

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขและงานรังวัดด้วยดาวเทียม
เพื่อการสำรวจและออกแบบทางหลวง : กรณีศึกษาทางเลี่ยงเมืองแม่ฮ่องสอน

นาย ธีรชัย รักวิจิตรกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

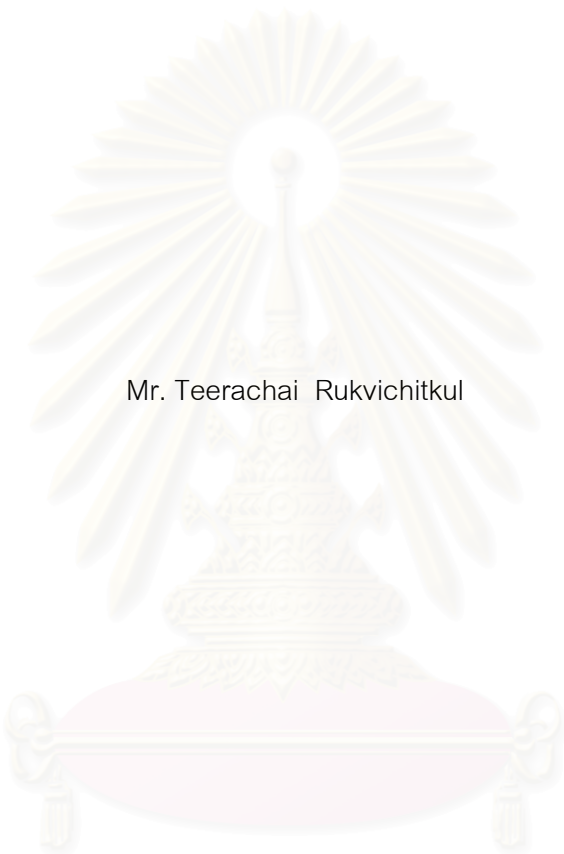
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1391-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRY AND GPS
FOR HIGHWAY LOCATION AND DESIGN (CASE STUDY MAEHONGSON BY-PASS)



Mr. Teerachai Rukvichitkul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1391-4

ธีรชัย รักวิจิตรกุล : การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขและงานรังวัดด้วยดาวเทียมเพื่อการสำรวจและออกแบบทางหลวง:กรณีศึกษาทางเลี่ยงเมืองแม่ฮ่องสอน.

APPLICATION OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRY AND GPS FOR HIGHWAY LOCATION AND DESIGN (CASE STUDY MAEHONGSON BY-PASS)

อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์ , 128 หน้า. ISBN 974-03-1391-4.

งานวิจัยการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขและงานรังวัดด้วยดาวเทียม เพื่อการสำรวจและออกแบบทางหลวง:กรณีศึกษาทางเลี่ยงเมืองแม่ฮ่องสอน มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาแนวทางการใช้วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ให้เกิดประโยชน์อย่างเหมาะสมกับงานด้านการสำรวจและออกแบบทางหลวง ซึ่งด้วยเทคโนโลยีและความก้าวหน้าทางด้านคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน วิธีการข้างต้นเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการสำรวจรังวัดพิภคตำแหน่ง การตรวจสอบหรือเปรียบเทียบกับข้อมูลพิภคตำแหน่งที่ได้ทำการรังวัดภาคสนามไปแล้ว หรือให้ข้อมูลภาพรวมในพื้นที่ ได้เป็นอย่างดี

ผลการวิจัยพบว่า ภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 มีความเหมาะสมสำหรับขั้นตอนการสำรวจเบื้องต้น ภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 มีความเหมาะสมสำหรับขั้นตอนการสำรวจขั้นต้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข คือ แบบจำลองระดับสูง และ ภาพถ่ายตัดแก้ออโท สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบแนวทาง การจัดกรรมสิทธิ์ที่ดินในเขตทาง หรือ ใช้ประกอบกับแบบแนวทางราบ จากการเปรียบเทียบภาพที่สแกนด้วยความละเอียด 15 และ 25 ไมครอน พบว่าภาพที่สแกนด้วยความละเอียด 25 ไมครอน สามารถใช้งานได้เพียงพอสำหรับการสำรวจเส้นทาง และขนาดจุดภาพของภาพตัดแก้ออโทที่ผลิตได้ที่เหมาะสมกับงานออกแบบทาง คือ 0.20 เมตร สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ความถูกต้องของจุดพิภคใน 3 มิติ ระยะเวลาในการทำงาน ขนาดพื้นที่การจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการนำมาใช้ในขั้นตอนต่างๆของการสำรวจและออกแบบทางหลวง

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อผู้ผลิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2544

417 03452 21: MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD: DIGITAL PHOTOGRAMMETRY / GPS / HIGHWAY / SURVEYING

TEERACHAI RUKVICHITKUL : APPLICATION OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRY
AND GPS FOR HIGHWAY LOCATION AND DESIGN (CASE STUDY
MAEHONGSON BY-PASS). THESIS ADVISOR : DR. PHISAN SANTITAMNONT,
128 pp. ISBN 974-03-1391-4.

The purpose of the research is to study how digital photogrammetry and GPS can be suitably used in different stages for highway location and design. According to the present technology and the progress of computer, the above-mention is an alternative to survey for validation and comparing to the location with ground survey or providing the information in general to be effectively used for highway design.

Resulting on the study area, aerial photo at scale 1:15000 is suitable for reconnaissance survey and photo at scale 1:6000 is suitable for preliminary survey. The outcomes of digital photogrammetric processing are digital elevation model and orthophoto. Those can be used for route design, property reclamation or overlaying with detail design plan. By comparison of images scanned at 15 and 25 micron resolution the digital image with latter resolution is adequate for route survey. The orthophoto produced at ground sampling distance of 0.20 meter can be optimally used for highway design. The important considerations are accuracy of the 3D points, timeliness, and manageable sizes of digital data for different stages of highway location and design.

Department Survey Engineering Student's signature.....

Field of study Survey Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและให้การแนะนำอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณที่ได้กรุณาเสียสละเวลา ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ ประธานกรรมการ นายช่างบุญเอก พิทักษ์ดำรงกิจ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็น ในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ ในระหว่างที่ทำการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณสุรศักดิ์ เขียววณิชพันธุ์ นายช่างประมณฑ์ สถาปนิก และ นายช่างสมเดช โสภณดิเรกรัตน์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่ง สำหรับนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ส่วนสำรวจทางและภูมิประเทศ สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือ และบุคลากร สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การอุปการะและสนับสนุน ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 แนวเหตุผล.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	6
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 การเตรียมภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายเชิงเลข.....	20
3.2 การวางแผนและการสำรวจหมุดบังคับภาพถ่าย.....	21
3.3 การประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการวิจัย	25
4.1 การสำรวจจุดควบคุมโดยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ในภาคสนาม.....	25
4.2 ผลการคำนวณปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ.....	26
4.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย.....	34
4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง.....	39
4.5 ผลการบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน.....	45
4.6 ผลลัพธ์จากการสร้างภาพถ่ายตัดแก้ไอที.....	46
4.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับสูงและภาพถ่ายตัดแก้ไอที.....	52
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
5.2 วิเคราะห์ผลการวิจัย	67
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	71
รายการอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก.....	76
ภาคผนวก ข.....	103
ภาคผนวก ค.....	116
ภาคผนวก ง.....	123
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	128

สารบัญตาราง

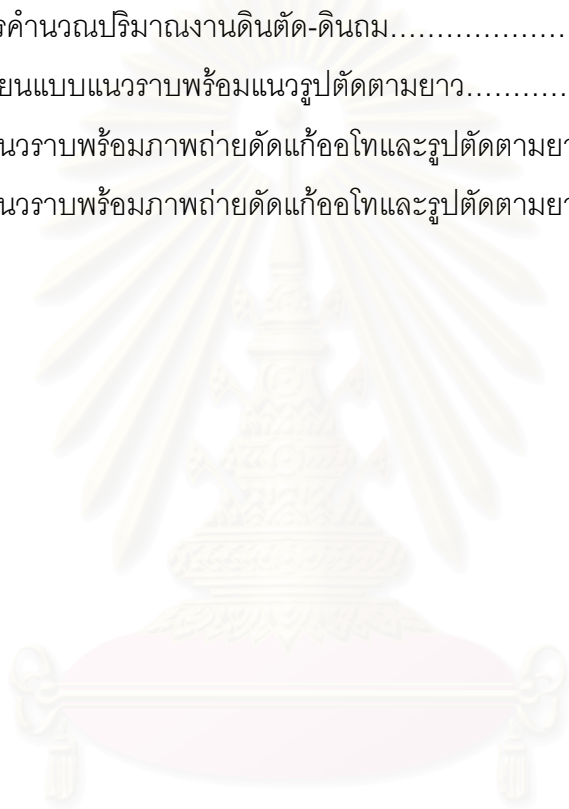
ตาราง		หน้า
3.1	สรุปรายละเอียดของภาพถ่ายที่นำมาใช้.....	20
3.2	ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข.....	24
4.1	ค่าพิกัดของจุดบังคับภาพถ่าย.....	25
4.2	ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายและจุดพิกัดบนพื้นดิน.....	28
4.3	ค่าความถูกต้องของมุมเอียงของจุดเปิดถ่าย.....	28
4.4	ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายและจุดพิกัดบนพื้นดิน.....	30
4.5	ค่าความถูกต้องของมุมเอียงของจุดเปิดถ่าย.....	30
4.6	ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายและจุดพิกัดบนพื้นดิน.....	32
4.7	ค่าความถูกต้องของมุมเอียงของจุดเปิดถ่าย.....	32
4.8	การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย.....	35
4.9	การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย.....	36
4.10	การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย.....	37
4.11	การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย.....	38
4.12	การประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง (มาตราส่วน 1:15000).....	41
4.13	การประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง (มาตราส่วน 1:6000).....	43
4.14	ขนาดข้อมูลที่ได้จากการสร้างภาพตัดแก้ออโท.....	46
4.15	ระยะเวลาในการประมวลผลสร้างภาพตัดแก้ออโท.....	47
4.16	ประสิทธิภาพการบีบอัดข้อมูลของโปรแกรม ECW Compressor 2.3.....	54
4.17	การเปรียบเทียบค่าระดับที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข.....	59

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1.1	การรังวัดจุดพิักัดบนพื้นดินจากภาพคู่ขึ้น.....	7
1.2	การสร้างภาพถ่ายตัดแก้อโทโดยใช้แบบจำลองระดับสูง.....	8
3.1	ขอบเขตของส่วนซ้อนทับบนภาพถ่ายทางอากาศ.....	21
3.2	พื้นผิวย่อยและพื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิง.....	23
4.1	ตัวอย่างรายงานผลการปรับแก้ซ้ายสามเหลี่ยมทางอากาศ.....	26
4.2	การแสดงตำแหน่งของจุดควบคุม จุดตรวจสอบและจุดยึด.....	27
4.3	การประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง ที่มาตราส่วน 1: 6000.....	39
4.4	การประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง ที่มาตราส่วน 1:15000.....	40
4.5	การบันทึกจุดพิักัดบนพื้นดินจากภาพคู่ขึ้น ที่มาตราส่วน 1:6000.....	45
4.6	ภาพถ่ายตัดแก้อโทที่ความละเอียดจุดภาพ 0.10 เมตร.....	48
4.7	ภาพถ่ายตัดแก้อโทที่ความละเอียดจุดภาพ 0.15 เมตร.....	48
4.8	ภาพถ่ายตัดแก้อโทที่ความละเอียดจุดภาพ 0.20 เมตร.....	49
4.9	ภาพถ่ายตัดแก้อโทที่ความละเอียดจุดภาพ 0.40 เมตร.....	49
4.10	ภาพถ่ายตัดแก้อโทที่ความละเอียดจุดภาพ 0.80 เมตร.....	50
4.11	ภาพถ่ายตัดแก้อโทที่ความละเอียดจุดภาพ 2.00 เมตร.....	50
4.12	การใช้งานภาพถ่ายตัดแก้อโทบนโปรแกรมช่วยเขียนแบบ.....	53
4.13	เว็บไซต์ของ ERMapper และรายชื่อโปรแกรม Plug-in.....	53
4.14	การบีบอัดข้อมูลด้วยโปรแกรม ECW Compressor 2.3.....	54
4.15	การใช้งานภาพถ่ายตัดแก้อโทบนโปรแกรมช่วยเขียนแบบ.....	55
4.16	การนำเข้าข้อมูลจุดที่ได้จากสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข.....	56
4.17	การใช้โปรแกรมสำหรับงานออกแบบ Softdesk 8 Civil/Survey.....	56
4.18	การสร้างซ้ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ บนภาพถ่ายตัดแก้อโท.....	57
4.19	การสร้างแบบจำลองระดับสูงในลักษณะของเส้นชั้นความสูง.....	57
4.20	รูปตัดตามยาว แสดงผลค่าระดับดินเดิมตามแนวเส้นทาง.....	58
4.21	การแสดงผลเปรียบเทียบค่าระดับดินเดิม.....	60
4.22	การออกแบบค่าระดับหลังทางตามแนวเส้นทาง.....	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.23	รูปตัดตามขวางโครงสร้างชั้นทาง	61
4.24	รูปตัดตามขวางแสดงแนวตัดช่วงที่เป็นงานดินตัด.....	62
4.25	รูปตัดตามขวางแสดงแนวตัดช่วงที่เป็นงานดินถม.....	62
4.26	ผลการคำนวณปริมาณงานดินตัด-ดินถม.....	63
4.27	การเขียนแบบแนวราบพร้อมแนวรูปตัดตามยาว.....	63
4.28	แบบแนวราบพร้อมภาพถ่ายตัดแก้ออโทและรูปตัดตามยาว.....	64
4.29	แบบแนวราบพร้อมภาพถ่ายตัดแก้ออโทและรูปตัดตามยาว.....	64



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแนภูมิ

แนภูมิ		หน้า
4.1	ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายทางราบและทางดิ่ง.....	29
4.2	ค่าความถูกต้องของจุดพิกัดบนพื้นดิน.....	29
4.3	ค่าความถูกต้องของมุมเอียงของจุดเปิดถ่าย.....	30
4.4	ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายและจุดพิกัดบนพื้นดิน.....	31
4.5	ค่าความถูกต้องของมุมเอียงของจุดเปิดถ่าย.....	31
4.6	ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายและจุดพิกัดบนพื้นดิน.....	33
4.7	ค่าความถูกต้องของมุมเอียงของจุดเปิดถ่าย.....	33



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้ภาพถ่ายทางอากาศสำหรับงานสำรวจรังวัดแนวทาง เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากวิวัฒนาการของอุปกรณ์เพื่อการรังวัดด้วยภาพถ่ายที่ให้ความสะดวก ทำการวัดระยะบนภาพถ่ายได้รวดเร็วกว่างานรังวัดภาคพื้นดิน เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนในการทำงาน การทอนข้อมูลทางคณิตศาสตร์ รวมทั้งการเก็บข้อมูลดาวในหลายรูปแบบ เป็นการอนุรักษ์ข้อมูลเป็นอย่างดี

ข้อดีของการนำภาพถ่ายทางอากาศมาใช้ในการสำรวจรังวัดแนวทาง มีดังนี้

- การถ่ายภาพทางอากาศสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างขวางช่วยให้การเลือกแนวทางทำได้สะดวกและแน่นอน
- การศึกษาเส้นทางเพื่อการก่อสร้างไม่ต้องเดินสำรวจหรือรูก้ำ เข้าในในส่วนบุคคลที่อยู่ข้างเคียง และในส่วนที่ต้องมีการเวนคืนที่ดิน การใช้ภาพถ่ายทางอากาศจะนำมาใช้เพื่อแสดงเขตทางแก่เจ้าของที่ดินที่เกี่ยวข้องได้ชัดเจนกว่าการสาธิตด้วยแผนที่
- สำหรับโครงการขนาดใหญ่ การใช้แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ จะช่วยลดระยะเวลาการดำเนินการของการสำรวจเบื้องต้นก่อนการออกแบบให้สั้นลง และ ค่าใช้จ่ายเบ็ดเสร็จในการสำรวจและเขียนแผนที่ น้อยกว่าการสำรวจภาคพื้นดิน
- การเขียนและตรวจทานรายละเอียดแผนที่ ทำได้รวดเร็วและตกหล่นน้อย

กรมทางหลวงเป็นหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่ความรับผิดชอบในด้านการควบคุม ดำเนินการก่อสร้างและซ่อมบำรุงทางหลวง 3 ประเภท ได้แก่ ทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดิน และ ทางหลวงสัมปทานทั่วประเทศ ปัจจุบันกรมทางหลวงรับผิดชอบเส้นทางหลวงทั่วประเทศอยู่ประมาณ 50000 กิโลเมตร ในส่วนของงานก่อสร้างทางหลวงเส้นทางใหม่นั้น การสำรวจเส้นทาง (Route Survey) เป็นขั้นตอนแรกในการทำงาน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและเชื่อถือได้ สำหรับนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดจากจุดต้นทางไปสู่จุดปลายทาง รวม

ถึงนำมาใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งโดยทั่วไปข้อมูลดังกล่าวได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศและการสำรวจภาคสนาม

การสำรวจเส้นทาง แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้ ได้แก่ การสำรวจเบื้องต้น (Reconnaissance survey) การสำรวจขั้นต้น (Preliminary Survey) การสำรวจเพื่อการออกแบบ (Location survey) การสำรวจเพื่อการก่อสร้าง (Construction survey) (ยรรยง พ.ศ.2538)

ปัจจุบันขีดความสามารถทางเทคโนโลยีในการสร้างแบบจำลองระดับสูง ด้วยวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่าย สามารถให้ผลการรังวัดที่มีความละเอียดถูกต้องในระดับ เดซิเมตรถึงเมตร (0.1-10 ม.) สามารถใช้ได้ในพื้นที่กว้างขวาง การสำรวจไม่ต้องเข้าถึงพื้นที่โดยตรง แต่ข้อจำกัดคือ เครื่องมือ และ วิธีการที่ซับซ้อน ในส่วนของการรังวัดภาคพื้นดิน จะให้ความละเอียดถูกต้องสูงสุด ในระดับเซนติเมตรถึงเมตร (0.01-1 ม.) แต่การทำงานต้องเข้าถึงพื้นที่โดยตรง และเครื่องมือที่ทำการรังวัดมีข้อจำกัด เช่น ขีดจำกัดของการมองเห็นด้วยอุปกรณ์เชิงทัศนของกล้องรังวัด ระยะทางที่จำกัดของการวัดระยะด้วยเครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ การบดบังของภูมิประเทศ เช่น ต้นไม้ สิ่งปลูกสร้าง (ไพศาล พ.ศ.2544)

สำหรับประเด็นศึกษาที่ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจในการวิจัยครั้งนี้คือ การศึกษาแนวทางการนำวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเหมาะสมกับงานด้านการสำรวจและออกแบบทางหลวง ได้แก่ งานในขั้นตอนการสำรวจเบื้องต้น (Reconnaissance survey) การสำรวจขั้นต้น (Preliminary Survey) การสำรวจเพื่อการออกแบบ (Location survey) โดยในปัจจุบันวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลขเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการรังวัดพิกัดตำแหน่ง ใช้เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบกับข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ทำการรังวัดภาคสนามไปแล้ว หรือการให้ข้อมูลอื่นๆของพื้นที่ได้ไม่มากนักน้อย เช่น ทางเดินของน้ำฝน เขตกรรมสิทธิ์ที่ดิน ฯลฯ ผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข โดยพื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้มีมาตราส่วน 1:6000 และ 1:15000 นำไป Scan ด้วย Photogrammetric Scanner ที่ความละเอียด 15 และ 25 microns เพื่อสร้างแบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model) และ ภาพถ่ายตัดแก้ออโท (Orthophoto) สำหรับนำไปใช้ให้มีความเหมาะสมกับขั้นตอนต่างๆของการสำรวจและออกแบบทางหลวง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการศึกษาวิธีการในการใช้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขและการรังวัดด้วยดาวเทียม สำหรับประยุกต์ใช้กับการสำรวจและออกแบบทางหลวง
2. เพื่อการเปรียบเทียบระดับความถูกต้องที่ได้ ระยะเวลาการทำงาน ขนาดพื้นที่การจับเก็บ ประโยชน์ที่ได้ ปัญหาและอุปสรรค จากการประมวลผล Digital Photogrammetry ที่มีมาตราส่วนและความละเอียดของการสแกนภาพถ่ายที่แตกต่างกัน
3. เพื่อการผลิตแบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model) และ ภาพถ่ายตัดแก้ออโท (Orthophoto) ให้เกิดความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นข้อมูล ในขั้นตอนต่างๆ ของการสำรวจและออกแบบทางหลวง

1.3 แนวเหตุผล

การนำหลักวิชาทางด้านการสำรวจด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry) และ งานรังวัดด้วยดาวเทียม (Global Positioning System) มาประยุกต์ใช้ในด้านการสำรวจและออกแบบทางหลวง (Highway Location and Design) โดยอาศัยเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วย เพื่อให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย ในการทำงานมากยิ่งขึ้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความเหมาะสมในการใช้งานภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่มีมาตราส่วนและความละเอียดของการสแกนภาพถ่ายที่แตกต่างกัน ระดับความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการทำงานดังกล่าว ระยะเวลาในการทำงาน ขนาดของพื้นที่ในการจัดเก็บไฟล์ข้อมูลที่ได้ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการในการนำมาใช้ในขั้นตอนต่างๆของการสำรวจและออกแบบทางหลวง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ จึงจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

1. พื้นที่ในการวิจัยครั้งนี้คือ พื้นที่ตอนบนของอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน บริเวณทางหลวงหมายเลข 1095 ช่วงกม. 2+500 ถึง กม. 5+100 (จากอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน) ลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงชัน มีต้นไม้หนาแน่นและมีชุมชนกระจายอยู่ในพื้นที่

2. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

- ภาพถ่ายทางอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา มาตรฐาน 1:6000 (7 ภาพ) และ 1:15000 (3 ภาพ)

- แผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50000 นำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบ

- การรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดินของภาพถ่าย โดยใช้วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ในภาคสนาม

- ข้อมูลประกอบอื่นๆที่ได้จากกรมทางหลวง

3. อุปกรณ์หลักที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้

- Photogrammetric Scanner ใช้แผ่นไดอะโพสิทีฟในการสแกนที่ความละเอียด 15 ไมครอน (1693 dpi) และ 25 ไมครอน (1016 dpi) (ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท GIS DATA)

- Computer PC และ Printer

4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการทำงานวิจัยคือ โปรแกรม Erdas IMAGINE 8.4 , Erdas IMAGINE OrthoBASE , Erdas Stereo Analyst , Erdas VirtualGIS

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการวิจัย มีดังนี้

1. การกำหนดพื้นที่ศึกษาและขอบเขตการวิจัย

2. การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและวางแผนการทำงาน

3. การนำภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาไปสแกน โดยใช้ Photogrammetric Scanner

4. การเลือกจุดควบคุม (Ground control point) จากภาพถ่ายทางอากาศในสำนักงาน และการรังวัดด้วยดาวเทียม(GPS)ในภาคสนามเพื่อหาพิกัดตำแหน่งของจุดควบคุมบนภาพถ่ายทางอากาศ

5. การประมวลผลภาพโดยใช้ Erdas IMAGINE OrthoBASE เพื่อ การบันทึกตำแหน่ง Fiducials Marks , บันทึกตำแหน่ง Ground Control Point , Manual Tie Point , Automatic tie points , Aerial Triangulation

6. การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ด้วย Erdas Stereo Analyst เพื่อสร้างแบบจำลองระดับสูง (ในบริเวณส่วนซ้อนทับของภาพถ่ายคู่ซ้อน) หลังจากนั้นจึงทำการรวมแบบจำลองระดับสูงเข้ากับชุดภาพถ่าย เพื่อสร้างภาพถ่ายเชิงเลขที่ตัดแก้แล้ว (Digital Orthophoto)

7. การแสดงผลภาพถ่ายออร์โทร่วมกับแบบจำลองระดับสูงด้วยโปรแกรม Erdas VirtualGIS เพื่อตรวจสอบหาจุดที่อาจมีการบันทึกผิดพลาด เพื่อนำไปแก้ไขแบบจำลองระดับสูง

8. การเปรียบเทียบระดับความถูกต้องที่ได้ ระยะเวลาการทำงาน ขนาดพื้นที่การจัดเก็บประโยชน์ที่ได้ ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน ในแต่ละมาตราส่วนของภาพถ่ายและความละเอียดของการสแกนภาพ

9. การศึกษาความเหมาะสมของแบบจำลองระดับสูงและภาพถ่ายออร์โทที่ผลิตได้จากภาพถ่ายในแต่ละมาตราส่วนและความละเอียดของการสแกนภาพ สำหรับนำมาใช้ประโยชน์ในขั้นตอนต่างๆของการสำรวจและออกแบบทางหลวง

10. สรุปผลการวิจัย พร้อมข้อเสนอแนะของงานวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แนวทางในการประยุกต์ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขและการรังวัดด้วยดาวเทียม สำหรับการสำรวจและออกแบบทางหลวง

2. การเปรียบเทียบระดับความถูกต้องที่ได้ ระยะเวลาการทำงาน ขนาดพื้นที่การจัดเก็บประโยชน์ที่ได้ ปัญหาและอุปสรรค จากการประมวลผล Digital Photogrammetry ที่มาตราส่วนและความละเอียดของการสแกนภาพถ่ายที่แตกต่างกัน

3. การผลิตแบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model) และ ภาพถ่ายตัดแก้ออร์โท (Orthophoto) ให้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นข้อมูล ในขั้นตอนต่างๆ ของการสำรวจและออกแบบทางหลวง

4. การใช้วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ช่วยให้นักวิชาการผู้ออกแบบทางได้มีข้อมูลต่างๆในภาพรวมเพื่อการตัดสินใจเพิ่มมากขึ้น

5. การใช้ภาพถ่ายตัดแก้ออร์โท ในการนำเสนอข้อมูลด้านการจัดกรรมสิทธิ์ที่ดินในการก่อสร้างทางหลวงจะช่วยให้ประชาชนได้เข้าใจและเห็นภาพแนวเขตทางได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ทฤษฎีและพื้นฐานความรู้ทางด้านภาพถ่ายทางอากาศที่นำมาใช้ มีดังนี้

Space Forward Intersection

-เป็นวิธีการที่นำมาใช้เพื่อคำนวณหาค่าพิกัดของจุดบนพื้นดิน (X,Y,Z) ซึ่งอยู่บนส่วนซ้อนของภาพถ่ายอย่างน้อย 2 ภาพ โดยต้องทราบค่าลักษณะทางเรขาคณิตภายในของกล้องถ่ายภาพ, ค่าตัวแปรจุดเปิดถ่ายของภาพถ่ายที่นำมาใช้ซ้อนทับ โดยใช้สมการสมการร่วมเส้นในการคำนวณ

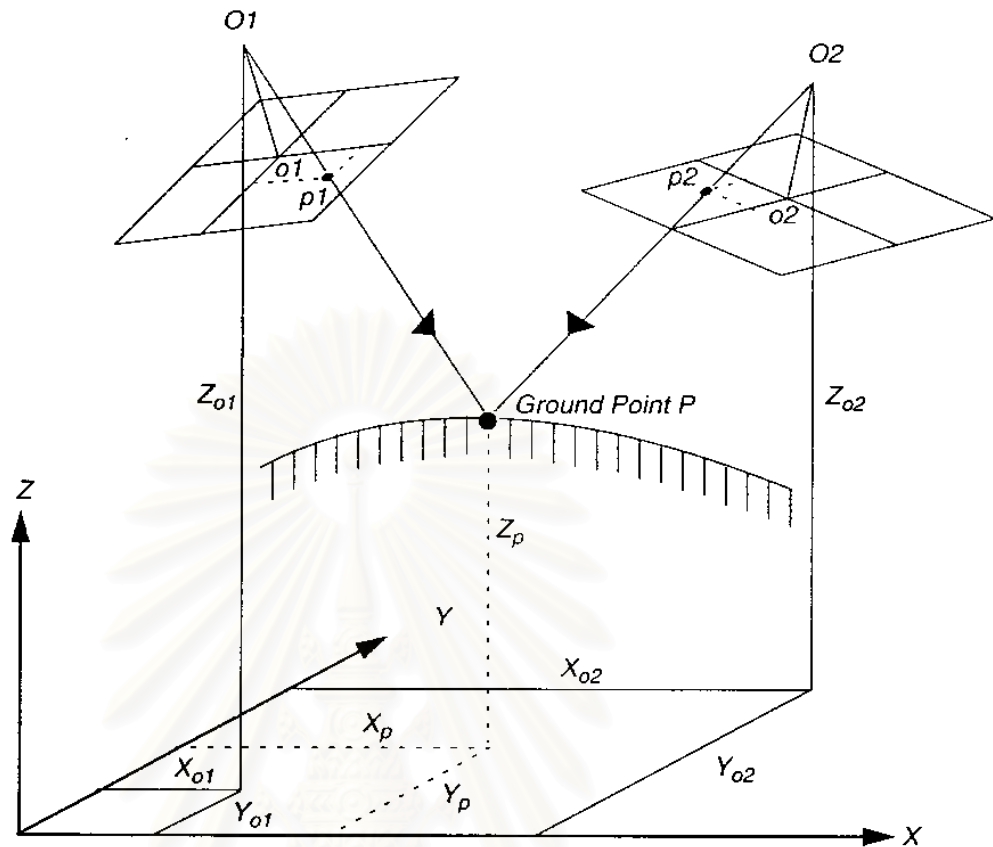
Blundle Block Adjustment

-วิธีการปรับแก้แบบลำแสงเป็นบล็อก เป็นวิธีการคำนวณปรับแก้ที่นำมาใช้กับบล็อกของภาพถ่ายทางอากาศ ที่นิยมใช้ และให้ความละเอียดถูกต้องสูง อาศัยการสร้างระบบสมการร่วมเส้นสำหรับแต่ละลำแสง โดยค่าพิกัดของจุดควบคุมบนพื้นดินใช้เป็นค่าคงที่ เมื่อมีจำนวนเพียงพอก็สามารถนำมาคำนวณหาตัวไม่ทราบค่าคือค่าการวางตัวของทุกภาพได้ทั้งบล็อกของภาพถ่าย นอกจากนี้ การปรับแก้ด้วยวิธีการ Self-Calibrating Bundle Adjustment ช่วยแก้ความผิดของระบบ ที่เกี่ยวกับลักษณะทางเรขาคณิตภายในของกล้องถ่ายภาพ

Aerial Triangulation

-เป็นวิธีการขยายจุดควบคุมภาพถ่าย เพื่อใช้ในการหาค่าตำแหน่งของจุดเปิดถ่ายของภาพถ่าย โดยมีวิธีการที่แพร่หลายคือ Bundle Block Adjustment ซึ่งให้ความถูกต้องในระดับ 5-20 ไมครอน ซึ่งพัฒนาไปถึงขั้นของงานที่เป็นบล็อกจีพีเอส (GPS Block) ข้อมูลที่ทำการรังวัด ได้แก่ Control point Pass point Tie point

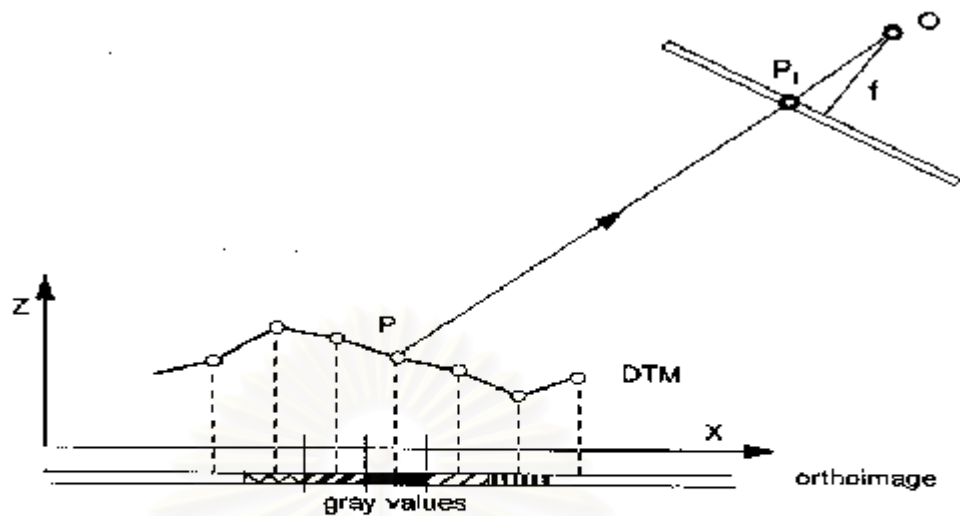
-ผลลัพธ์ที่คำนวณได้ คือ ค่าการวางตัวของทุกภาพ ตำแหน่งในภูมิประเทศของ Pass point Tie point



รูปที่ 1.1 การรังวัดจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน (Erdas Inc.)

