร่วมเส้นนี้ สามารถเขียนแทนด้วยสมการร่วมเส้น (Colinearity Equation) ดังต่อไปนี้ (พอล อาร์ดับเบิลยู, 2517; วิชัย เขียงวีรชน, 2549; มูไร เอส, 2540; Leica Geosystems, n.d.; Jensen, 2006; Konecny, 2003; Theera, 2007)

$$X_p - X_0 = -f \frac{m_{11}(X_p - X_{01}) + m_{12}(Y_p - Y_{01}) + m_{13}(Z_p - Z_{01})}{m_{31}(X_p - X_{01}) + m_{32}(Y_p - Y_{01}) + m_{33}(Z_p - Z_{01})}$$

$$Y_p - Y_0 = -f \frac{m_{21}(X_p - X_{01}) + m_{22}(Y_p - Y_{01}) + m_{23}(Z_p - Z_{01})}{m_{31}(X_p - X_{01}) + m_{32}(Y_p - Y_{01}) + m_{33}(Z_p - Z_{01})} \quad \text{สมการที่ (2.1)}$$

- x_0, y_0 = ตำแหน่งกึ่งกลางภาพบนภาพถ่าย
- x_p, y_p = พิกัดภาพของวัตถุ p
- X_0, Y_0 = พิกัดทางราบของจุดกึ่งกลางภาพบนพื้นโลก
- Z_0 = ความสูงจากระดับอ้างอิงถึงอุปกรณ์ตรวจวัด
- X_p, Y_p = พิกัดทางราบของจุด P บนพื้นโลก
- Z_p = ความสูงจากระดับอ้างอิงถึงจุด P บนพื้นโลก
- f = ทางยาวโฟกัสของเลนส์ที่ใช้ถ่ายภาพ

$$m_{11} = \cos\varphi \times \cos K$$

$$m_{12} = -\cos\varphi \times \sin K$$

$$m_{13} = \sin\varphi$$

$$m_{21} = \cos\omega \times \sin K + \sin\omega \times \sin\varphi \times \cos K$$

$$m_{22} = \cos\omega \times \cos K - \sin\omega \times \sin\varphi \times \sin K$$

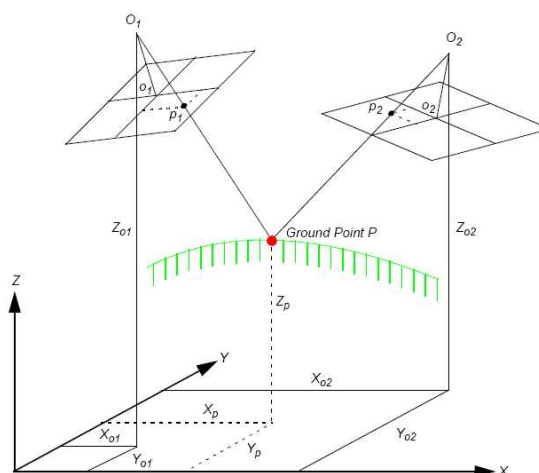
$$m_{23} = \sin\omega \times \cos\varphi$$

$$m_{31} = \sin\omega \times \sin K - \cos\omega \times \sin\varphi \times \cos K$$

$$m_{32} = \sin\omega \times \cos K + \cos\omega \times \sin\varphi \times \sin K$$

$$m_{33} = \cos\omega \times \cos\varphi$$

จากสมการร่วมเส้นที่มีอยู่หากเราทราบค่าพิกัดที่แม่นยำบนผิวโลก (Ground Control Point: GCP) อย่างน้อย 3 จุดที่มีค่าพิกัดทั้งทางดิ่งและทางราบและเป็นจุดที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนบนภาพถ่ายทางอากาศ จะได้สมการร่วมเส้นที่ทราบค่า $x_0, y_0, x_p, y_p, X_0, Y_0, Z_0, X_p, Y_p$ และ Z_p ทั้งหมด 6 สมการ (GCP ละ 2 สมการ) ทำให้สามารถคำนวณแก้สมการเพื่อหาค่า m_{11} ถึง m_{33} ได้ ซึ่งจะต้องทราบค่าการจัดวางภายใน (Interior Orientation) อยู่ก่อนแล้ว โดยที่ค่าการจัดวางภายในประกอบด้วย ความยาวโฟกัสของเลนส์ที่ใช้ การบิดเบือนของเลนส์ (Len Distortion) และ ตำแหน่งของเครื่องหมายดัชนี (Fiducial Mark) และจากค่า m_{11} ถึง m_{33} นี้สามารถหาค่าการหมุนรอบแกนต่างๆ ได้ต่อไป กระบวนการในการหาค่าการหมุนรอบแกนต่างๆ ของสถานีถ่ายภาพจากจุดที่ทราบค่าพิกัดมากกว่า 3 จุดนี้เรียกว่ากระบวนการเล็งสกัดซ้อน (Space Resection) ในทางตรงกันข้ามกับกระบวนการเล็งสกัดซ้อน หากเราทราบค่าการหมุนรอบแกนต่างๆ ของสถานีถ่ายภาพ (จะต้องทราบค่าการจัดวางภายในอยู่ก่อนแล้ว) ของภาพถ่ายที่มีส่วนเหลื่อมกันอยู่ดังแสดงในภาพที่ 2.4 เราสามารถวัดพิกัดบนพื้นโลกทั้งทางดิ่งและทางระดับของพื้นที่ในบริเวณที่เป็นส่วนเหลื่อมได้ จากภาพถ่ายที่มีส่วนเหลื่อมกันดังกล่าวโดยใช้สมการร่วมเส้น



ภาพที่ 2.4 แสดงกระบวนการเล็งสกัดหรือ Space Forward Intersection (Leica Geosystems, n.d.)

ในกรณีนี้จะได้สมการร่วมเส้นที่ทราบค่าตัวแปรต่างๆ ยกเว้น X_p , Y_p และ Z_p ทั้งหมด 4 สมการ (2 สมการสำหรับจุด p_1 บนภาพซ้าย และ 2 สมการสำหรับจุด p_2 บนภาพขวา) ทำให้สามารถคำนวณแก้สมการเพื่อหาค่าพิกัดบนผิวโลกที่จุด P ได้ กระบวนการนี้เรียกว่า Space Forward Intersection

งานที่มีความสำคัญมากในงานโฟโตแกรมเมตรีคืองานข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) ซึ่งจะเป็นงานที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายที่ตามปกติจะต้องเข้าไปรังวัดในพื้นที่ซึ่งหากเป็นโครงการขนาดใหญ่ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย งานข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศนี้จะทำการรังวัดจุดควบคุมรูปถ่ายในบริเวณที่เป็นส่วนเหลี่ยมของภาพโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง กล้องถ่ายภาพ ภาพถ่ายและวัตถุบนพื้นดิน บนสถานะร่วมเส้น ปัจจุบันงานข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีตามรูปแบบการปรับแก้ ได้แก่

- 1) การปรับแก้แบบพหุนามหรือวิธีต่อลำดับ (Polynomial or Sequential Adjustment)
- 2) การปรับแก้แบบจำลองอิสระ (Independent Model Adjustment)
- 3) การปรับแก้แบบลำแสง (Bundle Block Adjustment)

ในปัจจุบันวิธีการปรับแก้แบบลำแสงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เพราะมีความแม่นยำมากที่สุด (พอล อาร์คัมเบิลยู, 2517)

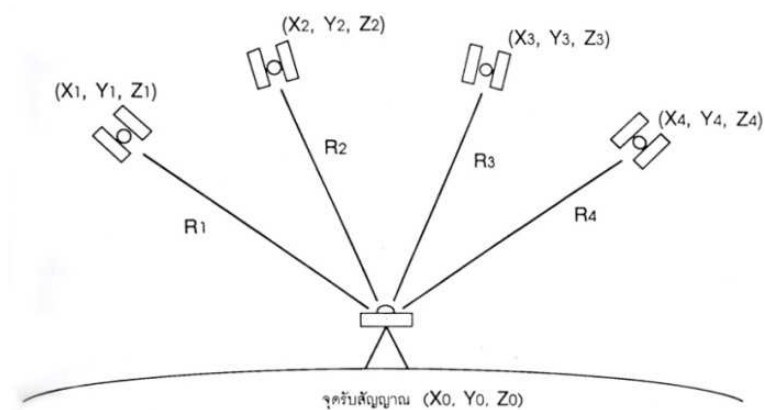
2.1.2 การรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายด้วย GPS

การรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายเป็นงานส่วนที่มีความสำคัญมากต่อการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ เนื่องจากแบบจำลองที่ได้จะไม่มีความถูกต้องมากไปกว่าความถูกต้องของจุดควบคุมภาพถ่าย (พอล อาร์ดับเบิลยู, 2517) การรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายสามารถทำได้โดยการถ่ายค่าพิกัดจากจุดควบคุมหลักที่ทราบค่าพิกัดแน่นอนออกไปยังจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดในภาพถ่าย โดยจุดควบคุมหลักที่ใช้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือจุดควบคุมทางราบ (Horizontal Control) และจุดควบคุมทางตั้ง (Vertical Control)

การสร้างจุดควบคุมทางราบสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางสนามหลากหลายวิธีเช่น งานวงรอบ (Traversing) งานข่ายสามเหลี่ยม (Triangulation) หรืองานข่ายด้านสามเหลี่ยม (Trilateration) ซึ่งไม่ว่าจะใช้วิธีใดก็จะต้องถ่ายค่าพิกัดออกจากจุดที่ทราบค่าเสมอ

ปัจจุบันวิทยาการด้านการรับรู้จากระยะไกลมีความก้าวหน้ามากขึ้น ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) สามารถกำหนดตำแหน่งบนโลกได้อย่างแม่นยำในระดับที่สามารถนำมาใช้ในการกำหนดตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายได้ (มูไร เอส, 2540) โดยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกสามารถทำงานได้โดยใช้เครื่องรับสัญญาณ GPS รับเอาคลื่นวิทยุจากดาวเทียมนำร่องที่มีอยู่ทั้งหมด 24 ดวง ใน 6 วงโคจร โดยจะต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมมากกว่า 4 ดวงในเวลาเดียวกัน สัญญาณดังกล่าวประกอบด้วยเวลาที่ถูกต้องขณะที่ส่งสัญญาณและองค์ประกอบของวงโคจร ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถแปลงเป็นตำแหน่งของดาวเทียมได้ เวลาที่แตกต่างกันระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งของสัญญาณเดียวกันใช้คำนวณหาระยะห่างระหว่างดาวเทียมและตำแหน่งเครื่องรับบนพื้นโลกได้ วิธีการที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบหลัก (มูไร เอส, 2540 และ สุรชัย รัตนเสริมพงศ์, 2546) คือ

2.1.2.1 การกำหนดตำแหน่งแบบจุดเดียว (Single Point Positioning) การกำหนดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับ 10 ถึง 30 เมตร โดยมีการทำงานดังภาพที่ 2.5 และสมการที่ 2.2



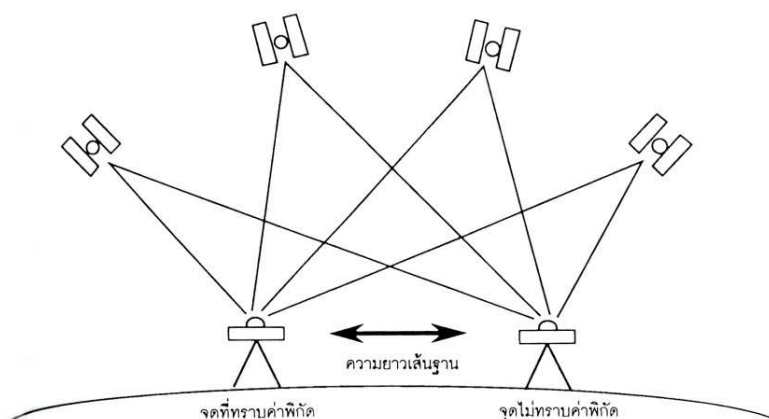
ภาพที่ 2.5 แสดงการรับสัญญาณของระบบกำหนดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว (มูโร เอส, 2540)

$$R_i = \sqrt{(X_0 - X_i)^2 + (Y_0 - Y_i)^2 + (Z_0 - Z_i)^2} + C\Delta t \quad (i=1, \dots, 4) \quad \text{สมการที่ (2.2)}$$

R_i	=	ระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับจตุรับสัญญาณ
(X_0, Y_0, Z_0)	=	พิกัดของจตุรับสัญญาณ
C	=	ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ
(X_i, Y_i, Z_i)	=	พิกัดของดาวเทียมดวงที่ i
Δt	=	ความผิดพลาดทางเวลาของเครื่องรับสัญญาณ

จากสมการที่ 2.2 จะมีตัวแปรไม่ทราบค่าอยู่ 4 ตัวคือ X_0 , Y_0 , Z_0 และ Δt ซึ่งหากสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมนำร่องได้มากกว่า 4 ดวงจะสามารถสร้างสมการที่ 2 ที่ทราบค่า X_i , Y_i , Z_i ทั้งสิ้น 4 สมการจึงสามารถคำนวณแก้สมการเพื่อหาค่า X_0 , Y_0 , Z_0 และ Δt ได้

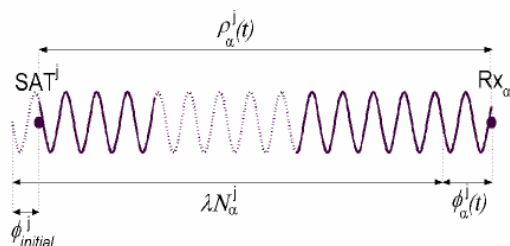
2.1.2.2 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Differential Positioning) เป็นการหาความสัมพันธ์แบบสัมพัทธ์ระหว่างจุดที่ทราบค่าพิกัดและจุดที่ไม่ทราบค่า ดังนั้นในกรณีนี้จะต้องใช้เครื่องรับสัญญาณ GPS มากกว่า 2 ตัวโดยที่ตัวหนึ่งตั้งอยู่บนจุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วคอยส่งสัญญาณปรับแก้ค่าพิกัดให้กับเครื่องรับอีกตัวที่ใช้ในการกำหนดพิกัดของจุดที่ไม่ทราบค่า การกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยวิธีนี้สามารถให้ความแม่นยำทางราบที่ระดับ 2 ถึง 4 เซนติเมตร ± 0.1 ถึง 1 ส่วนในล้านส่วนของความยาวเส้นฐานซึ่งเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณ GPS ณ จุดที่ทราบค่าพิกัดและจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด โดยให้ความแม่นยำในทางดิ่งที่ 20 ถึง 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 2.6 แสดงการทำงานของกรกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (มูโร เอส, 2540)

จากที่กล่าวมาแล้วค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการวัดค่าพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ GPS จะเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการไม่ว่าจะเป็นสภาพอากาศ ลักษณะพื้นที่ในการวัดวงโคจรของดาวเทียม แต่สาเหตุหลักที่ทำให้ตำแหน่งคลาดเคลื่อนไปก็คือเวลาในเครื่องรับและในดาวเทียมไม่สัมพันธ์กันทำให้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับที่หาได้จากความเร็วคูณด้วยเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณผิดพลาดไปตั้งแต่ต้น ด้วยเหตุนี้จึงนำเอาวิธีการที่เรียกว่า Double Differencing Technique มาใช้ในการลดความคลาดเคลื่อนทางเวลาร่วมกับการหาระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณด้วยการวัดความต่างเฟสของสัญญาณ (Differential Phase Global Positioning System) มาช่วยในการหาพิกัดที่มีความแม่นยำสูงขึ้น

Double Differencing Technique เริ่มจากแบบจำลอง Carrier Phase ที่แสดงถึงลักษณะการเดินทางของสัญญาณเวลาจากดาวเทียม GPS มายังเครื่องรับ สามารถแสดงดังภาพที่ 2.7 และความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.3



ภาพที่ 2.7 Carrier Phase Model (Fotopoulos, 2000)

$$\phi_{\alpha}^j(t) = \rho_{\alpha}^j(t) - \lambda N_{\alpha}^j - c \cdot (d_{\text{ion}}^j + dT_{\alpha}) + \phi_{\text{initial}}^j + c \cdot d_{\text{ion}}^j - c \cdot d_{\text{trop}}^j + \varepsilon(\phi) \quad \text{สมการที่ (2.3)}$$

$\phi_{\alpha}^j(t)$	=	การเปลี่ยนแปลงของเฟสระหว่างดาวเทียม j และ เครื่องรับ α ที่เวลา t
$\rho_{\alpha}^j(t)$	=	ระยะทางระหว่างดาวเทียม j กับเครื่องรับ α ที่เวลา t
λ	=	ความยาวคลื่น $L1 = 0.1904$ เมตร
N_{α}^j	=	จำนวนรอบของสัญญาณระหว่างดาวเทียม j กับเครื่องรับ α
c	=	ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอวกาศ
d_{ion}^j	=	ค่าผิดพลาดของสัญญาณนาฬิกาจากดาวเทียม j
dT_{α}	=	ค่าผิดพลาดของเครื่องรับ α
ϕ_{initial}^j	=	เฟสของสัญญาณที่ออกจากดาวเทียม j ที่เวลา t
d_{ion}^j	=	ความล่าช้าของสัญญาณในชั้นไอโอโนสเฟียร์ของดาวเทียม j
d_{trop}^j	=	ความล่าช้าของสัญญาณในชั้นโทรโปสเฟียร์ของดาวเทียม j
$\varepsilon(\phi)$	=	ค่าผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวนและการสะท้อนของสัญญาณก่อนถึงเครื่องรับ

จากสมการดำเนินกระบวนการกำหนดตำแหน่งแบบจุดเดียวโดยให้เครื่องรับ 2 เครื่อง (α และ β) รับสัญญาณจากดาวเทียม j พร้อมๆ กันเพื่อทำการกำจัดข้อผิดพลาดที่เกิดร่วมกันระหว่างที่สัญญาณเดินทางมาถึงเครื่องรับทั้งสองได้แก่ ค่าผิดพลาดของสัญญาณนาฬิกาจากดาวเทียม j (ดาวเทียมดวงเดียวกัน) เฟสของสัญญาณที่ออกจากดาวเทียม j ที่เวลา t และค่าความล่าช้าของสัญญาณในชั้นบรรยากาศ โดยแทนค่าสมการที่ 2.3 ด้วยสัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับทั้งสองแล้วนำมาลบกันจะได้

$$\Delta \phi_{\beta\alpha}^j(t) = \Delta \rho_{\beta\alpha}^j(t) - \lambda \Delta N_{\beta\alpha}^j - c \Delta dT_{\beta\alpha} - \Delta c \cdot d_{\text{ion}\beta\alpha}^j + \Delta c \cdot d_{\text{trop}\beta\alpha}^j + \varepsilon(\Delta \phi_{\beta\alpha}^j) \quad \text{สมการที่ (2.4)}$$

โดยที่ Δ แสดงความต่างระหว่างเครื่องรับทั้งสอง

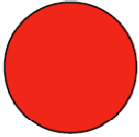
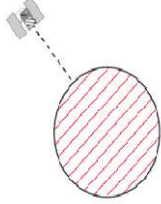
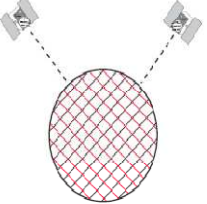
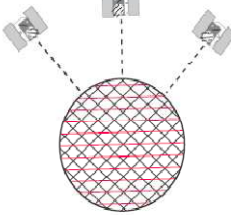
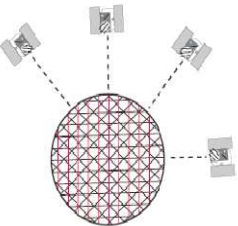
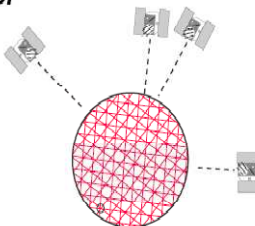
จากสมการที่ 2.4 เหลือค่าผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณนาฬิกาภายในเครื่องรับ ($c \Delta dT_{\beta\alpha}$) ที่ยังไม่ถูกกำจัดซึ่งสามารถกำจัดได้โดยการทำ Double Differencing ทำได้โดยการให้

เครื่องรับ 2 เครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมสองดวง (i, j) แล้วนำสมการ Single Differencing สองสมการมาลบกันได้

$$\nabla\Delta\phi_{\beta\alpha}^{ij}(t) = \nabla\Delta\rho_{\beta\alpha}^{ij}(t) - \lambda\nabla\Delta N_{\beta\alpha}^{ij} + \varepsilon(\nabla\Delta\phi) \quad \text{สมการที่ (2.5)}$$

จากการทำกระบวนการ Double Differencing ที่ผ่านมาจะพบว่าค่าผิดพลาดที่เกิดจากนาฬิกาจะถูกกำจัดออกไปเหลือเพียงความต่างเฟสที่วัดได้เพื่อใช้หาพิคัดในแบบกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ต่อไป

เมื่อค่าผิดพลาดทางเวลาถูกกำจัดออกไปแล้ว จะทำให้สามารถบอกความเป็นไปได้ของจำนวนลูกคลื่นที่ใช้ระหว่างการเดินทางของสัญญาณเมื่อรวมกับเฟสของสัญญาณที่มาถึงเครื่องรับ ก็จะสามารถบอกความน่าจะเป็นของระยะทางที่เกิดขึ้นได้ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาก็คือมีความเป็นไปได้จำนวนมากที่สามารถเกิดขึ้นได้ จำเป็นต้องใช้สถิติที่มีความซับซ้อนเข้ามาช่วยในการหาค่าพิคัดที่ถูกต้องซึ่งสามารถแสดงให้เห็นเป็นภาพดังนี้ (Leica Geosystem, 1999)

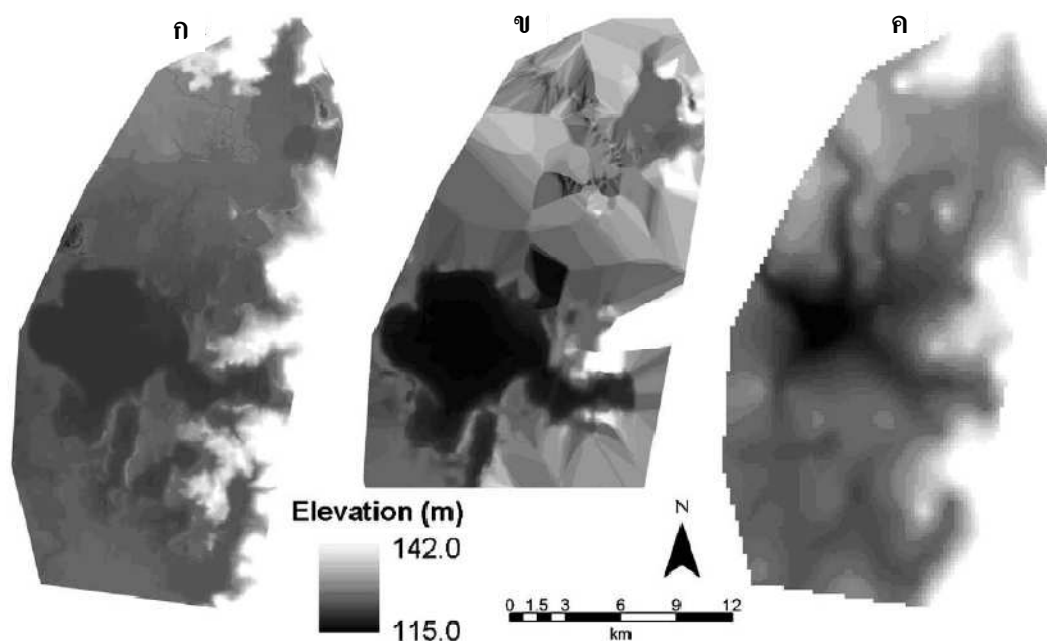
1.  วงกลมสีแดงแสดงพื้นที่ที่เป็นไปได้ของค่าพิกัดที่จะเกิดขึ้น
2.  เมื่อได้รับสัญญาณจากดาวเทียม 1 ดวงพิกัดที่สามารถเกิดได้จะวางตัวตามแนวหน้าคลื่น (เส้นสีแดง)
3.  เมื่อพบดาวเทียมดวงที่ 2 พิกัดที่ถูกต้องจะอยู่บนจุดตัดของหน้าคลื่น
4.  ดาวเทียมดวงที่ 3 พิกัดที่ถูกต้องจะอยู่บนจุดตัดของคลื่นจากดาวเทียมทั้ง 3
5.  ยิ่งดาวเทียมมากจุดที่สัญญาณจะตัดกันทั้งหมด ยิ่งน้อยลง
6.  เมื่อดาวเทียมมีการเคลื่อนที่ไปสัญญาณจะมีแนวโน้มจะตัดกันที่พิกัดที่เป็นจริงมากกว่าจุดอื่นๆ

ภาพที่ 2.8 แสดงการเลือกจุดที่ถูกต้องจากเฟสของสัญญาณดาวเทียมที่ได้รับ (Leica Geosystem, 1999)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rayburg (2008) ศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้สร้างจากแหล่งต่างๆ เพื่อใช้ในการแสดงสัญญาณธรณีวิทยาของพื้นที่ Narran Lakes Ecosystem ซึ่งเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำแหล่งสำคัญในประเทศออสเตรเลีย โดยข้อมูลต้นทางที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขได้แก่ข้อมูลจุดความสูงที่ได้จากแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:100,000 ข้อมูลความสูงที่ได้จากการตรวจวัดด้วย DGPS จำนวน 20,000 จุด และข้อมูลความสูงจากเครื่อง LIDAR จำนวน

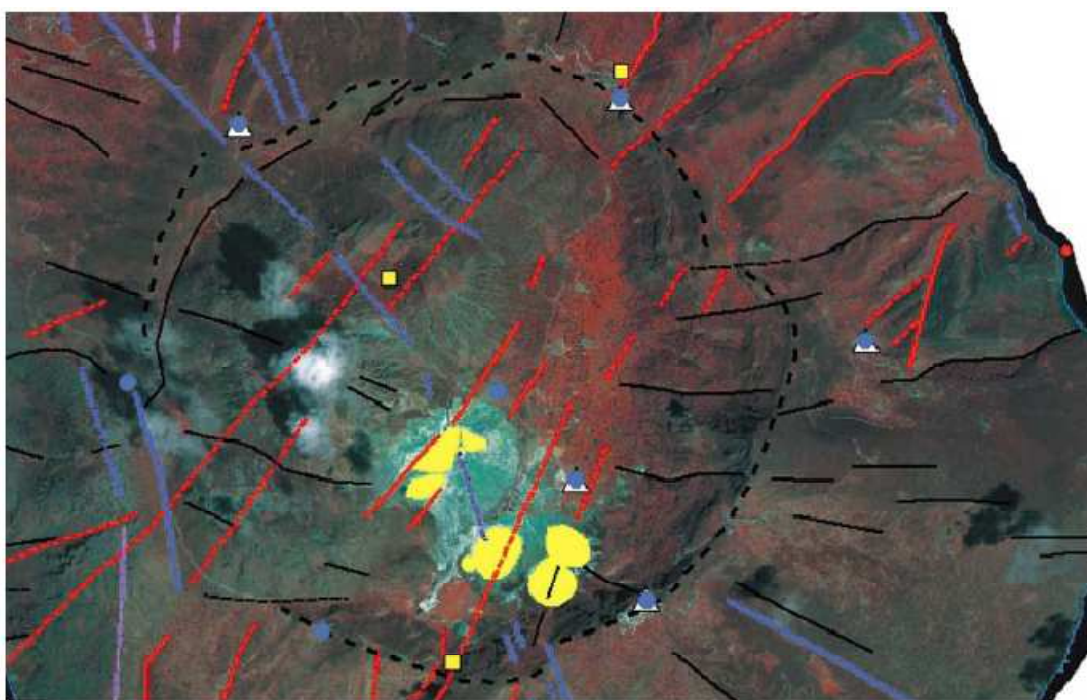
650,000,000 จุด ซึ่งข้อมูลทั้งหมดถูกประมวลค่าด้วยวิธี Standard Krieking และทำการเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากแหล่งข้อมูลทั้ง 3 แหล่ง ด้วยการแปลด้วยสายตา จากการตรวจสอบพบว่าข้อมูลความสูงจาก LIDAR ให้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูงและสามารถแสดงลักษณะทางธรณีสัณฐานได้ดีที่สุด ตามด้วยข้อมูลความสูงจาก DGPS และข้อมูลความสูงจากแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศมาตราส่วน 1:100,000 โดยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างขึ้นแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างขึ้นจาก ก) ข้อมูลความสูงจาก LIDAR ข) ข้อมูลความสูงจากการสำรวจด้วย DGPS และ ค) จุดความสูงจากแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศมาตราส่วน 1:100,000 (Rayberg, 2008)

Vasilopoulou et al. (2002) ศึกษาการสร้างภาพออร์โธโธในพื้นที่ Nisyros ประเทศกรีซ ซึ่งเป็นงานส่วนหนึ่งของโครงการ GEOWARN มีจุดประสงค์เพื่อติดตามผลการเปลี่ยนแปลง และแจ้งเตือนการระเบิดของภูเขาไฟบนเกาะ Nisyros โดยในส่วนของ การสร้างภาพออร์โธโธนั้นจะใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายเทียม IKONOS ร่วมกับแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างจากแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:5,000 ประกอบด้วยข้อมูลเส้นชั้นความสูง จุดความสูง ทางน้ำ และขอบเขตเกาะ ซึ่งกำหนดให้แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างขึ้นมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 2 เมตร โดยแบบจำลองความสูงที่ได้มีค่า RMS เท่ากับ 3.3 เมตร เมื่อเทียบกับข้อมูลการสำรวจจาก DGPS

ในส่วนของการตัดแก้ภาพถ่ายออร์โธ ได้ศึกษาความแม่นยำของการแปลงภาพ 2 แบบคือ Polynomial Mapping Function ของ Kratky (1989) กับ Relief Corrected Affine Transformation โดยใช้ข้อมูลของจุดควบคุมในพื้นที่ศึกษา 38 จุดที่มีค่าพิกัดสามมิติจากการรังวัดด้วย DGPS จากการวิเคราะห์พบว่า การแปลงภาพแบบ Relief Corrected Affine Transformation ที่ใช้จุดควบคุมในการแปลงภาพ 4 จุด ร่วมกับแบบจำลองความสูงเชิงเลข และใช้จุดตรวจสอบทั้งหมด 45 จุด ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดในการศึกษาครั้งนี้ โดยมีค่า RMS ตามแนวแกน X เป็น 0.9 เมตร และค่า RMS ตามแนวแกน Y เป็น 0.6 เมตร



ภาพที่ 2.10 แสดงข้อมูลภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นจากภาพดาวเทียม IKONOS