Orthorectification

-การตัดแก้ภาพเป็นกระบวนการที่มีการขจัดความผิดทางตำแหน่งของภาพ จะช่วยลดความผิดพลาดของการปรากฏของจุดภาพ เนื่องจากการฉายผ่านศูนย์ ซึ่งมีสาเหตุจาก ความสูงต่ำของภูมิประเทศ การเอียงตัวของกล้องถ่ายภาพ ผลจากระยะเหลี่ยมกันบนภูมิประเทศสามารถแก้ได้โดยการสร้างแบบจำลองความสูงระหว่างกระบวนการตัดแก้ภาพถ่าย ภายหลังจากได้ภาพถ่ายที่ตัดแก้แล้ว ภาพถ่ายที่ได้จะเป็นภาพถ่ายที่ผ่านการฉายแบบตั้งฉากลงพื้นดิน (Orthographic) ซึ่งการรังวัดพิกัดภาคพื้นดินสามารถทำได้ เรียกว่า ภาพถ่ายตัดแก้เออโท



รูปที่ 1.2 การสร้างภาพถ่ายตัดแก้แอโรโทโดยใช้แบบจำลองระดับสูง (Erdas Inc.)

Where

- P = ground point
- P_1 = image point
- O = perspective center (origin)
- X, Y = ground coordinates (in DTM file)
- f = focal length

ปัจจุบันอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และโปรแกรมทางด้าน Photogrammetry มีการพัฒนาทางเทคโนโลยีก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว การใช้ Digital Photogrammetry เป็นวิธีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศในรูปแบบของภาพถ่ายเชิงเลข (Digital images) ซึ่งจัดเก็บและประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ ภาพถ่ายเชิงเลขสามารถสแกน(scan)ได้จากฟิล์มหรือแผ่นไดอะโพสิทีฟของภาพถ่าย สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องเชิงเรขาคณิตสูงเครื่องกวาดภาพที่นำมาใช้ คือ เครื่องกวาดภาพสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย(Photogrammetric Scanner) ปัจจุบันงานส่วนใหญ่ทางด้านภาพถ่ายทางอากาศสามารถทำได้โดยอัตโนมัติด้วย Digital Photogrammetry เช่น การผลิตภาพถ่ายเชิงเลขที่ตัดแก้แล้ว การสร้างแบบจำลองความสูงโดยอัตโนมัติ การสร้างภาพคู่ซ้อน 3 มิติ การหาจุดที่มีความถูกต้องสูง การจัดเก็บข้อมูลรายละเอียด การขยายจุดควบคุม ฯลฯ ผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในรูปแบบของ digital เช่น แผนที่เชิงเลข , digital elevation model , digital orthophoto ฯลฯ ซึ่งถูกบันทึกในคอมพิวเตอร์ ทำให้ง่ายต่อการจัดเก็บ การจัดการ และการประยุกต์ใช้งาน ทั้งนี้ ต้องอาศัย Software ในการทำงานดังกล่าว ซึ่งในปัจจุบันมี Software ให้เลือกใช้หลายประเภท เช่น ERDAS IMAGINE PHOTODIS-AT(Zeiss) MATCH-AT(INPHO and Intergraph) ORIMA/APM on NT (LH Systems) ฯลฯ การใช้อุปกรณ์ Computer และ Software สำหรับการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลขนั้น ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่อยู่ที่

Software ที่นำมาใช้ ซึ่งในปัจจุบันต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงควรใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด และ จากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของ Digital Photogrammetry ทำให้เทคนิคทางด้านภาพถ่ายทางอากาศนำมาใช้ร่วมกับ Remote sensing และ GIS

โดยทั่วไป ความละเอียดในการสแกนภาพดิจิทัล ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน สำหรับภาพถ่ายทางอากาศมีความสามารถในการบันทึกรายละเอียดได้ถึง 40-50 คู่เส้นต่อมิลลิเมตร หากใช้ค่า 50 lp/mm เป็นเกณฑ์ จะได้ว่า ขนาดของวัตถุที่ละเอียดที่สุดที่ภาพถ่ายทางอากาศจะบันทึกได้เป็น 10 ไมครอน เมื่อใช้สมมุติฐานที่ว่าภาพถ่ายทางอากาศสามารถวัดละเอียดในระดับ sub-pixel โดยยอมรับกันว่าสามารถวัดละเอียดถึง 1/3 จุดภาพ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการสแกนภาพถ่ายทางอากาศสามารถสแกนได้ตั้งแต่ 10 ถึง 30 ไมครอน (ไพศาล พ.ศ.2544)

รายละเอียดภาคพื้นดิน (Ground Resolution) คือ พื้นที่ที่เล็กที่สุดหรือระยะทางที่สั้นที่สุดที่สามารถมองเห็นได้ในภาพถ่าย สำหรับในงานวิจัยนี้ ใช้ภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 สแกนที่ความละเอียด 15 และ 25 ไมครอน ซึ่งจะได้ ภาพถ่ายเชิงเลขที่มีรายละเอียดภาคพื้นดินเท่ากับ 0.09 และ 0.15 เมตร ตามลำดับ ในส่วนของภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 สแกนที่ความละเอียด 15 และ 25 ไมครอนเช่นกัน จะได้รายละเอียดภาคพื้นดินเท่ากับ 0.23 และ 0.38 เมตร ตามลำดับ

จากการวิจัยของ OEEPE โดยการสแกนภาพถ่ายทางอากาศให้เป็นดิจิทัล ด้วยความละเอียด 15 และ 30 ไมครอน แล้วทำการวัดเพื่อทำชายสามเหลี่ยมทางอากาศด้วยซอฟต์แวร์อัตโนมัติ พบว่าการทำชายสามเหลี่ยมทางอากาศ บนภาพที่สแกนด้วยความละเอียด 15 ไมครอน ให้ผลความถูกต้องด้านตำแหน่งหลังการปรับแก้แล้ว 20 % ดีกว่าบนภาพที่สแกนด้วยความละเอียด 30 ไมครอน (Rotensteiner 1996)

การผลิตแบบจำลองระดับสูงด้วยซอฟต์แวร์จับคู่ภาพของงานวิจัย OEEPE Automatic DEM Extraction ระหว่างปี 1996-2000 กลุ่มนักวิจัยจาก Institute for Photogrammetry University of Stuttgart ได้ทำการทดสอบภาพชุด Vaihingen โดยการสแกนที่ 15 และ 30 ไมครอน สร้างแบบจำลองระดับสูงโดยการจับคู่ภาพ พบว่าภาพถ่ายที่สแกนที่ความละเอียด 15 ไมครอน ให้แบบจำลองระดับสูงที่มีความถูกต้องทางระดับดีกว่าเพียง 12 % เท่านั้น (F.Dieter 1998)

โดยอาศัยสมมุติฐานของภาพถ่ายเชิงเส้นสำหรับการวัดบนภาพคู่สามมิติ ภาพถ่ายทางอากาศ ความยาวโฟกัส 305 mm. มีมาตราส่วน 1 :6000 ความละเอียดถูกต้องของการวัดพิกัดภาพถ่าย

ในทางราบสำหรับจุดธรรมชาติเป็น 10 ไมครอน ความละเอียดถูกต้องของการวัด x-parallax เป็น 15 ไมครอน สามารถคำนวณค่าประมาณความละเอียดถูกต้องของการวัดพิกัดวัตถุในแบบจำลอง 3 มิติ ในทางราบ (σ_x) ได้เท่ากับ 0.06 m. และ ค่าประมาณความละเอียดถูกต้องของการวัดพิกัดวัตถุในแบบจำลอง 3 มิติ ในทางตั้ง (σ_h) ได้เท่ากับ 0.30 m. ซึ่งพื้นฐานการคำนวณข้างต้นมาจากความสัมพันธ์แบบกำลังสองของระยะวัตถุกับความถูกต้องทางตั้ง (Proportional to the square of object distance) ถ้าหากใช้อีกแนวคิดหนึ่งคือ ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของระยะวัตถุกับความถูกต้องทางตั้ง (Linearly Proportional to the object distance) ความละเอียดถูกต้องของการวัดพิกัดจุดด้วย Precise Analytical Plotters มี $\sigma_x = 6000 \cdot 0.006 = 36$ mm. (0.036 m.) และ $\sigma_h = 6000 \cdot 1.5 \cdot 0.006 = 54$ mm. (0.054 m.) และจากประสบการณ์การทำงานวิจัยพบว่ามีความไม่แน่นอนของการวัดเกิดขึ้น โดยที่ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยทางตำแหน่งของจุดธรรมชาติ เช่น มุมบ้าน มี $\sigma_x = 9.5$ cm. และ $\sigma_h = 11.5$ cm. มุมสนาม มี $\sigma_x = 15$ cm. และ $\sigma_h = 60$ cm. ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความละเอียดถูกต้องของการวัดบนภาพคู่สามมิติ อยู่ในระดับที่สามารถนำมาใช้ในการสำรวจเส้นทางได้ (Karl Kraus 1992)

งานรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เป็นวิธีการหาตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์บนพื้นผิวโลก อาศัยสัญญาณอ้างอิงจากระบบดาวเทียม โดยการพัฒนาของกระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ระบบดาวเทียมนีมีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนอวกาศ (Space Segment) ประกอบด้วยระบบดาวเทียมที่โคจรรอบโลก มีดาวเทียมจำนวน 24 ดวงโคจรอยู่บน 6 วงโคจร
2. ส่วนควบคุม (Control Segment) ประกอบด้วยสถานีควบคุมภาคพื้นดิน ทำหน้าที่ ส่งข้อมูลคำสั่งไปยังดาวเทียม ประเมินความผิดพลาดของตำแหน่งดาวเทียมแต่ละดวง
3. ส่วนของผู้ใช้งาน (User Segment) ประกอบด้วยผู้ใช้งานเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ในกิจการต่างๆ เช่น การสำรวจ การนำทางภาคพื้นดิน การเดินเรือ การเดินทาง ฯลฯ การทำงานใช้เครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมจำนวน 4 ดวงหรือมากกว่า เพื่อให้เพียงพอในการปรับแก้ หาพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณนั้นๆ

ในส่วนของเครื่องรับสัญญาณนี้มีหลายชนิดและมีวิธีการทำงานที่หลากหลาย ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งานว่าต้องการได้ค่าพิกัดตำแหน่งที่มีความถูกต้องในระดับใด ประโยชน์ของการรังวัดด้วยดาวเทียม ได้แก่ สามารถทำงานได้ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ทั้งกลางวันและกลางคืน , จุดที่ทำกรังวัดแต่ละจุดไม่จำเป็นต้องมองเห็นกันและกัน , มีความสะดวก รวดเร็ว และใช้คนจำนวนน้อยในการทำงาน , ให้ความถูกต้องของพิกัดตำแหน่งทางราบสูง

การนำเทคนิคทาง Digital Photogrammetry มาใช้ในการสำรวจเส้นทาง จำเป็นต้องมีการสำรวจรังวัดในภาคสนาม เพื่อให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดินบนภาพถ่าย ในปัจจุบันวิธีการสำรวจที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ งานรังวัดด้วยดาวเทียม(GPS) เพื่อวัดพิกัดของจุดควบคุมในเขตพื้นที่ศึกษาให้ได้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งบนพื้นดินที่มีความถูกต้องสูง โดยใช้จุดที่มองเห็นเด่นชัดบนภาพถ่าย (จุดที่ไม่เหมาะสมในการใช้เป็นจุดควบคุม ได้แก่ จุดที่อาจมีการเปลี่ยนแปลง ความสูง เช่น โกล้หลังคาบ้าน จุดเป็นเงา จุดไม่คมชัด จุดขอบป่าและขอบแม่น้ำ) ซึ่งข้อมูลพิกัดที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณปรับแก้ Bundle Block Adjustment โดยการประมวลผลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Karl Kraus 1997)

มาตรฐานในการทำแผนที่จากภาพถ่าย (Photogrammetric Mapping Standards) ที่ได้รับการยอมรับในสหรัฐอเมริกา มีดังนี้

- 1.มาตรฐานความถูกต้องของแผนที่แห่งชาติสหรัฐอเมริกา ,สำนักงานการจัดการและงบประมาณ (Office of Management and Budget , OMB , 1947) (ใช้สำหรับแผนที่มาตราส่วนเล็ก)
- 2.ข้อกำหนดของการสำรวจและการทำแผนที่ด้วยวิธีการด้านภาพถ่ายสำหรับงานทางหลวง วิธีการทางภาพถ่ายสำหรับคณะกรรมการทางหลวง (Photogrammetry for Highways Committee 1968)
- 3.คู่มือการสำรวจและการทำแผนที่ กระทรวงการขนส่งแห่งสหรัฐอเมริกา , Department of Transportation , DOT , 1985
- 4.มาตรฐานความถูกต้องสำหรับแผนที่มาตราส่วนใหญ่ สภาคภาพถ่ายและการสำรวจระยะไกลแห่งสหรัฐอเมริกา ,American Society for Photogrammetry and Remote Sensing , ASPRS ,1990
- 5.มาตรฐานการทำแผนที่แห่งชาติสหรัฐอเมริกา สำหรับความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (US National Cartographic Standards for Spatial Accuracy)

ในงานวิจัยนี้ เป็นงานประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเกี่ยวกับงานทางโดยเฉพาะ ดังนั้นมาตรฐานที่เหมาะสมก็คือ ข้อกำหนดของการสำรวจและการทำแผนที่ด้วยวิธีการด้านภาพถ่ายสำหรับงานทางหลวง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- เส้นชั้นความสูง - 90% ของค่าความสูง มีความถูกต้อง 0.5 เท่าของช่วงชั้นความสูง 10% ที่เหลือ มีความผิดพลาดไม่เกิน 1 เท่าของช่วงชั้นความสูง
- ตำแหน่งวัตถุทางราบ - 90% ของตำแหน่งวัตถุทางราบ มีค่าความถูกต้อง 1/40 นิ้ว ของพิกัดตำแหน่งที่ถูกต้องบนแผนที่
- ค่าจุดระดับสูง - 90% ของค่าจุดระดับสูงบนแผนที่ ควรมีความถูกต้อง 0.25 เท่า ของช่วงชั้นความสูง 10% ที่เหลือ มีความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 เท่าของช่วงชั้นความสูง

ตามหลักการภูมิศาสตร์ในการเขียนเส้นชั้นความสูงสำหรับทำแผนที่ ระยะห่างของจุดระดับที่จะทำการบันทึกบนแบบจำลองระดับสูง บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 เท่ากับ 10 เมตร และ บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 เท่ากับ 5 เมตร (Ideal Equal Distance Formula Imhof 1965)

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้า รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ พบว่า มีรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการสำรวจเส้นทางของกรมทางหลวง มีดังนี้

การสำรวจเบื้องต้น เป็นขั้นตอนการสำรวจเพื่อหาแนวเส้นทางที่มีความเป็นไปได้ โดยทั่วไปจะเลือกประมาณ 3 แนวทางเลือก ใช้แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50000 หรือ มาตรฐานที่ใหญ่กว่า (ถ้ามี) โดยเป็นแผนที่ที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการสำรวจเส้นทาง และใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:20000 หรือ มาตรฐานที่ใหญ่กว่า ซึ่งเป็นภาพถ่ายที่มีพื้นที่ครอบคลุมแนวเส้นทางและเป็นปัจจุบันมากที่สุด เพื่อนำมาใช้ในการมองเห็น 3 มิติ บนส่วนซ้อนทับของภาพถ่ายโดยใช้กล้องมองภาพ 3 มิติ ซึ่งจะช่วยในการเลือกแนวเส้นทางเบื้องต้นโดยสามารถมองเห็นแนวทางผ่านช่องเขา ไหล่เขา ส่วนสูงของอาคาร ต้นไม้ ฯลฯ

การสำรวจขั้นต้น ใช้การสำรวจภาคสนามเพื่อหาข้อมูลตามแนวเส้นทางที่เลือกเอาไว้ โดยเป็นการสำรวจจริงวัดอย่างคร่าวๆ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้นี้มาทำการประเมินและคัดเลือกแนวทางที่เป็นแนวทางสุดท้าย (Corridor)

การสำรวจเพื่อการออกแบบ เป็นการสำรวจแนวเส้นทางที่เลือกแล้วในภาคสนาม เพื่อการปรับแก้แนวทางสุดท้าย รวมถึงการรังวัดค่าพิกัด ค่าระดับ และเก็บรายละเอียดในเขตทาง เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบทาง (กรมทางหลวง พ.ศ.2539)

สมาคมทางหลวงแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Highway Administration) ได้จัดทำวิธีการใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ให้มีความเหมาะสมกับขั้นตอนในการทำงาน มีรายละเอียดดังนี้

1.การวางแผน (Planning)

-ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนเล็ก ใช้เพื่อแสดงข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน,เขตเมือง

-ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนใหญ่ ใช้เพื่อประเมินการกระจายตัวของประชากรและกิจกรรมที่ทำให้มีการจราจร

2.การสำรวจเบื้องต้นในพื้นที่ (Reconnaissance Survey of Area)

-เป็นขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ของแนวทางเลือก

-อาศัยการแปลความหมายจากภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อศึกษาลักษณะ ภูมิประเทศ ธรณีวิทยา การใช้ที่ดิน คุณสมบัติของดิน สิ่งแวดล้อม ฯลฯ ในบริเวณแนวเส้นทาง

-ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนเล็ก ใช้ศึกษาความเป็นไปได้ของแนวทางเลือก โดยใช้การมองเห็น 3 มิติ หรือ แผนที่ภูมิประเทศ เพื่อวาดแนวเส้นทางเลือก

-ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนใหญ่ นำมาใช้ในการมองเห็น 3 มิติ และ วัดขนาด Parallax

3.การสำรวจเบื้องต้นสำหรับเลือกแนวทาง (Reconnaissance Survey of Route Alternative)

-เป็นขั้นตอนการประเมินความเหมาะสมแต่ละแนวทางเลือก และ หาแนวเส้นทางที่เหมาะสม

-อาศัยการแปลความหมายจากภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อศึกษาลักษณะสิ่งแวดล้อม

-ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนใหญ่ เพื่อประมาณค่าก่อสร้าง ในแต่ละแนวทางเลือกหาปริมาณงานดินโดยประมาณจากการวัดขนาด Parallax บนภาพคู่ 3 มิติ

4. การสำรวจขั้นต้น (Preliminary Survey)

-เป็นขั้นตอนการหาข้อมูล โดยใช้เส้นทางที่คัดเลือกแล้ว เพื่อ วางแผนการก่อสร้าง การจัดทำข้อกำหนด การประมาณราคา

-ขั้นตอนนี้การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ มีข้อจำกัดคือบริเวณที่มีต้นไม้สูงและหนาแน่น กีดขวางการวัดขนาดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ จึงจำเป็นต้องมีการสำรวจภาคสนาม เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอ

-ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนใหญ่ ใช้เพื่อจัดทำภาพถ่ายตัดแก้ออโท (Orthophoto) และ แผนที่แสดงรายละเอียดและภูมิประเทศของแนวเส้นทาง

-ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนใหญ่ ใช้เพื่อหาพื้นที่รับน้ำ สำหรับออกแบบโครงสร้างระบายน้ำ

-ใช้การมองเห็น 3 มิติ การแปลภาพถ่าย เพื่อเลือกแนวทางสุดท้าย โดยคำนึงถึงลักษณะแนวทางราบและแนวทางดิ่งให้เหมาะสม

-ใช้เพื่อช่วยออกแบบแนวทาง วัดขนาดรูปตัดขวางด้วยวิธีการทางภาพถ่าย สำหรับคำนวณงานดิน

5. การสำรวจเพื่อการออกแบบ (Location Survey)

-เป็นขั้นตอนการสำรวจข้อมูลทั้งหมด เพื่อการเขียนแบบก่อสร้างซึ่งเป็นแบบแสดง เส้นทาง การจำกัดปริมาณงานดิน เขตทาง งานโครงสร้าง

6. การก่อสร้าง (Construction)

-เป็นขั้นตอนที่ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อการคิดปริมาณงานที่ดำเนินการก่อสร้างไปแล้ว เช่น งานดิน

7. การบำรุงรักษา (Maintenance)

-เป็นขั้นตอนที่ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อตรวจสอบความเสียหายจากการกัดเซาะ สภาพผิวทาง การเข้าออกทางหลวง (United States Department of Transportation 1991)

ภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยแห่งรัฐนอร์ท อาราบามา ทำการวิจัยพบว่า ขั้นตอนในการสำรวจและออกแบบทางหลวงโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศให้เกิดความเหมาะสม มีดังนี้

การสำรวจเบื้องต้น เป็นขั้นตอนการหาแนวทางที่มีความเป็นไปได้ ใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:20000 ถึง 1:50000

การสำรวจขั้นต้น เป็นขั้นตอนในการเปรียบเทียบแนวทางที่มีความเป็นไปได้ ใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:2500 ถึง 1:5000

การสำรวจเพื่อการออกแบบ เป็นขั้นตอนในการสำรวจเก็บรายละเอียดบนเส้นทางที่ดีที่สุด ใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:500 ถึง 1:1000 (Geography Department , University of North Alabama 1999)

Carl f. Mayer ศึกษาพบว่า การสำรวจและออกแบบเส้นทาง โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ มีขั้นตอนดังนี้

การสำรวจเบื้องต้น (Reconnaissance Survey) ใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:24000

การสำรวจขั้นต้น (Preliminary Survey) ใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:2400

การสำรวจเพื่อการออกแบบ (Location Survey) ใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:500 ถึง 1:1000

การสำรวจเพื่อการก่อสร้าง (Construction Survey) ไม่ระบุมาตราส่วนของภาพถ่าย ที่นำมาใช้ แต่ได้ระบุว่าสามารถใช้ในขั้นตอนนี้ได้เช่นกัน (Carl f. Mayer 1980)

Mladen Stojic รายงานว่า เทคนิคการจัดวางภาพถ่ายแบบสัมผัส ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างภาพต่อ(mosaics)ของภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดสำหรับใช้เป็นแผนที่ ซึ่งภาพที่นำมาใช้นั้นไม่จำเป็นต้องอ้างอิงกับตำแหน่งบนระบบพิกัดภาคพื้นดิน กระบวนการนี้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างภาพที่ใช้ กับพื้นดิน โดยไม่จำเป็นต้องมีจุดควบคุมภาคพื้นดิน ระบบพิกัดเชิงสัมพัทธ์นี้ ถูกสร้างขึ้นโดยการกำหนดจุดเริ่มต้นชั่วคราว จุดเริ่มต้นนี้จะถูกโยกย้ายตำแหน่งและทิศทางของภาพแรกที่ใช้ ภาพที่เหลือจะเป็นลำดับย่อยที่มีความสัมพันธ์ของทิศทางกับภาพที่ถูกยึดเอาไว้เพื่อที่จะสร้างภาพต่อ ผลที่ได้คือการลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการสร้างภาพต่อ เมื่อใช้ Imagine OrthoBase สำหรับงานแปลงภาพเชิงสัมพัทธ์ (Relative Rectification) ของภาพหลายภาพสามารถทำได้โดยไม่ต้องมีจุดควบคุมภาคพื้นดิน การหาจุดยึดด้วยตนเอง ข้อมูลDEM ข้อมูล exterior orientation airborne GPS/INS ขั้นตอนในการแปลงภาพโดยการใช้อัตโนมัติที่มีใน software และการนำเข้าข้อมูลจำนวนน้อย มีดังนี้

- 1.การกำหนดค่าให้กับ กลุ่มภาพ ใน โปรแกรม Imagine OrthoBase
- 2.นำเข้าภาพดิจิทัลเข้าไปยังโปรแกรม Imagine OrthoBase
- 3.สร้างชั้นข้อมูลแบบปริมาตร
- 4.กำหนดรูปแบบของกล้องถ่ายภาพ
- 5.การวัดจุดยึดโดยวิธีอัตโนมัติของโปรแกรม Imagine OrthoBase
- 6.จัดทำโครงข่ายสามเหลี่ยมของกลุ่มภาพ
- 7.ทำการแปลงภาพ

หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนที่ 7 สามารถทำการแสดงผลของภาพที่ผ่านกระบวนการแปลงแล้วพร้อมกันโดยจะได้เป็นภาพที่ต่อกัน (Mladen Stojic 1999)

Eric Tate ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศ ที่ใช้โดยทั่วไปคือ การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อหาค่าระดับของพื้นดินสำหรับนำไปผลิตแผนที่ภูมิประเทศ ในส่วนของขั้นตอนการสร้าง ภาพถ่ายตัดแก้จอโท(Digital Orthophotography) เรียกว่า Ortho-Rectification ซึ่งต้องใช้ภาพถ่ายทางอากาศและ TIN (Triangulation Irregular Network) ของแบบจำลองพื้นดินเชิงเลข (Digital Terrain Model) โดยทำการรวม TIN กับ ภาพที่ Scan มาเป็น raster image ทุกๆจุดภาพจะมีตำแหน่งและค่าที่แน่นอน ในขั้นตอนการปรับแก้ภาพถ่าย ทุกๆจุดภาพจะถูกประมาณ ค่าใหม่ (resample) โดยใช้สมการ Space Resection Equation ซึ่งช่วยขจัดความคลาดเคลื่อนจากการฉายภาพผ่านศูนย์กลาง ความเอียงของกล้องถ่ายภาพ ความสูงต่ำของพื้นดิน ผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในรูปแบบของภาพถ่ายเชิงเลขที่มีข้อมูลทางหลวง นอกจากนั้นความถูกต้องทางเรขาคณิตของภาพและสเกลของแผนที่จะมีความถูกต้องสูง อย่างไรก็ตามความถูกต้องของภาพถ่ายตัดแก้จอโทขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของจุดที่อยู่บนแบบจำลองพื้นผิว (Eric Tate 1998)

O. Kolbl กล่าวถึง Digital Photogrammetric Workstations ว่ามีองค์ประกอบดังนี้คือ หน่วยตรวจบันทึกข้อมูล, จอภาพ (1024*768 จุดภาพเป็นอย่างน้อย), ความละเอียดของการแสดงสี ตั้งแต่ 8 bit ขึ้นไป หน่วยประมวลผลข้อมูล หน่วยความจำหลักในการรับ-ส่งข้อมูล หน่วยเก็บข้อมูล (Hard disk) ควรมีขนาดใหญ่ ทั้งหมดเป็นองค์ประกอบสำหรับประมวลผลภาพเชิงเลข

การประยุกต์ใช้ Digital Photogrammetric work stations แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่

1.ระบบที่เกี่ยวกับการมองเห็น (Visualization systems)

2.การใช้ Software ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผล เช่น การทำถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ การผลิต orthophoto ฯลฯ

3.การใช้ GIS ร่วมกับ Photogrammetry

ในส่วนของกระบวนการวางแผนได้มีการนำ แบบจำลอง 3 มิติ และภาพเคลื่อนไหวมาใช้ แม้ว่าความก้าวหน้าทางการผลิต Digital Orthophoto เป็นไปอย่างช้าๆแต่เทคนิคและการประยุกต์ใช้มีมาแล้วมากกว่า 10 ปี ความซับซ้อนจะอยู่ในกระบวนการใหม่ๆ เช่น แบบจำลอง 3 มิติใช้กับมาตราส่วนใหญ่ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานสำรวจและออกแบบทางได้ (O. Kolbl 1996)

P.Onkalo ทำการวิจัยเกี่ยวกับความถูกต้องของแบบจำลองระดับสูงที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข โดยใช้พื้นที่ศึกษา 2 แห่ง คือ ที่ Espoo และ ที่ Nivala ในพื้นที่

ศึกษาแห่งแรก ทำการบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน ทุกระยะ 10 เมตร และ ที่พื้นที่ศึกษาอีกแห่งหนึ่ง ทำการบันทึก ทุกระยะ 20 เมตร และทำการบันทึกจุดพิกัดในทุกๆตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงทางความสูงเพิ่มให้กับแบบจำลองระดับสูงไว้ด้วย จากผลการวิจัยพบว่าความถูกต้องของแบบจำลองระดับสูง ขึ้นอยู่กับ ลักษณะของพื้นที่ศึกษา โดยเฉพาะต้นไม้ที่ปกคลุมอยู่ในพื้นที่ และ ความหนาแน่นของการบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดิน (P.Onkalo 1998)

M.Witkinen ทำการศึกษาถึงการนำภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขมาใช้ในการระบวงารออกแบบถนน โดยที่ขั้นตอนการออกแบบแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาแนวทางเลือก การวางแผนหลัก การวางแผนออกแบบถนนและการวางแผนงานก่อสร้าง ซึ่งภาพถ่ายตัดแก้ไอโทจะนำมาใช้ในขั้นการวางแผนหลัก แบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ ซึ่งในแต่ละระดับใช้ภาพถ่ายที่มีสเกลและความละเอียดในการสแกนภาพที่แตกต่างกัน สิ่งที่ศึกษาก็คือ การหาสเกลของภาพและความละเอียดที่เหมาะสมของแต่ละระดับการใช้งาน โดยได้ผลการศึกษาดังนี้

Level	The photoscale	Pixel size (m.)
1. Level	1:6800	not fixed
2. Level	1:6800	1.2
3. Level	1:6800	0.20-0.40
4. Level	1:3300	0.10

มาตราส่วนที่ใช้ในระดับแรกเป็นการมองภาพรวมของโครงการ ระดับสุดท้ายอยู่ในขั้นรายละเอียดของพื้นที่ขนาดเล็กที่สนใจ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ ขนาดของไฟล์ข้อมูล จำนวนของสี มาตราส่วนของภาพถ่ายทางอากาศ และเวลา ประโยชน์โดยตรงของ Orthophotos คือโยงยึดอยู่กับระบบพิกัด สามารถวัดได้ทั้งระยะทางและพื้นที่ นอกจากนี้กระบวนการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ยังสามารถเพิ่มรายละเอียดและคุณภาพของภาพถ่ายได้ (M.Witkinen 1997)

กรมทางหลวง ประเทศอังกฤษ ใช้วิธีการถ่ายภาพทางอากาศ ในการสำรวจและออกแบบทางหลวง โดยมีขั้นตอนดังนี้ การวางแผนเส้นทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ ,การเลือกแนวเส้นทางที่เหมาะสมจากภาพถ่ายทางอากาศ โดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่เส้นทางตัดผ่าน ,ใช้โปรแกรม ER Mapper ในการแสดงผลภาพ 3 มิติ ,ใช้โปรแกรม MacRoad ในการออกแบบถนน ใช้เทคโนโลยี

คอมพิวเตอร์ในการสร้างภาพเคลื่อนไหวเพื่อการสำรวจและออกแบบทางหลวง (Highway Department , United Kingdom 1999)

กรมการขนส่งแห่งรัฐจอร์เจีย ได้มีการดำเนินการตามโครงการ National Aerial Photography Program (NAPP) ตั้งแต่ปี ค.ศ.1993 เป็นต้นมา โดยการจัดทำเป็นข้อมูลระยะวางของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ปรับแก้แล้ว(Digital Orthophoto) พร้อมกับข้อมูลประวัติและรายละเอียดของสายทางต่างๆ ที่อยู่ภายในแต่ละระวางภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งทำการดิจิทัลเส้นถนน โดยใช้โปรแกรม Arc/Info และ Altek Datatab digitizing tablets (ความละเอียด = 0.001 นิ้ว) จากแผนที่ทางหลวงของกรมการขนส่งแห่งรัฐจอร์เจีย โดยจุดบังคับอย่างน้อย 8 จุด บนแผนที่ทางหลวงถูกใช้เพื่อตรึงลงบนเครื่องดิจิทัล หลังจากนั้น จะมีการใช้ GPS (Global Positioning System) เพื่อรวบรวมข้อมูลบนชั้นข้อมูลทางหลวง และทำให้ข้อมูลมีพิิกัดที่แน่ชัด การควบคุมและประเมินผลทำโดยหน่วยทำแผนที่ และสำนักงานด้านข้อมูลสารสนเทศของกรมการขนส่งแห่งรัฐจอร์เจีย (Georgia Department of Transportation 1995)

กรมการขนส่งแห่งรัฐนอร์ทคาโรไรนา ได้จัดทำโครงการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อทำแบบจำลอง 3 มิติในการออกแบบถนน ซึ่งใช้ระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรมของบริษัท Intergraph (ImageStation Z) ในการสร้างแบบจำลองพื้นดินเชิงเลข เพื่อใช้วางแผนแนวเส้นทางและคำนวณปริมาณงานดินตัด-ดินถม สำหรับภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้เป็นภาพถ่ายที่มีส่วนซ้อนทับ 60% ภาพถ่ายเชิงเลขได้จากการ scan จากฟิล์มของภาพถ่ายโดยตรง โดยมีความถูกต้องเฉลี่ย 10 ไมครอน โปรแกรมมีความสามารถด้าน Automatic Triangulation สร้างแบบจำลอง 3 มิติ การสร้างภาพ 3 มิติจากภาพคู่ซ้อน ฯลฯ การใช้แว่นมองภาพแบบจำลอง 3 มิติ จาก จอภาพ panoramic (ImageStation Stereo Software) การสร้างภาพ 3 มิติ ที่ปรับแก้ y-parallax แล้ว (ImagePipe Software) การสร้างพร้อมทั้งปรับแก้จุดพื้นดินเชิงเลขบนแบบจำลอง (Match-T Software) การรวมแบบจำลอง 3 มิติ เข้ากับชุดภาพถ่ายทางอากาศ (GeoPak civil engineering Software) เพื่อหาปริมาณงานดิน (E.House 1999)

กล่าวโดยสรุป จากการค้นคว้ารายละเอียดของเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงได้รวบรวมและนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมด มาเป็นแนวทางเพื่อทำการศึกษาวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข เพื่อประยุกต์ใช้กับงานทาง โดยอาศัยองค์ประกอบของระบบคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข ที่ทางภาควิชาวิศวกรรมสำรวจได้จัดเตรียมไว้สำหรับการเรียนการสอนและการวิจัย สำหรับความละเอียดของการสแกนภาพถ่ายที่นำมาใช้ในงานวิจัยนั้น โดยข้อจำกัดขององค์ประกอบของคอมพิวเตอร์และหน่วยเก็บข้อมูล(Hard disk) ที่มีอยู่ จากที่ได้ทำการทดสอบก่อนการวิจัย พบว่า สามารถใช้งานองค์ประกอบระบบคอมพิวเตอร์ที่มีได้กับภาพถ่ายเชิงเลข (ขาว-ดำ) ที่ความละเอียดสูงสุดเท่ากับ 15 ไมครอน ในส่วนของความละเอียดของการสแกนที่ 25 ไมครอน ที่ได้นำมาศึกษาด้วยนั้น เนื่องจาก ต้องการที่จะเปรียบเทียบความแตกต่างของความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองความละเอียดของการสแกนภาพถ่าย ซึ่งแม้ว่าจะมีความแตกต่างทางความละเอียดเพียง 10 ไมครอน แต่ใช้ขนาดพื้นที่การจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของ .tiff ต่างกันถึง 3 เท่า (ขนาดพื้นที่การจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของ .tiff ที่ความละเอียด 15 ไมครอน เท่ากับ 270 Mb และที่ความละเอียด 25 ไมครอน เท่ากับ 90 Mb) และเพื่อเป็นการพิสูจน์และหาประสบการณ์ว่า ผลการวิจัยที่ได้นั้นจะมีผลตรงกันกับผลการวิจัยในต่างประเทศที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้ มากน้อยเพียงใด นอกจากนั้นแล้วการศึกษานี้ จะให้ผลสรุปได้ในระดับหนึ่งว่า มาตรฐานของภาพถ่ายเท่าใดที่เหมาะสมกับแต่ละขั้นตอนของการสำรวจและออกแบบทาง ,ความละเอียดถูกต้องของการสแกนภาพถ่ายที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับงานทางควรเป็นเท่าใด ,วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลขในการประยุกต์ใช้กับงานทางควรเป็นอย่างไร ,แบบจำลองระดับสูงและภาพถ่ายตัดแก้ ออกโทที่เป็นผลลัพธ์ที่ได้มานั้นจะนำมาใช้ประโยชน์กับการสำรวจและออกแบบทางได้อย่างไร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

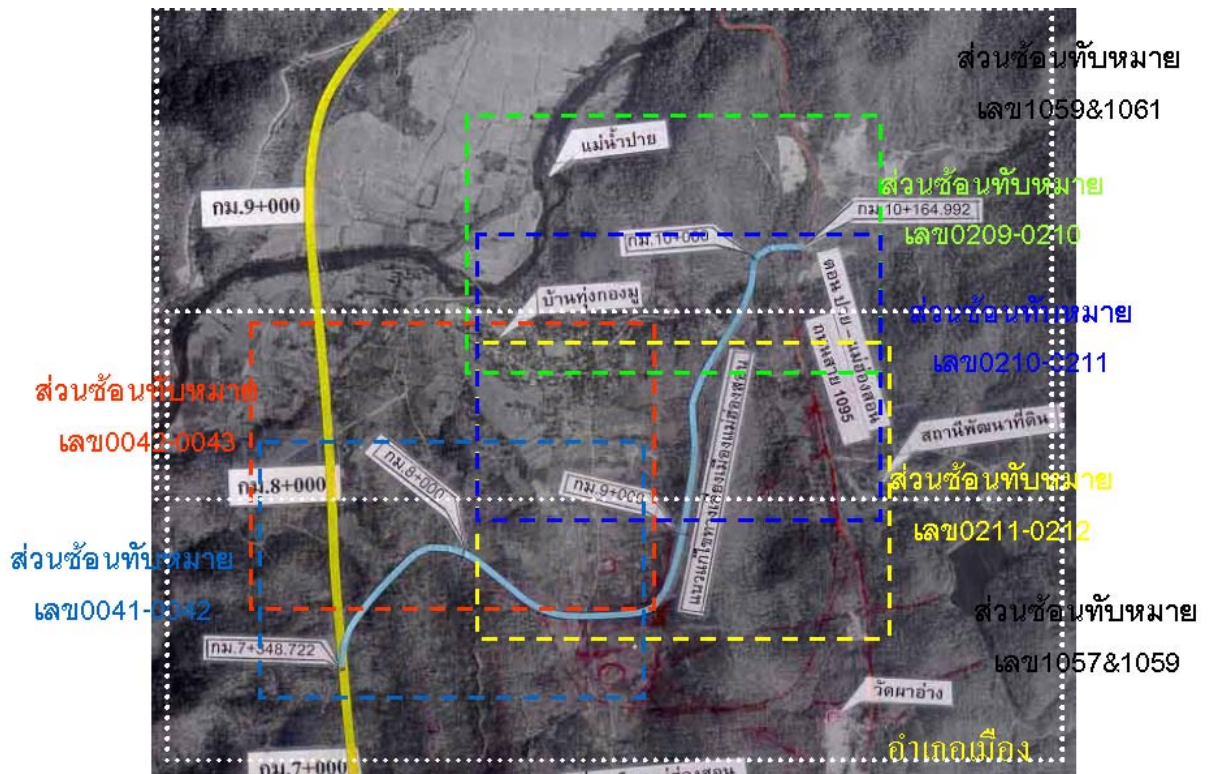
3.1 การเตรียมภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายเชิงเลข

การจัดเตรียมภาพถ่ายทางอากาศนั้น หลังจากที่เราพบตำแหน่งที่ตั้งของโครงการก่อสร้างทางเลี้ยวเมืองแม่ฮ่องสอนจากแผนที่ภูมิประเทศแล้ว จึงทำการจัดซื้อภาพถ่ายทางอากาศทั้งที่เป็นประเภทแผ่นกระดาษโบรไมด์ และแผ่นไดอะโพซิทีฟ จากกรมแผนที่ทหาร โดยในงานวิจัยนี้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:6000 และ 1:15000 ซึ่งเป็นมาตราส่วนใหญ่ที่สุดที่มีการบินถ่ายในขอบเขตพื้นที่ศึกษา และเป็นภาพถ่ายที่มีการบินถ่ายในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกับปัจจุบันมากที่สุด นอกจากนี้ก่อนการจัดซื้อควรมีการตรวจสอบคุณภาพและรายละเอียดจากฟิล์มต้นฉบับของภาพถ่ายทางอากาศก่อน

ตารางที่ 3.1 สรุปรายละเอียดของภาพถ่ายทางอากาศที่นำมาใช้ในงานวิจัย

มาตราส่วน	จำนวนภาพถ่ายที่ใช้	ปี พ.ศ. ที่บินถ่ายภาพ	ค่าความยาวโฟกัส (mm.)	Theor.Ho.Acc.(m)	Theor.Vt.Acc.(m)
1 _ 15000	3	2529	305.518	0.15	0.37
1 _ 6000	7	2539	151.83	0.06	0.30

ในส่วนของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข หากสามารถสแกนภาพถ่ายเชิงเลขได้จากฟิล์มเนกาทีฟต้นฉบับของภาพถ่ายโดยตรงก็จะทำให้สามารถจัดเก็บรายละเอียดได้ดีที่สุด แต่หากไม่สามารถทำได้ก็อาจใช้แผ่นไดอะโพซิทีฟในการสแกนภาพถ่ายทางอากาศดังกล่าว ความคมชัดของรายละเอียดบนภูมิประเทศของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก เนื่องจากหากทำการสแกนภาพถ่ายมาไม่ดีแล้ว การบันทึกจุดควบคุมลงบนภาพถ่ายจะทำได้ยาก อาจทำให้การบันทึกจุดควบคุมคลาดเคลื่อน และเป็นผลต่อเนื่องไปถึงการไม่สามารถปรับแก้ชายสามเหลี่ยมทางอากาศบนบล็อกภาพถ่ายให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด สำหรับภาพถ่ายเชิงเลขที่ได้จากการสแกนควรจัดเก็บบนไฟล์ที่มีรูปแบบเป็น .tiff หรือ .geotiff เนื่องจากเป็นรูปแบบที่จัดเก็บรายละเอียดได้ครบถ้วนและง่ายต่อการแปลงให้เป็นไฟล์ในรูปแบบอื่นซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้บนโปรแกรมในการประมวลผล เช่น .img .jpg ฯลฯ



รูปที่ 3.1 แสดงขอบเขตของส่วนซ้อนทับบนภาพถ่ายทางอากาศในพื้นที่ศึกษา

ตามรูปที่ 3.1 ภาพถ่ายที่มาตราส่วน 1:15000 จำนวน 3 ภาพ ประกอบด้วยภาพถ่ายหมายเลข 1057 1059 1061 และ ภาพถ่ายที่มาตราส่วน 1:6000 จำนวน 7 ภาพ ประกอบด้วยภาพถ่ายหมายเลข 0041 0042 0043 0209 0210 0211 0212

3.2 การวางแผนและการสำรวจหมุดบังคับภาพถ่ายโดยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS

สิ่งสำคัญสำหรับการขยายหมุดบังคับของภาพถ่าย โดยวิธีการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศด้วยวิธีบล็อกค่าแสง (Bundle Block Adjustment) คือต้องมีจุดควบคุมภาพถ่าย กระจายครอบคลุมอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม บนบล็อกของภาพถ่ายและต้องมีกระบวนการตรวจสอบสมการร่วมเส้นที่ใช้ในการปรับแก้ เพื่อให้ทราบจำนวนน้อยที่สุดของจุดควบคุมภาพถ่ายที่จำเป็นต้องใช้ ให้มีจุดควบคุมภาพถ่ายเพียงพอสำหรับการคำนวณปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยสมการร่วมเส้น ก่อนการสำรวจหมุดบังคับภาพถ่ายในภาคสนาม โดยทั่วไปจำนวนของจุดควบคุมบนบล็อกของภาพถ่ายที่ต้องการ จะต้องมีอย่างน้อยจำนวน 3 จุด อยู่บนทุกส่วนซ้อนทับด้านหน้า

ของภาพถ่ายที่อยู่ติดกัน ซึ่งจะต้องเป็นจุดควบคุมที่รู้ค่าพิกัดทั้ง 3 มิติ จำนวน 2 จุด และจุดควบคุมที่รู้ค่าพิกัดทางดิ่งอีก 1 จุด ก็จะเพียงพอในการคำนวณปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

สำหรับงานวิจัยนี้ การพิจารณาดำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินใช้รูปแบบของบล็อกปรกติ ซึ่งบล็อกของภาพถ่ายจะมีส่วนซ้อนทับด้านหน้า 60% และมีส่วนซ้อนทับด้านข้าง 20-30% ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินจะต้องมีจุดควบคุมทุกระยะ 4 ถึง 6 เท่า ของระยะฐานบิน และ ระหว่างส่วนซ้อนทับด้านข้างทุกส่วนซ้อนทับจะต้องมีจุดควบคุมทุกระยะ 4 เท่า ของระยะฐานบินเช่นเดียวกัน แต่จุดควบคุมบนส่วนซ้อนทับด้านข้างนี้เป็นจุดควบคุมทางดิ่งก็เพียงพอสำหรับการคำนวณปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศด้วยวิธีบล็อกคำสั่ง (สำหรับภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 ที่นำมาใช้ มีระยะฐานบิน เท่ากับ 552 เมตร และภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 ที่นำมาใช้ มีระยะฐานบิน เท่ากับ 1380 เมตร)

การวางแผนจัดวางตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน ควรจัดวางให้อยู่บนส่วนซ้อนทับของภาพถ่าย (แต่ไม่จำเป็นในบางจุดเช่นจุดที่อยู่บนภาพถ่ายบริเวณส่วนปลายของบล็อก) หากสามารถจัดวางให้อยู่บนภาพถ่ายมากกว่า 2 ภาพ ยิ่งเป็นผลดี เนื่องจากจะช่วยให้สามารถสร้างสมการค่าสังเกตเพิ่มขึ้นได้อีก 2 สมการ ต่อการวัดบนค่าพิกัดบนภาพที่เพิ่มขึ้น 1 ภาพ การที่มีจำนวนสมการค่าสังเกตเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลการคำนวณปรับแก้มีความละเอียดถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้การเลือกจุดควบคุมภาพถ่าย ต้องเป็นจุดที่มีความคมชัด (Sharp) สามารถมองเห็นได้ชัดเจนบนภาพถ่าย (Well Defined) ในระดับที่สามารถชี้จำแนกได้ (Positive Identified) ถึงส่วนของจุดภาพ (Sub-pixel) โดยทั่วไปจะใช้จุดที่เห็นเด่นชัดที่มนุษย์สร้างขึ้น หรือ จุดเด่นชัดที่เกิดจากธรรมชาติ เพื่อไม่ให้เกิดการบันทึกตำแหน่งจุดควบคุมเกิดความผิดพลาดระหว่างขั้นตอนของการปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมในภาคสนาม ใช้วิธีการรังวัดแบบสถิต (Static) โดยการวางเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไว้ที่หมุดหลักฐานดาวเทียมของกรมแผนที่ทหาร เพื่อใช้เป็นสถานีฐาน (Base Station) ในงานวิจัยนี้มีจำนวน 2 หมุด คือ ที่ศาลากลางจังหวัดแม่ฮ่องสอน หมายเลขหมุด 3656 และ ที่วัดมีนันทนาราม ต.สบย่อง หมายเลขหมุด 3256 แล้วจึงนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอีก 2 เครื่องที่เหลือ ไปใช้วางรับสัญญาณดาวเทียม ณ ตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายที่ได้วางแผนเอาไว้ ใช้เวลาในการวางเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมประมาณ 30 นาที ต่อ 1 หมุดควบคุม ซึ่งเป็นการทำงานรังวัดด้วยดาวเทียมแบบ Differential (ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ยี่ห้อ

Trimble รุ่น 4000 SSE ชนิด 2 ความถี่ ของกรมทางหลวง จำนวน 4 เครื่อง) จุดควบคุมที่ทำภารกิจวัดมีจำนวน 15 จุด ใช้เวลาในการทำงาน 2 วัน หลังจากนั้นจึงทำการประมวลผลภายหลัง (Post Processing) ด้วยโปรแกรม GPSurvey เสร็จแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าพิกัดทั้ง 3 มิติ ของจุดควบคุม ภาพถ่ายที่ได้ทำการรับสัญญาณเอาไว้ ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้ จะเป็นค่าระดับเหนือรูปทรงรี หากต้องการที่จะแปลงพื้นหลักฐานให้ได้เป็น ค่าความสูงเหนือพื้นผิวเอ็อยอย หรือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง จะต้องทราบค่าความสูงของเอ็อยอย (Geoid Height) ตามรูปที่ 3.1 หรือสำหรับโครงการขนาดเล็ก อาจใช้วิธีการถ่ายค่าระดับจากหมุดที่ทราบค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง เข้ามาสู่หมุดหลักฐานดาวเทียม เพื่อนำมาใช้ในการปรับแก้หาค่าพิกัดทางระดับของจุดควบคุม



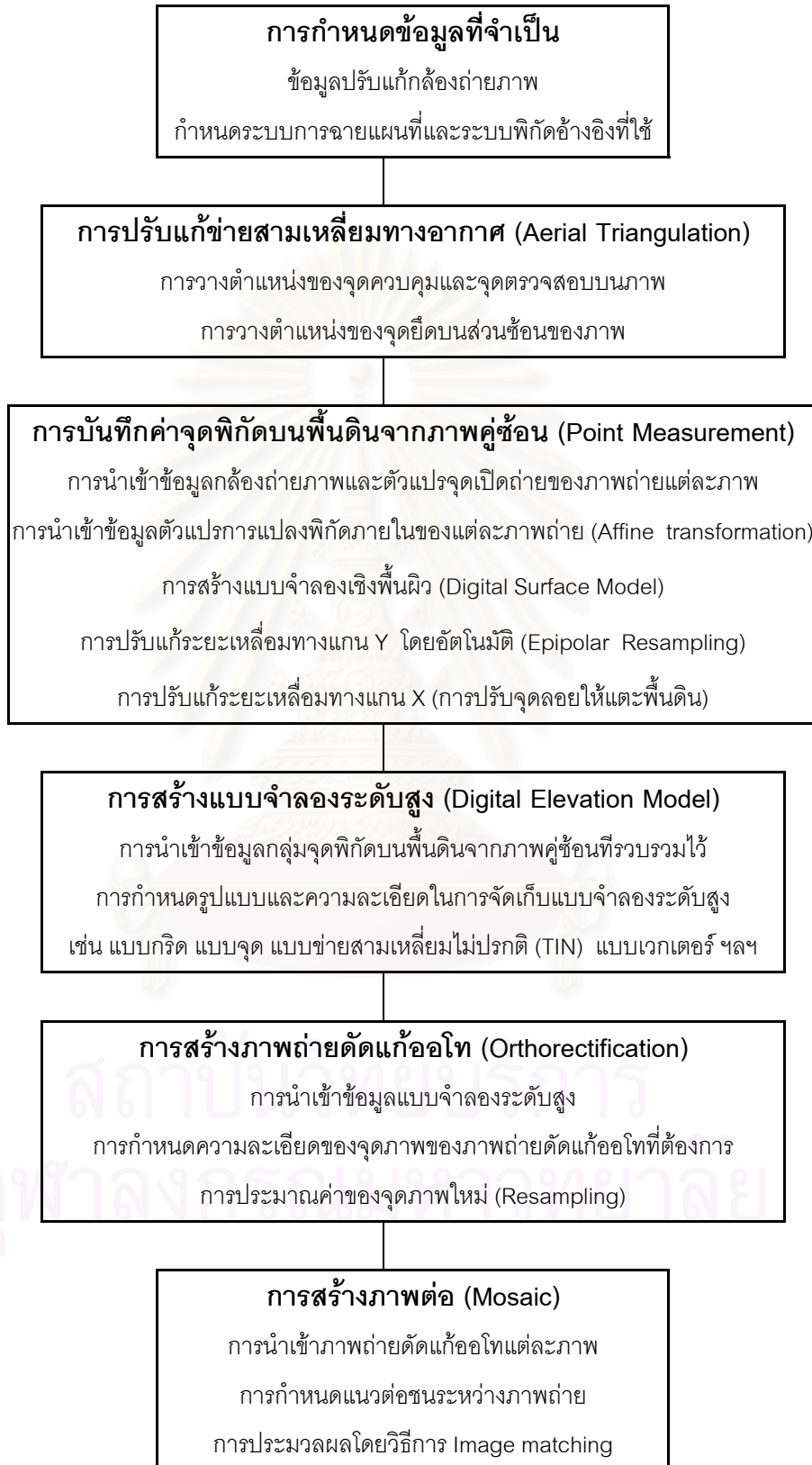
รูปที่ 3.2 พื้นผิวเอ็อยอยและพื้นผิวรูปทรงรีอ้างอิง (Washington State department of transport 1994)

3.3 การประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข

การประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลขเป็นขั้นตอนที่จะต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำงานเป็นหลัก ในงานวิจัยนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ ได้แก่ โปรแกรม Erdas IMAGINE 8.4 , Erdas IMAGINE OrthoBASE , Erdas Stereo Analyst , Erdas VirtualGIS

ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข สามารถดูได้จาก ภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.2 แสดงขั้นตอนในการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข (Digital Image Process)



บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การสำรวจจุดควบคุมโดยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ในภาคสนาม

จากการสำรวจจุดควบคุมภาพถ่ายโดยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ในภาคสนาม แล้วทำการประมวลผลภายหลัง โดยการกำหนดระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้ให้กับจุดควบคุมภาพถ่าย ได้แก่

ชนิดของการฉายแผนที่ (Projection) : UTM

บริเวณที่ทำการฉายแผนที่ (Zone Number) : 47 (North)

รูปทรงรี (Spheroid) : Everest

พื้นหลักฐานอ้างอิง (Datum) : Indian 1975

ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่ายบนระบบพิกัดข้างต้น จำนวน 15 จุด มีดังนี้

ลำดับที่	ชื่อจุดควบคุม	ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS		
		E	N	H
1	29A4	391624.15740	2137223.92788	216.50202
2	42A3	390740.16236	2137286.22216	199.92858
3	42B1	390980.54532	2137373.57340	202.00687
4	2101	391686.06628	2136888.49050	217.49070
5	42A4	390880.62537	2137049.56890	204.22505
6	42A5	390207.96701	2137236.84776	206.01520
7	59A1	391718.50271	2135903.15100	233.75910
8	41A4	390702.46448	2135463.57137	226.64475
9	41A5	390066.34356	2135571.87701	232.40953
10	41A9	390856.94553	2136157.01635	212.70170
11	57A1	390375.19821	2134873.69668	231.43333
12	57A4	391561.16347	2135042.46013	249.43232
13	61A1	391312.38593	2139723.65383	214.80765
14	61A2	391367.22642	2139209.67952	205.16098
15	2121	391687.87696	2135933.45943	232.81090

ตารางที่ 4.1 ค่าพิกัดของจุดบังคับถ่ายภาพ (Photo control point)

4.2 ผลการคำนวณปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

การปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศด้วยวิธีบล็อกค่าแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีดังนี้

- บล็อกภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 ที่ความละเอียด 25 ไมครอน
- บล็อกภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 ที่ความละเอียด 15 ไมครอน
- บล็อกภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 ที่ความละเอียด 25 ไมครอน
- บล็อกภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 ที่ความละเอียด 15 ไมครอน

วิธีการที่ใช้ในการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ แบ่งออกได้ดังนี้

- ใช้การบันทึกจุดยึดด้วยตนเอง (Manual Tie Point)
- ใช้การบันทึกจุดยึดด้วยวิธีการอัตโนมัติ (Automatic Tie Point)
- การเพิ่มจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายตั้งแต่จำนวนที่น้อยที่สุด จนถึง จำนวนที่มากที่สุด

ผลการคำนวณปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ มีค่าตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่