Zebedin et al. (2006) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแผนที่สามมิติจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข (Digital Aerial Images) ในพื้นที่เมือง Graz ประเทศออสเตรีย โดยเน้นไปที่การสร้างแผนที่สามมิติอย่างอัตโนมัติ ในการศึกษาใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากกล้อง Vexcel Imaging รุ่น UltraCam D ซึ่งให้ภาพแบบโครมาติกขนาด 11,500x7,500 จุดภาพ และภาพสีและภาพถ่ายช่วงอินฟราเรดใกล้ขนาด 3,680x2,000 จุดภาพ โดยกำหนดให้ค่ามีความละเอียดบนผิวดิน (Ground Resolution) ขนาด 8 เซนติเมตร ระยะเหลื่อมตามแนวบินร้อยละ 80 และระยะเหลื่อมระหว่างแนวบิน ร้อยละ 60 บินถ่ายภาพทั้งหมด 5 แนวบิน ได้ภาพถ่ายทางอากาศทั้งหมด 155 ภาพ โดยขั้นตอนของการสร้างแผนที่สามมิติจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนได้แก่

1) การจำแนกข้อมูลภาพสีและภาพอินฟราเรดใกล้เพื่อแยกวัตถุออกเป็นประเภทต่างๆ และจะใช้ชนิดของวัตถุในการปรับแก้ DSM ภายหลัง ซึ่งจะใช้การจำแนกแบบ Supervised Classification ร่วมกับ Support Vector Machine: SVM

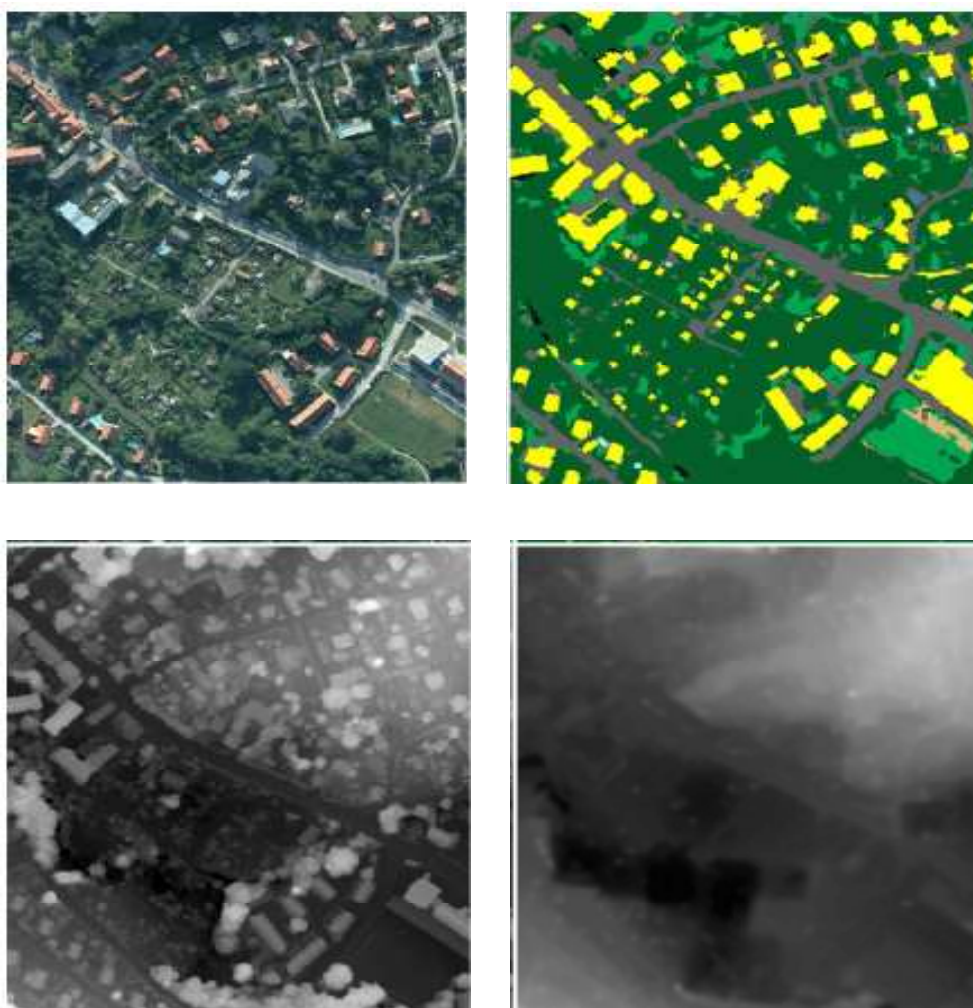
2) สร้างโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) ซึ่งเป็นกระบวนการในการกำหนดจุดโยง (Tie Point) ของภาพถ่าย เพื่อหาค่าการจับวางภาพให้กับทุกภาพภายใน Bundle Block ซึ่งจะกำหนดให้ค่าพิกัดเป็น Local Coordinate ก่อน เมื่อทำการจับวางภาพแล้วจึงให้ค่าพิกัดกับภาพแรก จากนั้นภาพต่างๆ ก็จะถูกระบุค่าการจับวางให้โดยอัตโนมัติ

3) ทำการจับคู่ภาพเพื่อสร้างเป็นกลุ่มของจุดที่แสดงพื้นผิว (Dense DSM)

4) ทำการสร้างภาพออร์โธ

5) ทำการจำแนกวัตถุอย่างละเอียด จากข้อมูลการจำแนกเบื้องต้นจากข้อ 1) ภาพออร์โธจากข้อ 4) และ DSM จากข้อ 3) โดยใช้การจำแนกแบบ Object Recognition

6) ทำการปรับแก้ DSM ให้เป็น DTM โดยตัดค่าความสูงของสิ่งที่ปกคลุมพื้นผิวออกไป และใช้ค่าของเขตที่จะตัดค่าความสูงออกตามชนิดของวัตถุซึ่งได้จำแนกไว้ในข้อ 5) ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดที่กล่าวมาจะทำโดยวิธีอัตโนมัติ ยกเว้นการให้ค่าพิกัดเริ่มต้นแก่โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ และการแปลภาพเบื้องต้นแบบ Supervised เท่านั้น



ภาพที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการสร้าง DEM จากภาพถ่ายทางอากาศแบบออตโนมัติ (Zebedin et al., 2006)

Almaier and Kany (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้ภาพถ่ายออร์โธในเขตหมู่บ้าน Skoura ซึ่งตั้งอยู่บนลุ่มน้ำ Draa ประเทศโมร็อกโก โดยภาพถ่ายออร์โธที่ใช้สร้างจากข้อมูลดาวเทียม CORONA ซึ่งเป็นดาวเทียมที่พัฒนาโดยกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกาและหน่วย CIA ภาพดาวเทียมที่ใช้จะเป็นภาพคู่ซ้อนที่ถ่ายในช่วงปี ค.ศ. 1960 ถึง 1972 ด้วยกล้องพาโนรามาและฟิล์มขาวดำที่ให้ค่าความละเอียดเชิงพื้นที่สูงสุดอยู่ที่ 1.8 เมตร ที่วงโคจรสูงจากพื้น 150 กิโลเมตร โดยจะให้ภาพเป็นสองมุมมองตามวงโคจรจากกล้องสองตัวบนดาวเทียม ในการศึกษาครั้งนี้ได้กราดภาพถ่ายพื้นที่ศึกษาด้วยความละเอียด 16 ไมครอน จากนั้นนำภาพที่ได้มาตัดแก้เพื่อลดความคลาดเชิงตำแหน่งของเลนส์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ แล้วใช้โปรแกรม ERDAS IMAGINE ในการหาค่าการจัดวางภาพให้กับภาพถ่ายแต่ละภาพด้วยกระบวนการถ่ายสามเหลี่ยม

ทางอากาศแบบอัตโนมัติ โดยใช้ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS เป็นข้อมูลตั้งต้น ได้จุดโยงภาพจำนวน 600 จุดครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จากนั้นสร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขด้วยการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระยะห่างของจุด 20 เมตร ได้จำนวนจุดความสูงทั้งหมด 70,000 จุด ครอบคลุมพื้นที่ 100 ตารางกิโลเมตรของพื้นที่ศึกษา แล้วนำข้อมูลจุดดังกล่าวสร้างเป็นแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข ด้วยการประมาณค่าในช่วง จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขเทียบกับจุดสำรวจด้วย DGPS จำนวน 5,000 จุด พบว่าค่าความผิดพลาดของแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลขแบ่งเป็น 2 กลุ่มได้แก่ ทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษาที่ภาพดาวเทียมมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงกว่าจะให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยตามแนวแกน X เท่ากับ 1.8 เมตร Y เท่ากับ 2.8 เมตร และ Z เท่ากับ 7.7 เมตร ขณะที่ทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาที่ภาพดาวเทียมมีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำกว่าจะให้ค่าผิดพลาดตามแนวแกน X เท่ากับ 13.9 เมตร Y เท่ากับ 13.7 เมตร และ Z เท่ากับ 10.7 เมตร

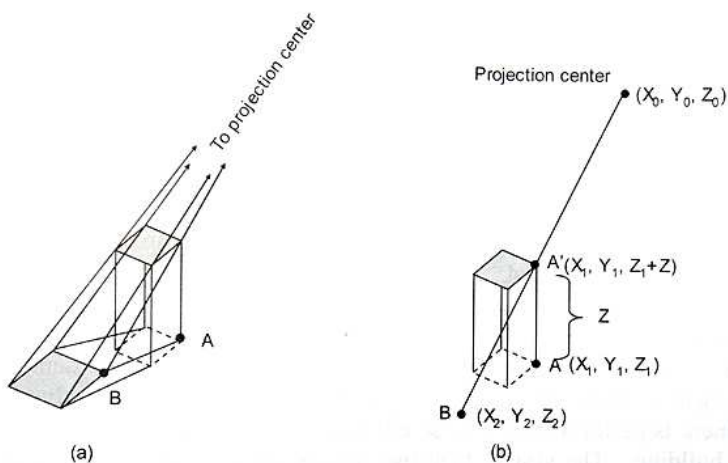
Buyuksalih (2003) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ด้าน Automatic Aerial Triangulation (AAT) ในท้องตลาด 4 ชนิดด้วยกันได้แก่ ISMAT ISAT MST และ VirtuZo AAT ในการศึกษาครั้งนี้ใช้พื้นที่เมืองซูริก ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบมีความสูงต่างประมาณ 80 เมตร โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศขาวดำมาตราส่วน 1:4,000 จำนวน 49 ภาพใน 7 แนวบิน และใช้จุดควบคุมภาพถ่ายทั้งสิ้น 12 จุด ผู้ศึกษามุ่งพิจารณาเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าการจับวางภาพที่ได้ ความแม่นยำของพิกัดบนผิวโลก และจำนวนจุดโยงที่ได้ในแต่ละซอฟต์แวร์ ซึ่งผลของการศึกษาแสดงได้ดังตาราง 2.1 โดยที่ σ_0 แทนค่าประมาณการความผิดพลาด (Estimate Error) σ_{xy}/σ_z แทนค่าผิดพลาดของพิกัดบนพื้น $\sigma_{x0,y0}/\sigma_{z0}$ แทนค่าผิดพลาดของจุดเปิดถ่ายภาพ และ $\sigma_{\omega/\varphi/k}$ แทนค่าผิดพลาดของการจับวางภายนอก

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบผลของระบบ AAT ของแต่ละซอฟต์แวร์ (Buyuksalih, 2003)

System	Pixel size (μm)	No. of line points per photo	σ_0 (μm)	σ_{xy}/σ_z (cm)	$\sigma_{x0,y0}/\sigma_{z0}$ (cm)	$\sigma_{\omega/\varphi/k}$ (mgon)
ISMAT	10	161	4.9	1.9/4/3	4/2.8	5.4/4.6/1.9
ISAT	10	31	5.7	2.2/5.3	5.4/2.7	6.3/5.7/2.2
ISAT	20	48	6.7	2.8/6.4	5.7/3.1	6.2/5.9/2.2
MST	20	14	9.98	-	-	-
VirtuoZo AAT	20	18	4.0	2.2/4.9	7.1/4.6	9.4/8.3/3.8

จากการศึกษาดังกล่าว พบว่า ทุกซอฟต์แวร์ที่ใช้สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี โดยให้ค่าพิกัดบนพื้นมีความผิดพลาดต่ำกว่า 10 เซนติเมตร และค่าผิดพลาดของการจัดวางภาพก็อยู่ในระดับต่ำใกล้เคียงกัน โดยซอฟต์แวร์ ISMAT มีแนวโน้มให้ค่าความผิดพลาดต่ำกว่าซอฟต์แวร์อื่นๆ และให้จำนวนจุดโยงในกระบวนการ AAT มากที่สุดด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามการศึกษานี้มิได้กล่าวถึงการตรวจสอบความผิดพลาดในภาคสนาม ค่าผิดพลาดที่แสดงเป็นค่าผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์เท่านั้น

Methakullachat (2004) ศึกษาความคลาดเชิงตำแหน่งที่เกิดจากความสูง (Relief Displacement) ของตัวอาคารที่ยังหลงเหลืออยู่ในภาพถ่ายออร์โธ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะสามารถกำจัดการเลื่อนตำแหน่งที่เกิดจากความสูงให้หมดไปได้ ซึ่งการเลื่อนตำแหน่งดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ความคลาดเชิงตำแหน่งที่ไม่สามารถมองเห็นที่เกิดจากความสูงของภูมิประเทศและความคลาดเชิงตำแหน่งที่สังเกตได้เกิดจากความสูงของวัตถุที่สูงกว่าภูมิประเทศ ซึ่งไม่สามารถกำจัดให้หมดไปในภาพออร์โธแบบปกติ ความคลาดเชิงตำแหน่งแบบนี้ สามารถนำมาคำนวณหาค่าความสูงของอาคารออกมาโดยอาศัยเทคนิค Least Square ร่วมกับสมการร่วมเส้น และตำแหน่งที่ทำการถ่ายภาพ (x_0, y_0, z_0) ของภาพนั้น โดยตำแหน่งที่ถูกต้องของอาคารสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5



ภาพที่ 2.12 a) แสดงจุด A และ B ที่ปรากฏบนภาพอาคารที่เกิดการเบนออกจากฐาน b) แสดงสถานะร่วมเส้นของลำแสงจากจุด B A' และจุดเปิดถ่ายภาพ (Methakullachat, 2004)

$$x_1 = x_2 - z_1 \frac{(x_2 - x_0)}{z_0} \text{ และ } y_1 = y_2 - z_1 \frac{(y_2 - y_0)}{z_0} \tag{สมการที่ (2.5)}$$

$$\begin{aligned} (X_0 \ Y_0 \ Z_0) &= \text{พิกัดของกล้องขณะทำการถ่ายภาพ} \\ (X_1 \ Y_1 \ Z_1) &= \text{พิกัดของอาคารบนพื้นโลก} \\ (X_2 \ Y_2 \ Z_2) &= \text{พิกัดของอาคารที่เกิดจากการเบนออกจากฐาน} \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตามในการแก้สมการดังกล่าว จะต้องทราบค่าพิกัดของจุดเปิดถ่ายภาพ (x_0, y_0, z_0) ซึ่งได้มาจากการเล็งสกัดย้อนในกระบวนการถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ หากเป็นภาพที่ทำการต่อมาแล้ว การหาค่าพิกัดของจุดเปิดถ่ายภาพจะมีความยุ่งยากมากกว่า เนื่องจากพิกัดของจุดเปิดถ่ายภาพจะมีหลายชุด ขึ้นอยู่กับบริเวณที่ภาพตกอยู่

Wolniewicz and Jaszczak (2004) ทำการศึกษาการสร้างภาพออร์โธจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird และ IKONOS บนพื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะภูมิประเทศสองแบบคือ พื้นที่ราบและพื้นที่เชิงเขา โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 ระดับแตกต่างกันได้แก่ แบบจำลองความสูงของ NIMA (National Imaging and Mapping Agency) ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 กิโลเมตร แบบจำลองความสูงของ SRTM (Shuttle Radar Terrain Mission) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 90 เมตร แบบจำลองความสูงที่ได้จากแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 25 เมตร และแบบจำลองความสูงที่ได้จากแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศมาตราส่วน 1:25,000 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร ในการตัดแก้ภาพจะใช้โปรแกรม PCI Geomatica (Module Ortho Engine) ซึ่งการตัดแก้ภาพจะแยกทำเป็น 2 วิธีได้แก่ Rational Polynomial Coefficient และ Parametrical Model และทำการตรวจสอบความถูกต้องของภาพออร์โธที่ได้ด้วยจุดตรวจสอบภาคสนามที่ทำการรังวัดด้วย DGPS (Differential Global Positioning System) พบว่าบนพื้นราบ แบบจำลองความสูงจาก NIMA ให้ความแม่นยำของภาพออร์โธระดับ 1.5 ถึง 2 เมตรทั้งจากภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird และ IKONOS และวิธีการทั้งสองแบบแบบจำลองความสูงของ STRM และแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศมาตราส่วน 1:25,000 ให้ความแม่นยำระดับ 1 เมตร ทั้งบนพื้นราบ วิธีการและภาพถ่ายดาวเทียมทั้งสองชนิด สิ่งสำคัญในการตัดแก้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงได้แก่การรังวัดและตรวจสอบความถูกต้องของจุดควบคุมภาพ และการกำหนดจุดควบคุมให้ภาพถ่ายจะต้องมีความถูกต้องและแม่นยำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

บทที่ 3

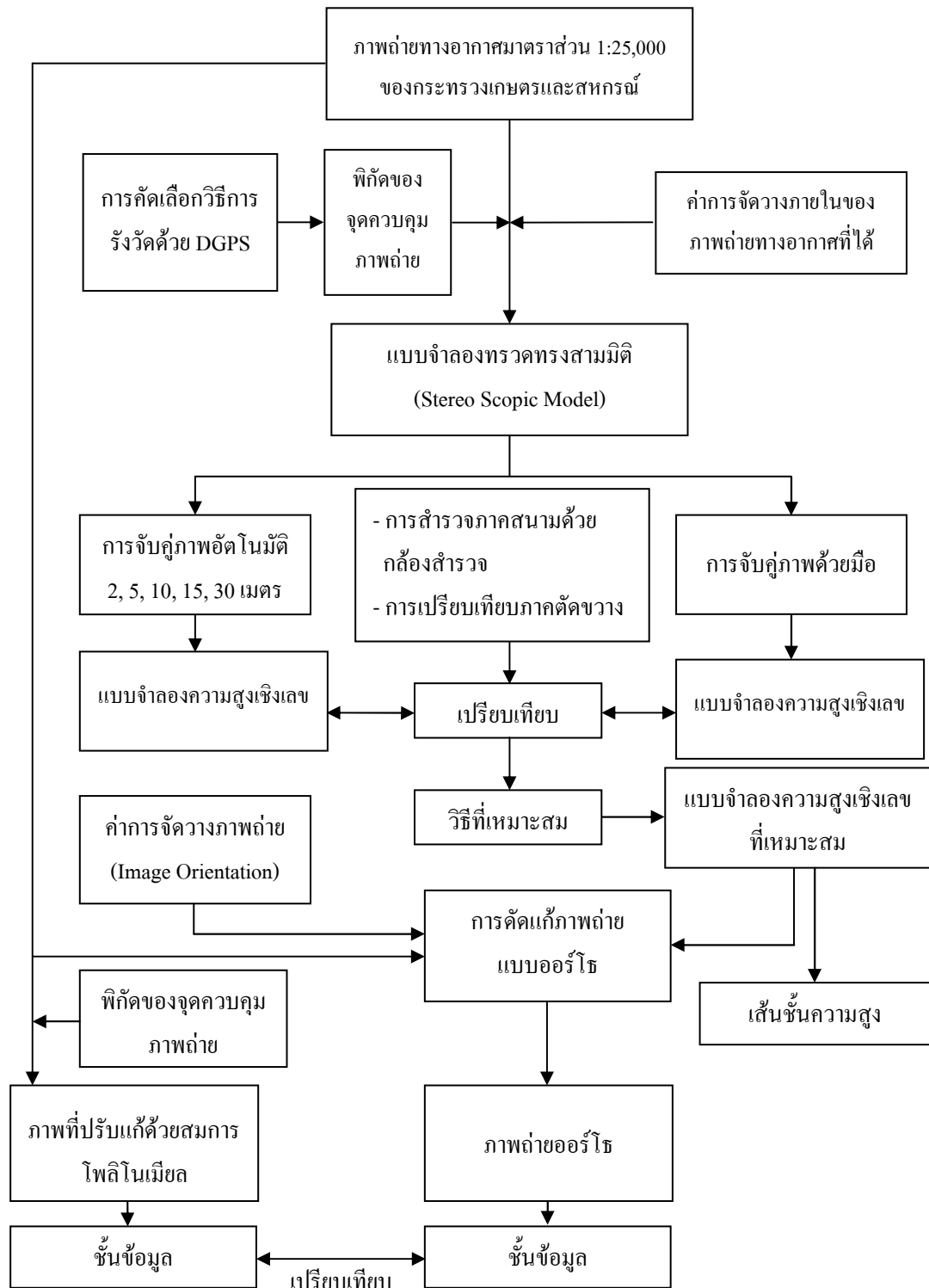
ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยแผนผังของกระบวนการศึกษา ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา รวมถึงวิธีการดำเนินการกับข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศ กระบวนการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข การสร้างภาพออร์โธ การสร้างข้อมูลจากภาพออร์โธ และการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากกระบวนการดังกล่าว

การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขของพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ด้วยกระบวนการโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลข (Digital Photogrammetry) ที่ได้ค่าพิกัดเริ่มต้นจากการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายด้วย DGPS รวมทั้งการศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องของการรังวัดด้วย DGPS 3 แบบได้แก่ การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static) การรังวัดแบบจลน์ (Kinematic) และการรังวัดแบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับ (Kinematic Backward) เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากกระบวนการโฟโตแกรมเมตรี

โดยภาพที่ 3.1 แสดงกรอบการศึกษาทั้งหมดซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 6 ส่วนหลัก ดังนี้

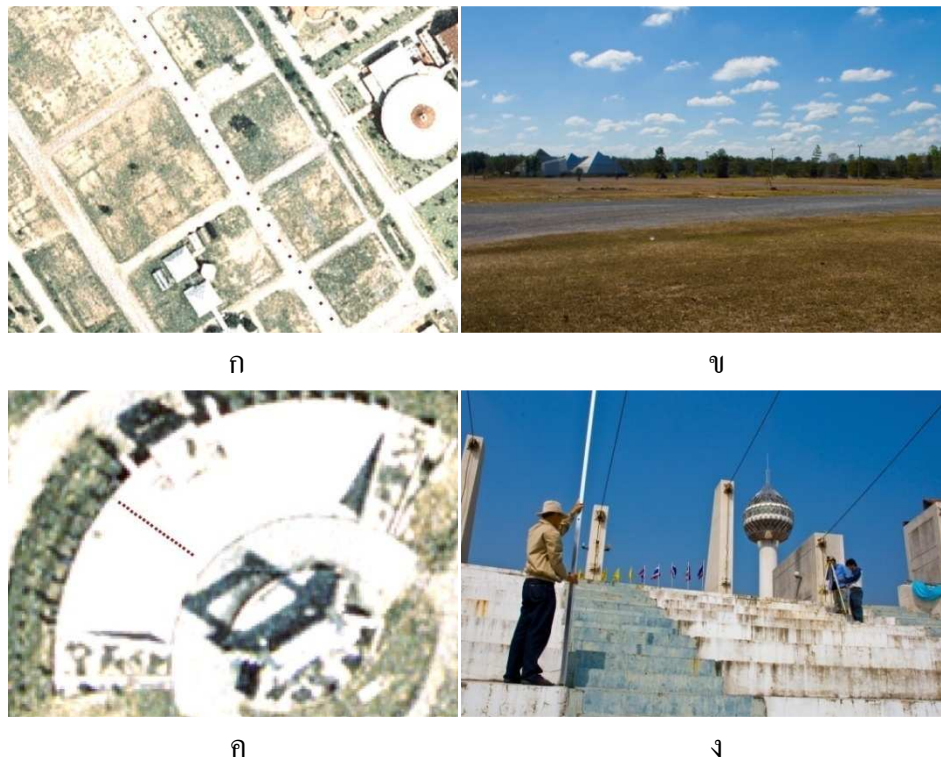
1. การคัดเลือกวิธีการรังวัดด้วย DGPS ที่ถูกต้องที่สุด
2. การคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่าย
3. การสำรวจค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายด้วย DGPS
4. การสร้าง DEM และ DSM และผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของความสูงของ DEM และ DSM ที่ได้
5. การตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธและแบบโพลีโนเมียล และผลการเปรียบเทียบ
6. การสร้างและการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล



ภาพที่ 3.1 แสดงผังการทำงานทั้งหมดในการศึกษา

3.1 การคัดเลือกวิธีการรังวัดด้วย DGPS ที่ถูกต้องที่สุด

การตรวจสอบความถูกต้องของพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วย DGPS ทำโดยการสร้างจุดตรวจสอบในพื้นที่มหาวิทยาลัย แล้วทำการวัดค่าพิกัดของจุดตรวจสอบด้วยกล้องโททอลสเตชัน และกล้องระดับ โดยค่าพิกัดอ้างอิงใช้ค่าพิกัดทางราบ (x, y) ของกรมที่ดิน และพิกัดทางดิ่งของกรมแผนที่ทหารของจุดควบคุมที่สร้างขึ้นในโครงการจัดทำแผนที่แม่ข่ายอินเทอร์เน็ต ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยที่มีจุดตรวจสอบทั้งหมด 39 จุด ซึ่งแบ่งออกเป็นจุดที่มีค่าพิกัดทั้งทางราบและทางดิ่งจำนวน 20 จุด วางตัวตามแนวถนนบนลานกิจกรรมเวสต์เทค (จุดที่ปรากฏในรูป 3.2ก) และจุดที่มีค่าพิกัดเฉพาะทางดิ่งจำนวน 19 จุดวางอยู่ตามชั้นอัฒจันทร์ของสุรนิตส์ (จุดที่ปรากฏในรูป 3.2ค) เพื่อที่จะทำการศึกษาความถูกต้องของค่าพิกัดจาก DGPS บนพื้นที่ที่มีระดับการเปลี่ยนแปลงความสูงที่แตกต่างกัน โดยจุดตรวจสอบบนลานกิจกรรมเวสต์เทคเป็นพื้นที่ที่แทบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงเลย ขณะที่พื้นที่อัฒจันทร์สุรนิตส์ที่มีลักษณะเป็นขั้นบันได จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงอย่างรวดเร็ว จากนั้นทำการวัดค่าพิกัดของจุดตรวจสอบทั้ง 39 จุดด้วยเครื่อง DGPS โดยแบ่งการรังวัดออกเป็น 3 วิธีการคือ การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว การรังวัดแบบจลน์ และการรังวัดแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ



ภาพที่ 3.2 แสดงจุดตรวจสอบที่ใช้ทั้งทางราบและทางดิ่ง โดยรูป ก และ ข แสดงจุดตรวจสอบบนลานกิจกรรมเวสต์เทค และรูป ค กับ ง แสดงจุดตรวจสอบบนพื้นที่ชั้นอัฒจันทร์ของสุรนิตส์

3.1.1 การวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static)

สำหรับการวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว ในการวัดแต่ละจุดจะทำการวัด 2 ครั้ง จาก GPS 2 ตัว โดยที่ GPS แต่ละตัวสลับกันเป็นจุดควบคุมซึ่งตั้งอยู่บนจุดควบคุมของโครงการจัดทำแผนที่แม่ข่ายอินเทอร์เน็ตของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งในการวัดแต่ละครั้งจะปล่อยให้เครื่อง DGPS รับสัญญาณเป็นเวลา 15 นาที ในแต่ละจุดตรวจสอบ

3.1.2 การวัดแบบจลน์ (Kinematic)

ในการวัดแบบจลน์จะทำการวัดโดยให้มี GPS 1 ตัวตั้งอยู่บนจุดควบคุมตลอดเวลา ขณะที่ GPS ตัวที่ 2 จะเริ่มต้นทำการวัดจากจุดที่ทราบค่า ซึ่งในที่นี้คือ จุดควบคุมอีกจุดที่วางอยู่ โดยการวัดเริ่มต้นจะวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็วเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นย้ายเสาสัญญาณติดตั้งบนเสาสูง 2 เมตร เพื่อออกทำการวัดในจุดตรวจสอบต่อไป โดยที่การวัดในแต่ละจุดตรวจสอบจะรอให้ GPS รับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง (10 Observations) ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30 วินาที

3.1.3 การวัดแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ (Backward Kinematic)

การวัดแบบนี้จะทำงานแบบเดียวกับการวัดแบบจลน์ แต่จะแตกต่างกันตรงที่จะวัดจุดตรวจสอบจุดละ 2 ครั้ง โดยวัดขณะที่เดินไป (Forward) 1 ครั้ง และวัดขณะเดินกลับ (Backward) อีก 1 ครั้งเพื่อทดสอบว่าการวัดแบบนี้จะมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นหรือไม่

จากการตรวจสอบความถูกต้องของพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วย DGPS จะทำให้ทราบว่าวิธีใดให้ความถูกต้องสูงสุด วิธีดังกล่าวจะได้รับเลือกเป็นวิธีที่ใช้สำหรับหาค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายต่อไป

3.2 การคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่าย

การสำรวจจุดควบคุมภาพถ่าย เป็นการสำรวจค่าพิกัดภาคพื้นดินในจุดที่สามารถสังเกตเห็นชัดเจนบนภาพถ่ายทางอากาศทั้งสองของภาพคู่ซ้อน และสามารถเข้าถึงได้โดยสะดวกเพื่อนำค่าพิกัดของจุดที่ได้ไปใช้ในการคำนวณแก้สมการร่วมเส้น (สมการที่ 2.1) เพื่อหาค่าการจีดวางภายนอก (ω, φ, κ) ให้กับภาพถ่ายแต่ละภาพ เมื่อภาพถ่ายแต่ละภาพมีค่าการจีดวางภายใน (ได้จากผู้ผลิตข้อมูล) และภายนอกเรียบร้อยแล้ว จะสามารถคำนวณแก้สมการร่วมเส้นเพื่อหาค่าพิกัด ณ จุดใดๆ บนส่วนที่ซ้อนทับกันของภาพคู่ซ้อน ได้ด้วยกระบวนการสัดซ้อน (Space Forward Intersection) จากภาพที่ 3.3 จุดควบคุมภาพถ่ายสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ จุดควบคุมภาพถ่ายทางราบซึ่งจะให้ค่าพิกัดทางราบ และจุดควบคุมภาพถ่ายทางตั้งจะให้ค่าพิกัดทางตั้ง โดยที่จุดควบคุมภาพถ่ายบางจุดสามารถมีพิกัดได้ทั้งทางราบและทางตั้งอยู่ในจุดเดียวกัน จำนวนของจุดควบคุมภาพถ่ายถูกกำหนดโดยสมการร่วมเส้นที่จะต้องมียุคควบคุมทางราบอย่างน้อย 2 จุด และจุด

ควบคุมทางดิ่งอย่างน้อย 3 จุด (พอล อาร์ดับเบิลยู, 2517) เพื่อใช้ค่าพิกัดทางราบและทางดิ่งในการคำนวณแก้สมการร่วมเส้น โดยที่ตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายจะต้องกระจายตัวอยู่ทั่วแบบจำลองสามมิติที่จะสร้างขึ้น