- ค่าความถูกต้องของจุดเปิดถ่ายของภาพถ่ายแต่ละภาพ ประกอบด้วย พิกัดทางราบ (X,Y) พิกัดทางตั้ง (Z) และ มุม (ω, ϕ, κ) ซึ่งจะมีผลต่อกรวดค่าจุดพิกัด 3 มิติบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน
- ค่าความถูกต้องของจุดพิกัดวัตถุ ประกอบด้วย พิกัดทางราบ (X,Y) และพิกัดทางตั้ง (Z) บนพื้นดิน ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความถูกต้องของจุดยึดบนพื้นดินที่ได้ทำการบันทึกตำแหน่งเอาไว้บนภาพถ่ายเชิงเลข

```
Editor: tri_result_000208, Dir: c:/temp/
File Edit View Find Help

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT
the no. of iteration =1 the standard error = 0.1201
the maximal correction of the object points = 1.29049
the no. of iteration =2 the standard error = 0.1200
the maximal correction of the object points = 0.00102
the no. of iteration =3 the standard error = 0.1200
the maximal correction of the object points = 0.00000

The exterior orientation parameters
image ID Xs Ys Zs OMEGA PHI KAPPA
1 390954.1799 2135634.9427 2580.3406 0.4525 0.8774 0.5081
2 390969.0702 2136961.6334 2580.9524 0.1727 0.6251 -0.3474
3 390981.4349 2138271.5917 2581.6635 -0.0975 -0.1707 -0.0563

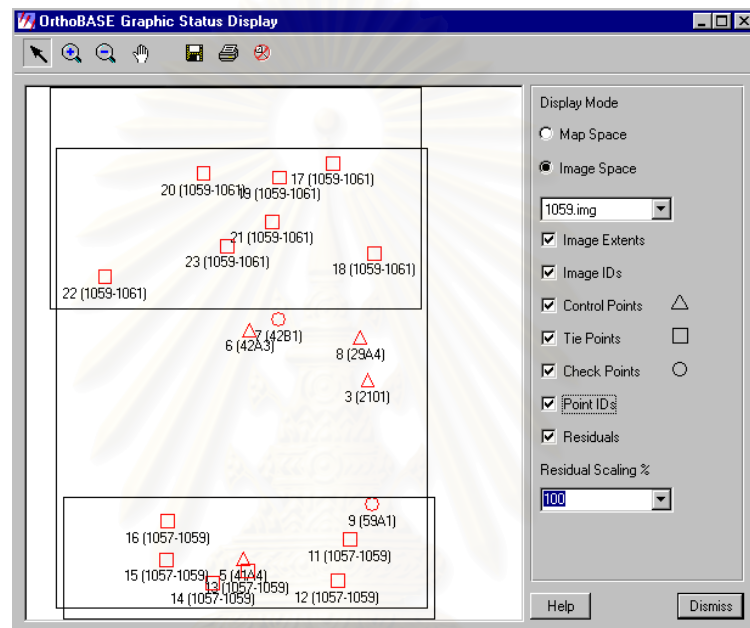
The accuracy of the exterior orientation parameters
image ID mXs mYs mZs mOMEGA mPHI mKAPPA
1 0.1593 0.1184 0.0481 0.0025 0.0037 0.0007
2 0.2278 0.1163 0.0499 0.0026 0.0053 0.0007
3 0.2023 0.1846 0.0522 0.0034 0.0048 0.0009

The interior orientation parameters of photos
image ID f(mm) xc(mm) yc(mm)
1 151.8300 -0.0020 0.0050
2 151.8300 -0.0020 0.0050
3 151.8300 -0.0020 0.0050

The residuals of the control points
Point ID xY yY zY
2 0.0102 0.0045 0.0015
3 -0.0240 -0.0106 -0.0272
5 0.0095 -0.0111 0.0069
6 -0.0115 0.0183 -0.0057
8 0.0495 -0.0264 0.0272
10 -0.0169 0.0040 0.0001
65 -0.0167 0.0212 -0.0028
```

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างรายงานผลการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation Report)

โดยทั่วไปแล้ว การวางจุดยึดบนภาพถ่ายเชิงเลข จะมีจำนวนอย่างน้อย 6 จุด และมี ตำแหน่งของจุดยึดที่กระจายอยู่บนส่วนขอบของภาพถ่าย ดังที่แสดงตามรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ขยายจุดบังคับภาพถ่าย ซึ่งจะช่วยลดจำนวนของจุดควบคุมภาพถ่าย และเพื่อให้ได้ผลลัพธ์จากการปรับแก้สามเหลี่ยมทางอากาศที่มีความถูกต้อง



รูปที่ 4.2 การแสดงตำแหน่งของจุดควบคุม จุดตรวจสอบและจุดยึด บนบล็อกของภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000

ความถูกต้องที่ได้จากการปรับแก้สามเหลี่ยมทางอากาศ มีผลโดยตรงต่อการทำงานในขั้นตอนอื่นๆ ในลำดับต่อไป ไม่ว่าจะเป็นการสร้างแบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model) และ การสร้างภาพถ่ายตัดแก้เอโท (Orthophoto) ซึ่งผลลัพธ์ของการปรับแก้สามเหลี่ยมทางอากาศ จากการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข สามารถดูได้จากตารางในหน้าต่อไป

ตารางที่ 4.2 ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายและจุดพิกัดบนพื้นดิน ที่ได้จากการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

Bundle Block Adjustment	accuracy of ex.or.		accuracy of obj.	
	horizontal accuracy (m.)	vertical accuracy (m.)	horizontal accuracy (m.)	vertical accuracy (m.)
15000_25_autotie	0.2753	0.0977	0.0670	0.1720
15000_15_autotie	0.2074	0.0658	0.0454	0.1136
15000_25_man-tie	0.1060	0.0372	0.0278	0.0718
15000_15_man-tie	0.0965	0.0310	0.0210	0.0572
6000_25_autotie	0.2394	0.0642	0.0270	0.1198
6000_15_autotie	0.2513	0.0686	0.0252	0.1060
6000_25_man-tie	0.1593	0.0430	0.0166	0.0705
6000_15_man-tie	0.1286	0.0387	0.0120	0.0547

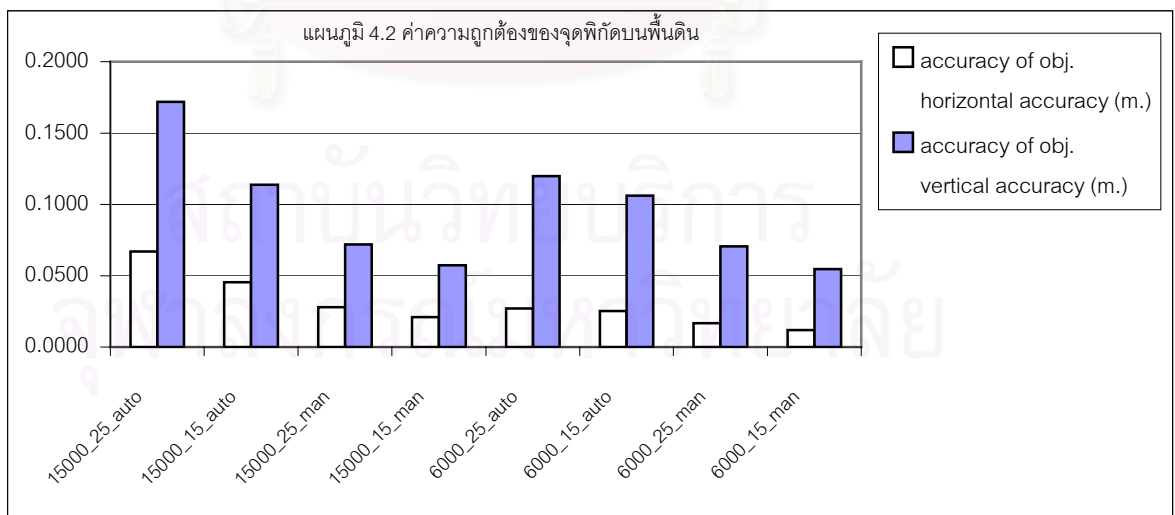
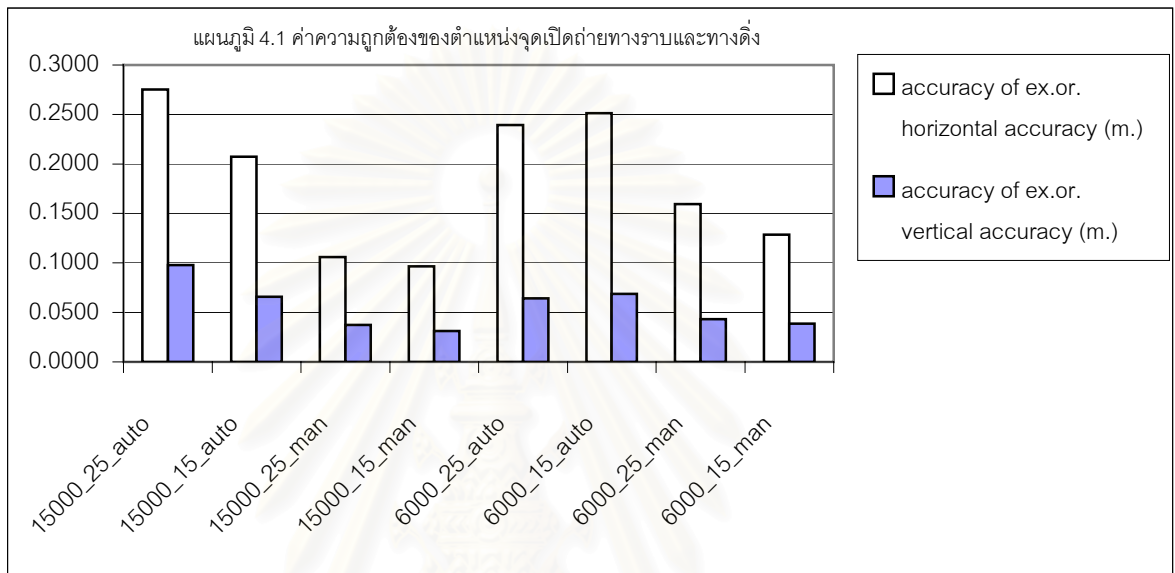
ตารางที่ 4.3 ค่าความถูกต้องของมุมเอียงของจุดเปิดถ่าย ที่ได้จากการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

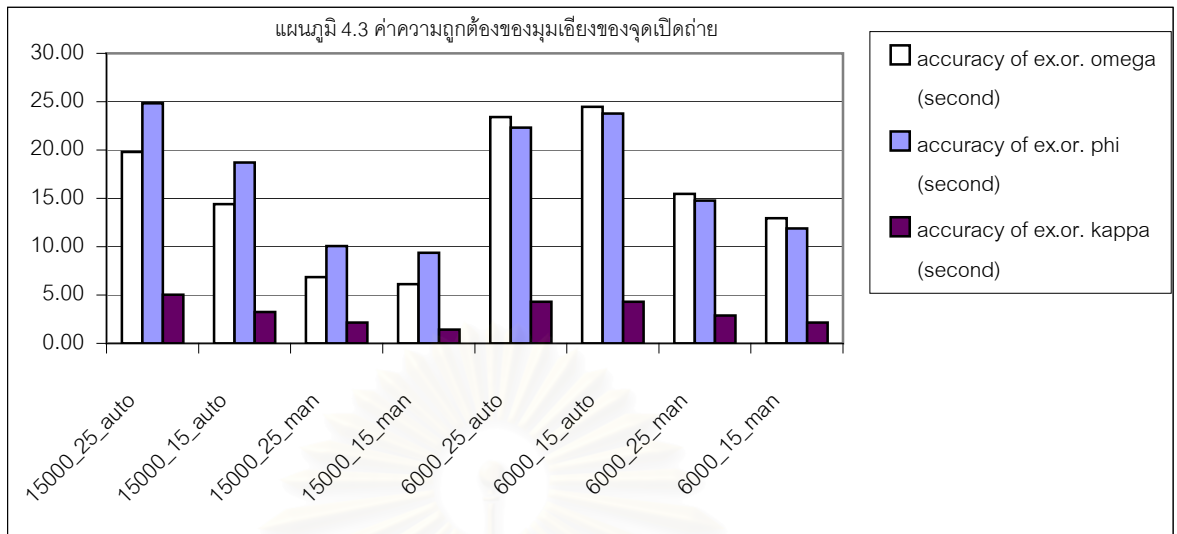
Bundle Block Adjustment	accuracy of ex.or.			accuracy of ex.or.		
	omega(degree)	phi(degree)	kappa(degree)	omega(second)	phi(second)	kappa(second)
15000_25_autotie	0.0055	0.0069	0.0014	19.80	24.84	5.04
15000_15_autotie	0.0040	0.0052	0.0009	14.40	18.72	3.24
15000_25_man-tie	0.0019	0.0028	0.0006	6.84	10.08	2.16
15000_15_man-tie	0.0017	0.0026	0.0004	6.12	9.36	1.44
6000_25_autotie	0.0065	0.0062	0.0012	23.40	22.32	4.32
6000_15_autotie	0.0068	0.0066	0.0012	24.48	23.76	4.32
6000_25_man-tie	0.0043	0.0041	0.0008	15.48	14.76	2.88
6000_15_man-tie	0.0036	0.0033	0.0006	12.96	11.88	2.16

หมายเหตุ - ภาพถ่ายที่มาตราส่วน 1:15000 ใช้จุดควบคุมภาพถ่าย 7 จุด และ ภาพถ่ายที่มาตราส่วน 1:6000 ใช้จุดควบคุมภาพถ่าย 10 จุด (สัดส่วนของจำนวนจุดควบคุมกับจำนวนภาพ ที่มาตราส่วน 1:15000 มากกว่าที่มาตราส่วน 1:6000)

จากตารางผลลัพธ์ที่ได้ ทำให้ทราบว่าความถูกต้องของค่าพิกัดของจุดเปิดถ่าย , มุมเอียงของจุดเปิดถ่าย และ ค่าพิกัดจุดบนพื้นดินใดๆ ที่ได้จากการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

โดยวิธีการบันทึกจุดยึดด้วยมือตนเอง (Manual Tie Point) มีความถูกต้องดีกว่า วิธีการบันทึกจุดยึดโดยอัตโนมัติ (Automatic Tie Point) และ การปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ ที่ความละเอียด 15 ไมครอน มีความถูกต้องของผลลัพธ์ดีกว่า ความละเอียด 25 ไมครอน





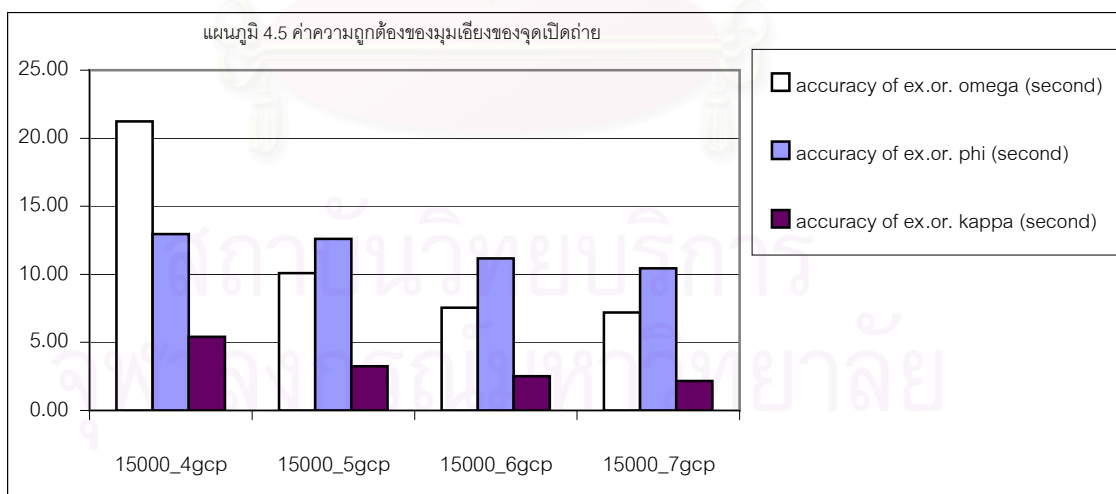
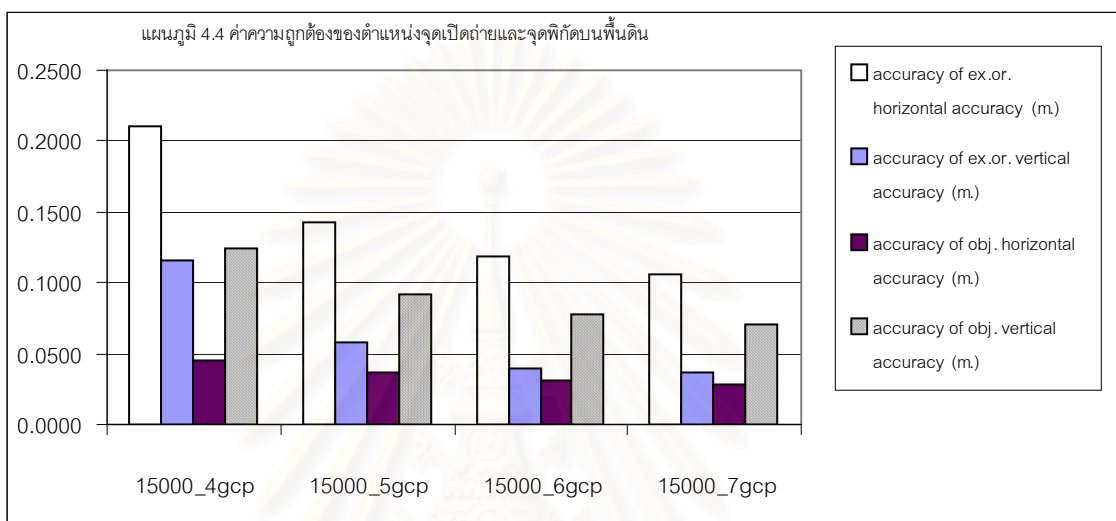
ตารางที่ 4.4 ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายและจุดพิกัดบนพื้นดินที่ได้จากการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศที่ความละเอียด 25 ไมครอน

Bundle Block Adjustment	accuracy of ex.or.		accuracy of obj.	
	horizontal accuracy (m.)	vertical accuracy (m.)	horizontal accuracy (m.)	vertical accuracy (m.)
25 micron				
15000_4gcp	0.2105	0.1152	0.0457	0.1250
15000_5gcp	0.1420	0.0585	0.0361	0.0912
15000_6gcp	0.1182	0.0398	0.0317	0.0779
15000_7gcp	0.1057	0.0372	0.0278	0.0710

ตารางที่ 4.5 ค่าความถูกต้องของมุมเอียงของจุดเปิดถ่ายที่ได้จากการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศที่ความละเอียด 25 ไมครอน

Bundle Block Adjustment	accuracy of ex.or.			accuracy of ex.or.		
	omega(degree)	phi(degree)	kappa(degree)	omega(second)	phi(second)	kappa(second)
25 micron						
15000_4gcp	0.0059	0.0036	0.0015	21.24	12.96	5.40
15000_5gcp	0.0028	0.0035	0.0009	10.08	12.60	3.24
15000_6gcp	0.0021	0.0031	0.0007	7.56	11.16	2.52
15000_7gcp	0.0020	0.0029	0.0006	7.20	10.44	2.16

ความถูกต้องของค่าพิกัดของจุดเปิดถ่าย ค่ามุมเอียงของจุดเปิดถ่าย และค่าพิกัดจุดบนพื้นดินใดๆ ที่ได้จากการปรับแก้ด้วยสามเหลี่ยมทางอากาศ บนบลิ๊อคของภาพถ่ายที่มีความละเอียดจุดภาพ 25 ไมครอน จะมีความถูกต้องมากขึ้น หากเพิ่มจำนวนของจุดควบคุมภาพถ่าย



ตารางที่ 4.6 ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายและจุดปักดบนพื้นดินที่ได้จากการปรับแก้สามเหลี่ยมทางอากาศ ที่ความละเอียด 15 ไมครอน

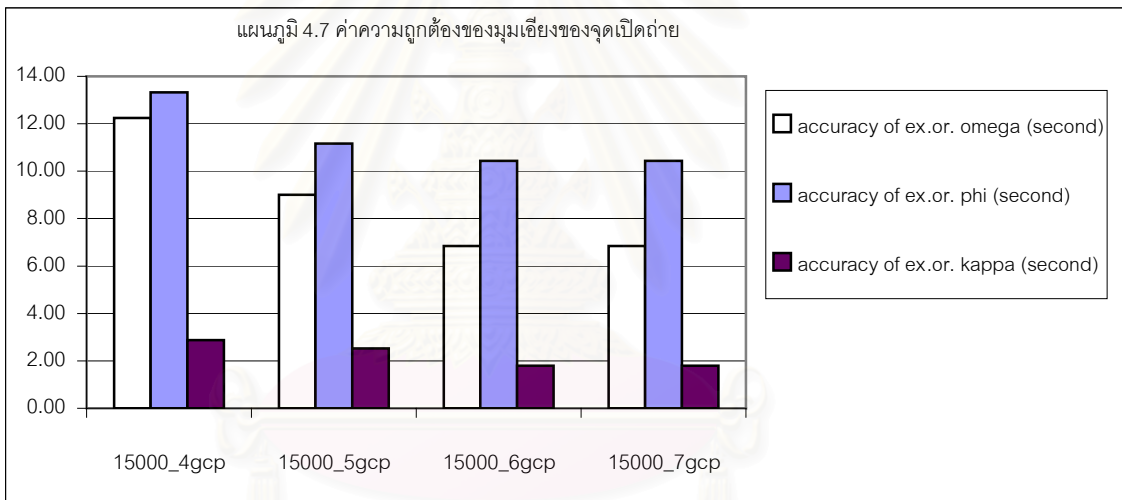
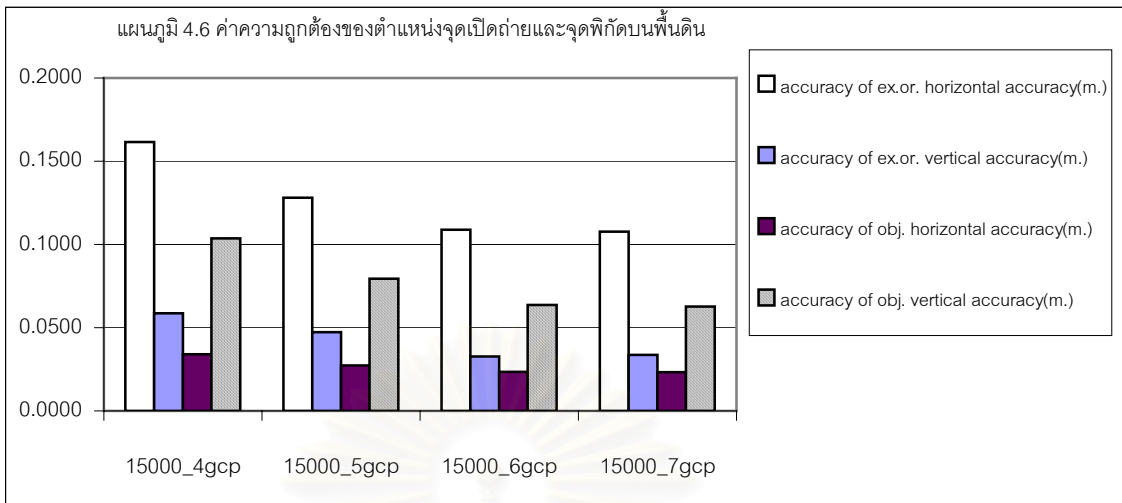
Bundle Block Adjustment	accuracy of ex.or.		accuracy of obj.	
	horizontal accuracy(m.)	vertical accuracy(m.)	horizontal accuracy(m.)	vertical accuracy(m.)
15000_4gcp	0.1615	0.0586	0.0340	0.1036
15000_5gcp	0.1281	0.0474	0.0273	0.0795
15000_6gcp	0.1088	0.0326	0.0235	0.0637
15000_7gcp	0.1077	0.0336	0.0232	0.0627

ตารางที่ 4.7 ค่าความถูกต้องของมุมเอียงของจุดเปิดถ่าย ที่ได้จากการปรับแก้สามเหลี่ยมทางอากาศ ที่ความละเอียด 15 ไมครอน

Bundle Block Adjustment	accuracy of ex.or.			accuracy of ex.or.		
	omega(degree)	phi(degree)	kappa(degree)	omega (second)	phi (second)	kappa (second)
15000_4gcp	0.0034	0.0037	0.0008	12.24	13.32	2.88
15000_5gcp	0.0025	0.0031	0.0007	9.00	11.16	2.52
15000_6gcp	0.0019	0.0029	0.0005	6.84	10.44	1.80
15000_7gcp	0.0019	0.0029	0.0005	6.84	10.44	1.80

ความถูกต้องของค่าพิกัดของจุดเปิดถ่าย ค่ามุมเอียงของจุดเปิดถ่าย และค่าพิกัดจุดบนพื้นดินใดๆ ที่ได้จากการปรับแก้สามเหลี่ยมทางอากาศ บนบลิ๊อคของภาพถ่ายที่ความละเอียดจุดภาพ 15 ไมครอน จะมีความถูกต้องมากขึ้น หากเพิ่มจำนวนของจุดควบคุมภาพถ่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หากเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.4 , ตารางที่ 4.5 , ตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 ได้แก่ ค่าพิกัดของจุดเปิดถ่าย ค่ามุมเอียงของจุดเปิดถ่าย และค่าพิกัดจุดบนพื้นดินใดๆ ที่ได้จากการปรับแก้ด้วยสามเหลี่ยมทางอากาศ บนบล็อคของภาพถ่ายที่ความละเอียดจุดภาพ 15 ไมครอน พบว่ามีความถูกต้องดีกว่า ที่ความละเอียดจุดภาพ 25 ไมครอน

4.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย

หลังจากที่ได้ทำการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศเสร็จแล้ว จะได้ผลลัพธ์ที่จำเป็นในการนำมาใช้สร้างแบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model) ได้แก่

- ค่าตัวแปรของการแปลงพิกัดภายใน 6 ตัวแปร ของแต่ละภาพถ่าย (Affine transformation)
- ค่าตัวแปรของจุดเปิดถ่าย (การวางตัวภายนอก) 6 ตัวแปร (Exterior Orientation Parameter)

วิธีการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย ทำโดยการรังวัดจุดพิกัดบนภาพคู่ขึ้นที่เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองระดับสูงที่ได้สร้างขึ้น โดยการวัดไปยังตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่าย ที่รู้ค่าพิกัด และ รู้ตำแหน่งบนภาพถ่ายอยู่ก่อนแล้ว ค่าผลลัพธ์ที่ต้องการก็คือค่าผลต่างของค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย กับ ค่าพิกัดที่บันทึกได้จากการวัดบนแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่ายมีความสำคัญ เนื่องจากผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้ จะสามารถบอกให้ทราบว่าแบบจำลองระดับสูงที่ได้ขึ้นี้มีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด สำหรับที่จะนำไปใช้ต่อไป หากค่าพิกัดที่บันทึกได้ผิดพลาดไปจากค่าพิกัดของจุดควบคุมมาก ก็แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองระดับสูงที่สร้างขึ้นนั้นมีความผิดพลาดมากและอาจต้องทำการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศอีกครั้ง

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย สามารถดูได้จากตารางในหน้าต่อไป

ตารางที่ 4.8 การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย มาตรฐาน 1:15000 ความละเอียด 15 ไมครอน

หมายเลข ภาพคู่	จุด ควบคุม	ค่าพิกัดที่บันทึกได้			ค่าผลต่าง			ค่าสัมบูรณ์ของผลต่าง		
		X	Y	Z	Diff. X	Diff. Y	Diff. Z	Diff. X	Diff. Y	Diff. Z
1057&1059	2101	391686.077	2136888.485	217.499	-0.011	0.006	-0.008	0.011	0.006	0.008
	42A3	390740.144	2137286.190	199.932	0.019	0.032	-0.004	0.019	0.032	0.004
	29A4	391624.147	2137223.947	216.481	0.010	-0.019	0.021	0.010	0.019	0.021
	42B1	390980.504	2137373.555	202.019	0.041	0.019	-0.013	0.041	0.019	0.013
	42A5	390207.936	2137236.878	206.019	0.031	-0.031	-0.004	0.031	0.031	0.004
	42A4	390880.574	2137049.563	204.231	0.051	0.006	-0.006	0.051	0.006	0.006
	59A1	391718.468	2135903.125	233.758	0.034	0.026	0.001	0.034	0.026	0.001
	41A4	390702.484	2135463.576	226.649	-0.020	-0.004	-0.005	0.020	0.004	0.005
	41A9	390856.918	2136157.019	212.709	0.027	-0.003	-0.007	0.027	0.003	0.007
1059&1061	2101	391686.094	2136888.479	217.498	-0.028	0.011	-0.007	0.028	0.011	0.007
	42A3	390740.154	2137286.216	199.931	0.008	0.006	-0.003	0.008	0.006	0.003
	29A4	391624.121	2137223.961	216.480	0.037	-0.033	0.022	0.037	0.033	0.022
	42B1	390980.573	2137373.607	202.082	-0.028	-0.033	-0.076	0.028	0.033	0.076
	42A5	390207.967	2137236.863	206.024	0.000	-0.015	-0.009	0.000	0.015	0.009
	42A4	390880.656	2137049.592	204.228	-0.031	-0.023	-0.003	0.031	0.023	0.003
ค่าผลรวม								0.375	0.266	0.186
ค่าเฉลี่ย								0.025	0.018	0.012

ค่าผลต่างของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่ายที่วัดได้บนภาพคู่ซ้อน กับ ตำแหน่งที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม ทางราบ = 0.022 เมตร
ทางระดับ = 0.012 เมตร

ตารางที่ 4.9 การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย มาตรฐาน 1:15000 ความละเอียด 25 ไมครอน

หมายเลข ภาพคู่	จุด ควบคุม	ค่าพิกัดที่บันทึกได้			ค่าผลต่าง			ค่าสัมบูรณ์ของผลต่าง		
		X	Y	Z	Diff. X	Diff. Y	Diff. Z	Diff. X	Diff. Y	Diff. Z
1057&1059	2101	391686.082	2136888.494	217.511	-0.015	-0.003	-0.020	0.015	0.003	0.020
	42A3	390740.198	2137286.266	199.944	-0.035	-0.044	-0.015	0.035	0.044	0.015
	29A4	391624.159	2137223.949	216.463	-0.002	-0.021	0.039	0.002	0.021	0.039
	42B1	390980.479	2137373.562	202.055	0.066	0.012	-0.049	0.066	0.012	0.049
	42A5	390207.970	2137236.819	206.025	-0.003	0.029	-0.010	0.003	0.029	0.010
	42A4	390880.639	2137049.552	204.239	-0.014	0.016	-0.014	0.014	0.016	0.014
	59A1	391718.555	2135903.097	233.773	-0.052	0.054	-0.014	0.052	0.054	0.014
	41A4	390702.430	2135463.612	226.653	0.035	-0.041	-0.009	0.035	0.041	0.009
	41A9	390856.989	2136157.011	212.755	-0.043	0.005	-0.053	0.043	0.005	0.053
1059&1061	2101	391686.031	2136888.516	217.531	0.036	-0.025	-0.040	0.036	0.025	0.040
	42A3	390740.132	2137286.223	199.947	0.031	-0.001	-0.019	0.031	0.001	0.019
	29A4	391624.205	2137223.940	216.466	-0.047	-0.013	0.036	0.047	0.013	0.036
	42B1	390980.506	2137373.564	202.057	0.039	0.010	-0.050	0.039	0.010	0.050
	42A5	390208.027	2137236.896	206.040	-0.059	-0.048	-0.025	0.059	0.048	0.025
	42A4	390880.614	2137049.604	204.237	0.012	-0.035	-0.012	0.012	0.035	0.012
ค่าผลรวม								0.490	0.356	0.405
ค่าเฉลี่ย								0.033	0.024	0.027

ค่าผลต่างของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่ายที่วัดได้บนภาพคู่ซ้อน กับ ตำแหน่งที่ได้จาก

การรังวัดด้วยดาวเทียม ทางราบ = 0.029 เมตร

ทางระดับ = 0.027 เมตร

ตารางที่ 4.10 การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย มาตรฐาน 1:6000 ความละเอียด 15 ไมครอน

หมายเลข ภาพคู่	จุด ควบคุม	ค่าพิกัดที่บันทึกได้			ค่าผลต่าง			ค่าสัมบูรณ์ของผลต่าง		
		X	Y	Z	Diff. X	Diff. Y	Diff. Z	Diff. X	Diff. Y	Diff. Z
42&43	42A3	390740.163	2137286.218	199.950	-0.001	0.004	-0.021	0.001	0.004	0.021
	42B1	390980.537	2137373.592	201.987	0.009	-0.019	0.020	0.009	0.019	0.020
	42A4	390880.624	2137049.557	204.205	0.002	0.012	0.020	0.002	0.012	0.020
	42A5	390207.968	2137236.850	206.008	-0.001	-0.002	0.007	0.001	0.002	0.007
209&210	29A4	391624.184	2137223.916	216.516	-0.026	0.012	-0.014	0.026	0.012	0.014
	42A3	390740.168	2137286.212	199.949	-0.005	0.011	-0.021	0.005	0.011	0.021
	42B1	390980.557	2137373.578	202.014	-0.011	-0.005	-0.008	0.011	0.005	0.008
210&211	29A4	391624.165	2137223.933	216.502	-0.008	-0.006	0.000	0.008	0.006	0.000
	42A3	390740.166	2137286.209	199.937	-0.003	0.013	-0.008	0.003	0.013	0.008
	42B1	390980.552	2137373.571	202.011	-0.007	0.002	-0.004	0.007	0.002	0.004
	42A4	390880.634	2137049.576	204.231	-0.009	-0.007	-0.006	0.009	0.007	0.006
211&212	2101	391686.063	2136888.495	217.500	0.003	-0.005	-0.009	0.003	0.005	0.009
	29A4	391624.165	2137223.941	216.511	-0.007	-0.013	-0.009	0.007	0.013	0.009
	42A3	390740.140	2137286.217	199.947	0.022	0.005	-0.019	0.022	0.005	0.019
	2101	391686.057	2136888.496	217.498	0.009	-0.005	-0.007	0.009	0.005	0.007
41&42	41A9	390856.959	2136157.010	212.694	-0.013	0.006	0.008	0.013	0.006	0.008
ค่าผลรวม								0.136	0.126	0.180
ค่าเฉลี่ย								0.009	0.008	0.011

ค่าผลต่างของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่ายที่วัดได้บนภาพคู่ซ้อน กับ ตำแหน่งที่ได้จาก

การรังวัดด้วยดาวเทียม ทางราบ = 0.009 เมตร

ทางระดับ = 0.011 เมตร

ตารางที่ 4.11 การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย มาตรฐาน 1: 6000 ความละเอียด 25 ไมครอน

หมายเลข ภาพคู่	จุด ควบคุม	ค่าพิกัดที่บันทึกได้			ค่าผลต่าง			ค่าสัมบูรณ์ของผลต่าง		
		X	Y	Z	Diff. X	Diff. Y	Diff. Z	Diff. X	Diff. Y	Diff. Z
42&43	42A3	390740.185	2137286.242	199.930	-0.022	-0.020	-0.001	0.022	0.020	0.001
	42B1	390980.565	2137373.581	202.016	-0.020	-0.007	-0.009	0.020	0.007	0.009
	42A4	390880.650	2137049.573	204.194	-0.024	-0.004	0.031	0.024	0.004	0.031
	42A5	390207.959	2137236.830	206.033	0.008	0.018	-0.018	0.008	0.018	0.018
209&210	29A4	391624.144	2137223.924	216.536	0.014	0.004	-0.034	0.014	0.004	0.034
	42A3	390740.141	2137286.227	199.949	0.021	-0.005	-0.021	0.021	0.005	0.021
	42B1	390980.548	2137373.610	202.063	-0.002	-0.036	-0.056	0.002	0.036	0.056
210&211	29A4	391624.149	2137223.947	216.539	0.008	-0.019	-0.037	0.008	0.019	0.037
	42A3	390740.148	2137286.237	199.983	0.014	-0.015	-0.054	0.014	0.015	0.054
	42B1	390980.538	2137373.583	202.038	0.007	-0.010	-0.031	0.007	0.010	0.031
	42A4	390880.631	2137049.570	204.244	-0.005	-0.001	-0.019	0.005	0.001	0.019
211&212	2101	391686.073	2136888.515	217.521	-0.007	-0.024	-0.030	0.007	0.024	0.030
	29A4	391624.189	2137223.941	216.531	-0.031	-0.013	-0.029	0.031	0.013	0.029
	42A3	390740.128	2137286.215	199.980	0.034	0.007	-0.052	0.034	0.007	0.052
	2101	391686.041	2136888.484	217.503	0.026	0.007	-0.012	0.026	0.007	0.012
41&42	41A9	390856.921	2136157.035	212.703	0.025	-0.018	-0.001	0.025	0.018	0.001
ค่าผลรวม								0.270	0.208	0.436
ค่าเฉลี่ย								0.017	0.013	0.027

ค่าผลต่างของตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่ายที่วัดได้บนภาพคู่ซ้อน กับ ตำแหน่งที่ได้จาก

การรังวัดด้วยดาวเทียม ทางราบ = 0.015 เมตร

ทางระดับ = 0.027 เมตร

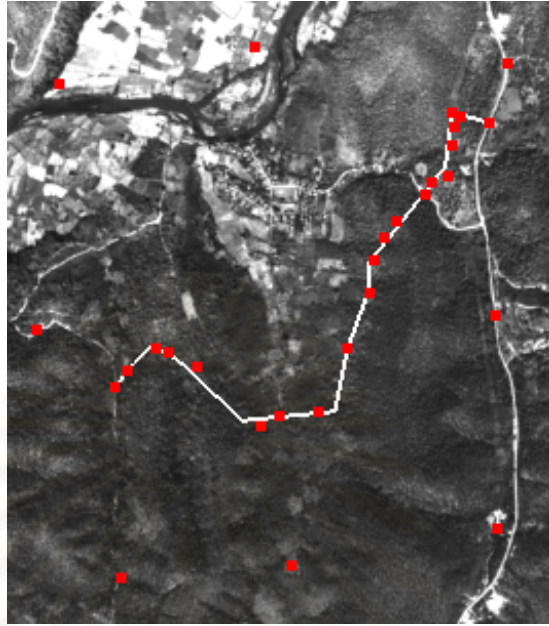
4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง

การประเมินคุณภาพ (Quality Assessment) ของแบบจำลองระดับสูง ทำโดยการนำสุ่มเอาค่าระดับบนแบบจำลอง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าระดับที่รังวัดด้วยความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ตามมาตรฐานของ USGS 1997 กำหนดให้ใช้จุดที่เด่นชัดในภูมิประเทศทางระดับ 28 จุดกระจายอย่างทั่วถึงบนแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ โดยที่ 8 จุด ต้องเป็นจุดที่อยู่ขอบของแบบจำลอง ส่วนอีก 20 จุด ให้เป็นจุดที่อยู่ภายในแบบจำลอง ซึ่งสามารถประเมินความละเอียดถูกต้องได้จากค่า Root Mean Square Error (RMSE) (National Mapping Division ,U.S. Geological Survey 1997)

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูงที่ได้จากการรังวัดค่าจุดพิกัดบนภาพถ่ายเชิงเลขที่ความละเอียด 15 ไมครอน เปรียบเทียบกับ ภาพถ่ายเชิงเลขที่ความละเอียด 25 ไมครอน ทั้งจากภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 และ ภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 โดยมีขั้นตอนคือ การบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดินบนภาพถ่ายเชิงเลข ที่ความละเอียด 15 ไมครอน ก่อน แล้วใช้เครื่องมือกำหนดตำแหน่ง (Position Tool) ในการหาจุดพิกัดเดียวกัน บนภาพถ่ายเชิงเลขที่ความละเอียด 25 ไมครอน เมื่อทำการปรับแก้ระยะเหลือมทางแกน X เสร็จแล้ว จึงทำการบันทึกค่าพิกัดที่ได้บนภาพถ่ายเชิงเลขที่ความละเอียด 25 ไมครอน โดยการประเมินและบันทึกค่าที่ละจุด ที่อยู่บนตำแหน่งเดียวกัน



รูปที่ 4.3 การประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000



รูปที่ 4.4 การประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000

ผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นดินที่บันทึกได้ จากภาพถ่ายเชิงเลขที่มีความละเอียดของจุดภาพที่ 15 และ 25 ไมครอน เพื่อการประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง สามารถดูได้จากตารางในหน้าต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 การประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000

	Scale1:15000 (15 microns)			Scale1:15000 (25 microns)			Quality Assessment for Digital Elevation Model								
	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	diff.X	diff.Y	diff.Z	diff.X-blunder	diff.Y-blunder	diff.Z-blunder	Sq(diff.X)	Sq(diff.Y)	Sq(diff.Z)
1	391727.5527	2137888.2963	236.5194	391727.7167	2137888.2299	236.0256	0.1640	0.0664	0.4938	0.1640	0.0664	0.4938	0.0269	0.0044	0.2438
2	390680.5431	2137983.0819	197.1811	390680.4107	2137983.1216	197.1575	0.1324	0.0397	0.0236	0.1324	0.0397	0.0236	0.0175	0.0016	0.0006
3	389849.7598	2137838.7690	194.1381	389849.9834	2137838.5946	193.6727	0.2236	0.1744	0.4654	0.2236	0.1744	0.4654	0.0500	0.0304	0.2166
4	389762.5400	2136804.0353	231.3103	389762.4894	2136804.0368	230.9131	0.0506	0.0015	0.3972	0.0506	0.0015	0.3972	0.0026	0.0000	0.1578
5	391674.7092	2136845.2446	217.1514	391674.7852	2136844.9174	216.9216	0.0760	0.3272	0.2298	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	391665.6442	2135958.6973	231.3073	391665.6418	2135958.5942	231.3106	0.0024	0.1031	0.0033	0.0024	0.1031	0.0033	0.0000	0.0106	0.0000
7	390815.4715	2135811.2708	236.0444	390815.3864	2135811.2328	236.0582	0.0851	0.0380	0.0138	0.0851	0.0380	0.0138	0.0072	0.0014	0.0002
8	390096.5322	2135754.7838	218.7834	390096.3990	2135754.7712	218.7556	0.1332	0.0126	0.0278	0.1332	0.0126	0.0278	0.0177	0.0002	0.0008
9	390080.9604	2136555.9172	206.7950	390080.8395	2136555.9199	206.6490	0.1209	0.0027	0.1460	0.1209	0.0027	0.1460	0.0146	0.0000	0.0213
10	390128.2903	2136619.6018	205.7951	390128.2411	2136619.6341	205.8578	0.0492	0.0323	0.0627	0.0492	0.0323	0.0627	0.0024	0.0010	0.0039
11	390254.8088	2136717.7988	211.3714	390254.5883	2136717.8420	211.0607	0.2205	0.0432	0.3107	0.2205	0.0432	0.3107	0.0486	0.0019	0.0965
12	390301.3650	2136699.9104	212.8405	390301.2468	2136699.9228	212.8465	0.1182	0.0124	0.0060	0.1182	0.0124	0.0060	0.0140	0.0002	0.0000
13	390430.8006	2136638.3597	233.5144	390430.8099	2136638.4022	233.2521	0.0093	0.0425	0.2623	0.0093	0.0425	0.2623	0.0001	0.0018	0.0688
14	390688.5171	2136388.5156	221.1174	390688.4493	2136388.4882	220.9281	0.0678	0.0274	0.1893	0.0678	0.0274	0.1893	0.0046	0.0008	0.0358
15	390768.4304	2136425.5693	208.3099	390768.3710	2136425.5511	208.3199	0.0594	0.0182	0.0100	0.0594	0.0182	0.0100	0.0035	0.0003	0.0001
16	390931.3414	2136453.6788	239.8090	390931.2306	2136453.6692	239.8543	0.1108	0.0096	0.0453	0.1108	0.0096	0.0453	0.0123	0.0001	0.0021

x

17	391054.8938	2136708.1169	223.1322	391054.8285	2136708.1856	222.7160	0.0653	0.0687	0.4162	0.0653	0.0687	0.4162	0.0043	0.0047	0.1732
18	391150.2295	2136938.3262	241.0482	391150.0644	2136938.2653	241.3978	0.1651	0.0609	0.3496	0.1651	0.0609	0.3496	0.0273	0.0037	0.1222
19	391168.5954	2137078.2751	249.3419	391168.4755	2137078.4760	248.8905	0.1199	0.2009	0.4514	0.1199	0.2009	0.4514	0.0144	0.0404	0.2038
20	391211.0518	2137174.3630	251.4343	391210.9940	2137174.5466	251.0276	0.0578	0.1836	0.4067	0.0578	0.1836	0.4067	0.0033	0.0337	0.1654
21	391260.6093	2137232.6255	281.0986	391260.5063	2137232.8104	280.6655	0.1030	0.1849	0.4331	0.1030	0.1849	0.4331	0.0106	0.0342	0.1876
22	391390.0224	2137354.4068	205.0612	391389.9615	2137354.5376	204.9471	0.0609	0.1308	0.1141	0.0609	0.1308	0.1141	0.0037	0.0171	0.0130
23	391413.9543	2137402.4477	226.4977	391413.9412	2137402.5025	226.2244	0.0131	0.0548	0.2733	0.0131	0.0548	0.2733	0.0002	0.0030	0.0747
24	391481.9181	2137427.9561	230.5600	391481.8963	2137427.9369	230.1301	0.0218	0.0192	0.4299	0.0218	0.0192	0.4299	0.0005	0.0004	0.1848
25	391507.8955	2137630.7789	227.2209	391507.9519	2137630.7934	227.0759	0.0564	0.0145	0.1450	0.0564	0.0145	0.1450	0.0032	0.0002	0.0210
26	391498.4285	2137686.4281	237.2998	391498.4471	2137686.4758	236.9543	0.0186	0.0477	0.3455	0.0186	0.0477	0.3455	0.0003	0.0023	0.1194
27	391529.4473	2137672.5237	230.5462	391529.4436	2137672.5678	230.2026	0.0037	0.0441	0.3436	0.0037	0.0441	0.3436	0.0000	0.0019	0.1181
28	391656.2505	2137648.4482	220.7270	391656.0910	2137648.4804	220.7320	0.1595	0.0322	0.0050	0.1595	0.0322	0.0050	0.0254	0.0010	0.0000

2.4685 1.9935 6.4004 0.3153 0.1973 2.2315

Scale1:15000

S 0.0882 0.0712 0.2286

RMSE 0.1081 0.0855 0.2875

3S 0.2645 0.2136 0.6858

การประเมินคุณภาพของจุดพิกัดใดๆ บนพื้นดิน ที่วัดได้บนภาพคู่ซ้อน ที่มาตราส่วน 1:15000 โดยเปรียบเทียบจากการวัดที่ความละเอียด 15 ไมครอน กับ 25 ไมครอน มีค่าความถูกต้องของจุดพิกัดตำแหน่งทางราบ ต่างกันประมาณ 0.10 m. ค่าความถูกต้องของจุดพิกัดตำแหน่งทางระดับ ต่างกันประมาณ 0.29 m.

ตารางที่ 4.13 การประเมินคุณภาพของแบบจำลองระดับสูง บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000

	Scale1:6000 (15 microns)			Scale1:6000 (25 microns)			Quality Assessment for Digital Elevation Model								
	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	diff.X	diff.Y	diff.Z	diff.X-blunder	diff.Y-blunder	diff.Z-blunder	Sq(diff.X)	Sq(diff.Y)	Sq(diff.Z)
1	390545.4229	2137577.9799	195.6918	390545.4820	2137577.9743	195.7628	0.0591	0.0056	0.0710	0.0591	0.0056	0.0710	0.0035	0.0000	0.0050
2	389845.6792	2137325.2689	183.4862	389845.6392	2137325.2301	183.5277	0.0400	0.0388	0.0415	0.0400	0.0388	0.0415	0.0016	0.0015	0.0017
3	389714.9618	2136783.1150	225.5979	389715.0372	2136783.1447	225.8611	0.0754	0.0297	0.2632	0.0754	0.0297	0.2632	0.0057	0.0009	0.0693
4	389743.7270	2136211.3265	233.7601	389743.6330	2136211.2975	233.6968	0.0940	0.0290	0.0633	0.0940	0.0290	0.0633	0.0088	0.0008	0.0040
5	390852.9572	2135853.7745	226.1084	390852.9977	2135853.6714	225.6834	0.0405	0.1031	0.4250	0.0405	0.1031	0.4250	0.0016	0.0106	0.1806
6	391752.9408	2136337.5405	228.2981	391752.9491	2136337.5766	228.3841	0.0083	0.0361	0.0860	0.0083	0.0361	0.0860	0.0001	0.0013	0.0074
7	391645.5919	2137115.4603	212.8250	391645.5249	2137115.3784	212.3113	0.0670	0.0819	0.5137	0.0670	0.0819	0.5137	0.0045	0.0067	0.2639
8	391710.2347	2137783.3433	230.0371	391710.5022	2137783.3486	229.3646	0.2675	0.0053	0.6725	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	391594.2682	2137631.445	219.0952	391594.3874	2137631.4106	218.5976	0.1192	0.0347	0.4976	0.1192	0.0347	0.4976	0.0142	0.0012	0.2476
10	391542.7222	2137665.7958	227.3162	391542.9057	2137665.8502	226.8146	0.1835	0.0544	0.5016	0.1835	0.0544	0.5016	0.0337	0.0030	0.2516
11	391511.2369	2137678.5816	232.1807	391511.1894	2137678.5221	232.6457	0.0475	0.0595	0.4650	0.0475	0.0595	0.4650	0.0023	0.0035	0.2162
12	391482.1374	2137514.6968	206.6510	391482.1507	2137514.7081	206.8621	0.0133	0.0113	0.2111	0.0133	0.0113	0.2111	0.0002	0.0001	0.0446
13	391456.3141	2137437.2192	204.2946	391456.3612	2137437.2687	204.3287	0.0471	0.0495	0.0341	0.0471	0.0495	0.0341	0.0022	0.0025	0.0012
14	391385.1246	2137358.6895	205.9270	391385.2275	2137358.6256	205.4975	0.1029	0.0639	0.4295	0.1029	0.0639	0.4295	0.0106	0.0041	0.1845
15	391267.5486	2137226.5878	279.3653	391267.5596	2137226.5844	279.4182	0.0110	0.0034	0.0529	0.0110	0.0034	0.0529	0.0001	0.0000	0.0028
16	391193.3720	2137156.4783	235.6567	391193.4892	2137156.5170	235.6990	0.1172	0.0387	0.0423	0.1172	0.0387	0.0423	0.0137	0.0015	0.0018

x

17	391150.3068	2137066.7006	245.5031	391150.3692	2137066.7238	245.2282	0.0624	0.0232	0.2749	0.0624	0.0232	0.2749	0.0039	0.0005	0.0756
18	391155.1615	2137003.2507	225.7497	391155.1653	2137003.3138	225.7919	0.0038	0.0631	0.0422	0.0038	0.0631	0.0422	0.0000	0.0040	0.0018
19	391122.3886	2136872.5915	229.8682	391122.4550	2136872.6701	229.9313	0.0664	0.0786	0.0631	0.0664	0.0786	0.0631	0.0044	0.0062	0.0040
20	391055.8506	2136704.1297	227.8270	391055.7876	2136704.0935	227.8281	0.0630	0.0362	0.0011	0.0630	0.0362	0.0011	0.0040	0.0013	0.0000
21	390999.0793	2136447.4982	226.8701	390999.0307	2136447.4182	226.8446	0.0486	0.0800	0.0255	0.0486	0.0800	0.0255	0.0024	0.0064	0.0007
22	390762.8081	2136422.7474	205.1204	390762.7472	2136422.7328	205.5225	0.0609	0.0146	0.4021	0.0609	0.0146	0.4021	0.0037	0.0002	0.1617
23	390640.9030	2136438.5868	219.9262	390640.8231	2136438.5676	220.1465	0.0799	0.0192	0.2203	0.0799	0.0192	0.2203	0.0064	0.0004	0.0485
24	390498.0441	2136531.4071	240.5029	390497.9979	2136531.4646	240.8139	0.0462	0.0575	0.3110	0.0462	0.0575	0.3110	0.0021	0.0033	0.0967
25	390352.0194	2136667.2288	235.4089	390351.9620	2136667.2119	235.1931	0.0574	0.0169	0.2158	0.0574	0.0169	0.2158	0.0033	0.0003	0.0466
26	390256.5897	2136721.3397	205.8076	390256.5765	2136721.3732	206.2537	0.0132	0.0335	0.4461	0.0132	0.0335	0.4461	0.0002	0.0011	0.1990
27	390174.8121	2136672.7507	196.6860	390174.7890	2136672.7616	196.9058	0.0231	0.0109	0.2198	0.0231	0.0109	0.2198	0.0005	0.0001	0.0483
28	390079.5412	2136550.6780	198.1994	390079.5713	2136550.7751	198.6363	0.0301	0.0971	0.4369	0.0301	0.0971	0.4369	0.0009	0.0094	0.1909

1.8485 1.1757 7.0291 0.1346 0.0710 2.3559

Scale1:6000

S 0.0660 0.0420 0.2510

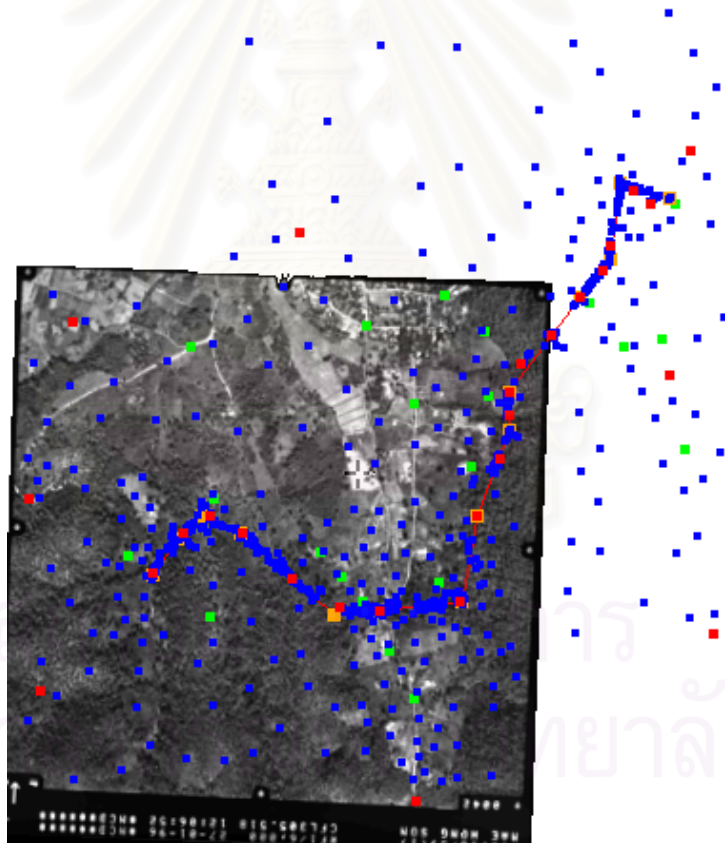
RMSE 0.0706 0.0513 0.2954

3S 0.1981 0.1260 0.7531

การประเมินคุณภาพของจุดปักด้าย บนพื้นดิน ที่วัดได้บนภาพคู่ซ้อน ที่มาตราส่วน 1:6000 โดยเปรียบเทียบจากการวัดที่ความละเอียด 15 ไมครอน กับ 25 ไมครอน มีค่าความถูกต้องของจุดปักด้ายตำแหน่งทางราบ ต่างกันประมาณ 0.06 m. ค่าความถูกต้องของจุดปักด้ายตำแหน่งทางระดับ ต่างกันประมาณ 0.30 m.

4.5 ผลการบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน

หลังจากที่ได้ทำการปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ และ ได้ความถูกต้องของผลลัพธ์ต่างๆ เช่น ค่าการวางตัวภายนอกของภาพถ่ายแต่ละภาพ ค่าพิกัดของจุดใดจุดบนพื้นดิน ฯลฯ เป็นที่น่าพอใจ แล้วจึงทำการบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน โดยในการวิจัยนี้ ได้ทำการบันทึกจุดพิกัด อย่างหนาแน่นตามแนวเส้นทางและบริเวณใกล้เคียง บนบลิ๊อคของภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 และ 1:6000 โดยมีระยะห่างของจุดพิกัดประมาณ 10 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้จะต้องทำการบันทึกจุดพิกัดในบริเวณโดยรอบของภาพถ่ายอีกด้วย เมื่อห่างจากแนวเส้นทางออกไป แต่จะมีจุดพิกัดที่เบาบางลงตามลำดับ เพื่อนำข้อมูลพิกัดจุดที่ได้ทั้งหมด มาสร้างแบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model) ต่อไป



รูปที่ 4.5 การบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000

ผลการบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดิน จากภาพคู่ซ้อนที่มาตราส่วน 1:6000 ความละเอียด 25 ไมครอน ดูได้จาก ภาคผนวก ค

4.6 ผลลัพธ์จากการสร้างภาพถ่ายตัดแก้ortho

การสร้างภาพถ่ายตัดแก้ortho ต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข ได้แก่ ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ค่าตัวแปรของจุดเปิดถ่าย ค่าตัวแปรการแปลงพิกัดภายในของแต่ ละภาพถ่าย และ ข้อมูลแบบจำลองระดับสูง

หลังจากที่ได้เตรียมข้อมูลดังกล่าวเรียบร้อยแล้ว จึงทำการประมวลผลเพื่อสร้างภาพถ่ายตัดแก้ ortho โดยวิธีการประมาณค่าจุดภาพใหม่ (Ortho Resampling) ซึ่งจะต้องทำการกำหนดว่า ต้องการความละเอียดของจุดภาพในระดับใด แต่มีหลักการว่าจะกำหนดความละเอียดของจุดภาพ ได้ไม่เกินความละเอียดของจุดภาพเดิมบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่นำมาใช้เป็นข้อมูล

ในตารางด้านล่าง เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ที่มาตราส่วน 1:6000 จำนวน 7 ภาพ ทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์ Intel Pentium III 750 MHz dual ที่มีหน่วยความจำ 1024 Mbyte โดยใช้โปรแกรม Erdas IMAGINE 8.4 ซึ่งรูปแบบของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่จะทำการประมวลผล เป็นไฟล์นามสกุล .img

ตารางที่ 4.14 ขนาดข้อมูลที่ได้จากการสร้างภาพถ่ายตัดแก้orthoโดยการประมาณค่าจุดภาพใหม่ (Ortho Resampling)

Image No.	Data Storage (Mbyte) for Orthophoto at different pixel size					
	0.10 m.	0.15 m.	0.20 m.	0.40 m.	0.80 m.	2.00 m
41	267.0	114.0	64.5	16.4	4.2	0.8
42	345.0	145.0	81.6	20.6	5.2	0.9
43	321.0	137.0	76.8	19.3	4.9	0.9
209	204.0	86.5	48.9	12.4	3.2	0.5
210	284.0	120.0	68.0	17.1	4.4	0.8
211	347.0	139.0	79.4	20.1	5.2	0.9
212	329.0	142.0	79.9	20.1	5.2	0.9
Total	2097.0	883.5	499.1	126.0	32.3	5.6
Average	299.6	126.2	71.3	18.0	4.6	0.8

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า หากต้องการสร้างภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทที่มีความละเอียด 0.10 เมตร จะต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บภาพถ่ายเชิงเลขเฉลี่ยแต่ละภาพ เท่ากับ 299.6 MB แต่ถ้าสามารถใช้งานภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทที่มีความละเอียดของจุดภาพในระดับปานกลางแทนได้ เช่น ที่ความละเอียด 0.40 เมตร จะใช้พื้นที่ในการจัดเก็บเพียง 18.0 MB ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างของขนาดพื้นที่จัดเก็บถึง 281.6 MB สำหรับภาพถ่ายเชิงเลขเฉลี่ยแต่ละภาพ

ตารางที่ 4.15 ระยะเวลาในการประมวลผลภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทโดยการประมาณค่าจุดภาพใหม่ (Ortho Resampling)

Av. Time / Image (second)	Ortho Resampling at different pixel size					
	0.10 m.	0.15 m.	0.20 m.	0.40 m.	0.80 m.	2.00 m
	600	300	180	95	60	35

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า หากต้องการสร้างภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทที่มีความละเอียดของจุดภาพ ที่ความละเอียด 0.10 เมตร จะต้องใช้ระยะเวลาในการประมวลผล โดยเฉลี่ยแต่ละภาพ เท่ากับ 600 วินาที แต่ถ้าสามารถใช้งานภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทที่มีความละเอียดของจุดภาพในระดับปานกลางแทน เช่น ที่ความละเอียด 0.40 เมตร จะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ยแต่ละภาพ เพียง 95 วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างของระยะเวลาในการประมวลผลสำหรับภาพถ่ายเชิงเลขเฉลี่ยแต่ละภาพ เท่ากับ 505 วินาที (8 นาที 25 วินาที)

ตามรูปในหน้าถัดไป เป็นการแสดงผลภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทที่มีความละเอียดของจุดภาพแตกต่างกัน ที่มาตราส่วนเดียวกัน คือ มาตราส่วน 1:500 บนโปรแกรม Erdas ViewFinder ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี (Free Download) ที่เว็บไซต์ www.erdas.com ความสามารถของโปรแกรมนี้คือ ใช้แสดงผลภาพถ่ายเชิงเลขได้ในรูปแบบของไฟล์นามสกุล .img .tiff และ .sid โดยสามารถแสดงผลและขยายภาพให้เห็นรายละเอียดบนภาพได้ถึงระดับของจุดภาพ (pixel) บนภาพถ่ายเชิงเลข