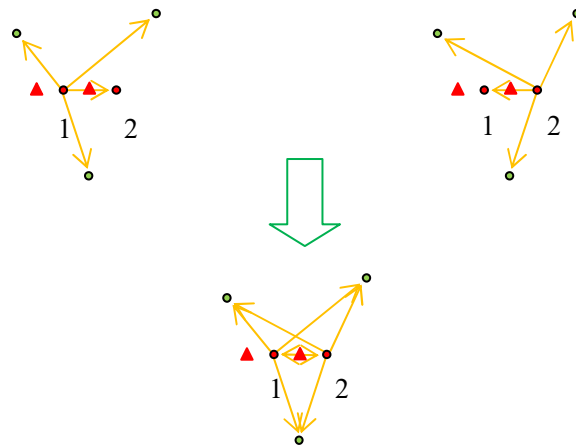
ในการศึกษานี้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศทั้งหมด 3 ภาพ เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทรวงทรงสามมิติ 2 แบบจำลอง และใช้จุดควบคุมภาพถ่ายทั้งหมด 11 จุดวางตัวตามแบบจำลองดังที่แสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ภาพบนแสดงการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายโดยเครื่องหมาย Δ แทนจุดควบคุมภาพถ่ายที่มีค่าพิกัดทั้งทางราบและทางดิ่ง ภาพเล็กทางด้านล่างซ้ายแสดงลักษณะของจุดควบคุมภาพถ่ายที่ปรากฏบนภาพถ่ายทางอากาศ ภาพทางด้านขวาแสดงลักษณะของจุดควบคุมภาพถ่ายในการสำรวจด้วย DGPS

3.3 การสำรวจค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายและการแปลงระบบพิกัด

เมื่อได้จุดควบคุมภาพถ่ายและที่ตั้งของจุดแล้วก็ทำการสำรวจค่าพิกัดด้วย DGPS ซึ่งทำการสำรวจโดยใช้ค่าพิกัดเริ่มต้นจากหมุดหลักฐานที่สร้างขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในโครงการจัดทำแผนที่แม่ข่ายอินเทอร์เน็ตของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีค่าพิกัดทางราบจากหมุดหลักฐานกรมที่ดิน และค่าความสูงจากหมุดหลักฐานกรมแผนที่ทหารในบริเวณที่ใกล้เคียงกับมหาวิทยาลัย ซึ่งการสำรวจพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายทำการสำรวจด้วย DGPS แบบสำรวจเป็นโครงข่ายของการสำรวจ (GPS Network) ถ้าวิธีที่เลือกใช้เป็นการรังวัดแบบจลน์ จะทำการวัดโดยให้มี GPS หนึ่งตัวตั้งอยู่บนจุดควบคุมตลอดเวลาขณะที่ GPS ตัวที่ 2 จะเริ่มต้นทำการวัดจากจุดที่ทราบค่า ซึ่งในที่นี้คือจุดควบคุมอีกจุดที่วางอยู่ โดยการวัดเริ่มต้นจะวัดแบบสถิติอย่างรวดเร็วเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นย้ายงานรับสัญญาณติดตั้งบนเสาสูง 2 เมตร เพื่อออกทำการวัดในจุดตรวจสอบต่อไป และถ้าการรังวัดแบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับจะทำงานแบบเดียวกับการวัดแบบจลน์ แต่จะแตกต่างกันตรงที่จะวัดจุดตรวจสอบจุดละ 2 ครั้ง โดยวัดขณะที่เดินไป (Forward) หนึ่งครั้ง และวัดขณะที่เดินกลับ (Backward) อีกหนึ่งครั้ง และถ้าวิธีที่เลือกใช้เป็นแบบสถิติอย่างรวดเร็วในการสำรวจแต่ละโครงข่ายย่อย เครื่องรับสัญญาณ GPS จะต้องรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างต่อเนื่อง และจะต้องทำการสำรวจแต่ละจุด จุดละ 2 ครั้ง ที่เวลาและจุดควบคุมหลักที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ข้อมูลของโครงข่ายดาวเทียมที่แตกต่างกัน 2 ชุดเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการลดข้อผิดพลาดของการสำรวจค่าพิกัด (Leica Geosystem, n.d.) ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ในการสร้างโครงข่ายการสำรวจด้วย DGPS จะใช้เครื่องรับสัญญาณ 2 ตัว โดยจุดสามเหลี่ยมแสดงจุดควบคุมหลัก จุดวงกลมแสดงจุดที่ต้องการทราบค่าการสำรวจ เริ่มด้วยการตั้งเครื่องรับบนจุดควบคุมหลักที่ 1 แล้วใช้เครื่องรับอีกตัวออกสำรวจจุดที่ต้องการทราบค่าทั้งหมดรวมจุดควบคุมหลักที่ 2 ด้วย จากนั้นเปลี่ยนเอาเครื่องรับที่ออกสำรวจจุดที่ต้องการทราบค่าเปลี่ยนเป็นจุดควบคุม โดยตั้งอยู่บนจุดควบคุมหลักที่ 2 แล้วใช้เครื่องที่อยู่บนจุดควบคุมหลักที่ 1 ออกสำรวจจุดที่ต้องการทราบค่า รวมทั้งจุดควบคุมหลักที่ 1 ด้วย



ภาพที่ 3.4 แสดงการสร้างโครงข่ายของการสำรวจด้วย DGPS

ในการศึกษานี้จะใช้วิธีการสำรวจที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีวิจัยในหัวข้อ 3.1 โดยใช้เครื่อง DGPS ของ Leica รุ่น GPS System 500 ทำการสำรวจแล้วทำการคำนวณค่าพิกัดภายหลังการสำรวจ (Post Process) ด้วยโปรแกรม Leica SKI Pro II

เนื่องจากเครื่องรับสัญญาณ DGPS ของ Leica รุ่น SR510 จะให้ผลการวัดอยู่บนระบบพิกัดที่เป็นได้ทั้งระบบพิกัดแบบภูมิศาสตร์ ซึ่งให้ค่าพิกัดเป็นองศา ลิปดา และฟิลิปดา ค่าความสูงเป็นค่าความสูงจากรูปทรงรีสมมติ (Ellipse) และค่าพิกัดแบบพิกัดฉาก (Cartesian) ที่มีการให้ค่าพิกัดเป็นค่า X Y และ Z ที่ห่างจากแกนกลางของโลก ซึ่งไม่สะดวกในการนำมาใช้งานในภาคสนาม จึงต้องทำการแปลงค่าพิกัดให้อยู่ในรูปแบบ UTM WGS1984 โซน 48 เหนือ ที่เป็นระบบพิกัดที่ใช้ในพื้นที่ศึกษา

ขั้นตอนในการแปลงค่าพิกัดจะเริ่มจากการกำหนดให้จุดที่ทำกรรังวัดอย่างน้อย 3 จุด มีค่าพิกัดในทั้งสองระบบที่เราต้องการจะแปลงค่าพิกัด เพื่อใช้หาสมการการแปลงค่าพิกัดแบบสามมิติ โดยขั้นตอนดังกล่าวทำโดยใช้โปรแกรม Leica SKI Pro II ซึ่งจะแปลงพิกัดจากระบบพิกัดภูมิศาสตร์พื้นหลักฐานแบบ WGS1984 ที่ให้ค่าความสูงอ้างอิงจาก Ellipse Height เป็น UTM Indian1975 โซน 48 เหนือ ซึ่งเป็นพิกัดทางราบจากหมุคอ้างอิงของกรมที่ดิน และค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล อ้างอิงจากหมุคอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร แล้วจึงแปลงพิกัดจาก UTM Indian1975 โซน 48 เหนือให้เป็น UTM WGS1984 โซน 48 เหนือ ด้วยโปรแกรม ArcGIS 9 โดยใช้ค่าความสูงอ้างอิงกับระดับน้ำทะเลปานกลางตามเดิม

3.4 การสร้าง DEM และ DSM และผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของความสูงของ DEM และ DSM ที่ได้

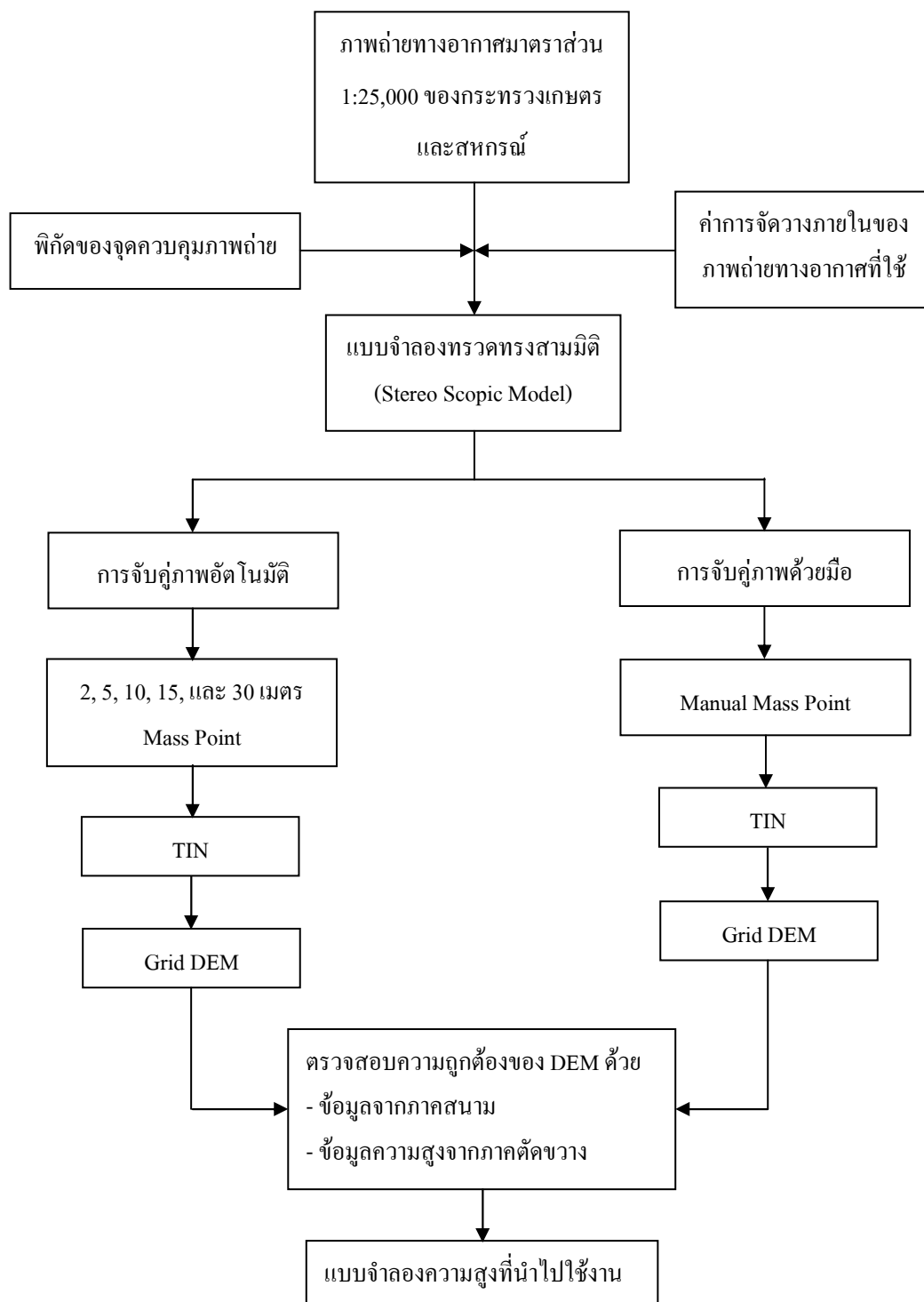
ในการศึกษาครั้งนี้ DEM (Digital Elevation Model) หมายถึง แบบจำลองความสูงเชิงเลขที่แสดงความสูงของพื้นผิวแต่ไม่แสดงความสูงของสิ่งปกคลุมดินและ DSM (Digital Surface Model) หมายถึงแบบจำลองความสูงที่รวมเอาค่าความสูงของสิ่งปกคลุมดินเข้าไปในแบบจำลองด้วย

การจับคู่ภาพด้วยมือจะพยายามเลือกตำแหน่งที่ไม่มีสิ่งปกคลุม ดังนั้นผลที่ได้จึงสะท้อนความสูงของพื้นดิน ชั้นข้อมูลความสูงที่ได้จึงเทียบได้กับ DEM ในขณะที่การจับคู่ภาพด้วยวิธีอัตโนมัติตามระยะห่างต่างๆ ของจุดภาพ จะเป็นการคัดเลือก ณ ตำแหน่งที่มีสิ่งปกคลุมดินและไม่มีสิ่งปกคลุมดิน ดังนั้น ชั้นข้อมูลความสูงที่ได้จึงเทียบได้กับ DSM

3.4.1 การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือ

ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขนั้นเป็นกระบวนการดึงเอาค่าความสูงจากแบบจำลองทรวงทรงสามมิติ (Space Forward Intersection) โดยการจับคู่วัตถุบนภาพคู่ซ้อนเพื่อหาพิกัดภาพของวัตถุบนภาพทั้งสอง แล้วทำการแก้สมการร่วมเส้น เพื่อหาค่าพิกัดและความสูงของวัตถุดังกล่าวบนพื้นโลก

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติของความละเอียดของจุดต่างกัน 5 ระดับคือ 2 เมตร 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตร และ 30 เมตร เทียบกับการจับคู่ภาพด้วยมือ เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา การจับคู่ภาพแบบต่างๆ ที่กล่าวมาจะให้ผลลัพธ์เป็นกลุ่มของจุดที่มีค่าความสูงประจำจุดทุกจุด ซึ่งต้องทำการประมาณค่าระหว่างช่วง (Interpolate) โดยการศึกษานี้จะทำการแปลงจุดที่ได้นี้ให้อยู่ในรูปของโครงข่ายสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า (Triangle Irregular Network: TIN) เพื่อให้ทุกจุดที่ได้แสดงค่าความสูงที่จุดออกมาบนแบบจำลองความสูงเชิงเลขได้ แล้วจึงทำการแปลงข้อมูลโครงข่ายสามเหลี่ยมด้านไม่เท่าที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบของราสเตอร์ ที่มีความละเอียด 0.6 เมตร ซึ่งเป็นความละเอียดของภาพถ่ายทางอากาศที่นำมาใช้งาน



ภาพที่ 3.5 แผนผังการศึกษาการสร้างพื้นผิวสามมิติเชิงเลข

ในการสร้างพื้นผิวสามมิติเชิงเลขนั้นสามารถแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่

1) Space Resection (การเล็งสกัดย้อน) (Digital Surface Modeling-DSM) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการหาค่าการจัดวางภายนอก (φ, ω, κ) ให้กับภาพถ่ายทางอากาศแต่ละภาพอาศัยการคำนวณค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายร่วมกับค่าการจัดวางภายในของกล้องถ่ายภาพ เพื่อแก้สมการร่วมเส้น ค่าการจัดวางภายในของกล้องถ่ายภาพที่ได้รับจากผู้ผลิตภาพถ่าย ประกอบด้วย ค่าผิดพลาดของจุดศูนย์กลางภาพ ค่าความยาวโฟกัสที่แท้จริงของเลนส์ถ่ายภาพ ค่าความผิดพลาดของดัชนีภาพถ่าย (Fiducial Mark) และค่าความเพี้ยนของเลนส์ตามแนวรัศมี (Lens Distortion)

ค่าการจัดวางภายนอกสามารถคำนวณได้จากการนำค่าการจัดวางภายในและค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย เข้าไปคำนวณแก้สมการร่วมเส้นเพื่อหาค่าการจัดวางภายนอกให้กับภาพถ่ายแต่ละภาพ

2) Space Forward Intersection (การเล็งสกัด) ในขั้นตอนนี้ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จะมีองค์ประกอบต่างๆ ครบถ้วนได้แก่ ค่าการจัดวางภายใน และค่าการจัดวางภายนอก สามารถสร้างแบบจำลองทรวดทรงสามมิติ (Stereo Model) ได้ โดยในขั้นนี้คู่ของภาพถ่ายจะถูกจำลองให้กลับไปสู่ตำแหน่งที่ภาพถูกถ่ายมา ส่วนที่ซ้อนทับกันของภาพถ่ายทั้งสองสามารถวัดค่าพิกัดได้อย่างแม่นยำจากแบบจำลองสามมิติดังกล่าว โดยมีข้อแม้ว่าจุดที่จะวัดค่าพิกัดจะต้องสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนบนภาพถ่ายทั้งสอง จากนั้นนำเอาพิกัดภาพจากภาพถ่ายทั้งสองเข้าสู่สมการร่วมเส้นที่ขณะนี้มียค่าการจัดวางภายในและค่าการจัดวางภายนอกเป็นค่าคงที่แล้ว จึงสามารถแก้สมการหาค่าพิกัดบนพื้นโลกของจุดที่ต้องการทราบค่าต่อไป การจับคู่ของจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดบนภาพถ่าย 2 ภาพสามารถทำได้ทั้งแบบ Manual และแบบอัตโนมัติ โดยแบบ Manual ผู้วัดจะเป็นผู้เลือกจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดบนภาพทั้งสองเองซึ่งจะใช้เวลามาก ขณะที่การจับคู่แบบอัตโนมัติสามารถทำได้โดยการสร้างหน้าต่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสขึ้นมาโดยขนาดของหน้าต่างนี้จะมีขนาดต่างๆ กัน เช่น 5×5 7×7 หรือ 9×9 จุดภาพ จากนั้นวางหน้าต่างหลักลงบนภาพที่หนึ่งบนส่วนที่มีความเปรียบต่างเพียงพอ จากนั้นให้นำหน้าต่างค้นหาวิ่งไปบนคู่ภาพในส่วนที่ภาพทับซ้อนกันตามแนว Epipolar Line เมื่อหน้าต่างค้นหาวิ่งไปบนภาพที่ 2 ก็จะทำการคำนวณค่า Correlation Coefficient ระหว่างหน้าต่างหลักที่ถูกตรึงอยู่บนภาพที่ 1 กับหน้าต่างค้นหาวิ่งบนภาพที่ 2 จุดที่ค่า Correlation Coefficient มีค่าสูงก็จะแสดงถึงความเป็นจุดเดียวกันบนภาพทั้งสองจากนั้นจึงนำเอาพิกัดภาพไปใช้แก้สมการร่วมเส้นเพื่อหาค่าพิกัดสามมิติตรงจุดที่จับคู่ภาพได้ดังกล่าว

3) การประมาณค่าในช่วงของข้อมูลความสูงที่ได้ จากกลุ่มของจุดความสูงที่ได้จากสถานีปฏิบัติการรังวัดภาพถ่ายด้วยระบบดิจิทัล (Digital Photogrammetric Workstation) จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ TIN เพื่อให้ค่าความสูงที่จุดสำรวจไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการ

ประมาณค่าในช่วง (Tor, 2002) แล้วแปลงข้อมูล TIN ที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบของ Raster ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.6 เมตรอีกครั้งเพื่อนำไปใช้สร้างเส้นชั้นความสูง และตัดแก้ภาพถ่ายออร์โธต่อไป

การศึกษานี้มุ่งศึกษาความแม่นยำของพื้นผิวที่สร้างขึ้นจากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติเทียบกับการจับคู่ภาพด้วยมือว่าแบบจำลองพื้นผิวใดจะมีความแม่นยำสูงกว่า โดยทำการเปรียบเทียบค่าความสูงของแบบจำลองพื้นผิวทั้งสองเทียบกับจุดตรวจสอบที่ได้ค่าพิกัดจากการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องสำรวจ

3.4.2 การสร้างข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข

เมื่อได้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขมาแล้ว ก็จะทำการสร้างข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแบบจำลองความสูงเชิงเลขดังกล่าว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ง่ายต่อการใช้งานในภาคสนามต่อไป โดยขั้นตอนการสร้างเส้นชั้นความสูงจะทำในโปรแกรม ArcGIS 9 และกำหนดให้มีเส้นชั้นความสูงทุกๆ 10 เมตร ซึ่งเป็นระยะห่างของเส้นชั้นความสูงที่เหมาะสมกับแผนที่มาตรฐานมาตราส่วน 1:10,000 (วิชัย เชียงวิรัช, 2549)

3.4.3 การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของความสูงระหว่างแบบจำลองความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ (Grid DSM) และการจับคู่ภาพด้วยมือ (Grid DEM)

ในขั้นของการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลใน 2 ส่วนด้วยกันคือ เปรียบเทียบความถูกต้องของความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่สร้างด้วยวิธีการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ กับวิธีจับคู่ภาพด้วยมือ และเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่สร้างจากภาพถ่ายออร์โธกับชั้นข้อมูลที่สร้างจากภาพถ่ายทางอากาศที่ถูกปรับแก้ด้วยสมการ โพลีโนเมียล

1) การเปรียบเทียบความสูงกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องสำรวจ ขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงความถูกต้องของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจจุดตรวจสอบด้วยกล้องระดับ ซึ่งจะใช้จุดตรวจสอบจุดเดียวกันกับการตรวจสอบความถูกต้องของการรังวัดด้วย DGPS ซึ่งแบ่งพื้นผิวที่จะทำการตรวจสอบออกเป็น 2 ประเภทคือ จุดตรวจสอบบนพื้นราบจำนวน 20 จุด และจุดตรวจสอบบนพื้นผิวที่ต่างระดับนับพลันจำนวน 19 จุด เพื่อหาวิธีการจับคู่ภาพที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขต่อไป

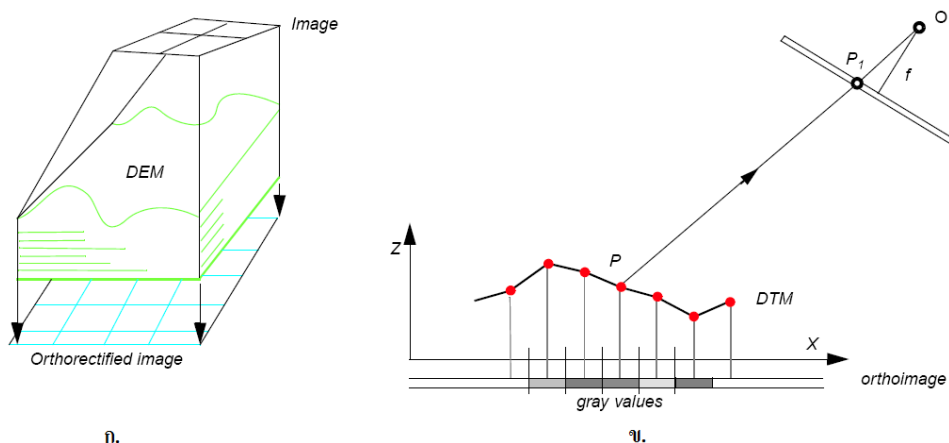
2) การเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยภาพตัดขวาง สำหรับการเปรียบเทียบด้วยภาพตัดขวาง จะเป็นการเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขในบริเวณที่ไม่ได้ทำการตรวจสอบในภาคสนาม โดยจะแบ่งรูปแบบสิ่งปกคลุมพื้นผิวออกเป็น 3 แบบได้แก่ พื้นที่อาคารติดต่อกับลานโล่ง พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนระดับชัดเจน และพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยต้นไม้สูง เพื่อที่จะเปรียบเทียบรูปแบบของภาคตัดขวางที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเลือกวิธีการจับคู่ภาพที่เหมาะสมในการใช้งานต่อไป

3.5 การตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ และแบบโพลีโนเมียล และผลการเปรียบเทียบ

3.5.1 การตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ และแบบโพลีโนเมียล

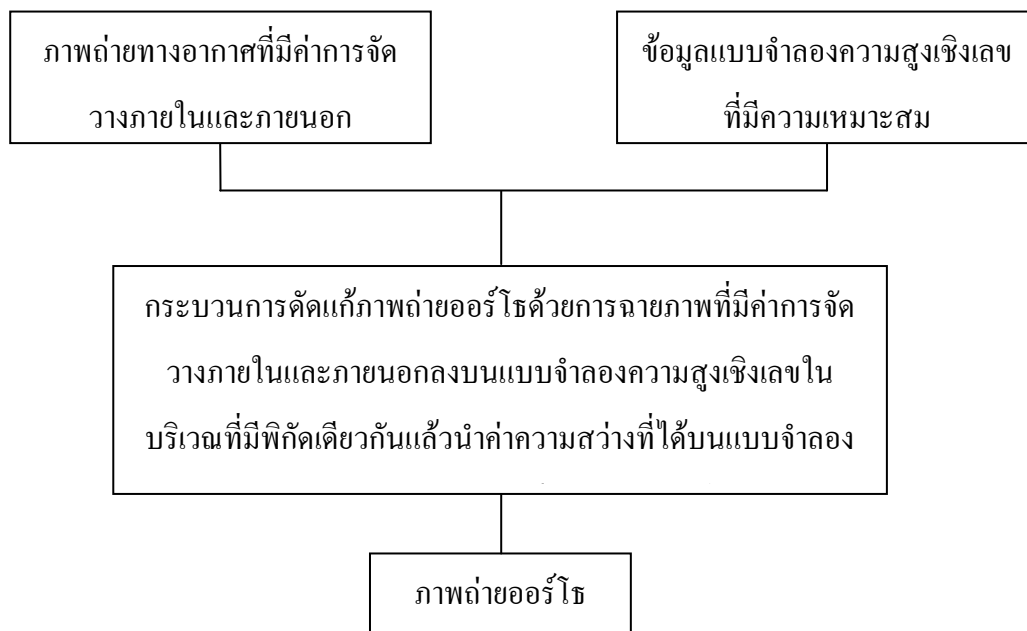
1) การตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ เนื่องจากภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากระบวนการถ่ายภาพโดยตรง ภาพจะรวมเอาความบิดเบือนต่างๆ อันได้แก่ ความคลาดเชิงตำแหน่งของเลนส์ ความเอียงขณะถ่ายภาพของกล้องถ่ายภาพ รวมถึงความสูงต่างของลักษณะภูมิประเทศที่ทำให้มาตราส่วนจริงของวัตถุในภาพไม่เท่ากัน เป็นเหตุผลที่ไม่สามารถนำเอาภาพถ่ายทางอากาศมาใช้เป็นแผนที่ได้โดยตรง กระบวนการตัดแก้ภาพถ่ายออร์โธเป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดความบิดเบือนต่างๆ ให้หมดไปจากภาพถ่ายทางอากาศ ทำให้ภาพถ่ายที่ได้มีมาตราส่วนเดียวกันตลอดทั้งภาพและสามารถต่อกันได้สนิท สามารถซ้อนข้อมูลเส้นชั้นความสูงลงไปบนภาพได้อย่างแนบเนียน โดยภาพถ่ายทางอากาศที่ได้รับการปรับแก้จะเป็นภาพที่เสมือนว่าทุกจุดภาพถูกมองลงมาตั้งฉากกับผิวโลก (Orthogonal)

จากภาพที่ 3.6ก Leica Geosystems (n.d.) กล่าวถึงการสร้างภาพถ่ายออร์โธว่าเป็นการนำเอาภาพถ่ายทางอากาศกลับไปสู่ตำแหน่งที่ภาพถูกถ่ายมา ให้มีความถูกต้องทั้งตำแหน่งทางราบ (X, Y) ค่าความสูง (Z) มีการใช้การเอียงของภาพถ่าย (φ , ω , κ) ในการฉายภาพดังกล่าวลงบนแบบจำลองพื้นผิวสามมิติ (DSM) จากนั้นถ่ายค่าความสว่าง (Gray Values) ที่ปรากฏบนแบบจำลองสามมิติลงบนระนาบราบอีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 3.6 ก. แสดงกระบวนการสร้างภาพถ่ายออร์โธจากภาพถ่ายร่วมกับแบบจำลองพื้นผิวแล้วฉายลงบนระนาบภาพ ข. แสดงการได้มาของค่าการสะท้อน ณ จุด P บนภาพถ่ายออร์โธ (Leica Geosystems, n.d.)

ในการศึกษานี้จะสกัดภาพถ่ายออร์โธด้วยภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:25,000 ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ได้ข้อมูลการจัดวางภายในจากผู้ผลิตข้อมูล และข้อมูลการจัดวางภายนอกจากการเล็งสกัดย้อน (Space Resection) และแบบจำลองความสูงเชิงเลขได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือ ซึ่งกระบวนการสร้างภาพถ่ายออร์โธจะใช้องค์ประกอบ 3 อย่างได้แก่ ภาพถ่ายทางอากาศ แบบจำลองพื้นผิวสามมิติ และค่าการจัดวางภาพถ่าย ขั้นตอนของการสร้างภาพถ่ายออร์โธแสดงได้ดังภาพที่ 3.7 โดยในหัวข้อนี้ผู้ศึกษามุ่งศึกษาความแม่นยำของภาพถ่ายออร์โธที่ได้เมื่อเทียบกับการปรับแก้ค่าพิกัดแบบแปลงด้วยสมการหลายตัวแปร โดยเปรียบเทียบค่าความถูกต้องกับพิกัดของจุดตรวจสอบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

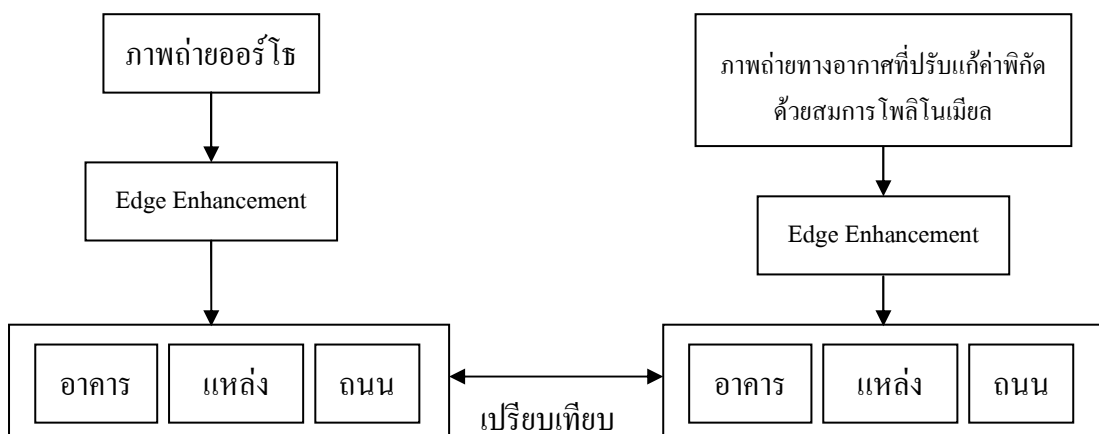


ภาพที่ 3.7 แผนผังการสร้างภาพถ่ายออร์โธ

2) การตัดแก้ภาพถ่ายทางอากาศด้วยสมการโพลีโนเมียล ขั้นตอนนี้เป็นการแปลงพิกัดของภาพถ่ายทางอากาศ ให้มีค่าตามจุดควบคุมภาพถ่ายที่ใช้ เพื่อที่จะนำภาพที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าพิกัดภาพถ่ายทางอากาศ ด้วยกระบวนการออร์โธโฟโต โดยกระบวนการนี้จะเริ่มจากการนำเอาพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายมาทำการหาค่าพิกัดแก้ภาพถ่ายทางอากาศ ด้วยโปรแกรม ERDAS IMAGINE โดยกำหนดให้มีการปรับแก้ด้วยสมการหลายตัวแปรลำดับที่สอง (Second Order Polynomial) ที่ได้จากค่าพิกัดของจุดควบคุมทั้งหมด 11 จุด

3.5.2 การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบระหว่างภาพถ่ายออร์โธกับภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล

ในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้ระหว่างภาพถ่ายออร์โธ กับภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยพิกัดจาก GCP เพียงอย่างเดียว โดยเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS บนจุดควบคุมภาพถ่ายที่เป็นข้อมูลต้นทางในการปรับแก้ค่าพิกัดให้กับภาพทั้งสองแบบทั้งสองแบบ (ภาพที่ 3.8)



ภาพที่ 3.8 แผนผังการศึกษาการสร้างชั้นข้อมูลจากภาพถ่ายออร์โธ

3.6 การสร้างและการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล

3.6.1 การสร้างชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล

การสร้างชั้นข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ จะทำบนภาพออร์โธที่สร้างขึ้นและภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ค่าพิกัดด้วยสมการโพลีโนเมียล เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของข้อมูลที่ได้จากภาพทั้งสองแบบ โดยชั้นข้อมูลที่จะสร้างขึ้นประกอบด้วย ถนน แหล่งน้ำ และอาคาร ซึ่งชั้นข้อมูลทั้งหมดจะสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม ArcGIS 9 โดยให้ภาพถ่ายทั้งสองแบบเป็นพื้นหลัง และเพื่อเป็นการลดความผิดพลาดจากการลากเส้นเพื่อสร้างชั้นข้อมูล ซึ่งมาจากภาพพื้นหลัง จึงทำการเน้นภาพพื้นหลังด้วยตะแกรงกรอง Edge Enhancement ขนาด 7x7 ซึ่งทำในโปรแกรม ERDAS IMAGINE ด้วยฟังก์ชัน Convolution เพื่อให้ได้ภาพที่มีขอบเขตของอาคาร ถนน และแหล่งน้ำชัดเจนยิ่งขึ้น

3.6.2 การเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบชั้นข้อมูล อาคาร แหล่งน้ำ และถนน ที่สร้างจากข้อมูลภาพถ่ายออร์โธ กับภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล โดยชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพทั้งสองจะสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม ArcGIS 9 โดยใช้ภาพทั้งสองแบบเป็นพื้นหลัง แล้วทำการเปรียบเทียบขนาด ทิศทางการวางตัว และรูปร่างของวัตถุเป็นหลัก

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาและการอภิปรายผลจะกล่าวถึงหัวข้อหลัก 6 ข้อด้วยกันคือ 1) การคัดเลือกวิธีการรังวัดด้วย DGPS ที่ถูกต้องที่สุด 2) ผลการคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่าย 3) ผลการสำรวจค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายด้วย DGPS และการแปลงระบบพิกัด 4) ผลการสร้าง DEM และ DSM และผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของความสูงของ DEM และ DSM ที่ได้ 5) ผลการตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ และแบบโพลีโนเมียล และผลการเปรียบเทียบและ 6) ผลการสร้างและการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล โดยในส่วนของ การเปรียบเทียบความถูกต้องของ DGPS จะกล่าวถึงผลการตรวจสอบความถูกต้องจากวิธีการวัด 3 แบบคือ การวัดแบบสถิติอย่างรวดเร็ว การวัดแบบจลน์ และการวัดแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ บนพื้นที่ราบและพื้นที่ต่างระดับฉับพลัน สำหรับการศึกษเปรียบเทียบต่างๆ จะเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องของความสูงระหว่างการจับคู่ภาพด้วยมือ (DSM1) และการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ (DSM2) การเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพิกัดระหว่างภาพถ่ายออร์โธกับภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยพิกัดเพียงอย่างเดียว GCP และการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยพิกัดจาก GCP เพียงอย่างเดียว ในการเปรียบเทียบความถูกต้องจะใช้ค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งของจุดตรวจสอบที่ได้จากวิธีต่างๆ ซึ่งค่าพิกัดของจุดตรวจสอบแต่ละวิธีได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก และในภาคผนวกนี้จะมีค่าพิกัดต่างระบบที่ได้จากการใช้ DGPS ก่อนที่จะทำการแปลงเข้าสู่ระบบพิกัด WGS1984 โชน 48 เหนือ รวมอยู่ด้วย

4.1 การคัดเลือกวิธีการรังวัดด้วย DGPS ที่ถูกต้องที่สุด

การศึกษารังวัดนี้ทำการรังวัดด้วย DGPS 3 วิธีการด้วยกันคือ การรังวัดแบบสถิติอย่างรวดเร็ว การรังวัดแบบจลน์ และการรังวัดแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ ซึ่งในการตรวจสอบความถูกต้องของการรังวัดทั้ง 3 วิธีจะตรวจสอบโดยอ้างอิงจากค่าพิกัดที่สำรวจได้จากกล้องสำรวจที่อ้างอิงค่าพิกัดทางราบจากหมุดควบคุมทางราบของกรมที่ดิน และค่าพิกัดทางตั้งจากหมุดควบคุมทางตั้งของกรมแผนที่ทหาร ด้วยการสร้างจุดตรวจสอบจำนวน 39 จุด ภายในพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 ส่วนบนลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกันได้แก่ พื้นที่ราบจำนวน 20 จุด วางตัว

ตามแนวถนนบนลานกิจกรรมเวสต์เทค และพื้นที่ต่างระดับอย่างฉับพลันจำนวน 19 จุด วางอยู่บน อัจฉรรยสุรนิทัศน์ ซึ่งค่าพิกัดที่รังวัดได้และค่าทางสถิติของการรังวัดแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดด้วย DGPS แบบต่างๆ เทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากกล้องสำรวจ โดยค่าพิกัดที่แสดงเป็นค่าพิกัดที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยกล้องสำรวจ ค่า RMSE ได้จากการคำนวณโดยสมการที่ 4.1 และค่า RMSE ดังกล่าวแสดงค่าผิดพลาดของการวัดด้วย DGPS แบบต่างๆ ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร การรังวัดค่าพิกัดสามมิติด้วย DGPS พบว่าการวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็วให้ค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดในการวัดต่ำที่สุดที่ 0.06 เมตร โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) อยู่ที่ 0.028 เมตร ขณะที่การวัดแบบจลน์ทั้งสองแบบให้ค่าผิดพลาดในการวัดเฉลี่ยในระดับที่สูงกว่า 0.1 เมตร แต่มีค่า SD ที่คำนวณได้ต่ำกว่าการวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการวัดแบบจลน์ธรรมดาให้ค่า SD อยู่ที่ 0.015 เมตร ส่วนภาพที่ 4.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดแบบต่างๆ บนพื้นราบด้วยแผนภูมิ จะเห็นว่าการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็วให้ค่าพิกัดใกล้เคียงกับการรังวัดด้วยกล้องสำรวจมากที่สุดในทุกจุดตรวจสอบ เมื่อเทียบกับการรังวัดแบบอื่นๆ

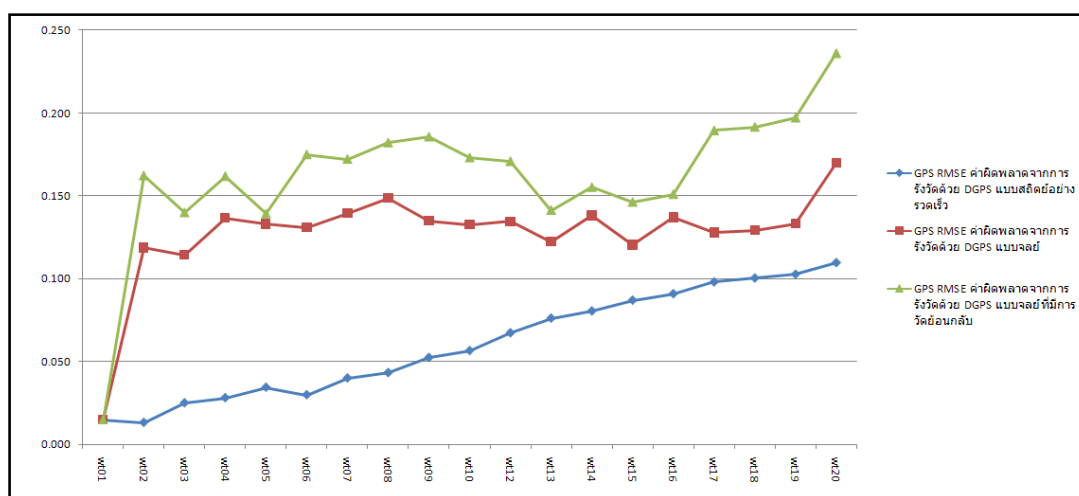
$$3D \text{ RMSE} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad \text{สมการที่ (4.1)}$$

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่า RMSE ที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าพิกัดสามมิติบนพื้นราบระหว่างการรังวัดด้วยกล้องวัดมุมและกล้องระดับกับการรังวัดด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว แบบจลน์ และแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ

จุด ตรวจสอบ	Field coordinate (Conventional survey)			GPS RMSE		
	X	Y	Z	Rapid Static	Kinematic	Kinematic Back
wt01	179691.972	1646226.881	236.385	0.015	0.015	0.015
wt02	179700.001	1646214.707	236.272	0.013	0.119	0.162
wt03	179708.065	1646202.503	236.174	0.025	0.114	0.140
wt04	179716.050	1646190.295	235.960	0.028	0.137	0.162
wt05	179724.096	1646178.094	235.744	0.034	0.133	0.139
wt06	179732.224	1646165.894	235.519	0.030	0.131	0.175
wt07	179740.289	1646153.686	235.297	0.040	0.139	0.172
wt08	179748.367	1646141.471	235.039	0.043	0.148	0.182
wt09	179756.450	1646129.261	234.821	0.052	0.135	0.186
wt10	179764.644	1646117.150	234.682	0.056	0.132	0.173

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

จุด ตรวจสอบ	Field coordinate (Conventional survey)			GPS RMSE		
	X	Y	Z	Rapid Static	Kinematic	Kinematic Back
wt12	179780.615	1646092.664	234.464	0.067	0.134	0.171
wt13	179788.731	1646080.466	234.334	0.076	0.122	0.141
wt14	179796.866	1646068.262	234.291	0.080	0.138	0.155
wt15	179804.988	1646056.049	234.189	0.087	0.120	0.146
wt17	179821.174	1646031.620	234.080	0.098	0.128	0.189
wt18	179829.339	1646019.423	234.051	0.100	0.129	0.191
wt19	179837.484	1646007.251	233.929	0.103	0.133	0.197
wt20	179845.713	1645995.091	233.757	0.110	0.170	0.236
Mean				0.060	0.127	0.163
SD				0.028	0.015	0.026



ภาพที่ 4.1 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของค่าพิกัดสามมิติที่ได้จากการรังวัดบนพื้นราบด้วย DGPS และกล้องสำรวจ

ตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงค่าผิดพลาดของความสูงที่ได้จากการรังวัดด้วย DGPS แบบต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับรังวัดด้วยกล้องระดับ โดยค่าพิกัดทางราบ (X, Y) ที่แสดงในตารางที่ 4.3 ได้จากการรังวัดด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็วจากการสำรวจพบว่าค่าความผิดพลาดของการวัดด้วย DGPS แบบจลน์ให้ค่าความถูกต้องของการวัดดีที่สุด โดยให้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด

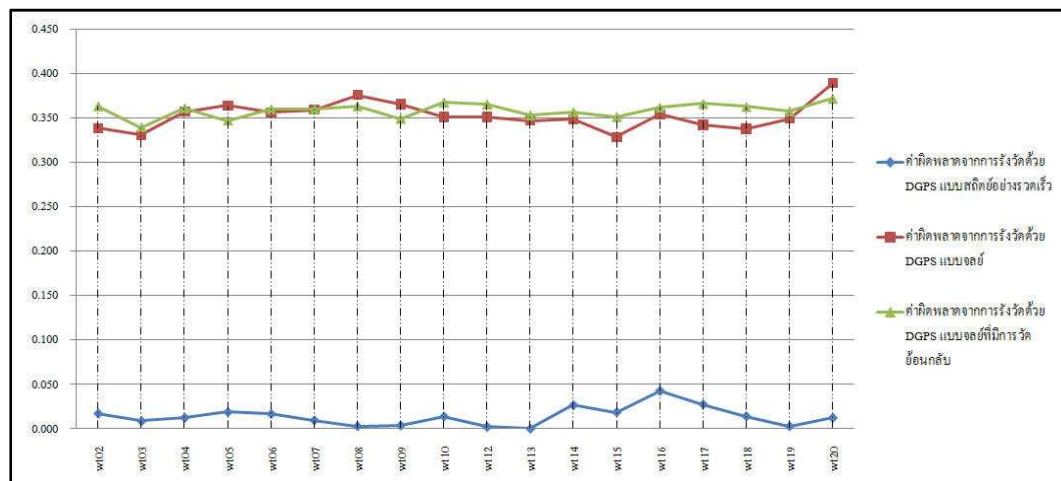
อยู่ที่ 0.01 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.006 เมตร ส่วนภาพที่ 4.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดแบบต่างๆ บนพื้นที่ต่างระดับอย่างฉับพลันด้วยแผนภูมิ จะเห็นว่าการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็วจึงค่าพิกัดใกล้เคียงกับการรังวัดด้วยกล้องสำรวจมากที่สุดในทุกจุดตรวจสอบ เมื่อเทียบกับการรังวัดแบบอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพิกัดที่รังวัดด้วย DGPS บนพื้นที่ราบและพื้นที่ต่างระดับฉับพลันพบว่า การรังวัดในพื้นที่ต่างระดับฉับพลันให้ค่าพิกัดคลาดเคลื่อนต่ำกว่าบนพื้นที่ราบเมื่อเทียบกับกล้องสำรวจ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าผิดพลาดของความสูงของ DGPS เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยกล้องระดับในจุดตรวจสอบบนพื้นราบ

จุดตรวจสอบ	ค่าผิดพลาดจากการรังวัดด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว	ค่าผิดพลาดจากการรังวัดด้วย DGPS แบบจลน์	ค่าผิดพลาดจากการรังวัดด้วย DGPS แบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ
wt02	0.017	0.338	0.363
wt03	0.009	0.331	0.339
wt04	0.013	0.357	0.361
wt05	0.019	0.364	0.347
wt06	0.017	0.356	0.360
wt07	0.010	0.359	0.360
wt08	0.003	0.376	0.363
wt09	0.004	0.365	0.349
wt10	0.014	0.351	0.367
wt12	0.002	0.351	0.365
wt13	0.000	0.347	0.353
wt14	0.027	0.348	0.356
wt15	0.019	0.329	0.351
wt16	0.043	0.354	0.362
wt17	0.027	0.342	0.366
wt18	0.014	0.338	0.362
wt19	0.003	0.349	0.357

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

จุด ตรวจสอบ	ค่าผิดพลาดจากการ รังวัดด้วย DGPS แบบ สถิตอย่างรวดเร็ว	ค่าผิดพลาดจากการ รังวัดด้วย DGPS แบบ จลน์	ค่าผิดพลาดจากการ รังวัดด้วย DGPS แบบ จลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ
wt20	0.012	0.389	0.372
Mean	0.014	0.352	0.358
SD	0.008	0.011	0.006



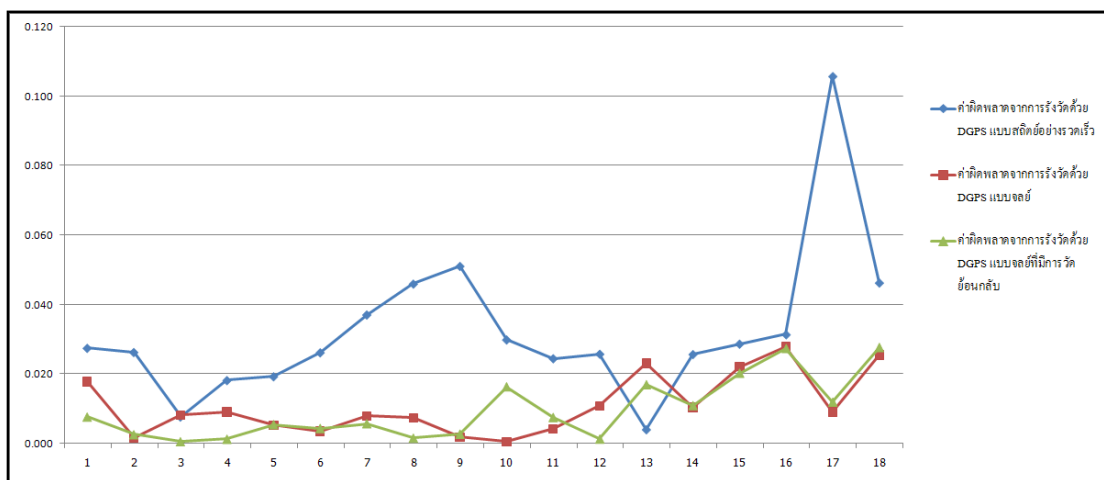
ภาพที่ 4.2 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของค่าความสูงที่ได้จากการรังวัดด้วย DGPS แบบต่างๆ บนพื้นที่ราบกับการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องระดับ

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการรังวัดด้วยกล้องระดับกับค่าระดับที่ได้จากการรังวัดด้วย DGPS แบบต่างๆ บนพื้นที่ต่างระดับอย่างฉับพลัน

ID	X	Y	Field Z	R. Static Error	Kinematic Error	Kinematic back Error
am02	180190.851	1645970.827	235.957	0.027	0.018	0.008
am03	180189.937	1645971.443	236.357	0.026	0.002	0.003
am04	180189.101	1645972.011	236.760	0.008	0.008	0.001
am05	180188.285	1645972.517	237.161	0.018	0.009	0.001
am06	180187.181	1645973.227	237.558	0.019	0.005	0.005

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ID	X	Y	Field Z	R. Static Error	Kinematic Error	Kinematic back Error
am07	180186.039	1645974.067	237.948	0.026	0.004	0.004
am08	180185.162	1645974.592	238.352	0.037	0.008	0.006
am09	180184.532	1645975.530	238.757	0.046	0.007	0.002
am10	180183.677	1645976.102	239.152	0.051	0.002	0.003
am11	180182.731	1645976.713	239.551	0.030	0.001	0.016
am12	180182.024	1645977.126	239.958	0.024	0.004	0.008
am13	180181.134	1645977.697	240.350	0.026	0.011	0.001
am14	180180.143	1645978.338	240.748	0.004	0.023	0.017
am15	180179.038	1645979.037	241.148	0.026	0.010	0.011
am16	180178.085	1645979.716	241.552	0.029	0.022	0.020
am17	180177.099	1645980.456	241.947	0.031	0.028	0.027
am18	180176.310	1645981.327	242.342	0.106	0.009	0.012
am19	180175.368	1645981.920	242.753	0.046	0.025	0.028
Mean				0.031	0.011	0.010
SD				0.013	0.006	0.007



ภาพที่ 4.3 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของความสูงที่ได้จากการรังวัดบนพื้นที่ต่างระดับอย่างฉับพลันด้วย DGPS และกล้องสำรวจ

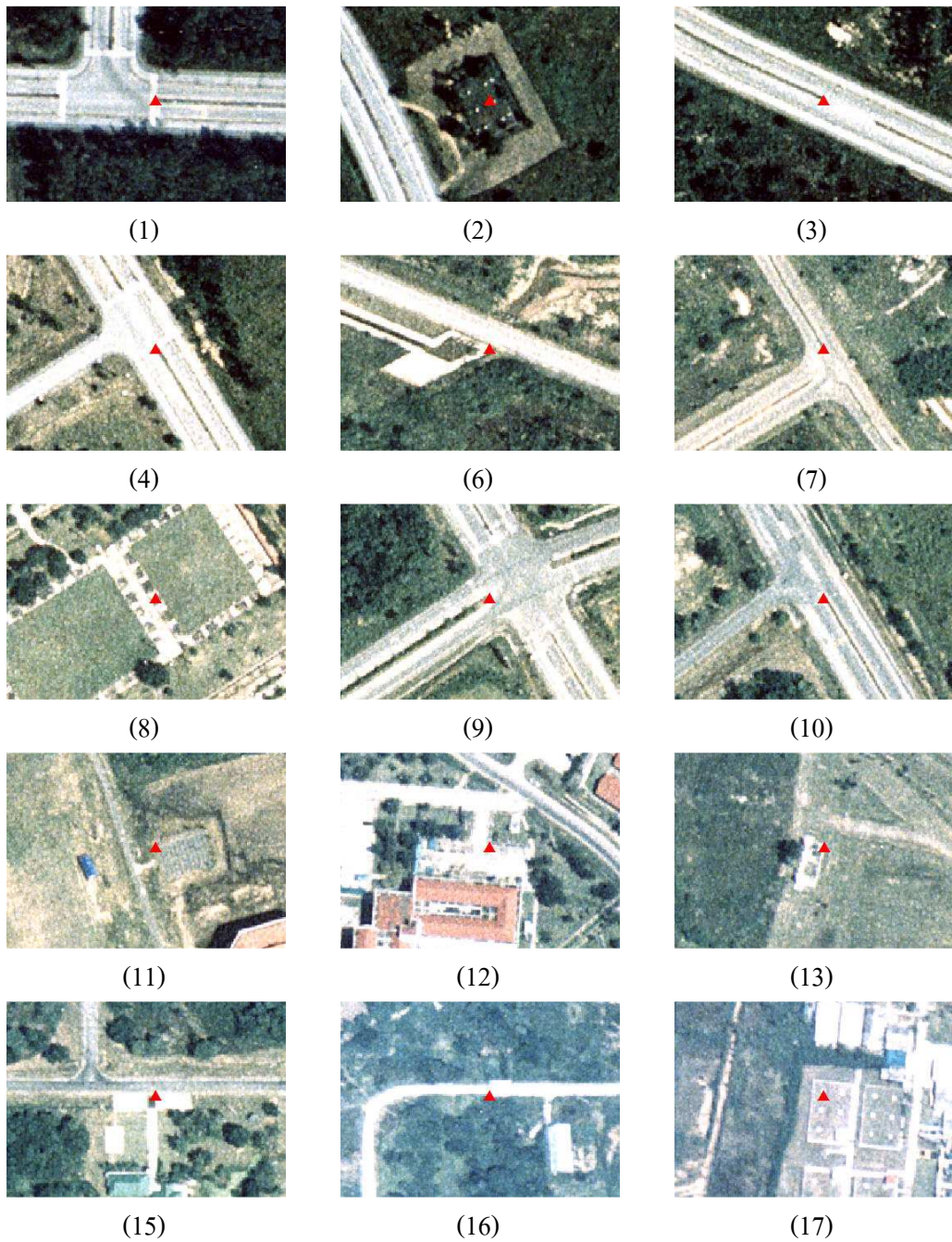
จากผลการเปรียบเทียบพบว่า การรังวัดด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็วให้ค่าความผิดพลาดจากการรังวัดต่ำที่สุด สังเกตได้จากภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.2 ค่าผิดพลาดจากการรังวัดด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็วให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดบนพื้นที่ทั้งสองประเภท และสังเกตจากภาพที่ 4.3 ถึงแม้ว่าการรังวัดด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็วจะให้ค่าผิดพลาดมากกว่าวิธีอื่น แต่เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการรังวัดด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็วมีค่าต่ำกว่าแบบจลน์และแบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับอยู่ที่ 0.067 เมตรและ 0.063 เมตรในภาพที่ 4.1 และ 0.338 เมตรและ 0.344 เมตรในภาพที่ 4.2 และมีค่าความผิดพลาดสูงกว่าทั้งสองแบบอยู่ที่ 0.022 เมตรและ 0.021 ในภาพที่ 4.3 จึงสามารถสรุปได้ว่าการรังวัดด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็วให้ค่าความผิดพลาดโดยรวมต่ำที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการรังวัดดังกล่าว ในการสำรวจค่าพิกัดให้กับจุดควบคุมภาพถ่ายสำหรับงานโฟโตแกรมเมตรีต่อไป

4.2 ผลการคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่าย

ในการคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่าย เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขนั้น จะต้องเป็นจุดที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนบนภาพถ่ายทางอากาศทั้งสองภาพคู่ซ้อน สามารถเข้าถึงได้สะดวกบนพื้นดิน และมีค่า Cut of Angle ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดความผิดพลาดของคลื่นหลายวิถี (Multipath) ที่จะเข้าสู่เครื่องรับจากสิ่งแวดล้อมในการรังวัดที่ไม่เหมาะสม โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่ายทั้งหมด 11 จุดกระจายตัวในพื้นที่ศึกษาดังแสดงในภาพ 4.4 และภาพที่ 4.5



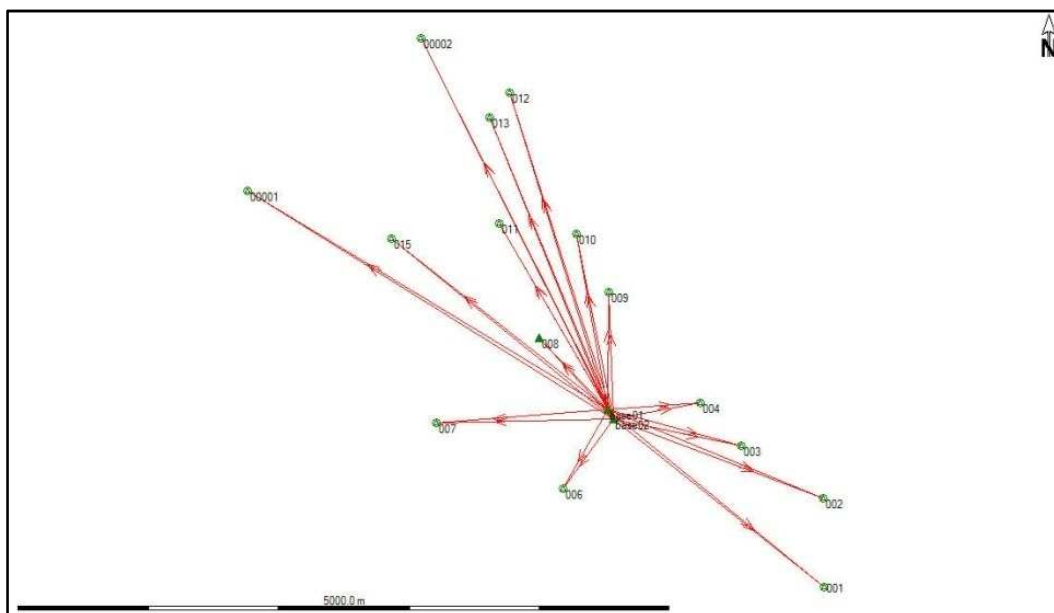
ภาพที่ 4.4 ภาพแสดงการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายที่เลือกไว้สำหรับการรังวัดด้วย DGPS



ภาพที่ 4.5 แสดงจุดควบคุมภาพถ่ายที่ทำการสำรวจ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยที่หมายเลขในวงเล็บเป็นหมายเลขประจำจุดควบคุมภาพถ่ายที่ทำการคัดเลือก

4.3 ผลการสำรวจค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายด้วย DGPS และการแปลงระบบพิกัด

หลังจากคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่ายทั้ง 11 จุดแล้ว จึงทำการรังวัดด้วย DGPS ของ Leica รุ่น GPS System SR500 โดยใช้วิธีการสำรวจแบบสถิตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นวิธีวัดที่ให้ค่าพิกัดใกล้เคียงกับกล้องสำรวจมากที่สุด ซึ่งทำการสำรวจโดยใช้ค่าพิกัดเริ่มต้นจากหมุดหลักฐานที่สร้างขึ้นและจุดที่ทราบค่าพิกัดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี บริเวณสถานกิจกรรมเวสต์เทค และบริเวณอาคารบรรณสาร ในการสำรวจจะทำการสำรวจแต่ละจุด จุดละ 2 ครั้ง จากจุดควบคุมหลักต่างกัน ใช้เวลาสำรวจจุดละ 10 นาที โดยให้เครื่องรับ รับสัญญาณดาวเทียมทุกๆ 2 วินาที หลังจากสำรวจเสร็จแล้วจะเกิดเป็น โครงข่ายตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายภายในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 4.6 โดยจุด base01 จุด base02 และ จุด 008 คือจุดควบคุมหลักที่ทราบค่าพิกัด ขณะที่จุดที่เหลือคือจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด เส้นที่ชี้ออกจากจุดควบคุมแสดงเส้นฐานของการรังวัดด้วย DGPS โดยที่หัวลูกศรจะชี้ออกจากจุดควบคุมหลักไปยังจุดสำรวจที่ลูกศรชี้ไป จะสังเกตได้ว่าจุดสำรวจแต่ละจุดจะถูกรังวัด 2 ครั้ง จากจุดควบคุมคนละจุด เพื่อหาค่าความผิดพลาดระหว่างกันหรือ Gross Error (Leica Geosystem, n.d.)