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายตัดแก้ออโท ที่มีความละเอียดของจุดภาพ 0.10 เมตร



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายตัดแก้ออโท ที่มีความละเอียดของจุดภาพ 0.15 เมตร



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายตัดแก้ออโท ที่มีความละเอียดของจุดภาพ 0.20 เมตร



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายตัดแก้ออโท ที่มีความละเอียดของจุดภาพ 0.40 เมตร



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายตัดแก้ออโท ที่มีความละเอียดของจุดภาพ 0.80 เมตร



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายตัดแก้ออโท ที่มีความละเอียดของจุดภาพ 2.00 เมตร

ภาพถ่ายตัดแก้อทโทที่ความละเอียดจุดภาพ 0.10 เมตร ได้มาจากการประมาณค่าจุดใหม่บนภาพถ่ายเชิงเลขที่ความละเอียด 15 ไมครอน และภาพถ่ายตัดแก้อทโทที่ความละเอียดจุดภาพตั้งแต่ 0.15 เมตร ถึง 2.00 เมตร ได้มาจากการประมาณค่าจุดภาพใหม่บนภาพถ่ายเชิงเลขที่ความละเอียด 25 ไมครอน เมื่อพิจารณาจากการแสดงผลภาพแล้วพบว่า ภาพถ่ายตัดแก้อทโทที่ความละเอียดของจุดภาพ 0.20 เมตร เพียงพอที่จะแสดงข้อมูลรายละเอียดในพื้นที่อย่างครบถ้วนและมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการออกแบบทางได้

จากการทดสอบโดยการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข ที่ความละเอียดของการสแกน 15 ไมครอน และ 25 ไมครอน เมื่อทำการประมาณค่าจุดภาพใหม่เพื่อสร้างภาพถ่ายตัดแก้อทโทที่ความละเอียดของจุดภาพ ตั้งแต่ 0.15 เมตร ถึง 2.00 เมตร พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อแสดงผลภาพออกมาจะให้รายละเอียดที่ใกล้เคียงกัน รวมทั้งขนาดของพื้นที่การจับเก็บที่ใช้ก็ใกล้เคียงกัน



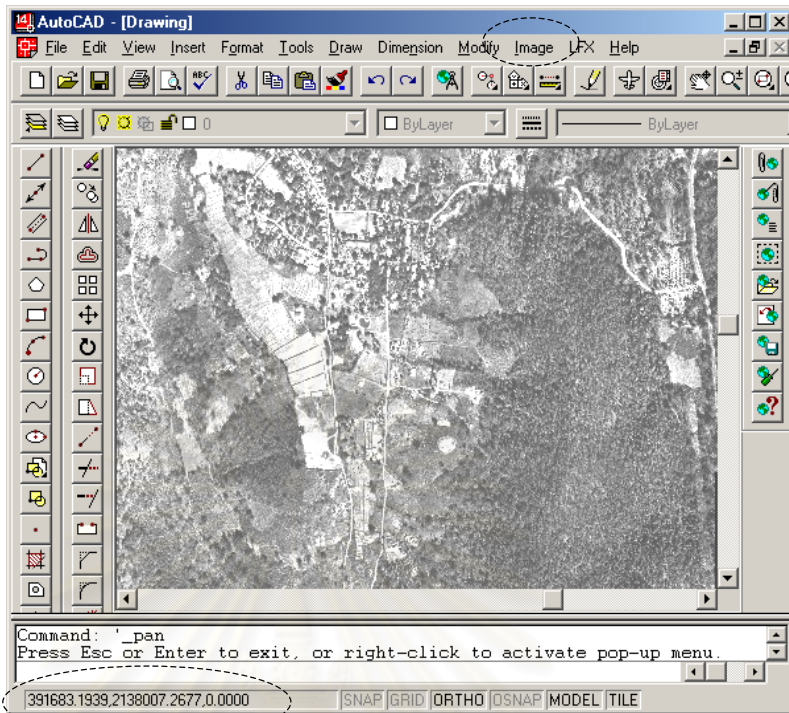
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับสูงและภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทในงานออกแบบทาง

ภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข เป็นภาพถ่ายเชิงเลขที่มีค่าพิกัดที่สามารถระบุพิกัดตำแหน่งต่างๆบนภาพถ่ายได้ นอกจากนั้นภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทยังสามารถวัดระยะทาง หาขนาดของพื้นที่ หาพิกัดตำแหน่ง และ ใช้เป็นแผนที่ได้ โดยทั่วไปงานด้านการออกแบบทาง จะใช้โปรแกรมช่วยเขียนแบบเป็นหลัก (AutoCAD) การนำภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทไปใช้งานเกี่ยวกับการออกแบบทางนั้น หากนำเข้าภาพถ่ายมาไว้ในโปรแกรมช่วยเขียนแบบโดยตรงแล้ว คุณสมบัติทางด้านพิกัดตำแหน่งและการวัดขนาดต่างๆ จะสูญหายไป และ ต้องทำการกำหนดพิกัดตำแหน่ง (Georeference) ให้กับภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทใหม่ ซึ่งถือเป็นวิธีการที่ผิด เพราะ การกำหนดพิกัดตำแหน่งใหม่อีก จะทำให้พิกัดตำแหน่งของภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทผิดพลาดไปจากเดิม ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการที่เหมาะสมที่จะถ่ายโอนข้อมูลภาพถ่ายตัดแก้ข้อโทรวมถึงพิกัดตำแหน่งของภาพไปด้วยพร้อมๆกันด้วย เพื่อการนำไปใช้บนโปรแกรมช่วยเขียนแบบ

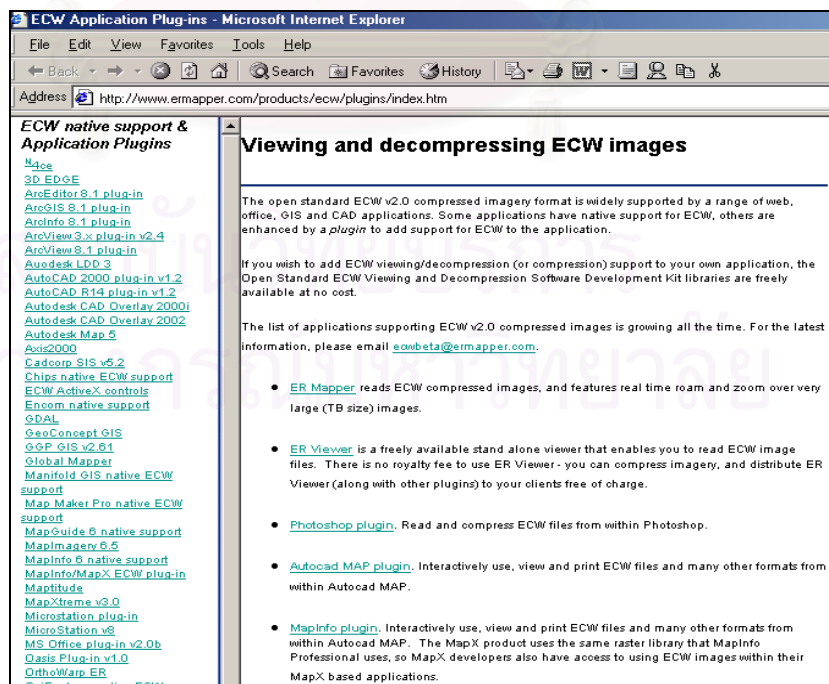
การเชื่อมโยงการใช้งานโปรแกรม AutoCAD ให้สามารถใช้ในการเปิดภาพถ่ายเชิงเลขพร้อมค่าพิกัดตำแหน่งบนภาพได้นั้น สามารถทำได้โดยการใช้โปรแกรมที่ติดตั้งเพิ่มเติม (Add In) ตัวอย่างเช่น โปรแกรม Softdesk 8 Imaging เมื่อติดตั้งโปรแกรมนี้แล้ว ก็จะสามารถใช้งานได้ที่บนโปรแกรม AutoCAD โดยสามารถใช้ในการเปิดภาพถ่ายเชิงเลขได้ในหลายรูปแบบ เช่น .tiff .jpg .bmp .gif ฯลฯ

เมื่อได้ทำการติดตั้งโปรแกรม Softdesk 8 Imaging และนำเข้าภาพถ่ายตัดแก้ข้อโท เข้ามายังโปรแกรม AutoCAD V 14 แล้วพบว่า สามารถเปิดภาพถ่ายเชิงเลขพร้อมค่าพิกัดตำแหน่งที่มีอยู่แล้วบนภาพได้



รูปที่ 4.12 การใช้งานภาพถ่ายตัดแก้จอทอนโปรแกรมช่วยเขียนแบบโดยใช้ โปรแกรม Softdesk 8 Imaging

นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า สามารถที่จะถ่ายโอนข้อมูลภาพถ่ายตัดแก้จอทอนรวมถึงพิกัดตำแหน่งของภาพไปพร้อมๆกันบนโปรแกรมช่วยเขียนแบบได้โดยใช้โปรแกรมของ ERMapper ซึ่งรายละเอียดต่างๆ สามารถหาได้จากเว็บไซต์ของ ERMapper (www.ermapper.com)

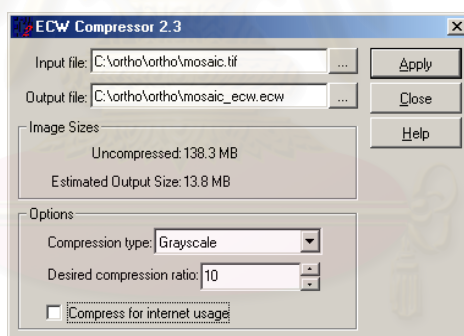


รูปที่ 4.13 เว็บไซต์ของ ERMapper และ รายชื่อโปรแกรม Plug-in ที่ดาวน์โหลดได้ฟรี

เมื่อเข้ามายังเว็บไซต์ของ ERMapper ในส่วนของ Ecw native support & Application Plugins จากรายชื่อโปรแกรม Plug-in ที่ปรากฏ แสดงให้เห็นว่า มีการนำโปรแกรม ECW ที่ใช้ในการบีบอัดข้อมูลภาพถ่ายเชิงเลขไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็น ArcView MapInfo AutoCAD ฯลฯ โดยทั้งหมดเป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี (Free Download)

โปรแกรมที่ดาวน์โหลดได้ฟรี จากเว็บไซต์ของ ERMapper ที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ โปรแกรม ECW Compressor 2.3 และ โปรแกรม AutoCAD V14 Plug-in เมื่อดาวน์โหลดไฟล์โปรแกรมมาแล้ว จากนั้นให้ทำการติดตั้ง (Set up) โปรแกรมที่ได้บนคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน เมื่อติดตั้งเสร็จแล้ว จะสามารถใช้งานโปรแกรมได้ทันที

ในส่วนของ โปรแกรม ECW Compressor 2.3 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการบีบอัดข้อมูลภาพถ่ายเชิงเลข ให้ใช้หน่วยความจำลดลง แต่จะทำให้รายละเอียดบนภาพถ่ายเชิงเลขสูญเสียไปด้วย โดยสามารถบีบอัดข้อมูลได้ถึง 20 เท่า และไฟล์นามสกุลจะถูกแปลงให้เป็น .ecw นอกจากนี้คุณสมบัติทางด้านพิกัดตำแหน่งของภาพถ่ายเชิงเลขก็ยังคงมีอยู่บนภาพที่ถูกบีบอัดแล้ว



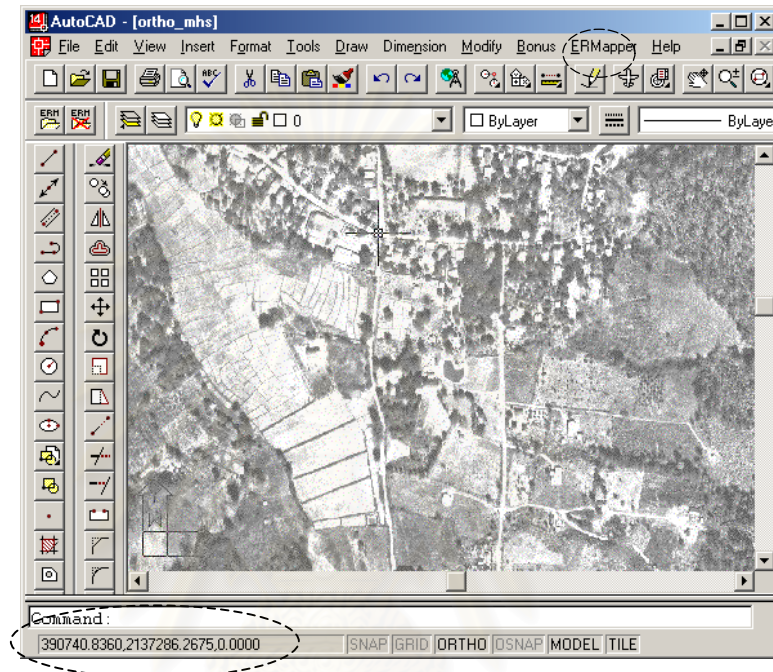
รูปที่ 4.14 การบีบอัดข้อมูลด้วยโปรแกรม ECW Compressor 2.3

ในตารางข้างล่างนี้ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการบีบอัดข้อมูลภาพถ่ายตัดแก้จอโท โดยใช้ โปรแกรม ECW Compressor 2.3 โดยการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์ Intel Pentium III 900 MHz พร้อมหน่วยความจำ 256 MB ปรากฏผลดังตารางข้างล่างนี้

ภาพถ่ายเชิงเลข	ชนิด	ความละเอียดจุดภาพ	ขนาดไฟล์ก่อนบีบอัด	ขนาดไฟล์หลังบีบอัด	อัตราการบีบอัด	เวลาที่ใช้
042.tif	ขาวดำ	25 ไมครอน	90.8 MB	5.0 MB	1:18	65 วินาที
ortho.tif	ขาวดำ	25 ไมครอน	138.3 MB	7.7 MB	1:18	96 วินาที
0211.tif	ขาวดำ	15 ไมครอน	273.0 MB	15.2 MB	1:18	198 วินาที

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพการบีบอัดข้อมูลของโปรแกรม ECW Compressor 2.3

ในส่วนของโปรแกรม AutoCAD V14 Plug-in ของ ER Mapper เป็นโปรแกรมที่จะติดตั้งไว้ในโปรแกรม AutoCAD V14 ซึ่งจะช่วยให้สามารถนำเข้าภาพถ่ายเชิงเลขที่เป็นไฟล์นามสกุล .ecw บนโปรแกรม AutoCAD V14 ได้ และ พิกัดตำแหน่งของภาพถ่ายเชิงเลขหากมีอยู่ก็จะแสดงค่าพิกัดให้เห็นที่ส่วนล่างโปรแกรม

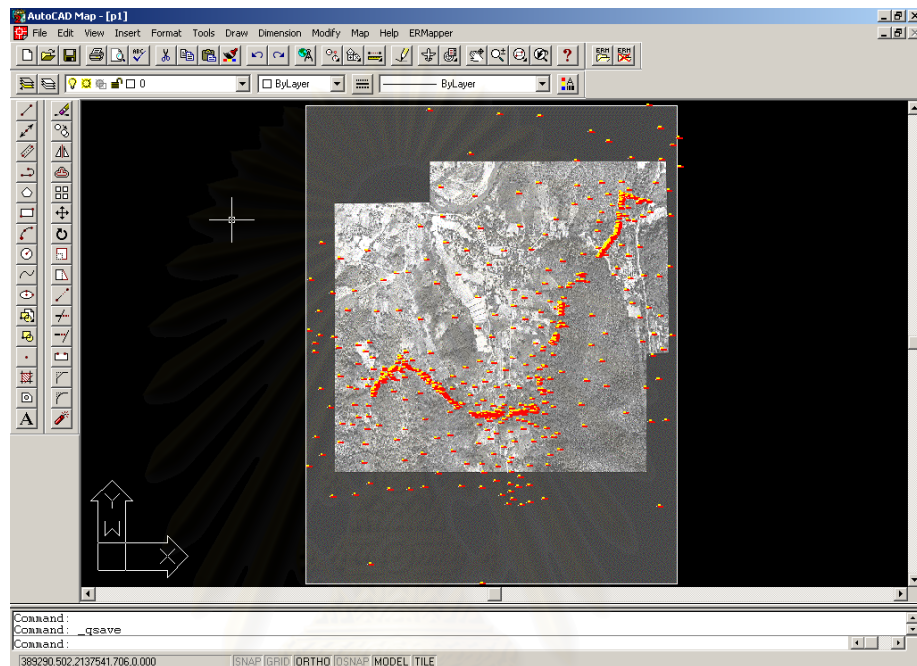


รูปที่ 4.15 การใช้งานภาพถ่ายตัดแก้ออโทบนโปรแกรมช่วยเขียนแบบโดยใช้ Plug-in ของ ERMapper

ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานภาพถ่ายตัดแก้ออโทในการออกแบบทาง จึงทำได้หลายวิธี ตามความสะดวกของผู้ใช้ แต่ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของการใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 ลักษณะคือ งานที่ต้องการรายละเอียดของภาพชัดเจน (ไม่บีบอัดภาพ) กับ งานที่ต้องการให้มีการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายเชิงเลขโดยไม่เปลืองเนื้อที่ (มีการบีบอัดภาพให้มีเนื้อที่ลดลง) ซึ่งได้ทำการยกตัวอย่างเอาไว้ข้างต้น

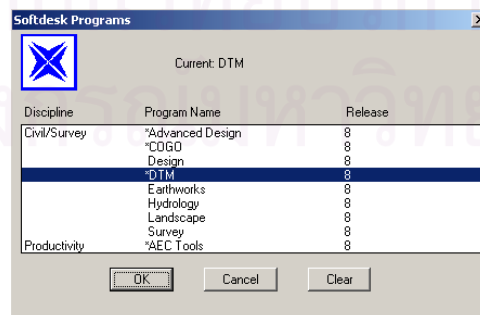
จากการศึกษาวิธีการบีบอัดภาพถ่ายเชิงเลขพบว่า ถ้าทำการบีบอัดข้อมูลภาพให้ลดลงประมาณ 2-8 เท่า เมื่อมองด้วยตาเปล่า การแสดงผลรายละเอียดของภาพถ่ายเชิงเลขก็ยังคงสามารถมองเห็นภาพถ่ายเชิงเลขได้โดยไม่มีความเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก ซึ่งจากประสิทธิภาพที่ได้ ทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็วในการนำไปแจกจ่ายใช้งาน และประหยัดเนื้อที่การจัดเก็บข้อมูล แต่มีข้อเสีย คือ รายละเอียดบนภาพถ่ายเชิงเลขจะสูญเสียไปแบบย้อนกลับไม่ได้

หลังจากที่ได้ทำการนำเข้าภาพถ่ายตัดแก้ข้อโท เข้ามายังโปรแกรมช่วยเขียนแบบเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำเข้าสู่ข้อมูลจุดที่ได้จากรังวัดบนภาพคู่ซ้อนโดยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข (Digital Photogrammetry) เข้ามายังโปรแกรมช่วยเขียนแบบ เพื่อการคิดปริมาณงานดินตัด-ดินถม (Quantities of Earth work)



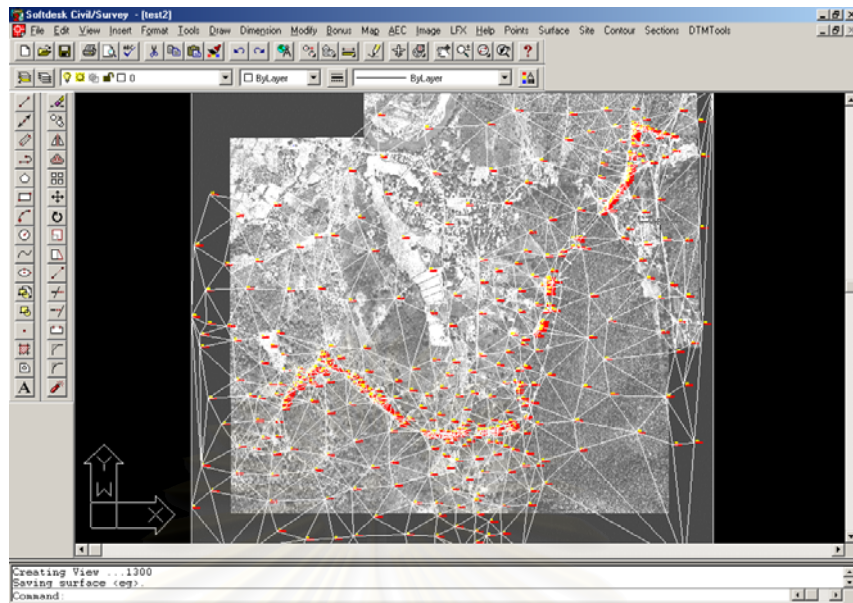
รูปที่ 4.16 การนำเข้าสู่ข้อมูลจุดที่ได้จากรังวัดด้วยภาพถ่ายเชิงเลข บนโปรแกรมช่วยเขียนแบบ

จากรูป จะเห็นว่ามีการบินที่ค่าพิกัดจุดบนพื้นดินหนาแน่นตามแนวเส้นทาง (Corridor) และน้อยลงในบริเวณที่ห่างออกไป หลังจากนั้นให้ทำการเปิดโปรแกรมสำหรับการออกแบบ (Softdesk 8 Civil/Survey) ที่ใช้งานได้บนโปรแกรมช่วยเขียนแบบ แล้วให้เลือกไปที่ขั้นตอนสำหรับการสร้างแบบจำลองระดับสูง (Digital Terrain Model)



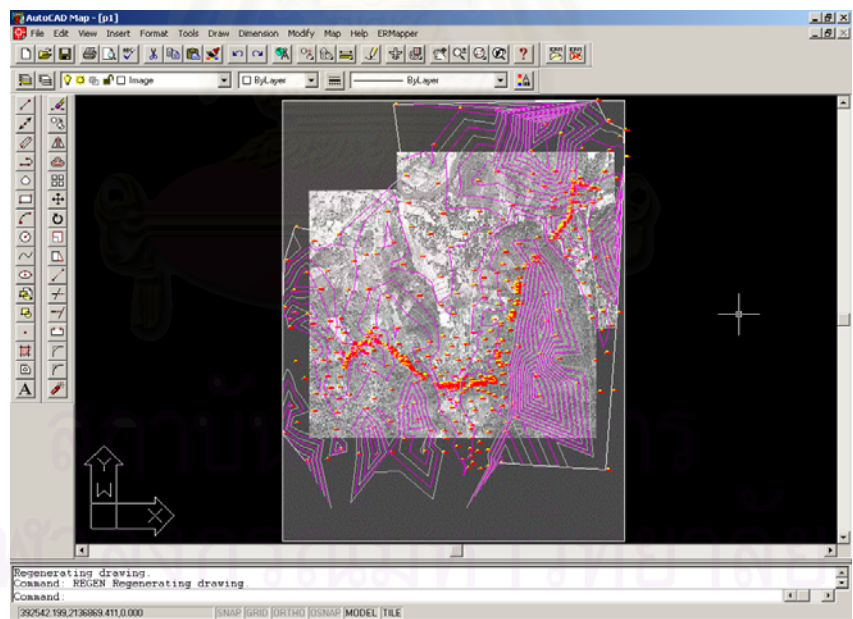
รูปที่ 4.17 การใช้โปรแกรมสำหรับงานออกแบบ Softdesk 8 Civil/Survey บนโปรแกรมช่วยเขียนแบบ

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองระดับสูงเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการสร้างเป็นข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ (TIN)



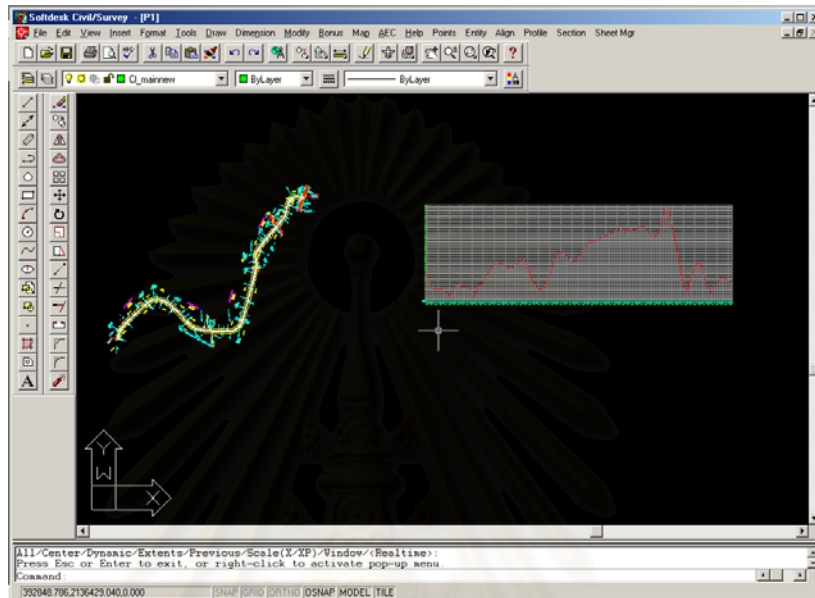
รูปที่ 4.18 การสร้างข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ บนภาพถ่ายตัดแก้อโท

จากนั้นจึงสร้างเป็นเส้นชั้นความสูง จะได้เป็นแบบจำลองระดับที่มีลักษณะตามรูป



รูปที่ 4.19 การสร้างแบบจำลองระดับสูงในลักษณะของเส้นชั้นความสูง บนภาพถ่ายตัดแก้อโท

ขั้นตอนต่อมา เป็นการสร้างรูปตัดตามยาว (Profile) และแสดงผลค่าระดับดินเดิมตามแนวเส้นทาง (Profile Existing Ground) โดยใช้ข้อมูลค่าระดับจากแบบจำลองระดับสูงที่ได้สร้างเอาไว้



รูปที่ 4.20 รูปตัดตามยาว แสดงผลค่าระดับดินเดิมตามแนวเส้นทาง (Profile Existing Ground)

ข้อมูลค่าระดับดินเดิมนี้ เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข โดยใช้วิธีการบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน ขั้นตอนนี้อยู่ในขั้นตอนของการสำรวจขั้นต้น (Preliminary Survey) เนื่องจากค่าระดับที่ได้ยังมีความผิดพลาดอยู่เพราะได้มาจากแบบจำลองระดับสูงที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีการ interpolate

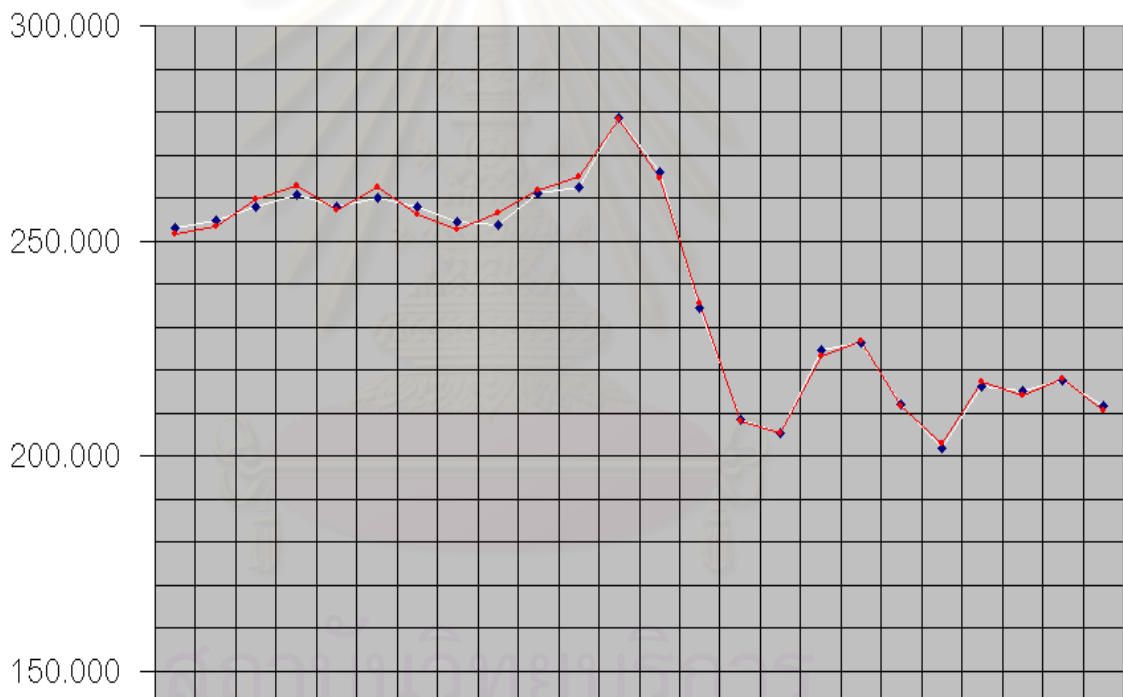
ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบค่าระดับที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลขกับ การสำรวจภาคสนาม ดังที่ปรากฏตามตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าระดับที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลขกับการสำรวจภาคสนาม

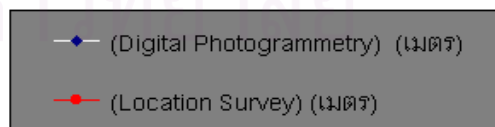
No	ค่าระดับหลังทาง ตามรูปตัดตามยาว (Profile Existing Ground) กิโลเมตร	การเปรียบเทียบค่าระดับที่ได้		
		การสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข (Digital Photogrammetry) (เมตร)	การสำรวจภาคสนาม (Location Survey) (เมตร)	ค่าผลต่างของค่าระดับ Diff. Elevation (เมตร)
1	STA.9+000	253.070	251.674	1.396
2	STA.9+050	254.900	253.477	1.423
3	STA.9+100	258.080	259.816	1.736
4	STA.9+150	260.650	262.954	2.304
5	STA.9+200	257.840	257.323	0.517
6	STA.9+250	259.950	262.609	2.659
7	STA.9+300	258.020	256.333	1.687
8	STA.9+350	254.310	252.606	1.704
9	STA.9+400	253.750	256.479	2.729
10	STA.9+450	261.030	261.731	0.701
11	STA.9+500	262.450	265.031	2.581
12	STA.9+550	278.540	278.366	0.174
13	STA.9+600	265.830	264.649	1.181
14	STA.9+650	234.290	235.461	1.171
15	STA.9+700	208.560	208.167	0.393
16	STA.9+750	205.270	205.233	0.037
17	STA.9+800	224.480	223.158	1.322
18	STA.9+850	226.340	226.807	0.467
19	STA.9+900	212.070	211.655	0.415
20	STA.9+950	201.810	202.922	1.112
21	STA.10+000	216.280	217.240	0.960
22	STA.10+050	215.300	214.293	1.007
23	STA.10+100	217.690	218.151	0.461
24	STA.10+150	211.520	210.680	0.840
			ค่าเฉลี่ย	1.207

จากตารางที่ 4.17 ผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างของค่าระดับ ตั้งแต่ 0.04 – 2.73 เมตร ซึ่ง ถือว่ามีความแตกต่างอยู่มาก เนื่องมาจากสาเหตุ คือ การสำรวจภาคสนามนั้นแนวเส้นทางไม่มีข้อ

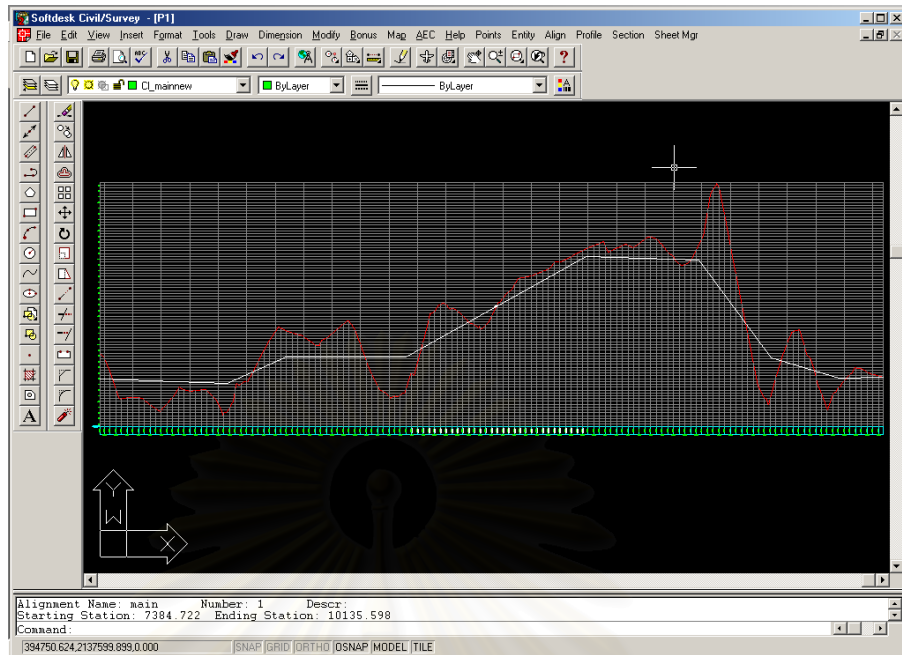
มูลค่าพิกัดตำแหน่งในระบบ UTM จึงทำได้เพียงนำแนวเส้นทางมาวางซ้อนทับบนภาพถ่ายตัดแก้ ออกโทซึ่งมีข้อมูลของแบบจำลองระดับสูงอยู่ โดยเป็นการทำงานบนโปรแกรมช่วยเขียนแบบ ค่าระดับที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของแนวเส้นทางอยู่ด้วย และการสำรวจทั้ง 2 วิธี ได้ ข้อมูล ณ เวลาที่ต่างกัน (ภาพถ่ายทางอากาศที่นำมาใช้เป็นภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน 1:6000 ทำการบินถ่ายเมื่อปี พ.ศ.2539 และการสำรวจแนวทางในภาคสนาม เป็นการสำรวจเมื่อปี พ.ศ.2544) จากการพิจารณาข้อมูลค่าระดับตามแนวเส้นทางที่ได้จากการสำรวจแนวทางในภาคสนาม เปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข โดยรวมตลอดแนวเส้นทาง (ตั้งแต่ ก.ม. 7+400 ถึง ก.ม. 10+165) พบว่า ค่าระดับที่ได้ มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงทางความสูงที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด



รูปที่ 4.21 การแสดงผลเปรียบเทียบค่าระดับดินเดิม ช่วง ก.ม. 9+000 ถึง ก.ม.10+150

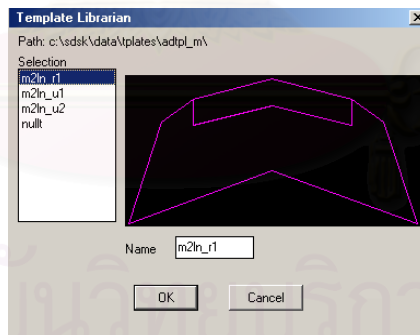


หลังจากที่ได้ข้อมูลค่าระดับดินเดิม จึงทำการออกแบบค่าระดับหลังทาง (Design Grade) บนโปรแกรม Softdesk 8 Civil/Survey เพื่อการคิดค่าประมาณของปริมาณงานดินตัด-ดินถมตามแนวเส้นทาง ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการคำนวณก็คือค่าประมาณปริมาณงานดินตามแนวเส้นทาง



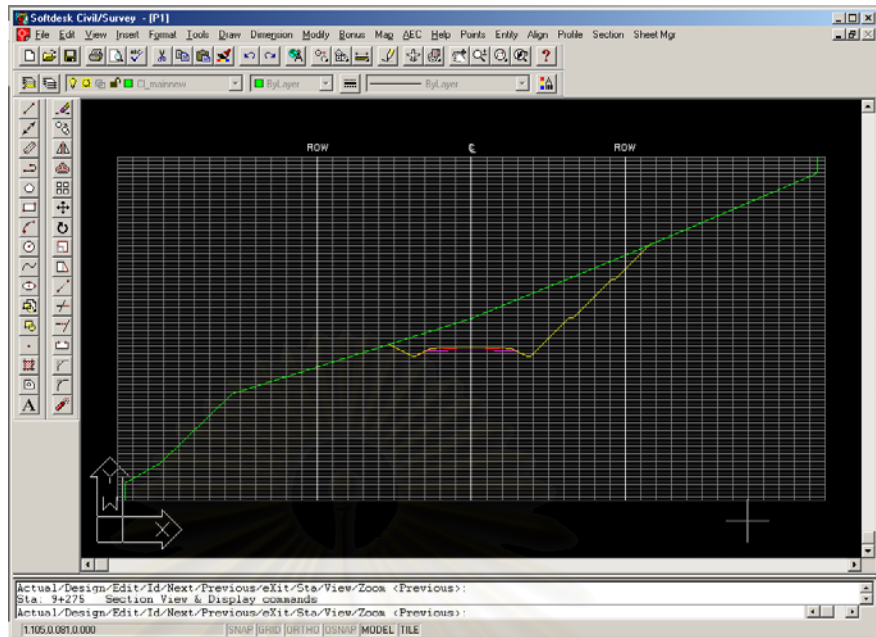
รูปที่ 4.22 การออกแบบค่าระดับหลังทางตามแนวเส้นทาง (Design Grade)

หลังจากออกแบบค่าระดับหลังทางเสร็จแล้ว นำไปครอบกับรูปตัดตามขวาง (Cross-Section) ของโครงสร้างชั้นทาง ที่ได้มีการออกแบบเอาไว้แล้ว

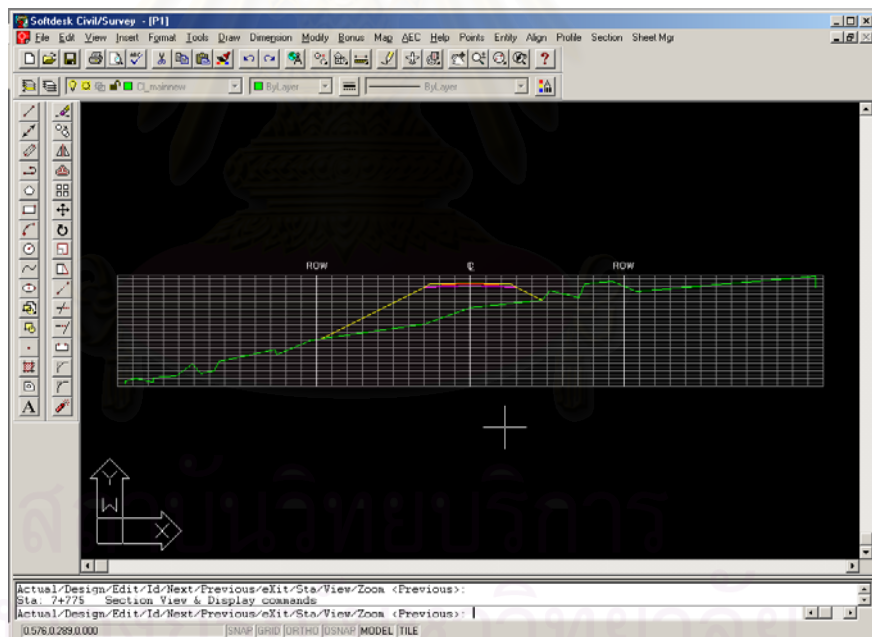


รูปที่ 4.23 รูปตัดตามขวางโครงสร้างชั้นทาง

เมื่อทำการครอบรูปตัดตามขวางโครงสร้างชั้นทางตามแนวเส้นทางเสร็จแล้ว สามารถที่จะแสดงผลรูปตัดตามขวางได้บนโปรแกรม Softdesk 8 Civil/Survey



รูปที่ 4.24 รูปตัดตามขวางแสดงแนวตัดช่วงที่เป็นงานดินตัด (Cut)



รูปที่ 4.25 รูปตัดตามขวางแสดงแนวตัดช่วงที่เป็นงานดินถม (Fill)

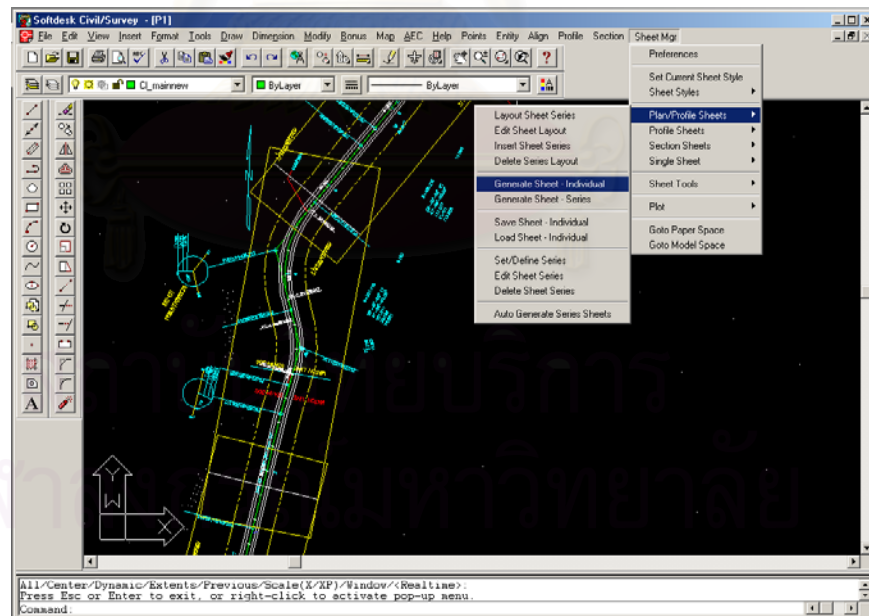
ขั้นตอนต่อมา เป็นการคิดค่าประมาณปริมาณงานดินตัด-ดินถมทั้งหมด ตามแนวเส้นทาง โดยวิธีการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (On Screen)

Station	Cut Area (m ²)	Fill Area (m ²)	Cumulative Volume (m ³)	Cumulative Volume (m ³)
9+975	15.357	13.821	496067.713	151622.571
10+000	0.000	1153.117	80.559	
10+025	25.761	3042.534	496093.475	154665.105
10+050	2.048	170.275	496120.276	157230.060
10+075	26.802	2564.954	496454.871	157793.318
	0.022	40.889		
	334.595	563.258		
	24.780	5.569		
10+100	1943.655	73.329	498398.526	157866.647
10+114.416	118.875	0.022	499493.979	157866.816
10+125	1095.453	0.169	500755.323	157866.816
10+135.598	25.862	0.000	501927.322	157866.825
	1261.344	0.000		
	212.498	0.000		
	1171.999	0.009		
	8.685	0.002		

รูปที่ 4.26 ผลการคำนวณปริมาณงานดินตัด-ดินถม โดยใช้โปรแกรม Softdesk 8 Civil/Survey

เมื่อทำการคิดค่าประมาณปริมาณงานดินตัด-ดินถม เสร็จแล้ว จะนำค่าที่ได้ไปใช้เขียนแบบปริมาณงานดิน โดยทำเป็นแผนภาพปริมาณงานดิน (Earth Work Diagram) ซึ่งโดยทั่วไปจะแบ่งช่วงการคิดปริมาณงานดินทุก 0.5-1 กิโลเมตร เพื่อพิจารณาว่าแต่ละช่วงของแนวเส้นทางที่จะก่อสร้างมีปริมาณงานดินตัด-ดินถมเหมาะสมเพียงใด

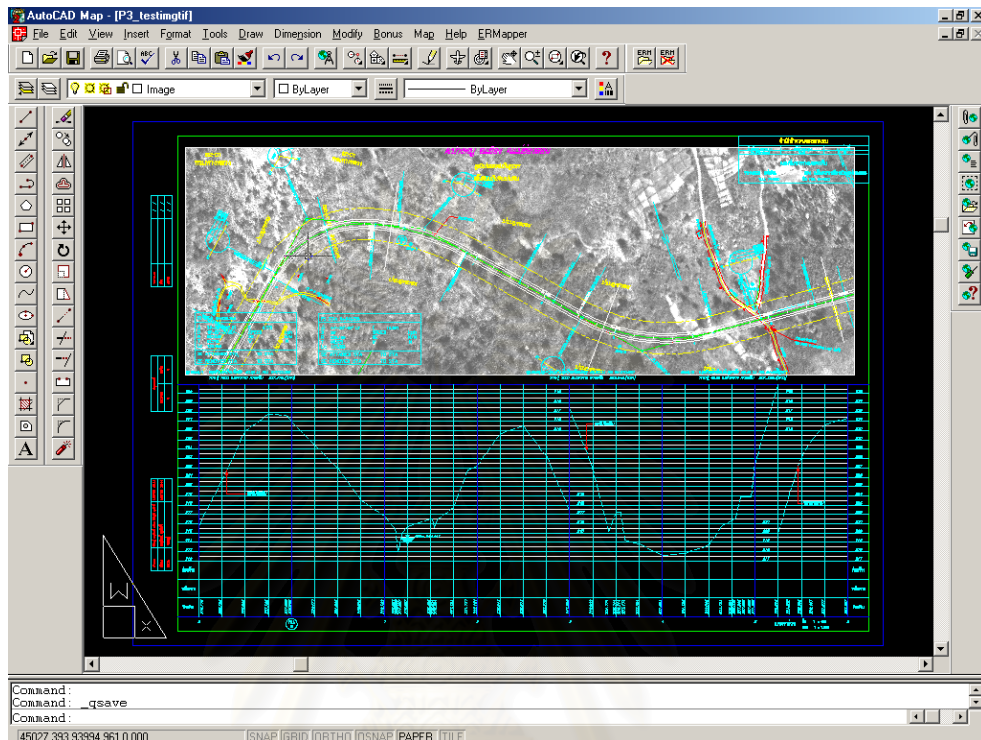
จากนั้นเป็นการเขียนแบบแนวราบ (Plan) พร้อมแบบรูปตัดตามยาว (Profile) โดยการแบ่งแบบออกเป็นทุก 700 เมตร สำหรับแบบแนวราบและแนวยาว (Plan&Profile) แต่ละแผ่น



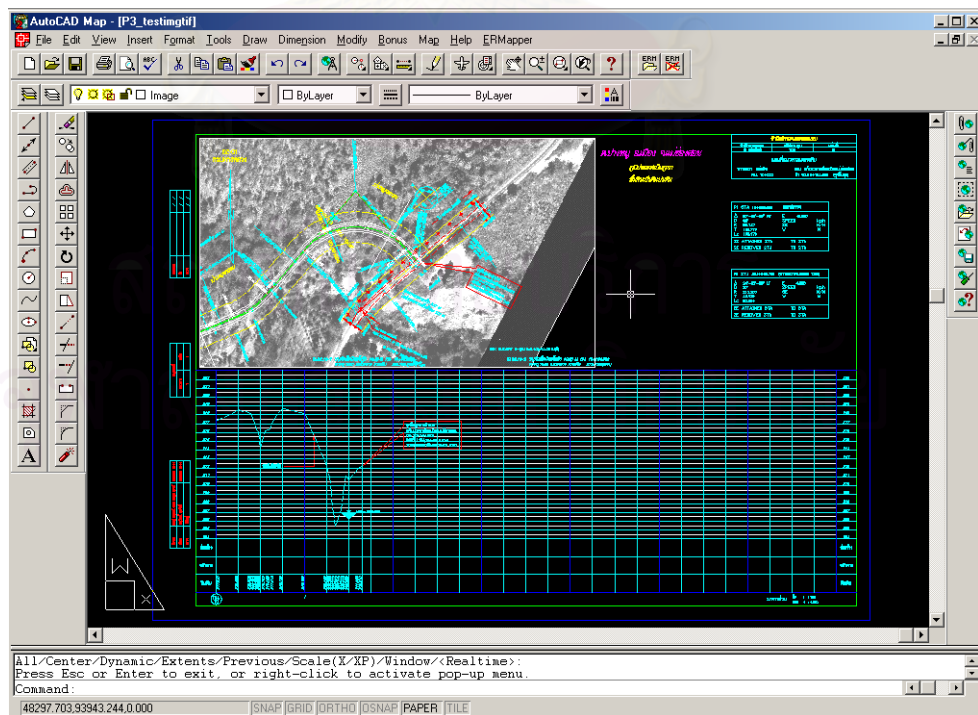
รูปที่ 4.27 การเขียนแบบแนวราบพร้อมแนวรูปตัดตามยาว โดยการแบ่งเป็นแผ่น

เมื่อทำการแบ่งแบบทุกระยะ 700 เมตร เสร็จแล้ว จึงทำการแสดงผลแบบแนวเส้นทางแต่ละแผ่นออกมา โดยจะได้แบบที่แสดงแนวราบพร้อมด้วยภาพถ่ายตัดแก้ออโทและรูปตัดตามยาว

แสดงค่าระดับดินเดิม (Plan-Orthophoto-Existing Ground Profile) หากมีการออกแบบค่าระดับหลังทางเรียบร้อยแล้ว ก็จะสามารถเขียนแบบสำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้างได้



รูปที่ 4.28 แบบแนวราบพร้อมภาพถ่ายตัดแก้อโทและรูปตัดตามยาว ช่วง ก.ม. 7+900 ถึง ก.ม. 8+600



รูปที่ 4.29 แบบแนวราบพร้อมภาพถ่ายตัดแก้อโทและรูปตัดตามยาว ช่วง ก.ม. 10+000 ถึง ก.ม. 10+165 (จุดสิ้นสุด)

จากรูปที่ 4.27 และ รูปที่ 4.28 หากมีการสำรวจจริงวัดเขตกรรมสิทธิ์ที่ดินให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งของเขตที่ดินในระบบพิกัดอ้างอิงเดียวกันกับภาพถ่ายตัดแก้ออโท แล้วนำเอาข้อมูลด้านกรรมสิทธิ์ที่ดินที่อยู่ในเขตทางมาซ้อนทับกับภาพถ่ายตัดแก้ออโท ก็จะสามารถใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายทางอากาศในการจัดกรรมสิทธิ์ที่ดินในเขตทางได้อย่างชัดเจนและแม่นยำ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสำรวจเส้นทาง (Route Survey) ของกรมทางหลวง ในปัจจุบันใช้การสำรวจทางภาคพื้นดินเป็นหลัก โดยเน้นการสำรวจเก็บรายละเอียดและค่าระดับตามแนวเส้นทาง ในบางครั้งไม่สามารถที่จะสำรวจภูมิประเทศโดยรอบได้ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศไม่อำนวยต่อการทำงาน เช่น พื้นที่สูงชัน ที่ดินของเอกชน ฯลฯ จึงอาจเกิดปัญหาภายหลังการก่อสร้างถนนไปเรียบร้อยแล้ว เช่น การเกิดน้ำท่วมในพื้นที่เนื่องจากถนนไปปิดกั้นเส้นทางระบายน้ำฝน ถนนขาดเนื่องจากน้ำกัดเซาะ ฯลฯ ปัญหาดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้ว่า แนวเส้นทางที่ก่อสร้างไปนั้นอาจไม่ใช่แนวเส้นทางที่เหมาะสมหรืออาจมีการออกแบบถนนเอาไว้ไม่เหมาะสม เช่น ท่อระบายน้ำในบางจุดน้อยเกินไป

การสำรวจและออกแบบทางหลวงโดยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข และงานรังวัดด้วยดาวเทียม น่าจะเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาข้างต้นได้ เพราะการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ไม่ต้องทำเข้าถึงพื้นที่โดยตรง ทำให้มองเห็นภาพรวมในพื้นที่โครงการ การเลือกเส้นทางสามารถทำได้หลายแนวเส้นทาง และ ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข หากทำการแสดงผลแนวเส้นทางเลือก (Alternative route) พร้อมกับรายละเอียดและตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนภาพถ่ายเชิงเลขตัดแก้ออกก็ที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาคัดเลือกแนวเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่เป็นภาพรวมในพื้นที่ที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข เช่น แบบจำลองระดับสูง สามารถนำมาใช้ประกอบในการออกแบบทางได้เป็นอย่างดี

ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกเอากรณีศึกษาทางเลี้ยวเมืองแม่ฮ่องสอน ระยะทางประมาณ 4 กม. ซึ่งเป็นแนวเส้นทางที่ผ่านภูเขา ต้นไม้ ประมาณ 60% พื้นที่ที่เหลือเป็นพื้นที่นา พื้นที่ราบ พื้นที่ว่างเปล่า บ้านเรือน ฯลฯ ซึ่งเป็นลักษณะงานที่ทำการสำรวจภาคพื้นดินได้ยากลำบากเป็นส่วนใหญ่ ขั้นตอนในการวิจัยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีทางด้าน การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข การทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาสนับสนุนและใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิจัย การจัดเตรียมภาพถ่ายทางอากาศ โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศเท่าที่หาได้และมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ ซึ่งใช้ภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 และ 1:6000 การสแกนภาพถ่ายให้เป็นภาพถ่ายเชิงเลขโดยเลือกใช้ที่

ความละเอียด 15 และ 25 ไมครอน (ซึ่งมีความละเอียดที่แตกต่างกันไม่มากนัก แต่จะมีผลต่อการทำงานที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก เช่น ความถูกต้องของผลลัพธ์ ขนาดพื้นที่การจัดเก็บข้อมูล ระยะเวลาในการทำงานในขั้นตอนนี้ต่าง ๆ) การวางแผนและการสำรวจจุดบังคับภาพถ่ายโดยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS การประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลขโดยการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ การสร้างแบบจำลองระดับสูง การสร้างภาพถ่ายตัดแก้ออโท การต่อภาพ การประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับสูงและภาพถ่ายตัดแก้ออโทสำหรับการออกแบบทาง หลังจากนั้นเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้ ขนาดพื้นที่การจัดเก็บ ระยะเวลาในการทำงาน ประโยชน์ที่ได้ ปัญหาและอุปสรรค ข้อเสนอแนะ จากการทำงานข้างต้น

5.2 วิเคราะห์ผลการวิจัย

ก. การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข

1. ความถูกต้องเฉลี่ยของตำแหน่งจุดเปิดถ่าย ที่ได้จากการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยใช้โปรแกรม Erdas OrthoBASE ที่ความละเอียดของจุดภาพ 15 ไมครอน คิดเป็น 0.0737 เมตร ดีกว่า 25 ไมครอน คิดเป็น 0.0864 เมตร อยู่ประมาณ 15 %

2. ความถูกต้องเฉลี่ยของตำแหน่งจุดปักบนพื้นดิน ที่ได้จากการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยใช้โปรแกรม Erdas OrthoBASE ที่ความละเอียดของจุดภาพ 15 ไมครอน คิดเป็น 0.0362 เมตร ดีกว่า 25 ไมครอน คิดเป็น 0.0460 เมตร อยู่ประมาณ 20 %

3. การบันทึกค่าพิกัดบนภาพคู่ซ้อน บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 และ ภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 ที่ตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายที่ทราบค่าพิกัด ปรากฏว่าได้ค่าพิกัดใกล้เคียงกับพิกัดตำแหน่งเดิม และ ผลลัพธ์ที่ความละเอียดของจุดภาพ 15 ไมครอน ดีกว่า 25 ไมครอน แต่ผลลัพธ์ที่ได้ไม่มีนัยสำคัญใดๆ แสดงให้เห็นแต่เพียงว่าแบบจำลองเชิงพื้นผิวที่สร้างขึ้นมีความถูกต้อง

4. การบันทึกค่าจุดปักบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน โดยการใช้การปรับแก้ระยะเหลี่ยมทางแกน X และการปรับจุดลอยให้แตะพื้นดินด้วยมือ (Manual) บนภาพถ่ายเชิงเลขมาตราส่วน 1:15000 ที่ความละเอียดของจุดภาพ 15 ไมครอน มีความถูกต้องของตำแหน่งทางราบดีกว่า 25 ไมครอน อยู่ประมาณ 10 cm. และมีความถูกต้องของตำแหน่งทางระดับดีกว่าอยู่ประมาณ 29 cm.

5. การบันทึกค่าจุดปักบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน โดยการใช้การปรับแก้ระยะเหลี่ยมทางแกน X และการปรับจุดลอยให้แตะพื้นดินด้วยมือ (Manual) บนภาพถ่ายเชิงเลขมาตราส่วน 1:6000 ที่ความละเอียดของจุดภาพ 15 ไมครอน มีความถูกต้องของตำแหน่งทางราบดีกว่า 25 ไมครอน อยู่ประมาณ 6 cm. และมีความถูกต้องของตำแหน่งทางระดับดีกว่าอยู่ประมาณ 30 cm.

ข.ขนาดพื้นที่การจัดเก็บ

1.การแปลงรูปแบบการจัดเก็บภาพถ่ายเชิงเลขที่ได้จากสแกนด้วย Photogrammetric Scanner จากไฟล์นามสกุล .tiff ให้เป็น .img เพื่อทำการประมวลผลบนโปรแกรม Erdas IMAGINE 8.4 จะต้องใช้ขนาดพื้นที่การจัดเก็บที่เพิ่มขึ้นประมาณ 33% เนื่องจากต้องทำการสร้างชั้นข้อมูลแบบปริมาตรบนภาพถ่ายเชิงเลขแต่ละภาพ

2.หากเปรียบเทียบการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข โดยใช้ภาพถ่ายที่ความละเอียด 15 ไมครอน เพื่อสร้างภาพถ่ายตัดแก้ออโท ที่ความละเอียดของจุดภาพ 0.10 m. ใช้ขนาดพื้นที่การจัดเก็บ 299.6 Mbytes หากใช้ภาพถ่ายที่ความละเอียด 25 ไมครอน เพื่อสร้างภาพถ่ายตัดแก้ออโท ที่ความละเอียดของจุดภาพ 0.20 m. ใช้ขนาดพื้นที่การจัดเก็บ 71.3 Mbytes (ใช้ขนาดพื้นที่การจัดเก็บมากกว่ากันประมาณ 4 เท่า)

ค.ระยะเวลาในการทำงาน

1.การปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ ตลอดจนถึงการหาจุดควบคุมและจุดยึดที่มีการบันทึกตำแหน่งผิดพลาด ที่มาตราส่วน 1:15000 ซึ่งใช้ภาพถ่ายเชิงเลขจำนวน 3 ภาพ นั้น ใช้เวลาในการทำงานประมาณ 2 วัน ต่อ บล็อกของภาพถ่ายที่มีความละเอียดหนึ่งๆ (การทำงานในขั้นตอนต่างๆใช้เวลาค่อนข้างสูงเนื่องจากผู้วิจัยขาดความชำนาญ)

2.การปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ ตลอดจนถึงการหาจุดควบคุมและจุดยึดที่มีการบันทึกตำแหน่งผิดพลาด ที่มาตราส่วน 1:6000 ซึ่งใช้ภาพถ่ายเชิงเลขจำนวน 7 ภาพ นั้น ใช้เวลาในการทำงานประมาณ 4 วัน ต่อ บล็อกของภาพถ่ายที่มีความละเอียดหนึ่งๆ

3.การบันทึกจุดยึดด้วยมือ จะใช้เวลาในการทำงานมากกว่า การบันทึกจุดยึดโดยอัตโนมัติ โดยขึ้นอยู่กับว่ามีส่วนซ้อนทับของแต่ละคู่ภาพอยู่มากน้อยเพียงใด แต่เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้แล้ว การบันทึกจุดยึดด้วยมือ จะให้ค่าความถูกต้องของตำแหน่งจุดยึดเฉลี่ย คิดเป็น 0.0411 เมตร ดีกว่า การบันทึกจุดยึดโดยอัตโนมัติ คิดเป็น 0.0845 เมตร อยู่ประมาณ 50 %

4.การบันทึกค่าจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน เพื่อนำไปใช้สร้างแบบจำลองระดับสูงบนภาพถ่ายเชิงเลขมาตราส่วน 1:6000 ที่ความละเอียดของจุดภาพ 25 ไมครอน ซึ่งใช้ภาพถ่ายเชิงเลขจำนวน 7 ภาพ โดยใช้จุดพิกัดตามแนวเส้นทางประมาณ 400 จุด และ จุดพิกัดโดยรอบประมาณ 300 จุด ใช้เวลาในการทำงานประมาณ 4 วัน

5.การบันทึกค่าจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน เพื่อนำไปใช้สร้างแบบจำลองระดับสูงบนภาพถ่ายเชิงเลขมาตราส่วน 1:6000 ที่ความละเอียดของจุดภาพ 15 ไมครอน จะใช้เวลาในการทำงานมากกว่า การบันทึกค่าจุดพิกัดที่ความละเอียดของจุดภาพ 25 ไมครอน ประมาณ 2 เท่า

เนื่องจากการแสดงผลภาพ 3 มิติ บนหน้าจอมพิวเตอร์ที่ความละเอียดของจุดภาพ 15 ไมครอน จะต้องใช้เวลาในการแสดงผลที่มีรายละเอียดของข้อมูลมากกว่า แม้ว่าจะมีการจัดการเกี่ยวกับการแสดงผลแบบขั้นข้อมูลพีรามิดแล้วก็ตาม (ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ความละเอียด 15 ไมครอน มีขนาดพื้นที่การจัดเก็บในรูปแบบ .img เท่ากับ 360 Mb. และ ความละเอียด 25 ไมครอน มีขนาดพื้นที่การจัดเก็บในรูปแบบ .img เท่ากับ 120 Mb.)