ภาพที่ 4.6 แสดงโครงข่ายตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายภายในพื้นที่ศึกษาที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองทรวดทรงสามมิติ (โครงข่ายตำแหน่งของจุดที่แสดงในโปรแกรม SKI Pro II)

ในการรังวัดด้วย DGPS Leica GPS system 500 รุ่น SR510 จะให้ค่าพิกัดจากเครื่องวัดในรูปแบบ Geographic Coordinate ที่มีพื้นฐานเป็น WGS1984 และความสูงเป็น Ellipse Height หรือเป็นระบบพิกัดแบบ Cartesian เท่านั้น (ดูในภาคผนวก) ซึ่งแตกต่างจากค่าที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงทำการแปลงค่าพิกัดดังกล่าวให้อยู่ในระบบ UTM WGS1984 โชน 48 เหนือ ด้วยโปรแกรม SKI Pro II ร่วมกับ ArcGIS 9 ผลที่ได้จากการแปลงค่าพิกัดแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายด้วย DGPS แบบสถิติอย่างรวดเร็ว ซึ่งผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรม SKI Pro II ร่วมกับ ArcGIS 9 มีระบบพิกัดแบบ UTM WGS1984 โชน 48 เหนือ

ID	X	Y	Z
1	181235.461	1645268.634	259.632
2	181226.508	1645948.750	263.891
3	180595.141	1646347.626	248.591
4	180287.138	1646676.087	254.027
6	179232.539	1646018.481	231.123
7	178259.653	1646520.456	229.890
8	179049.338	1647176.218	239.380
9	179580.301	1647525.115	250.842
10	179330.114	1647970.898	241.257
11	178740.730	1648053.440	230.926
12	178820.989	1649054.227	239.104
13	178667.808	1648864.120	234.983
15	177916.156	1647935.956	221.261
16	176808.539	1648295.682	212.592
17	178145.116	1649467.048	232.063

4.4 ผลการสร้าง DEM และ DSM และผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของความสูงของ DEM และ DSM ที่ได้

4.4.1 การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือ

จากแบบจำลองทรวดทรงสามมิติที่ได้หลังจากทำการวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายแล้ว (จุดควบคุมหลัก) จะเข้าสู่กระบวนการโฟโตแกรมเมตรีเพื่อที่จะให้ค่าพิกัดแก่จุดควบคุมภาพถ่ายและขยายจุดควบคุมภาพถ่ายออกไปเป็นจุดโยง (Tie Point Generation) ซึ่งในขั้นตอนนี้เมื่อให้ค่าพิกัดแก่จุดควบคุมภาพถ่ายร่วมกับภาพถ่ายที่มีค่าการจัดวางภายในเรียบร้อยแล้ว กระบวนการเสิร์ชสก็ดย้อนจะคำนวณแก้สมการร่วมเส้น เพื่อหาค่าการจัดวางภายนอกให้กับภาพถ่ายทางอากาศแต่ละภาพ โดยค่าการจัดวางภายนอกที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 และการกระจายตัวของจุดควบคุมหลักและจุดโยงแสดงในภาพที่ 4.7

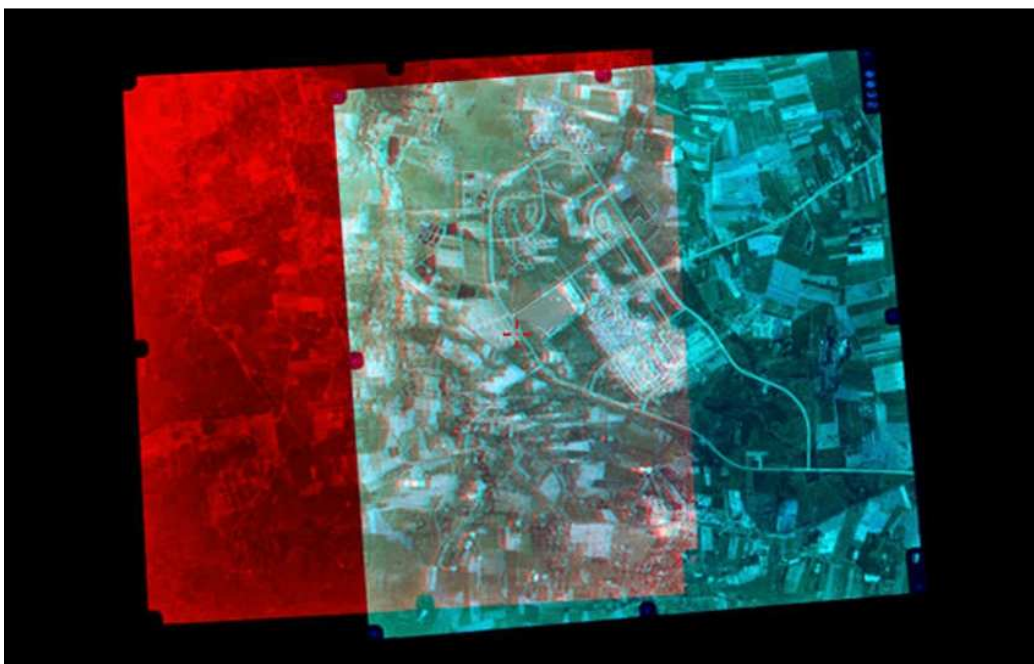
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการจัดวางภายนอกของภาพถ่ายทางอากาศแต่ละภาพ

Image	X_0	Y_0	Z_0	Omega	Phi	Kappa
73103	181552.484	1646866.437	4328.817	0.275	0.201	-178.438
73104	179222.810	1646878.822	4327.973	-1.180	0.163	-176.847
73105	176893.860	1646942.655	4326.952	-0.481	0.182	-178.414

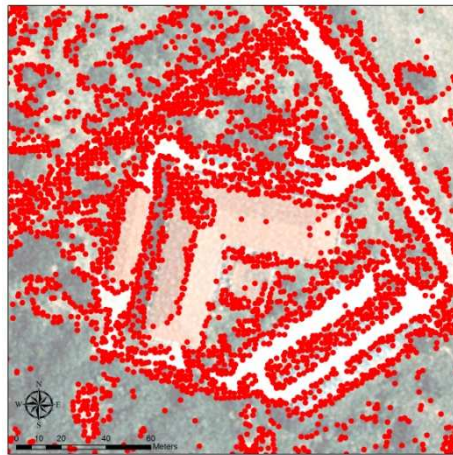


ภาพที่ 4.7 แสดงจุดโยงหรือ Tie Point (□) จำนวน 134 จุด ที่ขยายออกไปจากจุดควบคุมหลัก (Δ)

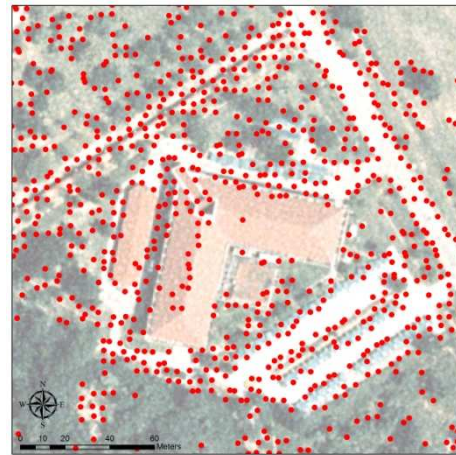
จากแบบจำลองทรวดทรงสามมิติที่แสดงในภาพที่ 4.8 สามารถเลือกจับคู่ภาพเพื่อวัดพิกัดภาพของวัตถุบนภาพทั้งสอง แล้วใช้พิกัดภาพที่ได้แก้สมการร่วมเส้นหาค่าความสูงบนพื้นโลกได้ ทั้งแบบอัตโนมัติ และจับคู่ภาพด้วยมือ จำนวนจุดที่ได้จากการจับคู่ภาพตามวิธีต่างๆ ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.6 โดยภาพที่ 4.9 แสดงตัวอย่างของการกระจายตัวของจุดที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ ที่ระยะห่างของจุด 2 เมตร 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตร และ 30 เมตร และการจับคู่ภาพด้วยมือ



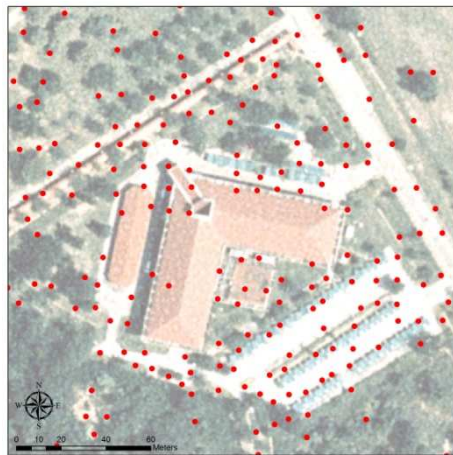
ภาพที่ 4.8 แสดงแบบจำลองทรวดทรงสามมิติที่ได้จาก Aerial Triangulation ซึ่งแสดงผลแบบ Stereo Anaglyph บริเวณที่ภาพซ้อนทับกัน สามารถมองเห็นและคำนวณหาพิกัดแบบ 3 มิติของจุดที่สามารถสังเกตได้ชัดเจนบนภาพทั้งสองได้



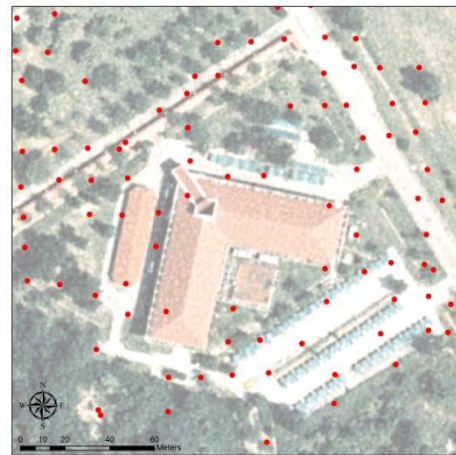
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

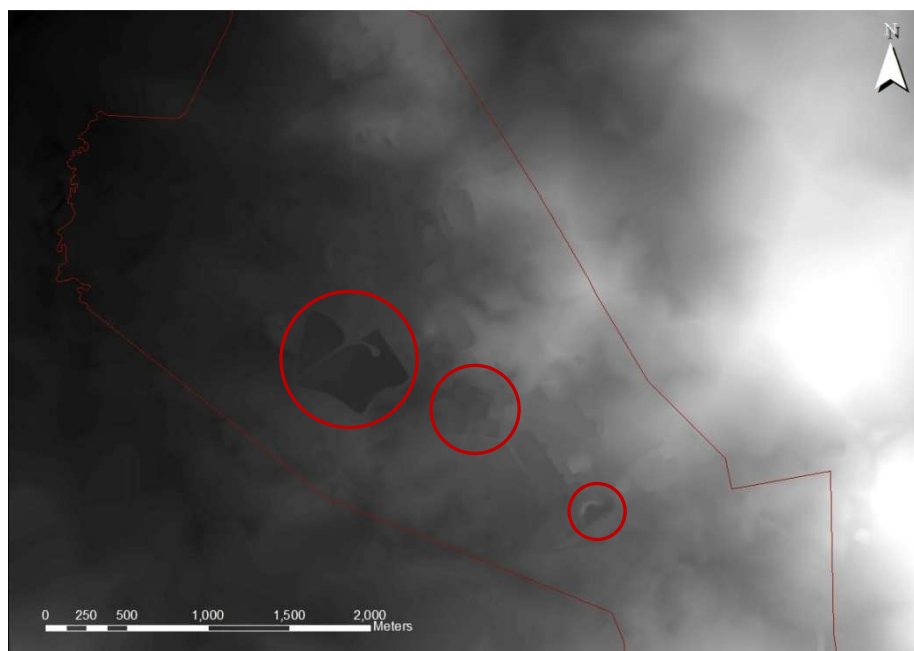
ภาพที่ 4.9 ภาพตัวอย่างกลุ่มของจุด (Mass Point) ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติภายในระยะห่าง (ก) 2 เมตร (ข) 5 เมตร (ค) 10 เมตร (ง) 15 เมตร (จ) 30 เมตร และ (ฉ) การจับคู่ภาพด้วยมือ

ตารางที่ 4.6 แสดงจำนวนจุดที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติที่ระยะห่างต่างๆ และการจับคู่ภาพด้วยมือ

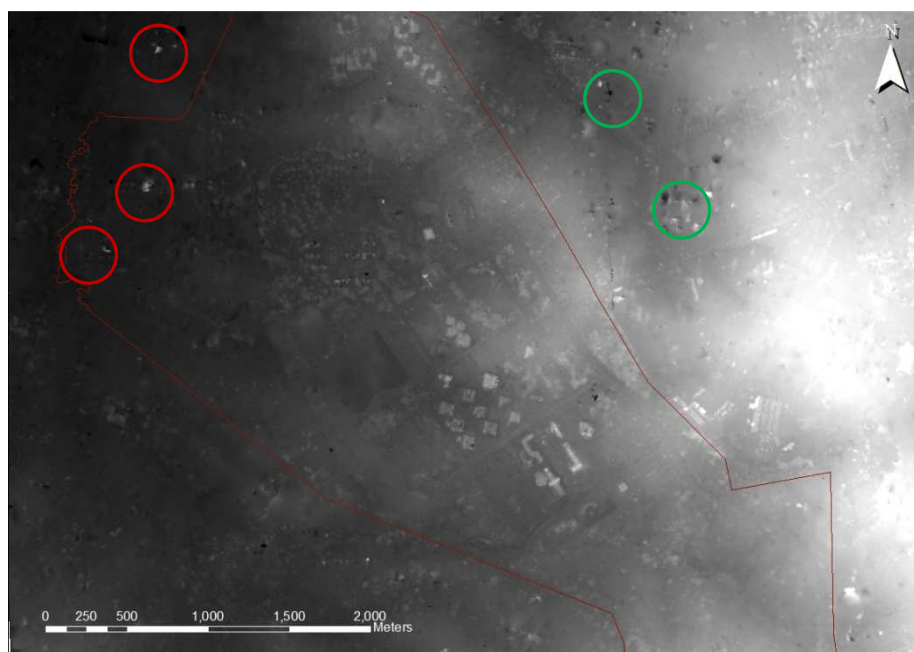
ระยะห่างของจุด	จำนวนจุดทั้งหมด
2 เมตร	1,206,121
5 เมตร	267,713
10 เมตร	66,494
15 เมตร	30,950
30 เมตร	7,869
จับคู่ด้วยมือ	6,637

จากผลการสร้างแบบจำลองความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพ 6 แบบดังแสดงในภาพที่ 4.10 ถึง 4.15 พบว่าแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากกลุ่มของจุดที่มีระยะห่าง 2 เมตร จะแสดงความแตกต่างของระดับพื้นผิวได้อย่างละเอียด แต่บ่อยครั้งจะพบจุดที่มีการจับคู่ภาพผิดพลาดทำให้ค่าความสูงที่ได้แตกต่างไปจากบริเวณข้างเคียงอย่างผิดปกติ โดยจะปรากฏเป็นหลุมลึกที่แสดงด้วยสีดำ หรือเป็นจุดสูงโดดที่แสดงด้วยสีขาว ความผิดพลาดนี้จะพบกระจายอยู่ทั่วภาพ และเมื่อลดระยะห่างของจุดลงพบว่าจุดที่มีความผิดพลาดดังกล่าวลดลงตามรายละเอียดของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ขณะที่การจับคู่ภาพด้วยมือจะสามารถให้รายละเอียดของ Grid DEM ได้ตามความต้องการโดยในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงอย่างรวดเร็วจะใช้กลุ่มของจุดจำนวนมากเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวได้อย่างสมบูรณ์และบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของความสูงน้อยก็จะใช้จำนวนกลุ่มของจุดน้อยลง ทำให้สามารถแสดงพื้นผิวได้ดีโดยไม่จำเป็นต้องมีกลุ่มของจุดจำนวนมากจนเกินไป โดยการจับคู่ภาพด้วยมือของการศึกษารุ่นนี้จะไม่นำเอาความสูงของอาคารมาใช้แสดง

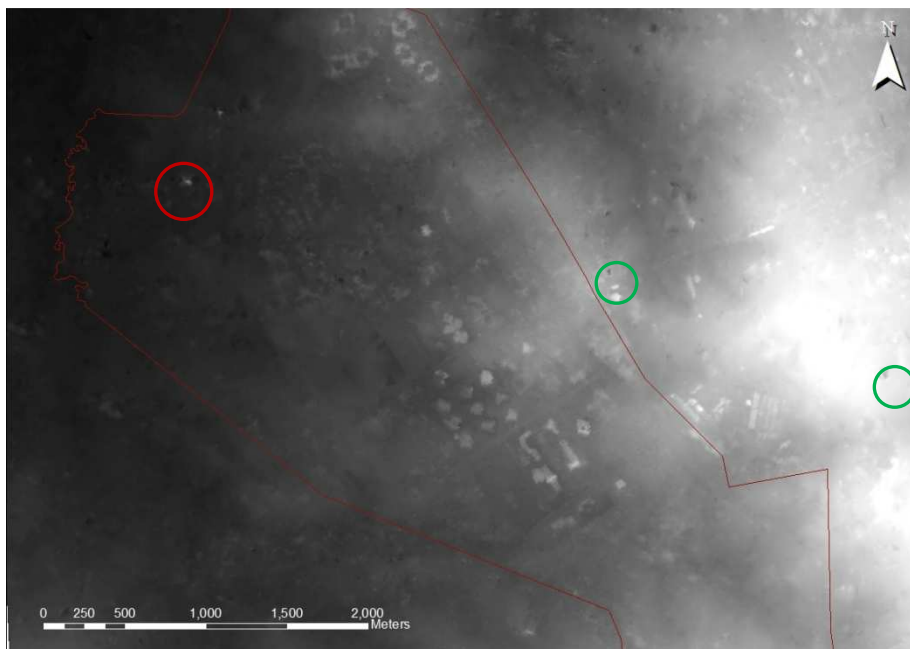
จากภาพที่ 4.10 แสดงข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือ โดยวงกลมแสดงพื้นที่แหล่งน้ำขนาดใหญ่ ที่ตั้งอาคาร และพื้นที่ต่างระดับฉาบพื้น ซึ่งการจับคู่ภาพด้วยมือสามารถให้จำนวนจุดและตำแหน่งของจุดที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ ขณะที่ภาพที่ 4.11 ถึง 4.15 ในวงกลมสีแดงแสดงจุดสูงโดดจากบริเวณโดยรอบและวงกลมสีเขียวแสดงจุดที่เป็นหลุมที่เกิดจากการจับคู่ภาพผิดพลาด



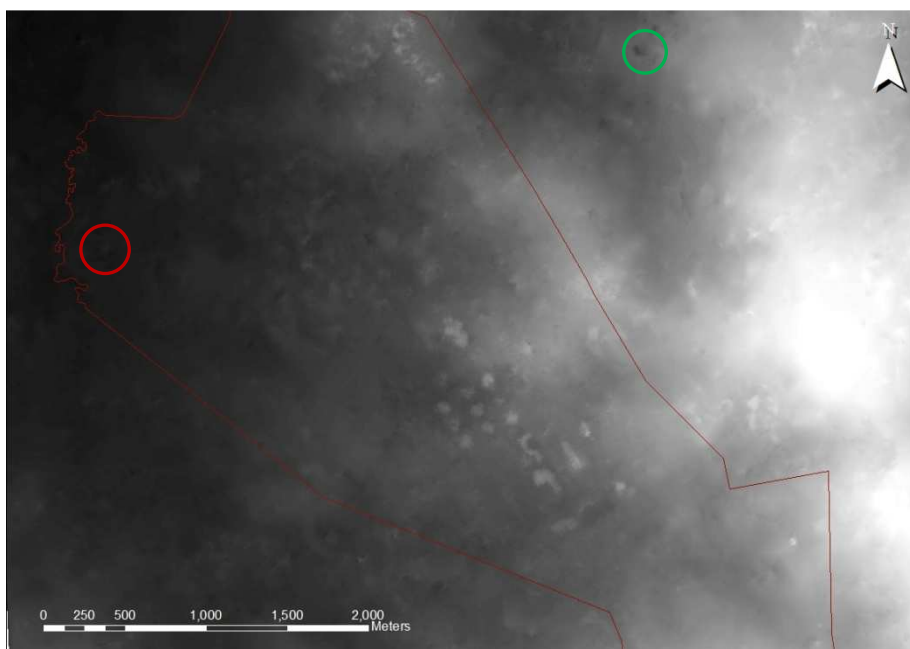
ภาพที่ 4.10 แสดงแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือ



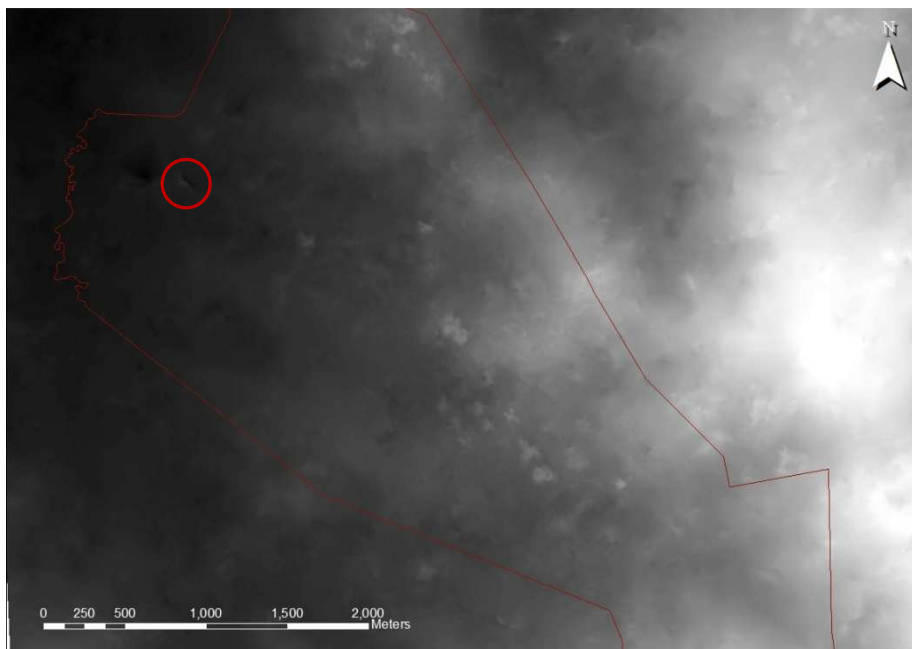
ภาพที่ 4.11 แสดงแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่างของจุด 2 เมตร



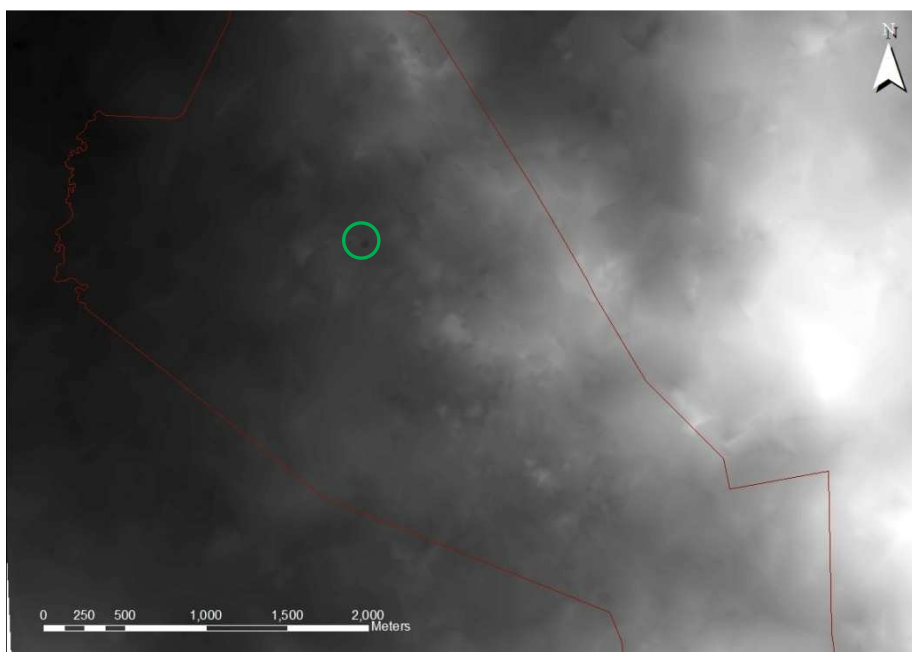
ภาพที่ 4.12 แสดงแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่างของจุด 5 เมตร



ภาพที่ 4.13 แสดงแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่างของจุด 10 เมตร



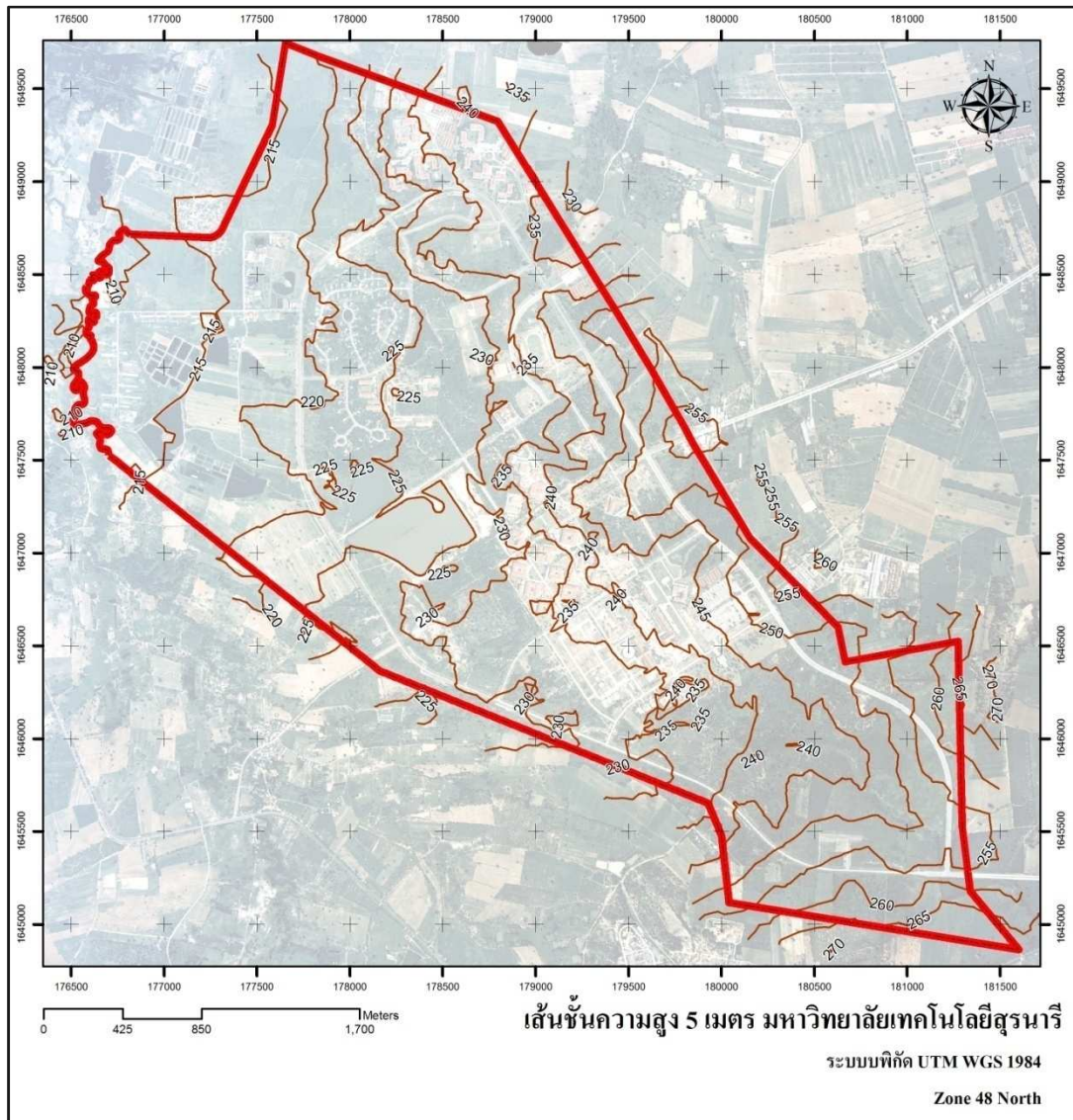
ภาพที่ 4.14 แสดงแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่างของจุด 15 เมตร



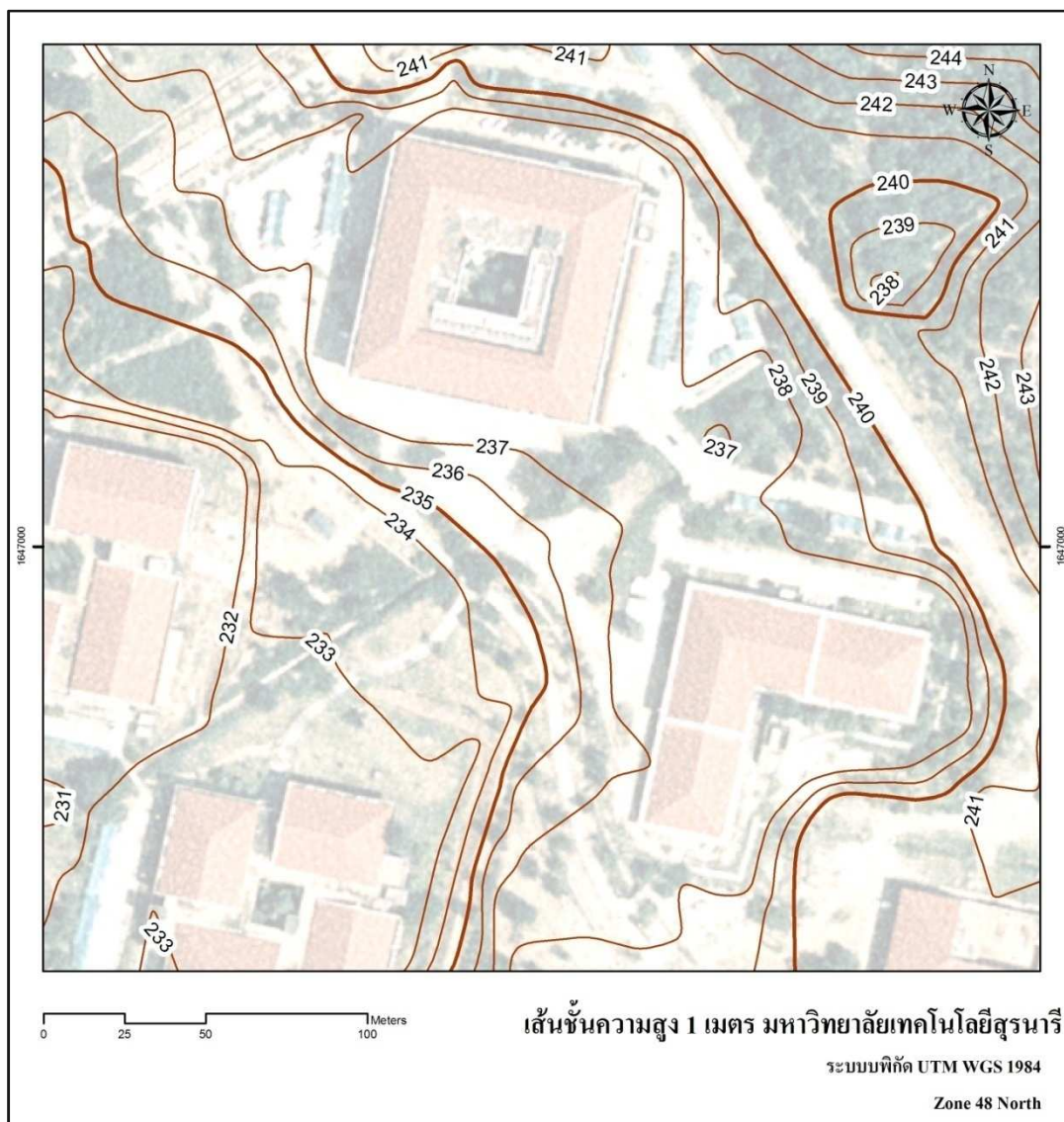
ภาพที่ 4.15 แสดงแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติที่ระยะห่างของจุด 30 เมตร

4.4.2 ผลการสร้างข้อมูลเส้นชั้นความสูงจากแบบจำลองความสูงเชิงเลข

จากแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีความแม่นยำสูงกว่าถูกนำมาสร้างเส้นชั้นความสูงเพื่อใช้งานในมาตราส่วน 1:10,000 ซึ่งมีระยะห่างระหว่างเส้นชั้นความสูงน้อยกว่า 10 เมตร ในการศึกษาจึงสร้างเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษาให้มีระยะห่างระหว่างเส้นที่ 5 เมตร ชั้นข้อมูลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.16 และ 4.17 โดยภาพที่ 4.16 แสดงเส้นชั้นความสูงที่ระยะห่างระหว่างเส้นชั้นความสูง 5 เมตรครอบคลุมพื้นที่ศึกษา และภาพที่ 4.17 แสดงภาพขยายของข้อมูลเส้นชั้นความสูงบริเวณอาคารเครื่องมือและอาคารวิชาการ โดยเส้นชั้นความสูงที่ระยะห่างระหว่างเส้นชั้นความสูง 5 เมตร แสดงด้วยเส้นหนา พบว่าพื้นที่ศึกษามีเส้นชั้นความสูงทั้งหมด 45 เส้นที่แบ่งเป็นระดับความสูง 13 ระดับตั้งแต่ 210-270 เมตร และเสริมด้วยเส้นชั้นความสูงที่ระยะห่างระหว่างเส้นชั้นความสูง 1 เมตร แสดงด้วยเส้นบางมีเส้นชั้นความสูงทั้งหมด 253 เส้นที่แบ่งเป็นระดับความสูง 64 ระดับ ตั้งแต่ 210-270 เมตร เส้นชั้นความสูงที่แสดงผ่านการ Clean และปรับเส้นให้เรียบขึ้นด้วยโปรแกรม ArcGIS 9



ภาพที่ 4.16 ภาพแสดงภาพรวมของเส้นชั้นความสูงที่มีระยะห่างระหว่างเส้นชั้นความสูง 5 เมตร



ภาพที่ 4.17 ภาพแสดงภาพขยายของเส้นชั้นความสูงที่มีระยะห่างระหว่างเส้นชั้นความสูง 5 เมตร (เส้นหนา) และ 1 เมตร (เส้นบาง)

4.4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของความสูงระหว่างแบบจำลองความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ (Grid DSM) และการจับคู่ภาพด้วยมือ (Grid DEM)

4.4.3.1 เปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ

ในขั้นตอนนี้จะศึกษาความแตกต่างของค่าระดับความสูงที่ได้จากแบบจำลองสามมิติแบบต่างได้แก่ แบบจำลองที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือ และแบบจำลองที่ได้จากการจับคู่ภาพอัตโนมัติที่ระดับระยะห่าง 2 เมตร 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตร และ 30 เมตรตามลำดับ โดยนำค่า

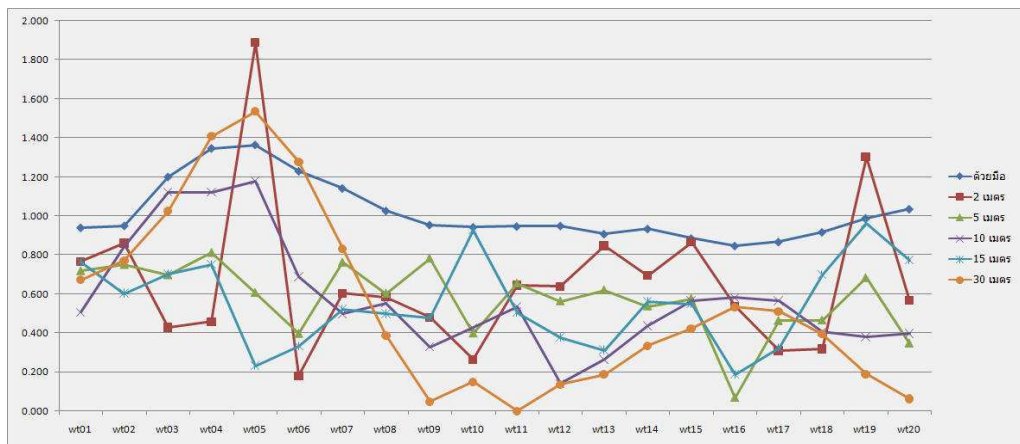
ระดับที่ได้เปรียบเทียบกับจุดที่มีการสำรวจด้วยกล้องวัดมุมและกล้องระดับ ผลการเปรียบเทียบ แสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ที่ได้จากการจับคู่ ภาพแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยกล้องสำรวจบนจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ

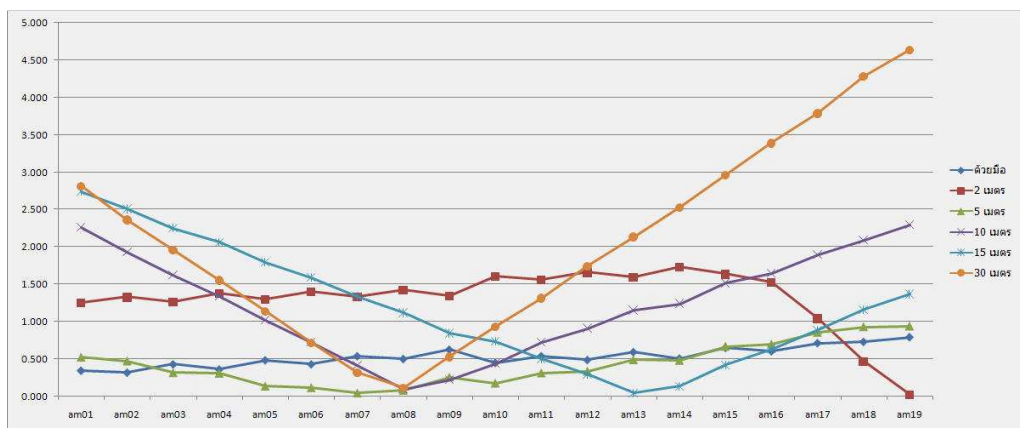
ID	manual	2 meter	5 meter	10 meter	15 meter	30 meter
wt01	0.939	0.765	0.719	0.506	0.763	0.673
wt02	0.949	0.859	0.751	0.841	0.603	0.771
wt03	1.199	0.428	0.698	1.122	0.700	1.026
wt04	1.345	0.458	0.813	1.122	0.751	1.407
wt05	1.363	1.888	0.607	1.179	0.230	1.535
wt06	1.228	0.180	0.397	0.688	0.331	1.278
wt07	1.140	0.603	0.763	0.497	0.522	0.833
wt08	1.025	0.583	0.603	0.553	0.497	0.389
wt09	0.953	0.478	0.783	0.328	0.476	0.049
wt10	0.941	0.262	0.399	0.427	0.927	0.150
wt11	0.945	0.644	0.656	0.535	0.506	0.001
wt12	0.948	0.638	0.564	0.140	0.376	0.136
wt13	0.906	0.846	0.621	0.265	0.313	0.189
wt14	0.933	0.694	0.538	0.437	0.562	0.335
wt15	0.884	0.866	0.577	0.566	0.547	0.423
wt16	0.846	0.536	0.069	0.580	0.188	0.533
wt17	0.866	0.310	0.464	0.565	0.324	0.512
wt18	0.916	0.318	0.466	0.404	0.697	0.396
wt19	0.988	1.303	0.684	0.380	0.961	0.190
wt20	1.034	0.566	0.348	0.396	0.773	0.065
mean	1.017	0.661	0.576	0.576	0.552	0.545
SD	0.236	0.439	0.160	0.395	0.391	0.778

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยกล้องสำรวจบนจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับน้บพลัน

ID	manual	2 meter	5 meter	10 meter	15 meter	30 meter
am01	0.344	1.255	0.522	2.260	2.737	2.814
am02	0.319	1.328	0.472	1.930	2.504	2.364
am03	0.429	1.262	0.313	1.625	2.250	1.963
am04	0.361	1.378	0.307	1.338	2.060	1.555
am05	0.484	1.299	0.135	1.019	1.792	1.142
am06	0.430	1.401	0.115	0.719	1.588	0.721
am07	0.538	1.337	0.042	0.415	1.336	0.322
am08	0.501	1.422	0.079	0.097	1.115	0.117
am09	0.626	1.341	0.253	0.223	0.845	0.532
am10	0.449	1.607	0.174	0.437	0.733	0.936
am11	0.539	1.562	0.311	0.722	0.499	1.316
am12	0.488	1.660	0.335	0.911	0.292	1.741
am13	0.593	1.600	0.489	1.150	0.043	2.136
am14	0.508	1.731	0.479	1.240	0.131	2.527
am15	0.650	1.635	0.669	1.516	0.417	2.959
am16	0.604	1.530	0.698	1.648	0.630	3.389
am17	0.713	1.041	0.856	1.895	0.883	3.789
am18	0.730	0.464	0.930	2.093	1.158	4.281
am19	0.793	0.021	0.940	2.293	1.366	4.635
mean	0.532	1.309	0.427	1.239	1.178	2.065
SD	0.251	0.487	0.244	0.632	0.662	1.195



ภาพที่ 4.18 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของค่าความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือ และแบบอัตโนมัติที่มีระยะห่างของจุด 2 เมตร 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตร และ 30 เมตร กับการสำรวจภาคสนามบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 4.19 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบความผิดพลาดของค่าความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือ และแบบอัตโนมัติที่มีระยะห่างของจุด 2 เมตร 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตร และ 30 เมตร กับการสำรวจภาคสนามบนพื้นที่ต่างระดับขั้วปล้น

จากตารางที่ 4.7 กับ 4.8 และภาพที่ 4.18 กับ 4.19 พบว่าบนพื้นที่ราบ การจับคู่ภาพอัตโนมัติให้ค่าความสูงของแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่มีค่าผิดพลาดต่ำกว่าการจับคู่ภาพด้วยมือ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวไม่มีวัตถุที่เด่นชัดในภาพถ่าย ทำให้การจับคู่ภาพด้วยมือทำได้ยากและไม่แม่นยำนักขณะที่บนพื้นที่ต่างระดับขั้วปล้นการจับคู่ภาพด้วยมือและการจับคู่ภาพอัตโนมัติ

ระยะห่างของจุด 5 เมตรให้ค่าผิดพลาดของแบบจำลองความสูงต่ำที่สุด โดยการจับคู่ภาพด้วยมือมีค่าผิดพลาดสูงกว่าเล็กน้อย

4.4.3.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยภาพตัดขวาง

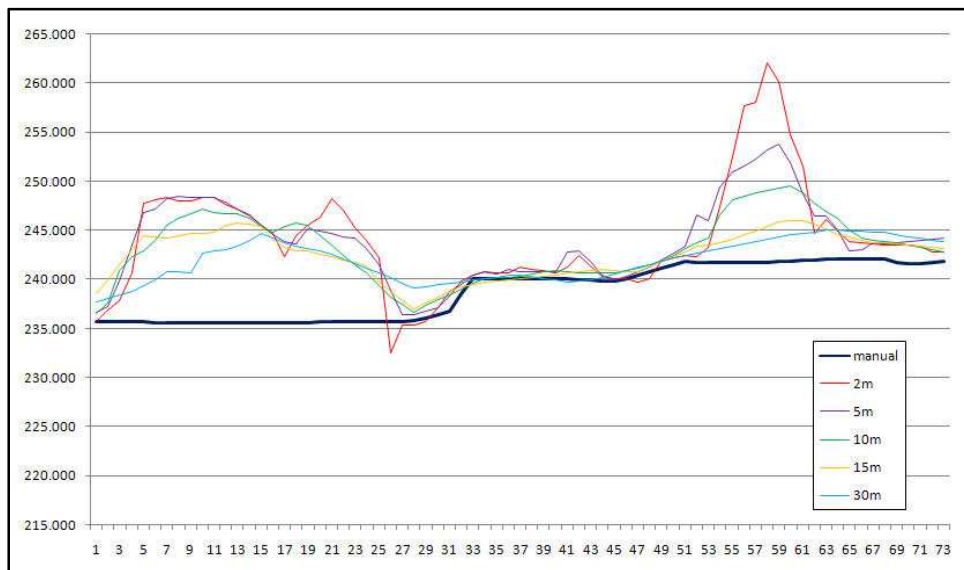
การเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยภาพตัดขวางเป็นการศึกษาในส่วนที่ไม่ได้มีการสำรวจภาคสนาม ข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบจะใช้ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองความสูงเชิงเลขเท่านั้น เพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของแบบจำลองความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆ ในพื้นที่ 3 ประเภทได้แก่ บริเวณที่ประกอบด้วยอาคารและลานโล่งอยู่ร่วมกัน บริเวณที่ประกอบด้วยทุ่งหญ้าเดี่ยวๆ และแนวป่าปลูกอยู่ร่วมกัน และบริเวณที่ต่างระดับฉับพลันพบว่า

จากภาพที่ 4.20 จะสังเกตเห็นได้ว่าภาพตัดขวางบริเวณที่เป็นอาคารสูง การจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติจะพบความสูงของอาคารปรากฏอยู่บนแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วย แต่ค่าความสูงที่ปรากฏไม่สามารถแสดงลักษณะของอาคารที่ปรากฏได้อย่างสมบูรณ์ ขณะที่การจับคู่ภาพด้วยมือจะไม่นำความสูงของอาคารเข้ามาในแบบจำลองความสูงเชิงเลข และบริเวณที่เป็นลานโล่งลักษณะพื้นผิวที่ได้จะใกล้เคียงกัน โดยที่การจับคู่ภาพด้วยมือจะพยายามทำให้แบบจำลองความสูงเชิงเลขสะท้อนความสูงของพื้นดินมากกว่าการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติ

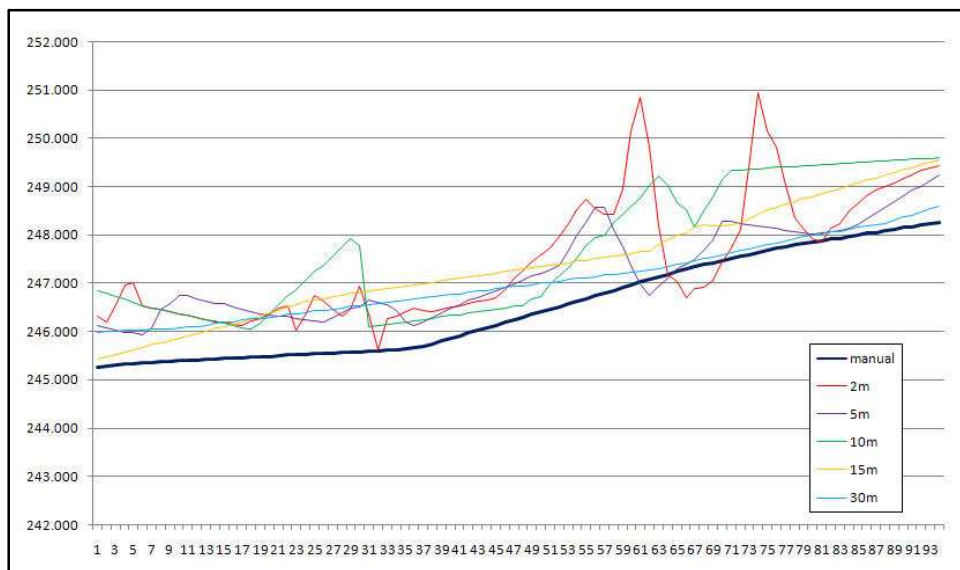
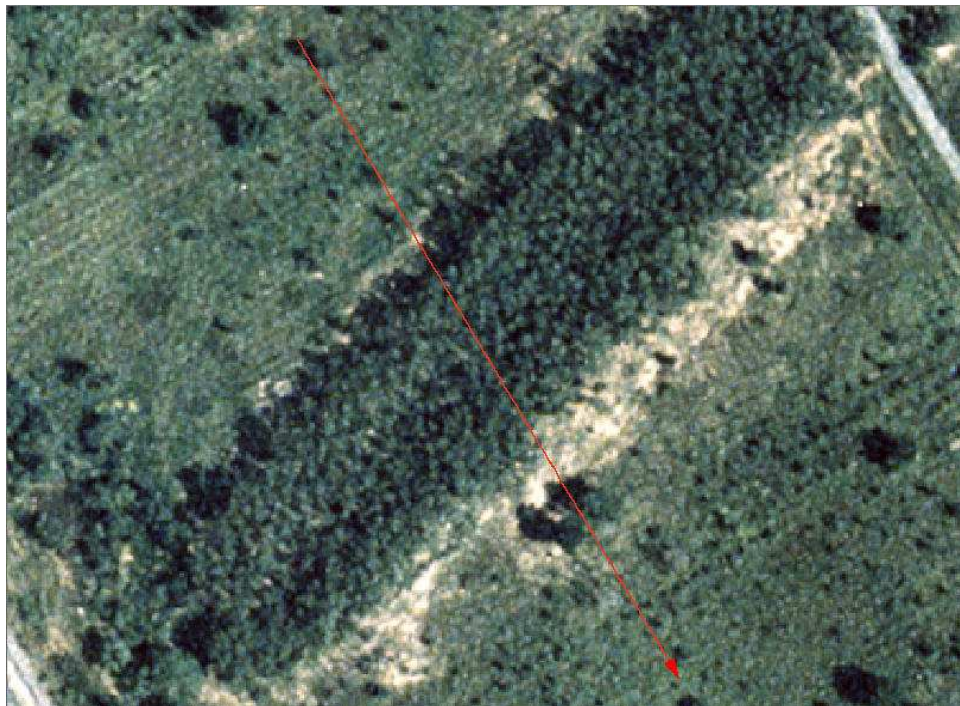
จากภาพที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบภาคตัดขวางของแบบจำลองความสูงของพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ประกอบด้วยทุ่งหญ้าเดี่ยวๆ และแนวต้นไม้สูงที่บอยู่ร่วมกันพบว่า การจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติไม่สามารถทำงานได้ดีในพื้นที่ที่มีลักษณะลาดชันที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากบริเวณที่เป็นทุ่งหญ้ากลับตรวจพบความสูงขณะที่บริเวณที่เป็นต้นไม้สูงตรวจพบค่าความสูงที่ต่ำกว่าทุ่งหญ้า และภาพตัดขวางที่ได้จะพบค่าความสูงที่ได้จากการจับคู่แบบอัตโนมัติมีการแกว่งตัวสูงต่ำตลอดทั่วบริเวณ

จากภาพที่ 4.22 การเปรียบเทียบภาคตัดขวางของแบบจำลองความสูงของพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ต่างระดับฉับพลันแสดงให้เห็นว่า พื้นผิวที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือสามารถแสดงพื้นผิวที่เป็นขั้นบันไดได้ดีว่าการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติที่มีแนวโน้มจะได้พื้นผิวที่ออกมาเป็นพื้นเอียงและพบเพียงรอยหยักเล็กๆ บริเวณรอยต่อของการเปลี่ยนระดับเท่านั้น

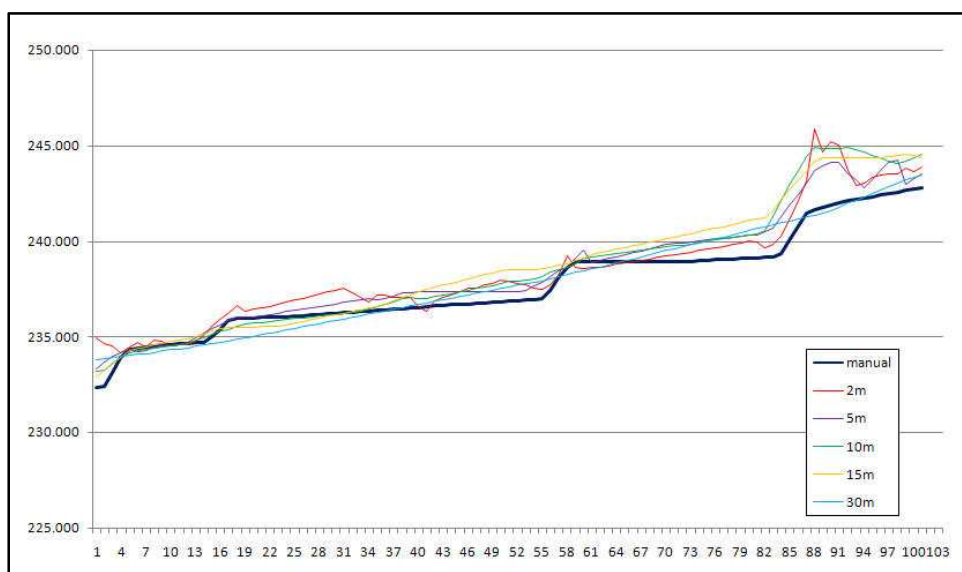
ข้อมูลความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือมุ่งเน้นไปที่การสร้างเส้นชั้นความสูงของภูมิประเทศเป็นหลักจึงไม่นำเอาความสูงของสิ่งปกคลุมดินเช่น อาคารและความสูงเรือนยอดของต้นไม้เข้ามารวมในแบบจำลอง อีกทั้งแบบจำลองความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพอัตโนมัติก็ไม่สามารถแสดงความสูงของสิ่งปลูกสร้างที่ตรวจพบได้อย่างสมบูรณ์ดังนั้นจึงได้นำแบบจำลองความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือไปใช้ในการสร้างภาพถ่ายออร์โธต่อไป โดยมุ่งเน้นให้ได้ภาพออร์โธที่มีการปรับแก้โดยใช้ระดับความสูงของพื้นดินเป็นหลัก



ภาพที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบภาคตัดขวางของแบบจำลองความสูงของพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ประกอบด้วยอาคารและลานโล่งอยู่ร่วมกัน ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆ



ภาพที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบภาคตัดขวางของแบบจำลองความสูงของพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ประกอบด้วยทุ่งหญ้าเดี่ยว และแนวป่าปลูกอยู่ร่วมกันที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆ



ภาพที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบภาคตัดขวางของแบบจำลองความสูงของพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ต่างระดับน้บพลัน ที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบต่างๆ

4.5 ผลการตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ และแบบโพลีโนเมียล และผลการเปรียบเทียบ

4.5.1 ผลการตัดแก้ภาพถ่ายแบบออร์โธ และแบบโพลีโนเมียล

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า เมื่อมีองค์ประกอบของการจัดวางภาพและแบบจำลองความสูงเชิงเลขของพื้นที่ศึกษาแล้ว จึงสามารถสร้างภาพถ่ายออร์โธของพื้นที่ศึกษาได้ โดยทำการฉายภาพถ่ายทางอากาศตามค่าการจัดวางภาพนั้นลงบนแบบจำลองความสูงเชิงเลข ซึ่งแบบจำลองความสูงเชิงเลขต้องประกอบด้วยพิกัดทางราบและทางดิ่ง โดยภาพที่ได้จะถูกปรับแก้ให้มีมาตราส่วนเดียวกันทั่วทั้งภาพ เนื่องจากมาตราส่วนที่แตกต่างกันภายในภาพที่เกิดจากความสูงต่างกันของภูมิประเทศได้ถูกกำจัดออกไป ส่วนการปรับแก้การเบนออกจากฐานของอาคารที่มีความสูงนั้นในการศึกษานี้ยังไม่สามารถแก้การเบนออกจากฐานของอาคารให้หมดไปได้เนื่องจากข้อมูลของแบบจำลองความสูงเชิงเลข ที่ใช้ในบริเวณอาคารสูงไม่มีรายละเอียดที่เพียงพอ ค่าความสูงบริเวณอาคารดังกล่าวจะแสดงด้วยค่าความสูงของพื้นอาคารเท่านั้น

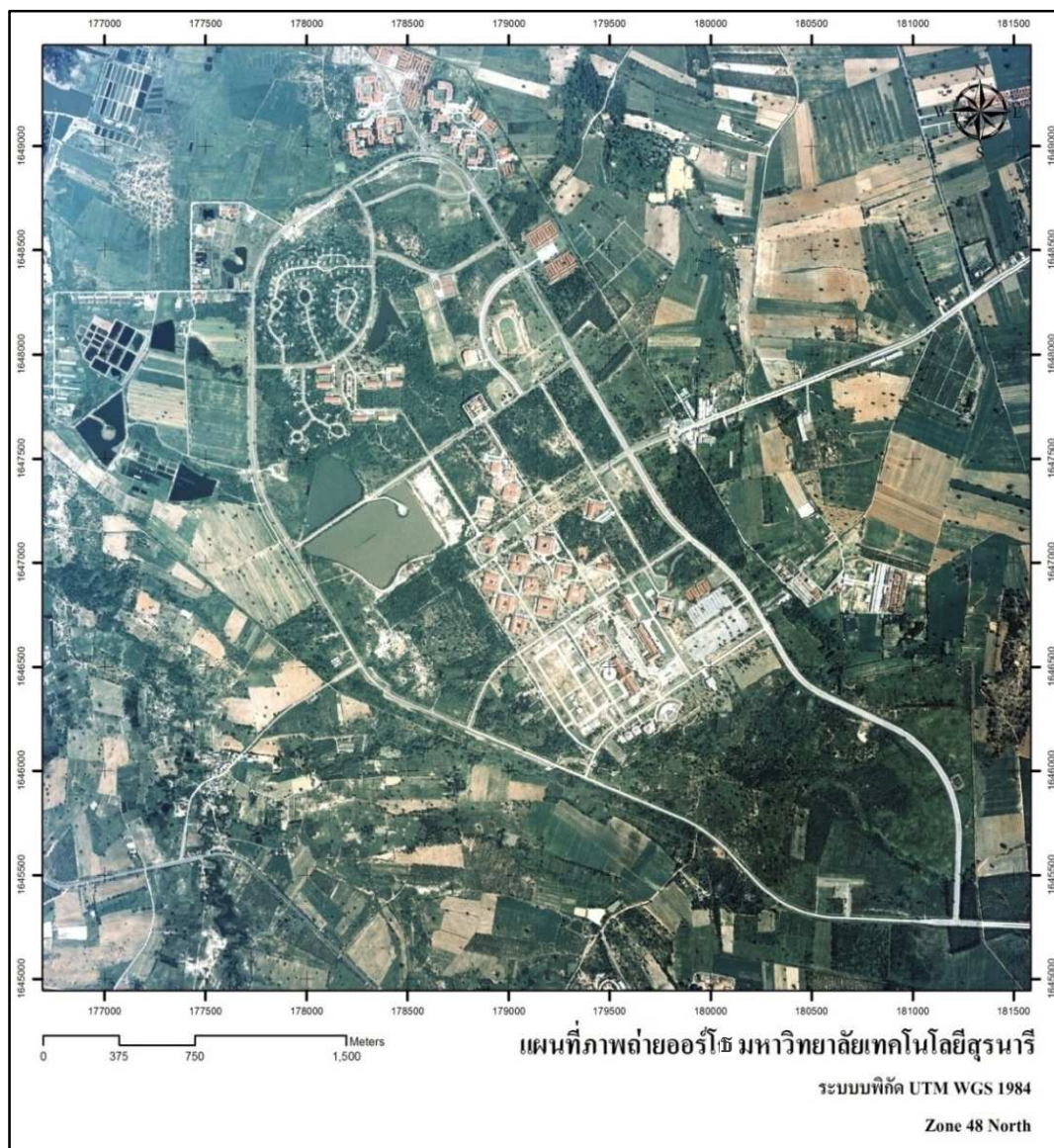
สำหรับการตัดแก้ภาพถ่ายทางอากาศด้วยสมการโพลีโนเมียลอันดับสอง (Second Order Polynomial) นั้นจะใช้ค่าพิกัดของจุดควบคุมเดียวกันกับพิกัดที่ใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างแบบจำลองทรวดทรงสามมิติ จำนวน 11 จุด โดยสมการที่ 4.1 เป็นสมการที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัดใช้การ Resampling แบบ Nearest Neighborhood และค่า RMSE ที่ได้จากการแปลงภาพมีค่า 0.5 เมตร

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าคงที่ของสมการโพลีโนเมียลที่ใช้ในการตัดแก้ภาพถ่ายทางอากาศ

แถว	x'	y'
ค่าคงที่	7.398e+6	2.877e+7
X	-23.596	-10.464
Y	-6.720	-35.670
X^2	8.534e-6	-6.658e-7
XY	1.361e-5	6.434e-6
Y^2	1.322e-6	1.105e-5

$$X' = 7.398e^6 - 23.596X - 6.720Y + 8.534e^{-6}X^2 + 1.361e^{-5}XY + 1.322e^{-6}Y^2$$

$$Y' = 2.877e^7 - 10.464X - 35.670Y - 6.658e^{-7}X^2 + 6.434e^{-6}XY + 1.1e^{-5}Y^2 \quad \text{สมการที่ (4.1)}$$



ภาพที่ 4.23 แสดงภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากการปรับแก้ด้วยแบบจำลองความสูงเชิงเลขของพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 4.24 แสดงภาพถ่ายทางอากาศที่ตัดแก้ด้วยสมการ โพลีโนเมียล

4.5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบระหว่างภาพถ่ายออร์โธกับภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล

ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้ระหว่างภาพถ่ายออร์โธ กับภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยพิกัดจาก GCP เพียงอย่างเดียว โดยเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS ที่เป็นข้อมูลต้นทางในการปรับแก้ค่าพิกัดทั้งสองแบบ พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการปรับแก้ภาพแบบออร์โธ ให้ค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบบริเวณจุดตรวจสอบที่แม่นยำกว่าการปรับแก้

ภาพด้วยสมการโพลีโนเมียลแต่เพียงอย่างเดียว โดยการปรับแก้ภาพแบบออร์โธให้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.075 เมตร ส่วนค่า SD ของทั้งสองวิธีใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าผิดพลาดของค่าพิกัดบนภาพถ่ายทางอากาศที่ปรับแก้ด้วยพิกัดจาก GCP เพียงอย่างเดียว

ID	GPS		Polynomial				RMSE
	X	Y	X	Y	X Error	Y Error	
1	181235.461	1645268.634	181235.586	1645268.997	-0.125	-0.364	0.385
2	181226.508	1645948.750	181227.213	1645947.737	-0.705	1.013	1.234
3	180595.141	1646347.626	180593.210	1646348.631	1.931	-1.005	2.177
4	180287.138	1646676.087	180287.614	1646676.179	-0.476	-0.093	0.485
6	179232.539	1646018.481	179234.804	1646018.961	-2.265	-0.48	2.315
7	178259.653	1646520.456	178258.766	1646519.967	0.886	0.489	1.012
9	179580.301	1647525.115	179580.209	1647526.517	0.093	-1.402	1.405
10	179330.114	1647970.898	179329.412	1647970.726	0.701	0.172	0.722
15	177916.156	1647935.956	177917.968	1647935.797	-1.812	0.159	1.819
16	176808.539	1648295.682	176809.012	1648296.694	-0.472	-1.012	1.117
17	178145.116	1649467.048	178145.153	1649467.159	-0.037	-0.111	0.117
Average							1.163
SD							0.571

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าผิดพลาดของค่าพิกัดบนภาพถ่ายออร์โธ

ID	GPS		Orthophoto				RMSE
	X	Y	X	Y	X Error	Y Error	
1	181235.461	1645268.634	181235.34	1645268.25	0.125	0.388	0.408
2	181226.508	1645948.750	181228.19	1645947.42	-1.684	1.33	2.146
3	180595.141	1646347.626	180595.27	1646347.39	-0.132	0.238	0.272
4	180287.138	1646676.087	180287.18	1646676.37	-0.04	-0.278	0.281
6	179232.539	1646018.481	179233.53	1646018.04	-0.992	0.446	1.088
7	178259.653	1646520.456	178259.44	1646520.8	0.212	-0.344	0.404

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

ID	GPS		Orthophoto				RMSE
	X	Y	X	Y	X Error	Y Error	
9	179580.301	1647525.115	179580.34	1647525.39	-0.04	-0.278	0.281
10	179330.114	1647970.898	179330.33	1647970.91	-0.212	-0.013	0.212
15	177916.156	1647935.956	177915.55	1647936.02	0.609	-0.066	0.613
16	176808.539	1648295.682	176808.11	1648296.03	0.428	-0.348	0.552
17	178145.116	1649467.048	178144.26	1649468.9	0.852	-1.852	2.039
Average							0.754
SD							0.547

4.6 ผลการสร้างและการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล

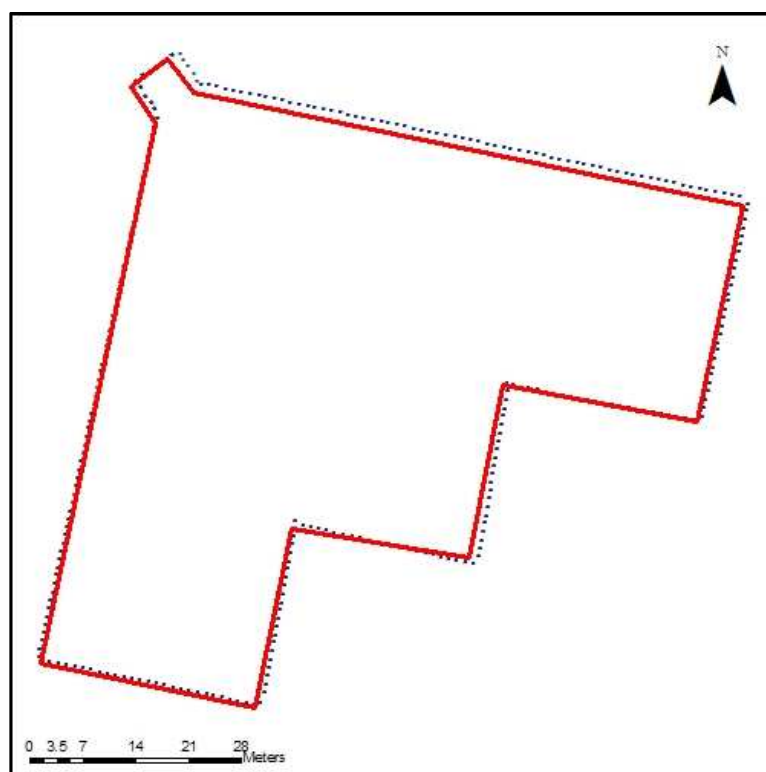
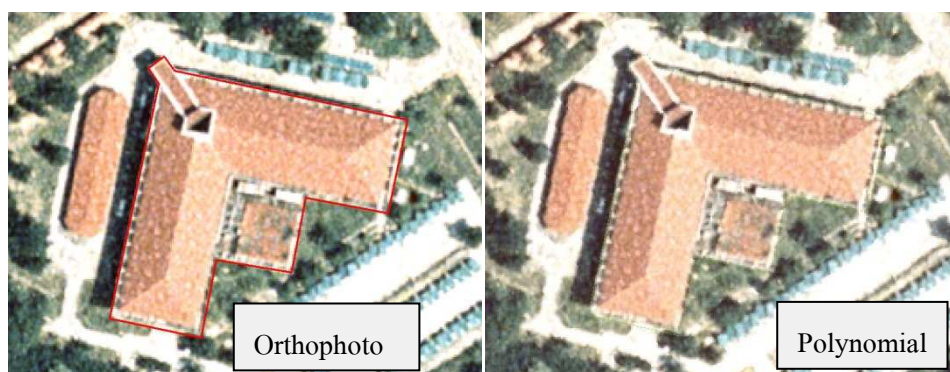
4.6.1 ผลการสร้างชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล

ชั้นข้อมูลจากข้อมูลภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายทางอากาศที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล โดยใช้ภาพทั้งสองชนิดเป็นพื้นหลังด้วยโปรแกรม ArcGIS 9 ได้ชั้นข้อมูลทั้งหมด 6 ชั้น ข้อมูลคือ อาคาร แหล่งน้ำ และถนน ชั้นข้อมูลละ 2 จุด จากข้อมูลต้นทางที่เป็นภาพถ่ายออร์โธ และภาพถ่ายทางอากาศที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล

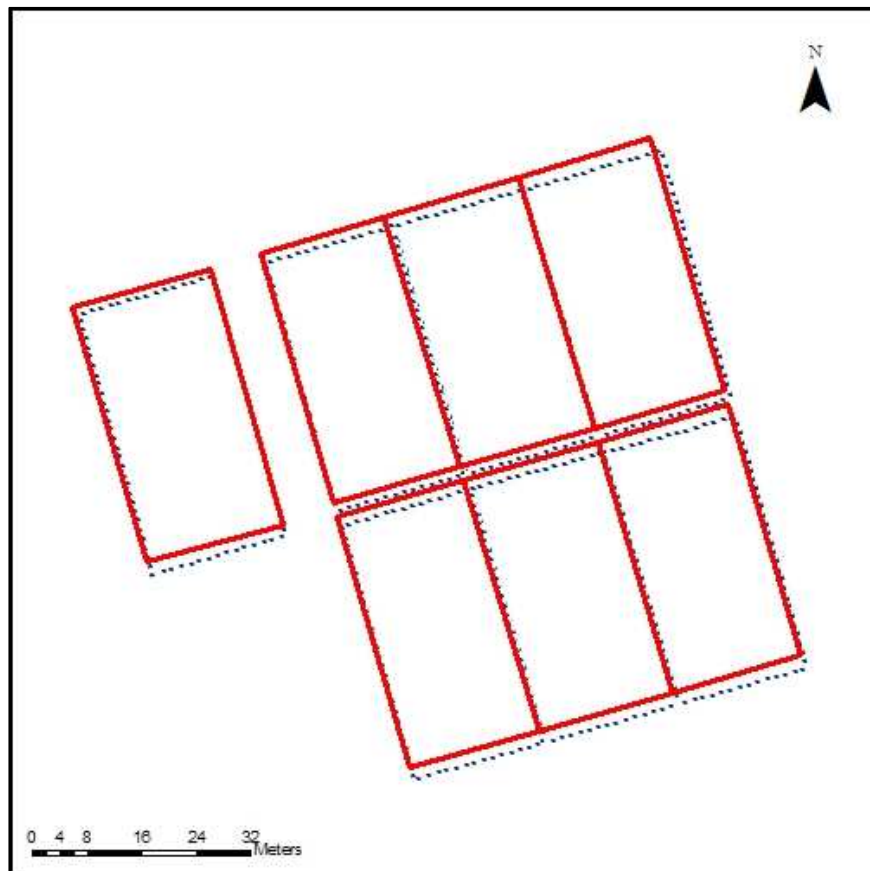
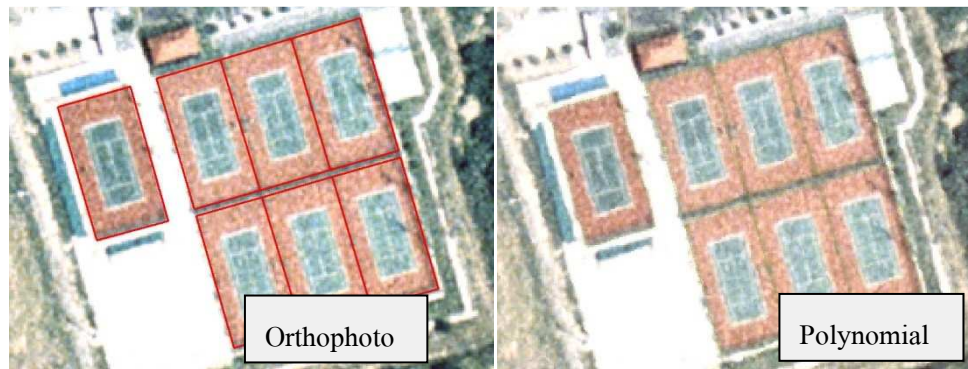
4.6.2 ผลการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล

ผลการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลอาคาร แหล่งน้ำ และถนนที่สร้างจากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายทางอากาศที่ถูกปรับแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล จากการสร้างชั้นข้อมูลโดยใช้ภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายทางอากาศเป็นพื้นหลังในโปรแกรม ArcGIS 9 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาซ้อนทับกันสามารถแสดงความแตกต่างในการวางตัว และตำแหน่งของชั้นข้อมูลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.25 ถึง 4.29 โดยภาพบนซ้ายแสดงภาพถ่ายออร์โธและชั้นข้อมูลที่ได้ ส่วนภาพบนขวาแสดงภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียลและชั้นข้อมูลที่ได้ ภาพล่างแสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งและทิศทางของการวางตัวของชั้นข้อมูลที่ได้ โดยเส้นทึบแสดงข้อมูลจากภาพถ่ายออร์โธและเส้นประแสดงข้อมูลจากภาพถ่ายที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล พบว่าข้อมูลที่ได้จากภาพทั้งสองแบบมีความแตกต่างทางตำแหน่งและทิศทางวางตัวเล็กน้อย และไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งพื้นที่ศึกษา

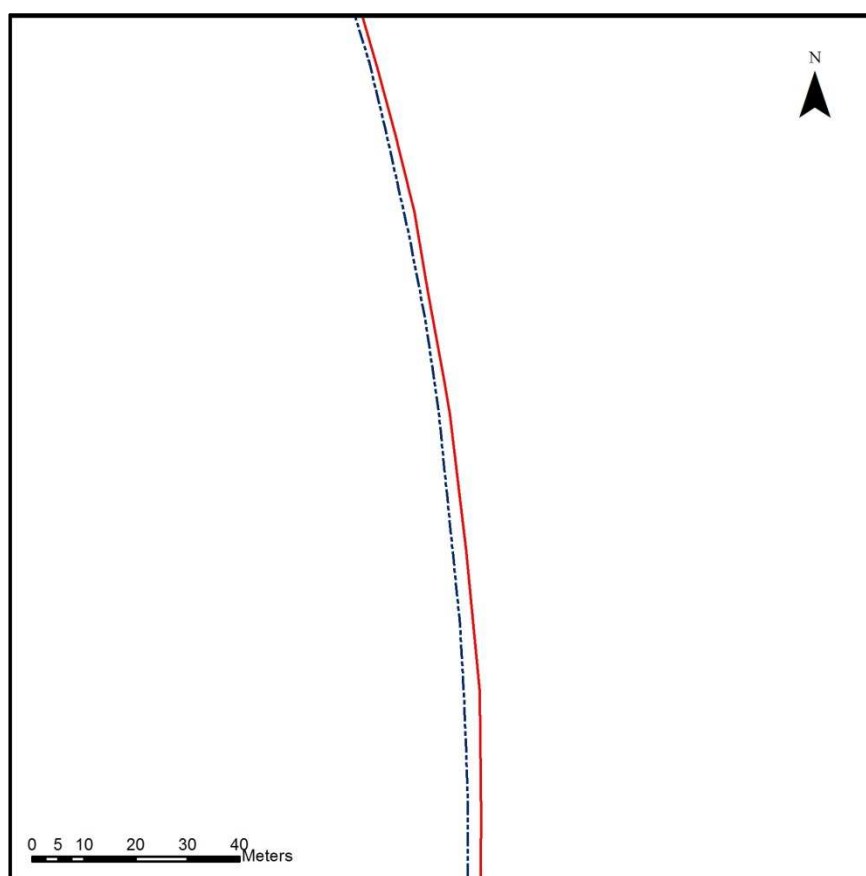
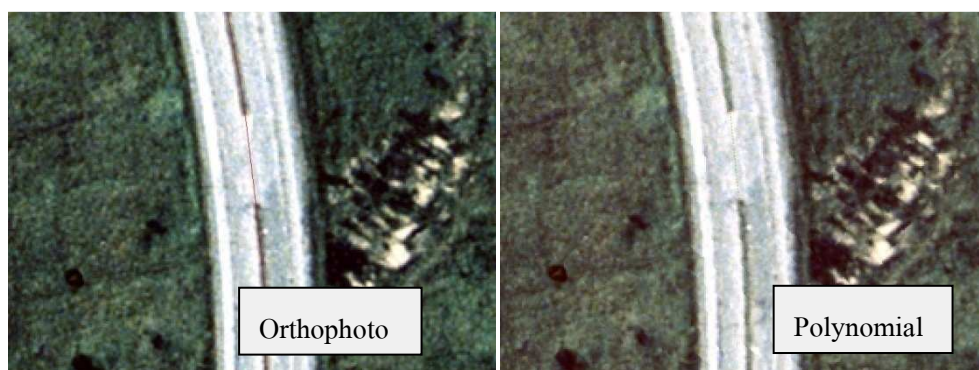
สังเกตได้จากภาพที่ 4.25 บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาข้อมูลจากภาพที่ถูกปรับแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียลจะเลื่อนตำแหน่งไปทางตะวันออกเฉียงเหนือเล็กน้อย ขณะที่ภาพที่ 4.26 ซึ่งอยู่บริเวณตอนเหนือของพื้นที่ศึกษา ภาพที่ปรับแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียลจะเลื่อนไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้



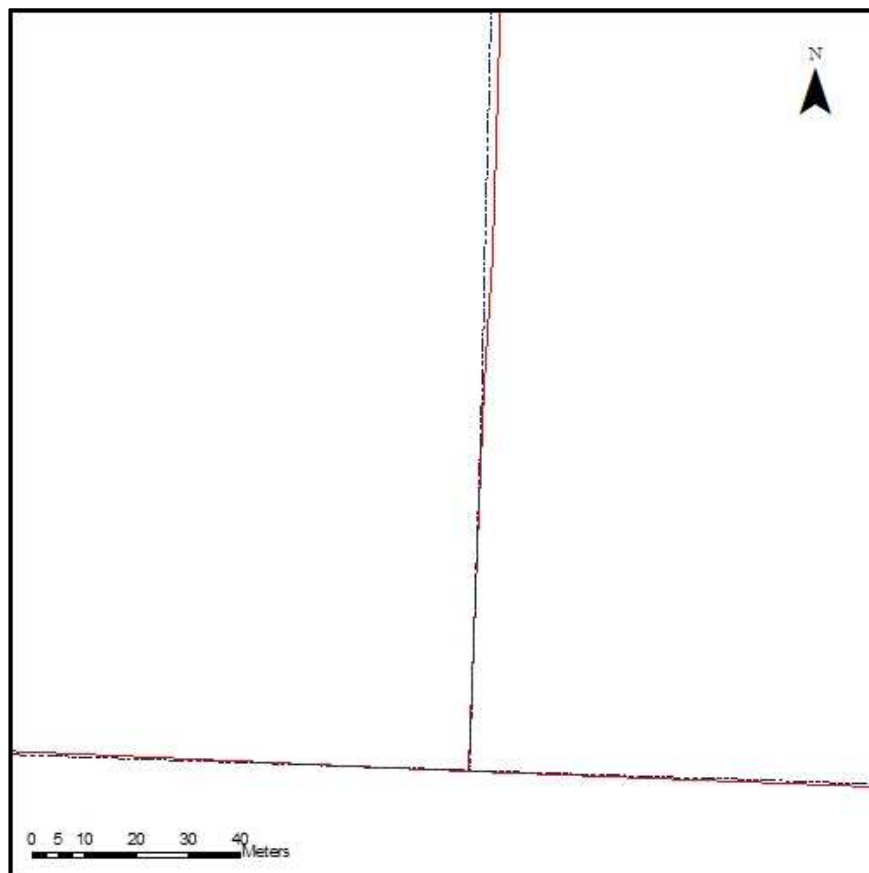
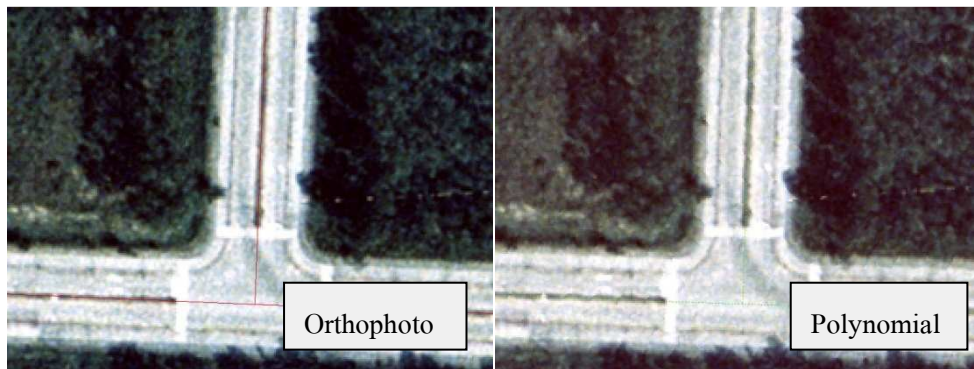
ภาพที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลอาคารที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการ โพลีโนเมียล (เส้นประ) บริเวณอาคารบริหาร



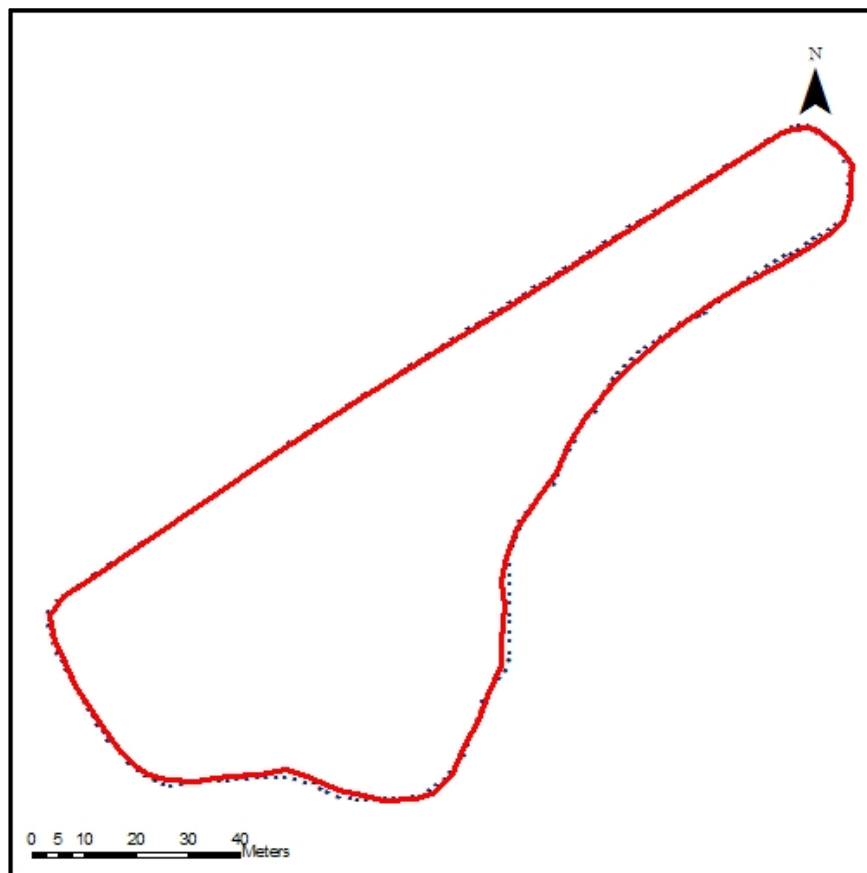
ภาพที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลอาคารที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล (เส้นประ) บริเวณสนามเทนนิส



ภาพที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลถนนที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล (เส้นประ) ถนนระหว่างประตู 1 และประตู 2



ภาพที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลถนนที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล (เส้นประ) บริเวณสามแยกประตู 2



ภาพที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของชั้นข้อมูลแหล่งน้ำที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ (เส้นทึบ) และภาพที่ตัดแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียล (เส้นประ) บริเวณหน้าบ้านพักอธิการบดี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายออร์โธ โดยใช้โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลขและ DGPS จากภาพถ่ายทางอากาศสปีมาตราส่วน 1:25,000 ครอบคลุมพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยสามารถสรุปผลการศึกษาและเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

1) การคัดเลือกวิธีการรังวัดด้วย DGPS ที่ให้ความถูกต้องสูงสุดจากวิธีการสำรวจ 3 วิธี ได้แก่ การวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว การวัดแบบจลน์และการวัดแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ ซึ่งปฏิบัติการบนลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศสองแบบ ได้แก่ พื้นที่ราบและพื้นที่ต่างระดับจับพลัน ค่าพิกัด X Y และ Z ที่ได้จากการรังวัดบนพื้นที่ราบได้รับการตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องสำรวจ Total Station และกล้องระดับ ส่วนค่าพิกัด Z ที่ได้จากการรังวัดบนพื้นที่ต่างระดับจับพลัน ได้รับการตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องระดับ พบว่าวิธีการสำรวจโดยใช้ DGPS ที่ถูกต้องที่สุดคือการสำรวจแบบสถิตอย่างรวดเร็ว

2) ทำการคัดเลือกจุดควบคุมภาพถ่ายจากภาพถ่ายทางอากาศได้ทั้งหมด 11 จุด

3) ทำการหาค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายทั้งหมด 11 จุดโดยใช้วิธีการสำรวจด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นวิธีที่ถูกต้องที่สุดตามผลลัพธ์ในข้อ 1) เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับกระบวนการโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศ

4) ทำการสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูง 6 ชุด โดยใช้กระบวนการโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศ หนึ่งชุดได้จากวิธีการจับคู่ภาพด้วยมือ อีก 5 ชุดได้จากวิธีการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติภายในระยะ 2 เมตร 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตรและ 30 เมตร จากการศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขทั้ง 6 ชุด ด้วยการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดกับจุดตรวจสอบที่มีการรังวัดด้วยกล้องระดับพบว่าแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติที่ความละเอียดของจุด 5 เมตร ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุดในการศึกษา (0.504 เมตร) โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 0.201 เมตร ขณะที่การจับคู่ภาพด้วยมือให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อยคือมีค่า 0.781 เมตร ส่วนการเปรียบเทียบด้วยภาพตัดขวางของแบบจำลองความสูงในภูมิประเทศ 3 แบบ ได้แก่ บริเวณอาคารติดกับลานกว้าง บริเวณป่าปลูกติดกับทุ่งหญ้า และพื้นที่ลานราบต่างระดับ 3 ระดับ พบว่าแบบจำลอง

ความสูงที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือให้การเปลี่ยนระดับความสูงของแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับสภาพภูมิประเทศจริงมากที่สุดในการศึกษา

5) สามารถจัดทำแผนที่เส้นชั้นความสูงที่เหมาะสมได้ในระดับที่มีความห่างช่วงชั้นความสูง 5 เมตร โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงที่ได้จากวิธีการจับคู่ภาพด้วยมือ เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่มีการจับคู่ภาพจากพื้นผิวภูมิประเทศที่แท้จริงไม่นับรวมแหล่งน้ำ สิ่งปลูกสร้างและพืชคลุมดิน

6) ทำการสร้างภาพถ่ายทางอากาศสีที่ตัดแก้แบบ โพลีเมียลและแบบออร์โธ จากนั้นเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพิกัดจากภาพถ่ายทั้งสองแบบ ด้วยค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย และพบว่าภาพถ่ายออร์โธมีความถูกต้องของค่าพิกัดสูงกว่าภาพถ่ายที่ได้จากการตัดแก้แบบ โพลีโนเมียล โดยภาพถ่ายออร์โธมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.754 เมตร ภาพถ่ายที่ได้จากการตัดแก้แบบ โพลีโนเมียลมีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 1.163 เมตร ซึ่งแสดงว่าข้อมูลภาพทั้งสองแบบมีความผิดพลาดในทางราบที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ในมาตราส่วน 1:10,000 ซึ่งอยู่ที่ 2.828 เมตร (Misra, 2002)

7) ทำการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลอาคาร ถนน และแหล่งน้ำ ที่ได้จากภาพถ่ายตัดแก้แบบ โพลีเมียล และแบบออร์โธด้วยวิธีการซ้อนทับพบว่า ข้อมูลเส้นของชั้นข้อมูลดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยและไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อภาพถ่ายผ่านการตัดแก้แบบออร์โธจะทำให้ขนาดของวัตถุต่างๆ บนพื้นโลกมีขนาดเปลี่ยนไปจากภาพดั้งเดิม โดยจะมีสัดส่วนของขนาดที่สมจริงมากขึ้น

การศึกษารุ่นนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่ตั้งไว้ 3 ข้อแล้วดังนี้

1) เปรียบเทียบความถูกต้องของการรังวัดด้วย DGPS ทั้งสามแบบได้แก่ การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว การรังวัดแบบจลน์ และการรังวัดแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ และเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติกับการจับคู่ภาพด้วยมือบนพื้นที่ราบและพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างฉับพลัน ได้ผลตามที่สรุปไว้ข้างต้นในข้อที่ 1) และข้อที่ 4)

2) สร้างภาพถ่ายออร์โธจากภาพถ่ายทางอากาศสีด้วยแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ให้ความแม่นยำสูงกว่าได้ผลตามที่สรุปไว้ข้างต้นในข้อที่ 6)

3) เปรียบเทียบชั้นข้อมูลที่สร้างจากภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายตัดแก้แบบ โพลีโนเมียล ได้ผลตามที่สรุปไว้ข้างต้นในข้อที่ 7)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) DGPS ที่ใช้ในการศึกษาเป็น DGPS Leica GPS System 500 รุ่น SR510 ที่ใช้ช่องสัญญาณในการรับสัญญาณจากดาวเทียมเพียงช่วงคลื่นเดียวและมีเพียง 2 ตัวทำให้ต้องใช้วิธีการรังวัดที่ยุ่งยากและใช้เวลาดำเนินการนาน ซึ่งบางครั้งพบว่าข้อมูลที่ได้ในบางจุดไม่สามารถใช้งานได้จึงต้องทำการรังวัดจุดที่พบปัญหาใหม่ทำให้เกิดความล่าช้า ถ้าใช้ DGPS รุ่นที่เป็นปัจจุบันและมีจำนวนเครื่อง 3 เครื่องขึ้นไปจะทำให้ได้ผลการสำรวจมีความถูกต้องมากขึ้นและใช้เวลาน้อยลง

2) ในการศึกษาครั้งนี้มีการกระจายตัวของจุดอ้างอิงภายในพื้นที่ศึกษาค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าความถูกต้องของการรังวัดบางจุดสำรวจในพื้นที่ศึกษาที่อยู่ห่างจากจุดอ้างอิง ถ้ามีการกำหนดการกระจายตัวของจุดอ้างอิงภายในพื้นที่ศึกษาอย่างเหมาะสมจะพบว่าจุดสำรวจบางจุดมีระยะห่างจากจุดอ้างอิงลดลงซึ่งจะทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงเช่นกัน

3) ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีมาตราส่วนเล็กเกินไป ถ้ามีภาพต้นฉบับที่มีมาตราส่วนใหญ่เพียงพอจะสามารถสร้างภาพ True Orthophoto ที่มีการปรับแก้การเบือนออกจากฐานของสิ่งปลูกสร้างได้ทั้งหมด และจะส่งผลให้ข้อมูลแบบจำลองความสูงมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

รายการอ้างอิง

- พอล อาร์ดับเบิลยู (2517). **หลักเบื้องต้นของการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ**. แปลโดย วิชา จิวาลัย และ ปรีชา วงศ์วิวัฒน์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มูไร เอส (ประธานบรรณาธิการ) (2540). **คำบรรยายเรื่องการสำรวจจากระยะไกล**. แปลโดย ดร.สุวิทย์ วิบุลย์เศรษฐ์ และคณะ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- วิชัย เขียงวีรชน (2549). **การสำรวจรังวัด: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์ (2546). **ระบบสำรวจหาตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม**. ในเอกสารประกอบการฝึกอบรม การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยข้อมูลภูมิสารสนเทศ. (ม.ป.ป.). ม.ป.พ.
- Altmaier, A. and Kany, C. (2002). Surface model generation from CORONA satellite images. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. 56: 221-235.
- Buyuksalih (2003). Results of automatic aerial triangulation using different commercial software packages. In Grün/Kahmen (Eds.). **Optical 3-D Measurement Techniques: Applications in GIS, Mapping, Manufacturing, Quality Control, Robotics, Navigation, Mobile Mapping, Medical Imaging, VR Generation and Animation**. 325-334.
- Fotopoulos G. (2000). **Parameterization of DGPS Carrier Phase Errors Over a Regional Network of Reference Stations**. Master Thesis. Department of Geomatics Engineering. University of Calgary.

- Jensen, J. R. (2006). **Remote Sensing of the Environment an Earth Resource Perspective.** 2nd ed. USA: Pearson Prentice Hall.
- Kratky, V. (1989). Rigorous photogrammetric processing of SPOT images at CCM Canada. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 44: 53-71.
- Konecny, G. (2003). **Geoinformation Remotesensing, Photogrametry and Geographic Information System.** London and New York. TAYLOR & FRANCIS.
- Leica Geosystems (n.d.). **IMAGINE Orthobase User's Guide.** 6th Edition. USA: (n.p.).
- Leica Geosystem (1999). **Introduction to GPS (Global Positioning System).** Switzerland : n.p..
- Methakullachat, D. (2004). Finding true position of buildings in orthophotos. **In Proceedings of The 25th Asian Conference on Remote Sensing**, 2: 1280-1285. Thailand. n.p..
- Misra, P. (2002). **Basic Concepts of Spatial and Geo-referencing Accuracies.** [On-line]. Available: <http://www.gistdevelopment.net/magazine/index.htm>.
- Rayburg, S., Thoms, M. and Neave, M. (2008). **A Comparison of Digital Elevation Models Generated from Different Data Sources.** [On-line]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/0169555X>.
- Theera Laphitchayangkul. (2007). Adjustment Digital Camera Technique for Terrestrial Photogrammetry.Suranaree. **Journal of Science Technology**, 14(2): 205-214.

- Tor, B. (2002). **Geographic Information System an Introduction**. 3rd edition. United State of America. JOHN WILEY & SONS, Inc.
- Vassilopoulou, S. et al., (2002). Orthophoto generation using IKONOS imagery and high-resolution DEM: a case study on volcanic hazard monitoring of Nisyros Island (Greece). **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. 57: 24-38.
- Wolniewicz, W. and Jaszczak, P. (2004). Orthorectification of vary high resolution satellite images. **In Proceedings of The 25th Asian Conference on Remote Sensing**. 2: 1292-1299.
- Zebedin, L., Klaus, A., Gruber-Geymayer, B. and Karner, K. (2006). Towards 3D map generation from digital aerial images. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. 60: 413-427.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

รายการค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่ใช้ในการศึกษา

1. ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยกล้องสำรวจ

วิธีการรังวัด : พิกัดทางราบโดย DGPS แบบสถิติอย่างรวดเร็ว ค่าระดับโดยกล้องระดับ

ข้อมูล : ค่าความสูงของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับนับพหลัน

ระบบพิกัด : UTM WGS1984 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
am01	180194.730	1645977.019	235.557
am02	180193.808	1645977.678	235.957
am03	180192.893	1645978.315	236.357
am04	180191.988	1645978.970	236.760
am05	180191.093	1645979.618	237.161
am06	180190.189	1645980.252	237.558
am07	180189.277	1645980.891	237.948
am08	180188.373	1645981.537	238.352
am09	180187.475	1645982.173	238.757
am10	180186.567	1645982.816	239.152
am11	180185.645	1645983.459	239.551
am12	180184.745	1645984.108	239.958
am13	180183.850	1645984.749	240.350
am14	180182.967	1645985.374	240.748
am15	180182.024	1645986.052	241.148
am16	180181.112	1645986.688	241.552
am17	180180.211	1645987.329	241.947
am18	180179.307	1645987.979	242.342
am19	180178.395	1645988.631	242.753

วิธีการรังวัด : กล้องโททอลสเตชันและกล้องระดับ
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
 ระบบพิกัด : UTM WGS1984 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
WT01	179,691.972	1,646,226.881	236.385
WT02	179,700.001	1,646,214.707	236.272
WT03	179,708.065	1,646,202.503	236.174
WT04	179,716.050	1,646,190.295	235.960
WT05	179,724.096	1,646,178.094	235.744
WT06	179,732.224	1,646,165.894	235.519
WT07	179,740.289	1,646,153.686	235.297
WT08	179,748.367	1,646,141.471	235.039
WT09	179,756.450	1,646,129.261	234.821
WT10	179,764.644	1,646,117.150	234.682
WT11	179,772.533	1,646,104.871	234.574
WT12	179,780.615	1,646,092.664	234.464
WT13	179,788.731	1,646,080.466	234.334
WT14	179,796.866	1,646,068.262	234.291
WT15	179,804.988	1,646,056.049	234.189
WT16	179,813.104	1,646,043.842	234.088
WT17	179,821.174	1,646,031.620	234.080
WT18	179,829.339	1,646,019.423	234.051
WT19	179,837.484	1,646,007.251	233.929
WT20	179,845.713	1,645,995.091	233.757

2. ข้อมูลรายการค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS

2.1 ข้อมูลรายการค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS บนพื้นที่ต่างระดับ
 ไม้พลัน

วิธีการรังวัด : DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว

ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับไม้พลัน

ระบบพิกัด : ระบบพิกัดฉาก WGS1984

Point	X	Y	Z
am01	-1284554.075	6030758.789	1626456.774
am02	-1284553.218	6030759.224	1626457.507
am03	-1284552.363	6030759.636	1626458.214
am04	-1284551.515	6030760.027	1626458.933
am05	-1284550.681	6030760.445	1626459.652
am06	-1284549.837	6030760.854	1626460.355
am07	-1284548.985	6030761.264	1626461.061
am08	-1284548.144	6030761.686	1626461.780
am09	-1284547.309	6030762.109	1626462.489
am10	-1284546.461	6030762.520	1626463.200
am11	-1284545.595	6030762.912	1626463.907
am12	-1284544.755	6030763.320	1626464.624
am13	-1284543.919	6030763.722	1626465.333
am14	-1284543.090	6030764.101	1626466.019
am15	-1284542.211	6030764.538	1626466.772
am16	-1284541.362	6030764.957	1626467.479
am17	-1284540.520	6030765.364	1626468.187
am18	-1284539.690	6030765.838	1626468.924
am19	-1284538.827	6030766.201	1626469.632

- วิธีการรังวัด : DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS1984

Point	Latitude	Longitude	Ellipse Height
am01	14° 52' 18.76189" N	102° 01' 27.58427" E	210.764
am02	14° 52' 18.78289" N	102° 01' 27.55320" E	211.190
am03	14° 52' 18.80323" N	102° 01' 27.52234" E	211.589
am04	14° 52' 18.82412" N	102° 01' 27.49187" E	211.973
am05	14° 52' 18.84476" N	102° 01' 27.46169" E	212.384
am06	14° 52' 18.86499" N	102° 01' 27.43122" E	212.782
am07	14° 52' 18.88535" N	102° 01' 27.40048" E	213.178
am08	14° 52' 18.90597" N	102° 01' 27.37002" E	213.593
am09	14° 52' 18.92625" N	102° 01' 27.33977" E	214.007
am10	14° 52' 18.94675" N	102° 01' 27.30916" E	214.406
am11	14° 52' 18.96726" N	102° 01' 27.27810" E	214.784
am12	14° 52' 18.98795" N	102° 01' 27.24777" E	215.185
am13	14° 52' 19.00840" N	102° 01' 27.21761" E	215.578
am14	14° 52' 19.02833" N	102° 01' 27.18784" E	215.946
am15	14° 52' 19.04995" N	102° 01' 27.15604" E	216.375
am16	14° 52' 19.07024" N	102° 01' 27.12533" E	216.782
am17	14° 52' 19.09066" N	102° 01' 27.09496" E	217.180
am18	14° 52' 19.11140" N	102° 01' 27.06450" E	217.649
am19	14° 52' 19.13219" N	102° 01' 27.03374" E	218.000

วิธีการรังวัด : DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว
ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน
ระบบพิกัด : UTM Indian1975 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
am01	180194.730	1645977.019	235.557
am02	180193.808	1645977.678	235.984
am03	180192.893	1645978.315	236.383
am04	180191.988	1645978.970	236.767
am05	180191.093	1645979.618	237.179
am06	180190.189	1645980.252	237.577
am07	180189.277	1645980.891	237.974
am08	180188.373	1645981.537	238.389
am09	180187.475	1645982.173	238.803
am10	180186.567	1645982.816	239.203
am11	180185.645	1645983.459	239.581
am12	180184.745	1645984.108	239.982
am13	180183.850	1645984.749	240.375
am14	180182.967	1645985.374	240.744
am15	180182.024	1645986.052	241.173
am16	180181.112	1645986.688	241.580
am17	180180.211	1645987.329	241.978
am18	180179.307	1645987.979	242.447
am19	180178.395	1645988.631	242.799

วิธีการรังวัด : DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว
ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน
ระบบพิกัด : UTM WGS1984 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
am01	180194.730	1645977.019	235.557
am02	180193.808	1645977.678	235.984
am03	180192.893	1645978.315	236.383
am04	180191.988	1645978.970	236.767
am05	180191.093	1645979.618	237.179
am06	180190.189	1645980.252	237.577
am07	180189.277	1645980.891	237.974
am08	180188.373	1645981.537	238.389
am09	180187.475	1645982.173	238.803
am10	180186.567	1645982.816	239.203
am11	180185.645	1645983.459	239.581
am12	180184.745	1645984.108	239.982
am13	180183.850	1645984.749	240.375
am14	180182.967	1645985.374	240.744
am15	180182.024	1645986.052	241.173
am16	180181.112	1645986.688	241.580
am17	180180.211	1645987.329	241.978
am18	180179.307	1645987.979	242.447
am19	180178.395	1645988.631	242.799

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์

ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน

ระบบพิกัด : ระบบพิกัดฉาก WGS1984

Point	X	Y	Z
am01	-1284554.075	6030758.789	1626456.774
am02	-1284553.190	6030759.222	1626457.500
am03	-1284552.312	6030759.613	1626458.240
am04	-1284551.504	6030760.023	1626458.959
am05	-1284550.679	6030760.445	1626459.616
am06	-1284549.832	6030760.830	1626460.352
am07	-1284548.959	6030761.253	1626461.035
am08	-1284548.149	6030761.660	1626461.760
am09	-1284547.348	6030762.055	1626462.450
am10	-1284546.496	6030762.460	1626463.185
am11	-1284545.631	6030762.868	1626463.925
am12	-1284544.816	6030763.280	1626464.645
am13	-1284543.971	6030763.708	1626465.286
am14	-1284543.080	6030764.115	1626466.083
am15	-1284542.264	6030764.509	1626466.778
am16	-1284541.356	6030764.949	1626467.489
am17	-1284540.553	6030765.363	1626468.156
am18	-1284539.657	6030765.747	1626468.907
am19	-1284538.861	6030766.174	1626469.621

- วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS1984

Point	Latitude	Longitude	Ellipse Height
am01	14° 52' 18.76189" N	102° 01' 27.58427" E	210.763
am02	14° 52' 18.78273" N	102° 01' 27.55230" E	211.180
am03	14° 52' 18.80433" N	102° 01' 27.52082" E	211.564
am04	14° 52' 18.82499" N	102° 01' 27.49154" E	211.973
am05	14° 52' 18.84364" N	102° 01' 27.46163" E	212.375
am06	14° 52' 18.86510" N	102° 01' 27.43123" E	212.757
am07	14° 52' 18.88467" N	102° 01' 27.39972" E	213.155
am08	14° 52' 18.90555" N	102° 01' 27.37038" E	213.564
am09	14° 52' 18.92541" N	102° 01' 27.34140" E	213.953
am10	14° 52' 18.94670" N	102° 01' 27.31071" E	214.353
am11	14° 52' 18.96814" N	102° 01' 27.27958" E	214.754
am12	14° 52' 18.98882" N	102° 01' 27.25003" E	215.165
am13	14° 52' 19.00694" N	102° 01' 27.21942" E	215.563
am14	14° 52' 19.03024" N	102° 01' 27.18740" E	215.973
am15	14° 52' 19.05030" N	102° 01' 27.15796" E	216.360
am16	14° 52' 19.07064" N	102° 01' 27.12518" E	216.775
am17	14° 52' 19.08962" N	102° 01' 27.09604" E	217.176
am18	14° 52' 19.11166" N	102° 01' 27.06406" E	217.552
am19	14° 52' 19.13203" N	102° 01' 27.03502" E	217.978

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์

ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน

ระบบพิกัด : UTM Indian1975 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
am01	180194.730	1645977.019	235.557
am02	180193.781	1645977.673	235.975
am03	180192.848	1645978.350	236.358
am04	180191.979	1645978.997	236.768
am05	180191.091	1645979.583	237.170
am06	180190.189	1645980.255	237.552
am07	180189.254	1645980.870	237.951
am08	180188.384	1645981.524	238.360
am09	180187.524	1645982.147	238.749
am10	180186.613	1645982.814	239.150
am11	180185.690	1645983.486	239.551
am12	180184.813	1645984.134	239.962
am13	180183.904	1645984.704	240.361
am14	180182.955	1645985.433	240.771
am15	180182.081	1645986.062	241.158
am16	180181.108	1645986.701	241.574
am17	180180.243	1645987.297	241.975
am18	180179.294	1645987.987	242.351
am19	180178.433	1645988.626	242.778

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์

ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับน้บปล้น

ระบบพิกัด : UTM WGS1984 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
am01	180194.730	1645977.019	235.557
am02	180193.808	1645977.678	235.975
am03	180192.893	1645978.315	236.358
am04	180191.988	1645978.970	236.768
am05	180191.093	1645979.618	237.170
am06	180190.189	1645980.252	237.552
am07	180189.277	1645980.891	237.951
am08	180188.373	1645981.537	238.360
am09	180187.475	1645982.173	238.749
am10	180186.567	1645982.816	239.150
am11	180185.645	1645983.459	239.551
am12	180184.745	1645984.108	239.962
am13	180183.850	1645984.749	240.361
am14	180182.967	1645985.374	240.771
am15	180182.024	1645986.052	241.158
am16	180181.112	1645986.688	241.574
am17	180180.211	1645987.329	241.975
am18	180179.307	1645987.979	242.351
am19	180178.395	1645988.631	242.778

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับ
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัดฉาก WGS1984

Point	X	Y	Z
am01	-1284554.075	6030758.789	1626456.774
am02	-1284553.217	6030759.202	1626457.510
am03	-1284552.335	6030759.607	1626458.229
am04	-1284551.512	6030760.007	1626458.978
am05	-1284550.697	6030760.427	1626459.628
am06	-1284549.826	6030760.828	1626460.363
am07	-1284548.983	6030761.238	1626461.039
am08	-1284548.143	6030761.660	1626461.758
am09	-1284547.329	6030762.057	1626462.481
am10	-1284546.503	6030762.461	1626463.194
am11	-1284545.630	6030762.885	1626463.924
am12	-1284544.786	6030763.290	1626464.644
am13	-1284544.019	6030763.675	1626465.330
am14	-1284543.071	6030764.109	1626466.085
am15	-1284542.286	6030764.502	1626466.788
am16	-1284541.356	6030764.948	1626467.486
am17	-1284540.549	6030765.362	1626468.157
am18	-1284539.677	6030765.750	1626468.890
am19	-1284538.853	6030766.180	1626469.614

- วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับ
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS1984

Point	Latitude	Longitude	Ellipse Height
am01	14° 52' 18.76189" N	102° 01' 27.58427" E	210.7635
am02	14° 52' 18.78315" N	102° 01' 27.55332" E	211.1705
am03	14° 52' 18.80399" N	102° 01' 27.52163" E	211.56
am04	14° 52' 18.82570" N	102° 01' 27.49193" E	211.9647
am05	14° 52' 18.84412" N	102° 01' 27.46232" E	212.3646
am06	14° 52' 18.86549" N	102° 01' 27.43103" E	212.7571
am07	14° 52' 18.88485" N	102° 01' 27.40059" E	213.1479
am08	14° 52' 18.90548" N	102° 01' 27.37017" E	213.5617
am09	14° 52' 18.92639" N	102° 01' 27.34077" E	213.9591
am10	14° 52' 18.94694" N	102° 01' 27.31092" E	214.3581
am11	14° 52' 18.96796" N	102° 01' 27.27943" E	214.7703
am12	14° 52' 18.98874" N	102° 01' 27.24900" E	215.1683
am13	14° 52' 19.00852" N	102° 01' 27.22121" E	215.5538
am14	14° 52' 19.03037" N	102° 01' 27.18716" E	215.967
am15	14° 52' 19.05063" N	102° 01' 27.15873" E	216.3607
am16	14° 52' 19.07057" N	102° 01' 27.12521" E	216.7737
am17	14° 52' 19.08967" N	102° 01' 27.09590" E	217.1754
am18	14° 52' 19.11108" N	102° 01' 27.06467" E	217.5548
am19	14° 52' 19.13174" N	102° 01' 27.03472" E	217.9811

- วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับ
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัด UTM Indian1975 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
am01	180194.730	1645977.019	235.557
am02	180193.812	1645977.686	235.964
am03	180192.872	1645978.339	236.354
am04	180191.991	1645979.019	236.759
am05	180191.112	1645979.598	237.159
am06	180190.183	1645980.267	237.552
am07	180189.280	1645980.875	237.943
am08	180188.377	1645981.522	238.357
am09	180187.505	1645982.177	238.755
am10	180186.620	1645982.821	239.154
am11	180185.685	1645983.480	239.567
am12	180184.782	1645984.132	239.965
am13	180183.958	1645984.751	240.351
am14	180182.948	1645985.437	240.765
am15	180182.105	1645986.072	241.159
am16	180181.109	1645986.699	241.572
am17	180180.239	1645987.298	241.974
am18	180179.313	1645987.969	242.354
am19	180178.424	1645988.617	242.780

- วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับ
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ต่างระดับฉบับพลัน
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัด UTM WGS1984 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
am01	180194.730	1645977.019	235.557
am02	180193.808	1645977.678	235.964
am03	180192.893	1645978.315	236.354
am04	180191.988	1645978.970	236.759
am05	180191.093	1645979.618	237.159
am06	180190.189	1645980.252	237.552
am07	180189.277	1645980.891	237.943
am08	180188.373	1645981.537	238.357
am09	180187.475	1645982.173	238.755
am10	180186.567	1645982.816	239.154
am11	180185.645	1645983.459	239.567
am12	180184.745	1645984.108	239.965
am13	180183.850	1645984.749	240.351
am14	180182.967	1645985.374	240.765
am15	180182.024	1645986.052	241.159
am16	180181.112	1645986.688	241.572
am17	180180.211	1645987.329	241.974
am18	180179.307	1645987.979	242.354
am19	180178.395	1645988.631	242.780

2.1 ข้อมูลรายการค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่ได้จากการสำรวจด้วย DGPS บนพื้นที่ราบ

- วิธีการรังวัด** : DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว
ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
ระบบพิกัด : ระบบพิกัดฉาก WGS1984

Point	X	Y	Z
wt01	-1284049.300	6030804.666	1626688.631
wt02	-1284057.884	6030806.075	1626676.976
wt03	-1284066.698	6030807.588	1626665.346
wt04	-1284075.584	6030809.452	1626653.840
wt05	-1284084.057	6030810.250	1626642.085
wt06	-1284092.460	6030810.793	1626630.188
wt07	-1284101.183	6030811.911	1626618.351
wt08	-1284109.987	6030813.192	1626606.547
wt09	-1284118.791	6030814.547	1626594.816
wt10	-1284127.500	6030815.868	1626583.334
wt11	-1284138.758	6030816.080	1626565.895
wt12	-1284144.270	6030817.451	1626559.579
wt13	-1284153.199	6030819.116	1626547.949
wt14	-1284162.150	6030820.702	1626536.412
wt15	-1284170.870	6030821.816	1626524.764
wt16	-1284179.640	6030823.185	1626513.070
wt17	-1284188.340	6030824.439	1626501.275
wt18	-1284197.181	6030825.628	1626489.442
wt19	-1284206.010	6030826.696	1626477.606
wt20	-1284214.756	6030827.716	1626465.884

วิธีการรังวัด : DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS1984

Point	Latitude	Longitude	Ellipse Height
wt01	14° 52' 26.55585" N	102° 01' 10.74928" E	212.028
wt02	14° 52' 26.16292" N	102° 01' 11.02033" E	212.0957
wt03	14° 52' 25.76953" N	102° 01' 11.29817" E	212.3147
wt04	14° 52' 25.37706" N	102° 01' 11.57591" E	212.911
wt05	14° 52' 24.98616" N	102° 01' 11.84760" E	212.3538
wt06	14° 52' 24.59301" N	102° 01' 12.11873" E	211.5049
wt07	14° 52' 24.19650" N	102° 01' 12.39637" E	211.2785
wt08	14° 52' 23.79954" N	102° 01' 12.67549" E	211.2324
wt09	14° 52' 23.40429" N	102° 01' 12.95410" E	211.2739
wt10	14° 52' 23.01733" N	102° 01' 13.22984" E	211.3286
wt11	14° 52' 22.44765" N	102° 01' 13.59671" E	209.3189
wt12	14° 52' 22.22827" N	102° 01' 13.76751" E	210.1026
wt13	14° 52' 21.83344" N	102° 01' 14.04805" E	210.4889
wt14	14° 52' 21.44213" N	102° 01' 14.32984" E	210.8284
wt15	14° 52' 21.05161" N	102° 01' 14.60740" E	210.6479
wt16	14° 52' 20.65744" N	102° 01' 14.88480" E	210.7052
wt17	14° 52' 20.26118" N	102° 01' 15.16070" E	210.6142
wt18	14° 52' 19.86402" N	102° 01' 15.44167" E	210.4813
wt19	14° 52' 19.46776" N	102° 01' 15.72311" E	210.2304
wt20	14° 52' 19.07562" N	102° 01' 16.00216" E	209.9467

- วิธีการรังวัด : DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัด UTM Indian1975 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
wt01	179691.873	1646226.719	236.386
wt02	179699.746	1646214.481	236.529
wt03	179707.816	1646202.223	236.830
wt04	179715.870	1646189.987	237.509
wt05	179723.785	1646177.822	237.030
wt06	179731.693	1646165.592	236.257
wt07	179739.770	1646153.246	236.112
wt08	179747.886	1646140.882	236.148
wt09	179755.984	1646128.569	236.272
wt10	179764.001	1646116.512	236.410
wt11	179772.582	1646104.599	234.573
wt12	179777.451	1646097.970	235.397
wt13	179785.468	1646086.066	235.856
wt14	179793.524	1646074.267	236.273
wt15	179801.476	1646062.502	236.181
wt16	179809.414	1646050.624	236.318
wt17	179817.312	1646038.686	236.308
wt18	179825.359	1646026.720	236.263
wt19	179833.424	1646014.783	236.103
wt20	179841.422	1646002.971	235.912

- วิธีการรังวัด : DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัด UTM WGS1984 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
wt01	179691.985	1646226.873	236.385
wt02	179700.011	1646214.698	236.289
wt03	179708.073	1646202.479	236.183
wt04	179716.066	1646190.272	235.973
wt05	179724.115	1646178.066	235.763
wt06	179732.242	1646165.870	235.536
wt07	179740.309	1646153.652	235.307
wt08	179748.389	1646141.434	235.042
wt09	179756.477	1646129.216	234.825
wt10	179764.660	1646117.096	234.696
wt12	179780.641	1646092.602	234.462
wt13	179788.756	1646080.394	234.334
wt14	179796.906	1646068.192	234.318
wt15	179805.029	1646055.972	234.208
wt16	179813.135	1646043.757	234.131
wt17	179821.216	1646031.531	234.108
wt18	179829.383	1646019.333	234.065
wt19	179837.525	1646007.157	233.926
wt20	179845.757	1645994.991	233.745

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัดฉาก WGS1984

Point	X	Y	Z
wt01	-1284047.304	6030803.781	1626691.753
wt02	-1284055.826	6030804.681	1626679.998
wt03	-1284064.512	6030805.910	1626668.309
wt04	-1284073.047	6030807.040	1626656.519
wt05	-1284081.708	6030808.145	1626644.790
wt06	-1284090.401	6030809.253	1626633.044
wt07	-1284099.043	6030810.372	1626621.269
wt08	-1284107.684	6030811.428	1626609.536
wt09	-1284116.377	6030812.542	1626597.805
wt10	-1284125.136	6030813.710	1626586.156
wt11	-1284133.657	6030814.976	1626574.382
wt12	-1284142.327	6030816.201	1626562.642
wt13	-1284151.078	6030817.383	1626550.938
wt14	-1284159.814	6030818.662	1626539.203
wt15	-1284168.533	6030819.892	1626527.513
wt16	-1284177.235	6030821.082	1626515.814
wt17	-1284185.982	6030822.410	1626504.076
wt18	-1284194.756	6030823.690	1626492.386
wt19	-1284203.478	6030824.860	1626480.716
wt20	-1284212.352	6030825.929	1626468.992

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์
ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
ระบบพิกัด : ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS1984

Point	Latitude	Longitude	Ellipse Height
wt01	14° 52' 26.66470" N	102° 01' 10.69014" E	211.591
wt02	14° 52' 26.27290" N	102° 01' 10.96270" E	211.1393
wt03	14° 52' 25.88020" N	102° 01' 11.23834" E	211.0487
wt04	14° 52' 25.48540" N	102° 01' 11.50971" E	210.8085
wt05	14° 52' 25.09250" N	102° 01' 11.78541" E	210.5854
wt06	14° 52' 24.69899" N	102° 01' 12.06211" E	210.3679
wt07	14° 52' 24.30457" N	102° 01' 12.33706" E	210.1427
wt08	14° 52' 23.91196" N	102° 01' 12.61240" E	209.8676
wt09	14° 52' 23.51887" N	102° 01' 12.88909" E	209.6601
wt10	14° 52' 23.12779" N	102° 01' 13.16751" E	209.5366
wt11	14° 52' 22.73240" N	102° 01' 13.43750" E	209.4269
wt12	14° 52' 22.33817" N	102° 01' 13.71262" E	209.3168
wt13	14° 52' 21.94526" N	102° 01' 13.99072" E	209.1907
wt14	14° 52' 21.55063" N	102° 01' 14.26764" E	209.1462
wt15	14° 52' 21.15782" N	102° 01' 14.54432" E	209.0638
wt16	14° 52' 20.76509" N	102° 01' 14.82075" E	208.9373
wt17	14° 52' 20.36995" N	102° 01' 15.09771" E	208.9408
wt18	14° 52' 19.97664" N	102° 01' 15.37584" E	208.9162
wt19	14° 52' 19.58495" N	102° 01' 15.65305" E	208.7827
wt20	14° 52' 19.19212" N	102° 01' 15.93594" E	208.5709

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์
ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
ระบบพิกัด : ระบบพิกัด UTM Indian1975 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
wt01	179691.985	1646226.873	236.385
wt02	179699.972	1646214.717	235.934
wt03	179708.051	1646202.533	235.843
wt04	179716.002	1646190.286	235.603
wt05	179724.083	1646178.095	235.380
wt06	179732.193	1646165.886	235.163
wt07	179740.251	1646153.648	234.938
wt08	179748.322	1646141.467	234.663
wt09	179756.432	1646129.270	234.456
wt10	179764.595	1646117.135	234.333
wt11	179772.504	1646104.870	234.223
wt12	179780.567	1646092.639	234.113
wt13	179788.720	1646080.447	233.987
wt14	179796.837	1646068.203	233.943
wt15	179804.947	1646056.015	233.861
wt16	179813.050	1646043.829	233.734
wt17	179821.168	1646031.569	233.738
wt18	179829.321	1646019.365	233.713
wt19	179837.448	1646007.211	233.580
wt20	179845.744	1645995.020	233.368

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์
ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
ระบบพิกัด : ระบบพิกัด UTM WGS1984 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
wt01	179691.985	1646226.873	236.385
wt02	179699.972	1646214.717	235.934
wt03	179708.051	1646202.533	235.843
wt04	179716.002	1646190.286	235.603
wt05	179724.083	1646178.095	235.380
wt06	179732.193	1646165.886	235.163
wt07	179740.251	1646153.648	234.938
wt08	179748.322	1646141.467	234.663
wt09	179756.432	1646129.270	234.456
wt10	179764.595	1646117.135	234.333
wt11	179772.504	1646104.870	234.223
wt12	179780.567	1646092.639	234.113
wt13	179788.720	1646080.447	233.987
wt14	179796.837	1646068.203	233.943
wt15	179804.947	1646056.015	233.861
wt16	179813.050	1646043.829	233.734
wt17	179821.168	1646031.569	233.738
wt18	179829.321	1646019.365	233.713
wt19	179837.448	1646007.211	233.580
wt20	179845.744	1645995.020	233.368

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับ
 ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
 ระบบพิกัด : ระบบพิกัดจาก WGS1984

Point	X	Y	Z
wt01	-1284047.304	6030803.782	1626691.753
wt02	-1284055.856	6030804.678	1626679.891
wt03	-1284064.530	6030805.927	1626668.201
wt04	-1284073.073	6030807.053	1626656.438
wt05	-1284081.713	6030808.180	1626644.728
wt06	-1284090.417	6030809.275	1626632.940
wt07	-1284099.075	6030810.386	1626621.197
wt08	-1284107.715	6030811.466	1626609.424
wt09	-1284116.436	6030812.586	1626597.668
wt10	-1284125.176	6030813.709	1626586.063
wt11	-1284133.659	6030814.993	1626574.260
wt12	-1284142.348	6030816.205	1626562.564
wt13	-1284151.086	6030817.389	1626550.890
wt14	-1284159.806	6030818.663	1626539.180
wt15	-1284168.572	6030819.875	1626527.465
wt16	-1284177.250	6030821.087	1626515.763
wt17	-1284185.985	6030822.411	1626503.990
wt18	-1284194.804	6030823.678	1626492.305
wt19	-1284203.614	6030824.844	1626480.645
wt20	-1284212.352	6030825.981	1626468.880

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับ

ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ

ระบบพิกัด : ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS1984

Point	Latitude	Longitude	Ellipse Height
wt01	14° 52' 26.66470" N	102° 01' 10.69014" E	211.5915
wt02	14° 52' 26.26950" N	102° 01' 10.96369" E	211.1151
wt03	14° 52' 25.87664" N	102° 01' 11.23880" E	211.0411
wt04	14° 52' 25.48271" N	102° 01' 11.51047" E	210.8053
wt05	14° 52' 25.09025" N	102° 01' 11.78531" E	210.6032
wt06	14° 52' 24.69550" N	102° 01' 12.06247" E	210.3653
wt07	14° 52' 24.30211" N	102° 01' 12.33801" E	210.143
wt08	14° 52' 23.90807" N	102° 01' 12.61317" E	209.8816
wt09	14° 52' 23.51411" N	102° 01' 12.89070" E	209.6777
wt10	14° 52' 23.12480" N	102° 01' 13.16884" E	209.5196
wt11	14° 52' 22.72844" N	102° 01' 13.43744" E	209.4122
wt12	14° 52' 22.33564" N	102° 01' 13.71329" E	209.3044
wt13	14° 52' 21.94369" N	102° 01' 13.99094" E	209.1866
wt14	14° 52' 21.54991" N	102° 01' 14.26735" E	209.1401
wt15	14° 52' 21.15636" N	102° 01' 14.54572" E	209.0436
wt16	14° 52' 20.76344" N	102° 01' 14.82121" E	208.9319
wt17	14° 52' 20.36720" N	102° 01' 15.09778" E	208.9198
wt18	14° 52' 19.97408" N	102° 01' 15.37751" E	208.8941
wt19	14° 52' 19.58261" N	102° 01' 15.65763" E	208.7771
wt20	14° 52' 19.18818" N	102° 01' 15.93559" E	208.5908

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับ
ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
ระบบพิกัด : ระบบพิกัด UTM Indian1975 Zone 48 North

Point	X	Y	Z
wt01	179691.984	1646226.873	236.385
wt02	179700.000	1646214.613	235.909
wt03	179708.063	1646202.424	235.835
wt04	179716.023	1646190.203	235.599
wt05	179724.079	1646178.026	235.397
wt06	179732.203	1646165.778	235.159
wt07	179740.279	1646153.573	234.937
wt08	179748.343	1646141.348	234.676
wt09	179756.478	1646129.124	234.472
wt10	179764.634	1646117.043	234.314
wt11	179772.500	1646104.749	234.207
wt12	179780.586	1646092.561	234.099
wt13	179788.726	1646080.400	233.981
wt14	179796.828	1646068.182	233.935
wt15	179804.988	1646055.970	233.838
wt16	179813.063	1646043.779	233.726
wt17	179821.168	1646031.486	233.714
wt18	179829.370	1646019.287	233.689
wt19	179837.584	1646007.139	233.572
wt20	179845.732	1645994.901	233.386

วิธีการรังวัด : DGPS แบบจลน์ที่มีการรังวัดย้อนกลับ
ข้อมูล : ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนพื้นที่ราบ
ระบบพิกัด : ระบบพิกัด UTM WGS1984 Zone 48 North

Name	X	Y	Z
wt01	179691.984	1646226.873	236.385
wt02	179700.000	1646214.613	235.909
wt03	179708.063	1646202.424	235.835
wt04	179716.023	1646190.203	235.599
wt05	179724.079	1646178.026	235.397
wt06	179732.203	1646165.778	235.159
wt07	179740.279	1646153.573	234.937
wt08	179748.343	1646141.348	234.676
wt09	179756.478	1646129.124	234.472
wt10	179764.634	1646117.043	234.314
wt11	179772.500	1646104.749	234.207
wt12	179780.586	1646092.561	234.099
wt13	179788.726	1646080.400	233.981
wt14	179796.828	1646068.182	233.935
wt15	179804.988	1646055.970	233.838
wt16	179813.063	1646043.779	233.726
wt17	179821.168	1646031.486	233.714
wt18	179829.370	1646019.287	233.689
wt19	179837.584	1646007.139	233.572
wt20	179845.732	1645994.901	233.386

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายปฏิวัติ สอวงชัย
อีเมล pat.flat6@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2534	ชั้นประถมศึกษา โรงเรียนบ้านหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี
พ.ศ. 2537	ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี
พ.ศ. 2540	ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี
พ.ศ. 2544	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การนำเสนอผลงาน

ปฏิวัติ สอวงชัย และ สัญญา สราภิรมย์. (2552). การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองความสูงเชิงเลขกับข้อมูลการสำรวจภาคสนามด้วยกล้องรังวัดและ DGPS. การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14. สหุสัมมนาการ นครราชสีมา, ประเทศไทย.