6.การประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลขเพื่อสร้างภาพถ่ายตัดแก้จอโท ที่ความละเอียดของจุดภาพ 0.10 m. จะใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า ที่ความละเอียดของจุดภาพ 0.20 m. ประมาณ 3 เท่า

ง.ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

1.ความถูกต้องของตำแหน่งจุดเปิดถ่ายและจุดพิกัดบนพื้นดิน ที่ได้จากการปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ บนบลิคของภาพถ่าย ที่มาตราส่วน 1:15000 และ 1:6000 จะมีมากขึ้น หากเพิ่มจำนวนของจุดบังคับภาพถ่าย แต่เมื่อเพิ่มจำนวนของจุดบังคับภาพถ่ายถึงระดับหนึ่ง จะไม่ทำให้ค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้นอีก โดยในพื้นที่ศึกษา บลิคของภาพถ่าย ที่มาตราส่วน 1:15000 จำนวนของจุดบังคับภาพถ่ายที่เหมาะสม คือ 7 จุด และ ที่มาตราส่วน 1:6000 คือ 10 จุด

2.ความถูกต้องที่ได้จากการปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยวิธีการบันทึกจุดยึดด้วยมือ (Manual Tie Point) ดีกว่า วิธีการบันทึกจุดยึดโดยอัตโนมัติ (Automatic Tie Point) แต่จะใช้เวลาในการทำงานมากกว่า จึงต้องพิจารณาความเหมาะสมและความถูกต้องที่ต้องการนำมาใช้ เช่น ถ้าใช้ในการออกแบบทาง ที่ต้องการข้อมูลมีความถูกต้องสูง ก็ควรใช้การปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยวิธีการบันทึกจุดยึดด้วยมือ

3.การปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 ทำได้รวดเร็วกว่า บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 เนื่องจากมีความละเอียดของจุดภาพบนพื้นดินที่หยาบกว่า (ภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000 และ 1:6000 ที่ความละเอียด 15 ไมครอน มีขนาดจุดภาพบนพื้นดิน 23 ซม.และ 9 ซม. ตามลำดับ)

4.วิธีการปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข มีข้อดีคือ การแก้ไขตำแหน่งของจุดบังคับภาพถ่ายหรือจุดยึดบนภาพถ่ายเชิงเลข สามารถทำได้อย่างรวดเร็วบนหน้าจอมพิวเตอร์ โดยพิจารณาผลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะให้ความสะดวก และ รวดเร็ว ในการทำงาน แต่ก็ต้องอาศัยความชำนาญในการทำงาน

5.จากผลการเปรียบเทียบของการบันทึกจุดพิกัดตำแหน่งบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน ที่ความละเอียด 15 และ 25 ไมครอน พบว่า ตำแหน่งจุดพิกัดทางราบต่างกัน ประมาณ 6-10 cm.

ตำแหน่งจุดพิกัดทางระดับต่างกัน ประมาณ 30 cm. แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบทั้งสองความละเอียดของการสแกนภาพถ่ายแล้ว การรังวัดตำแหน่งทางราบบนภาพคู่ซ้อนมีความถูกต้องใกล้เคียงกัน แต่จะมีความถูกต้องของตำแหน่งทางระดับที่ต่างกันมากขึ้น

6. ในการสำรวจและออกแบบทาง แม้ว่าภาพถ่ายเชิงเลขที่มาตราส่วน 1:15000 จะมีต้นไม้หนาแน่น แต่จากการบันทึกค่าพิกัดบนภาพคู่ซ้อน พบว่า สามารถใช้ประโยชน์จากจุดพิกัดแม้อยู่บนยอดไม้ ในขั้นตอนการสำรวจเบื้องต้น (Reconnaissance Survey) ได้ เนื่องจากค่าพิกัดที่บันทึกได้ จะบอกถึงแนวโน้ม (Trend) ของการเปลี่ยนแปลงทางความสูง ตามแนวเส้นทางที่มีความเป็นไปได้ แต่ต้องคำนึงถึงความแตกต่างของจุดพิกัดบนพื้นดิน กับ จุดพิกัดบนยอดไม้

7. ภาพถ่ายตัดแก้ออโทที่ผลิตได้จากภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 สามารถที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาเลือกแนวเส้นทางที่เหมาะสม (Corridor) ได้ เนื่องจากหากวางแนวเส้นทางที่มีความเป็นไปได้บนภาพถ่ายตัดแก้ออโทแล้วจะเห็นรายละเอียดบนภูมิประเทศได้ชัดเจน เช่น บ้านเรือน ต้นไม้ ไร่นา ฯลฯ นอกจากนี้ยังใช้ประกอบกับแบบแนวทางราบ (Plan) ซึ่งจะช่วยให้การทำงานสำรวจเก็บรายละเอียดลดลงและให้รายละเอียดอื่นๆบริเวณเขตทางเพิ่มขึ้น

8. การประยุกต์ใช้วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลขเพื่อการสำรวจเส้นทางนั้น จะแตกต่างจากวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลขเพื่อการทำแผนที่ โดยในขั้นตอนของการบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดิน ซึ่งจะมีความหนาแน่นของจุดพิกัดมากเฉพาะตามแนวเส้นทางที่เลือกเอาไว้ (Corridor) ในบริเวณที่ห่างออกไป จะมีความหนาแน่นของการบันทึกจุดพิกัดน้อยลง และจะมีจุดพิกัดเพิ่มเติมบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงของภูมิประเทศโดยฉับพลัน เพื่อใช้ในการมองภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงทางความสูงของภูมิประเทศ แต่สำหรับการทำแผนที่ ความหนาแน่นของการบันทึกจุดพิกัดจะต้องมีอยู่เสมอทั่วทั้งพื้นที่ที่ใช้ทำแผนที่

9. วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลขร่วมกับงานรังวัดด้วยดาวเทียม เป็นวิธีการทำงานที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้กับการสำรวจเส้นทาง (Route Survey) ซึ่งจะให้ข้อมูลภาพรวมในพื้นที่ได้เป็นอย่างดี โดยภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:15000 เหมาะสมที่จะใช้ในขั้นตอนการสำรวจเบื้องต้น และ ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:6000 เหมาะสมที่จะใช้ในขั้นตอนการสำรวจขั้นต้น แต่สำหรับขั้นตอนการสำรวจเพื่อการออกแบบ วิธีการที่เหมาะสมคือการสำรวจรังวัดในภาคสนามเป็นหลัก โดยมีข้อมูลจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายมาสนับสนุน

จ. ปัญหาและอุปสรรคที่พบในงานวิจัย

1. การปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ ในส่วนของการบันทึกจุดยึดโดยวิธีอัตโนมัติ (Automatic Tie Point) จุดที่ได้ออกมามีความถูกต้องของตำแหน่งไม่ดีนัก ต้องตรวจสอบจุดที่ได้

และลบจุดที่มีความผิดพลาดมากออก โดยมากจุดที่ผิดพลาดจะเป็นจุดที่อยู่บนยอดไม้ หลังคา เป็นเงา ขอบแม่น้ำ ฯลฯ

2. การบันทึกค่าจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน บนภาพถ่ายเชิงเลขมาตราส่วน 1:15000 ไม่สามารถทำได้มากนัก เนื่องจากมีต้นไม้อย่างหนาแน่น หากทำการบันทึกค่าพิกัด จะเป็นจุดพิกัดบนยอดไม้ ซึ่งถือเป็นจุดที่มีความผิดพลาดทางตำแหน่งมาก ถือเป็นข้อจำกัดของการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศหากมีต้นไม้อยู่มาก

3. การบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน บนภาพถ่ายเชิงเลขมาตราส่วน 1:6000 ที่ความละเอียด 25 ไมครอน ทำงานได้เร็วกว่า ที่ความละเอียด 15 ไมครอน เนื่องจากการแสดงผลภาพ 3 มิติ บนหน้าจอกอมพิวเตอร์มีรายละเอียดน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการแสดงผลภาพ 3 มิติ บนหน้าจอกอมพิวเตอร์ที่มีความละเอียดจุดภาพมากขึ้นจะทำให้การทำงานช้าลง

4. การเปรียบเทียบค่าระดับดินเดิมที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม โดยวิธีการเดินระดับกับ การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ไม่สามารถให้ผลการเปรียบเทียบได้ดีนัก เนื่องจากวิธีการสำรวจแนวทางในภาคสนามของพื้นที่ศึกษาไม่มีการเชื่อมโยงกับระบบพิกัดอ้างอิงใดๆ จึงไม่สามารถนำแนวเส้นทางมาวางซ้อนทับกับภาพถ่ายตัดแก้ออโทและแบบจำลองระดับสูงให้ได้ตำแหน่งที่ตรงกันจริง

5. การแสดงผลแบบจำลองระดับสูงและภาพถ่ายตัดแก้ออโท ร่วมกับ ข้อมูลพิกัดจุด 3 มิติ และแนวเส้นทางที่เป็นข้อมูล vector ด้วยโปรแกรม Erdas VirtualGIS ซึ่งทำงานบนโปรแกรม Erdas Imagine 8.4 นั้น ไม่สามารถแสดงผลได้ เนื่องจากข้อมูลพิกัดจุดและแนวเส้นทาง ได้มาจากโปรแกรม Erdas Stereo Analyst 1.2 ซึ่งไม่สามารถเปิดได้บนโปรแกรม Erdas Imagine 8.4 จึงต้องนำโปรแกรม OpenEV ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีการทำงานในลักษณะเดียวกัน มาสนับสนุนการแสดงผลดังกล่าวแทน โดยเป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี (โปรแกรม Erdas Stereo Analyst 1.2 สนับสนุนการทำงานบน โปรแกรม Erdas Imagine 8.5)

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. งานรังวัดด้วยดาวเทียม GPS โดยวิธี Static นั้นสถานีฐานซึ่งเป็นหมุดหลักฐานดาวเทียมที่รู้ค่าพิกัดมีความสำคัญอย่างมาก หากหมุดที่สถานีฐานถูกทำลาย การทำงานจะล่าช้าออกไป จึงต้องวางแผนและตรวจสอบให้ดีกว่ามีหมุดหลักฐานดาวเทียมอยู่จริงหรือไม่ หากไม่มี ก็ต้องทำการถ่ายค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานดาวเทียมที่รู้ค่าพิกัดในบริเวณใกล้เคียงที่สุดมาใช้

2. การบันทึกค่าจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน ต้องอาศัยความชำนาญ ประสบการณ์ และความอดทนของผู้ปฏิบัติงาน หากต้องการให้จุดพิกัดที่ได้มีความถูกต้อง เนื่องจากการบันทึกจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อนในแต่ละโครงการ ต้องทำเป็นจำนวนมากและต้องได้จุดที่กระจายอยู่บนพื้นดิน ซึ่งถือว่าเป็นจุดที่ค่าพิกัดที่ได้มีความผิดพลาดน้อย

3. วิธีการบีบอัดข้อมูลภาพถ่ายเชิงเลขเป็นอีกแนวทางหนึ่ง ที่ให้ความสะดวก รวดเร็ว ทำให้สามารถแจกจ่ายภาพถ่ายเชิงเลขไปใช้งานได้ง่าย และประหยัดเนื้อที่การจัดเก็บข้อมูล จากการศึกษพบว่า เมื่อทำการบีบอัดข้อมูลให้ลดลง 2-8 เท่า ก็ยังมองเห็นรายละเอียดบนภาพถ่ายได้ดี แต่ข้อเสีย คือ รายละเอียดบนภาพถ่ายจะสูญเสียไปแบบย้อนกลับไม่ได้ คือ ไม่สามารถขยายรายละเอียดบนภาพกลับคืนมาได้

4. ภาพถ่ายทางอากาศมีข้อจำกัดคือไม่ได้มีการบินถ่ายทุกปี อาจพบว่าภาพถ่ายที่นำมาใช้อาจบินถ่ายเมื่อหลายปีมาแล้ว ดังนั้นการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายในภาคสนาม บางจุดอาจหาไม่พบ หรือถ้าทำการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่าย อาจเกิดความผิดพลาดของตำแหน่งจุดพิกัดได้ หากไม่สังเกตภูมิประเทศโดยรอบให้ดี

5. ภาพถ่ายทางอากาศสามารถใช้ในขั้นตอนการวางแผนได้เป็นอย่างดี กล่าวคือหากมีการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศที่มีการบินถ่ายภาพในเวลาที่แตกต่างกัน ก็จะทำให้มองเห็นภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆในอนาคตได้

6. การใช้งานระบบการประมวลผลด้วยภาพถ่ายเชิงเลข มีค่าใช้จ่ายสูงทางด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และองค์ประกอบของระบบคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ที่จะต้องนำมาใช้ ซึ่งมีมูลค่าหลายล้านบาท นอกจากนี้ผู้ที่ทำงานด้านนี้ก็ต้องมีความรู้และความชำนาญในการทำงาน จึงต้องมีการศึกษาให้ดีถึงความคุ้มค่าในการลงทุนก่อนที่จะนำมาใช้ในหน่วยงาน

7. ในงานวิจัยนี้ทำการสำรวจเส้นทางสั้นๆบนพื้นที่ขนาดเล็ก ผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลขที่ได้พบว่ามีค่าความถูกต้องสูง หากจะทำการวิจัยต่อไป ควรมีการสำรวจเส้นทางที่ยาวมากขึ้น เพราะในการออกแบบทางจริงๆ บางโครงการ อาจมีเส้นทางที่มีระยะทางมากกว่า 100 กิโลเมตร ซึ่งจะต้องใช้ภาพถ่ายจำนวนมาก เพื่อศึกษาต่อไปว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลขในขั้นตอนต่างๆ จะมีความถูกต้องในระดับใด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ไพศาล สันติธรรมนนท์ . การสำรวจรังวัดด้วยภาพดิจิทัล. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 2544.

ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย . การสำรวจเส้นทาง. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร : 2538.

ภาษาอังกฤษ

E.House . 3-D Model steer road design. North Carolina Department of Transportation :
1999.

ERDAS. Erdas IMAGINE V 8.3 Tour Guide Manual. Atlanta Georgia : 1999.

ERDAS. IMAGINE OrthoBASE User Guide. Atlanta Georgia : 1999.

ERDAS. Erdas Stereo Analyst V1.0 User Guide. Atlanta Georgia : 2000.

Eric Tate. Photogrammetry Applications in digital terrain model : 1998.

F. Dieter . Results of Stuttgart Group using MATCH-T. University of Stuttgart : 1998.

Federal Highway Administration (FHWA) . Aerial Surveying. United States Department
of Transportation : 1991.

Georgia Department of Transportation . National Aerial Photography Program : 1995.

Karl Kraus. Photogrammetry (Fundamental and Standard Processes). Vienna University
of Technology : 1992.

Karl Kraus. Photogrammetry (Advanced Methods and Applications). Vienna University
of Technology : 1997.

Mladen Stojic . Creating Precise Air Photo Mosaics Without : GCPs GPS/INS
Information and DEMs. ERDAS : 1999.

M.Witkinen . Digital images in road design. Helsinki University : 1997.

National Mapping Division . Standards for Digital Elevation Model. U.S. Geological Survey : 1997.

O. Kolbl .An Outlook on the Use of Digital Photogrammetric Work Stations in Practice. Institute of Photogrammetry : 1996.

P.Onkalo . Accuracy of Digital Elevation Models Extracted from Digital Aerial Images. Helsinki University : 1998.

U.S. Army Corp. of Engineers (USACE) . Photogrammetric Mapping Standards : 1993.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข (Digital image process)

การประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข

1. ซอฟต์แวร์เออร์ดาสอิมเมจอิน 8.4 (Erdas Imagine V 8.4)

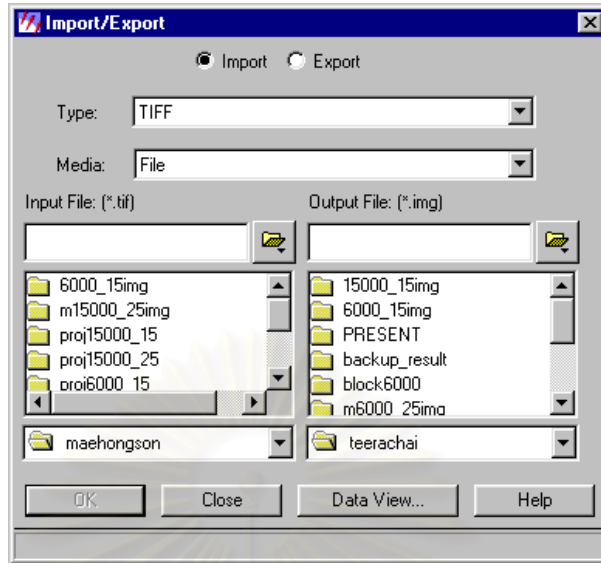
เป็นซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยหลายโปรแกรมภายใต้การควบคุมของโปรแกรมเออร์ดาสอิมเมจอิน 8.4 ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะโปรแกรมย่อยที่ใช้ทำงานกับภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข (Digital Aerial Photogrammetry) ในงานวิจัยนี้

2. โปรแกรมนำเข้าภาพถ่าย (Import)

เป็นโปรแกรมที่ใช้งานด้านการนำเข้าหรือส่งออกข้อมูล โดยสามารถที่จะแปลงไฟล์ข้อมูลจากนามสกุลหนึ่งให้เป็นไฟล์ข้อมูลในอีกนามสกุลหนึ่ง

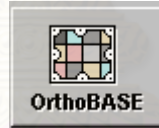


สำหรับในงานวิจัยนี้ ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ใช้ใช้นั้น มีการสแกนแล้วจัดเก็บมาในรูปแบบของไฟล์นามสกุล .tiff แต่การทำงานของซอฟต์แวร์เออร์ดาสอิมเมจอิน 8.4 นั้น จะทำงานกับภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่อยู่ในรูปแบบ .img เท่านั้น จึงต้องทำการแปลงไฟล์ข้อมูลของภาพถ่ายเชิงเลขดังกล่าวก่อนที่จะทำการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป



3. โปรแกรม Erdas imagine OrthoBASE

เป็นโปรแกรมที่ใช้เพื่อทำการคำนวณปรับแก้ลิคของภาพถ่ายด้วยวิธี Self-Calibration Bundle Block Adjustment จนถึงการทำารตัดแก้ภาพถ่ายเพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่ตัดแก้แล้ว (Orthophoto)



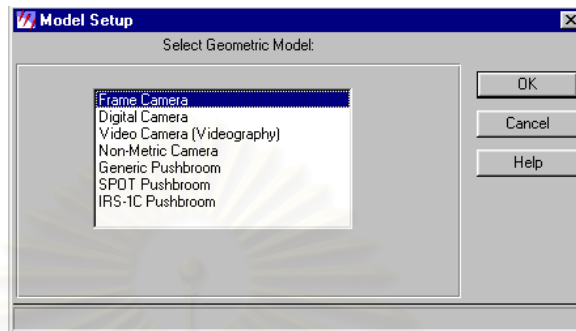
การทำงานของโปรแกรม มีขั้นตอนดังนี้

1. การสร้างบล็อกภาพถ่าย ซึ่งประกอบด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจำนวนตั้งแต่ 1 ภาพ หากมีการถ่ายภาพ 2 ภาพ ขึ้นไป ภาพถ่ายทั้งสองต้องมีส่วนซ้อนทับประมาณ 60 %

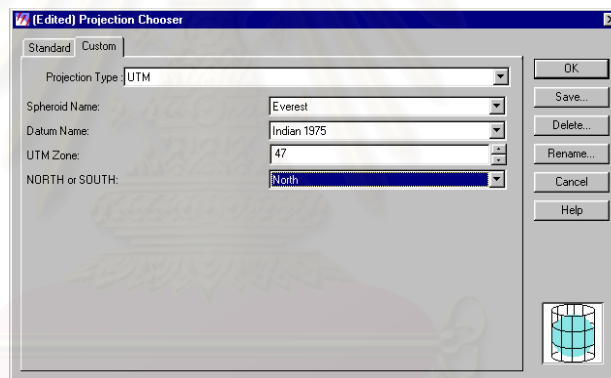


2. การกำหนดชนิดของแบบจำลองเชิงเรขาคณิตของภาพถ่ายและประเภทของภาพถ่าย ตามชนิดของกล้องถ่ายภาพ โปรแกรมสามารถทำงานได้กับภาพถ่ายเชิงเลขหลายชนิด ได้แก่

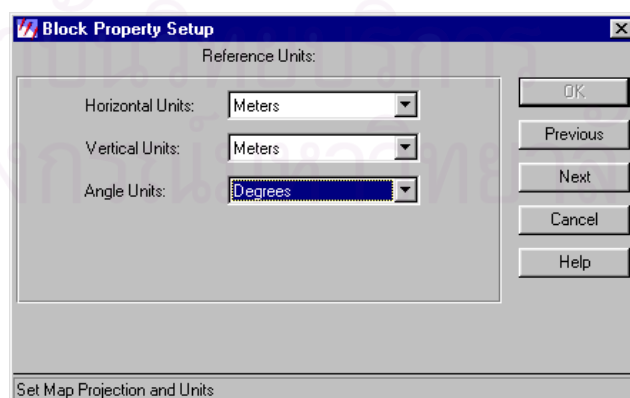
ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข (Frame Camera) ภาพถ่ายดาวเทียม (Digital Camera) ภาพถ่ายวีดีโอ (Video Camera) และภาพถ่ายเชิงไม่วัดระยะ (Non-metric Camera) สำหรับในงานวิจัยนี้เป็นประเภท Frame Camera



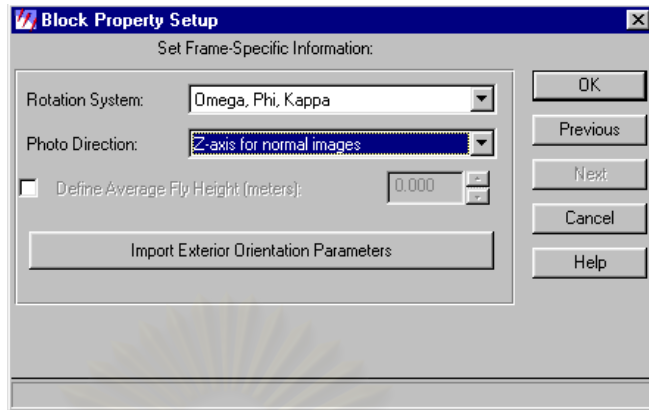
3.การกำหนดระบบพิกัดที่ใช้อ้างอิงกับบล็อกของภาพถ่าย ได้แก่ การกำหนดชนิดของ Projection, Spheroid, Datum สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ใช้เป็น UTM Zone 47 North Everest WGS 84 Indian 1975 ตามลำดับ



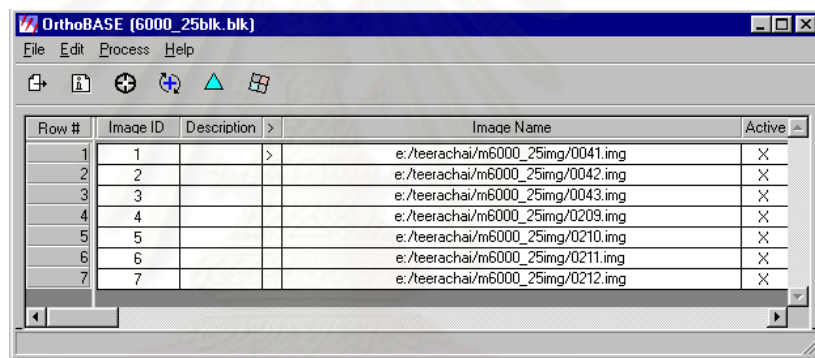
นอกจากนั้นต้องกำหนดหน่วยของการวัดระยะทางและมุมที่ใช้



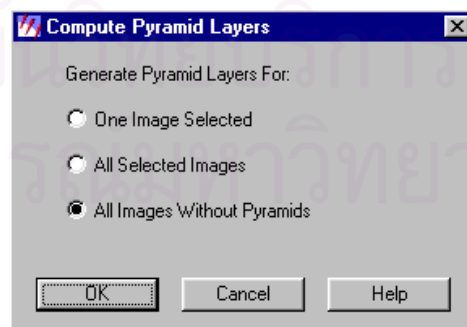
และคุณสมบัติประกอบอื่นๆ ของบล็อกภาพถ่าย ได้แก่ ระบบการหมุนแกน ทิศทางของภาพถ่าย และความสูงบินเฉลี่ย



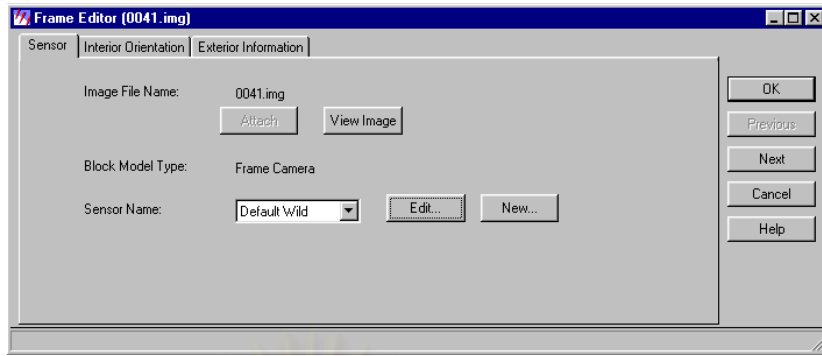
4. เป็นการนำเข้าภาพถ่ายเชิงเลขที่ ใช้ทั้งหมดเข้ามายังบล็อกของภาพถ่าย



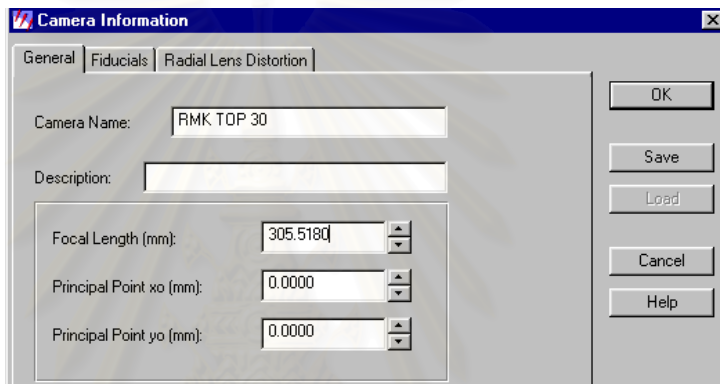
5. เป็นการสร้างชั้นข้อมูลแบบปิรามิดเพื่อให้การขยายหรือย่อภาพถ่ายเชิงเลขบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ มีการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับ Resolution ของภาพถ่ายอย่างเหมาะสม



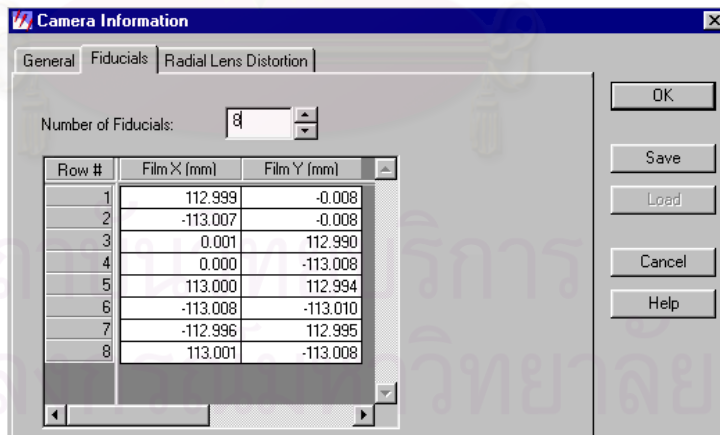
6. เป็นการกำหนดข้อมูลประเภทของภาพถ่าย มี 2 ประเภท คือ กล้องถ่ายภาพ (Camera) และตัวตรวจจับภาพ (Sensor) ในงานวิจัยนี้ภาพถ่ายที่ใช้มาจากประเภท กล้องถ่ายภาพ



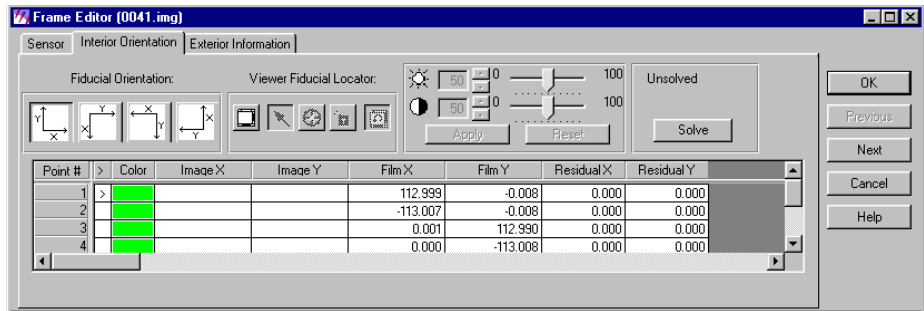
สิ่งที่ต้องกำหนดต่อมา ได้แก่ ค่าความยาวโฟกัส ค่าพิกัดของแกนमुखยสำคัญ



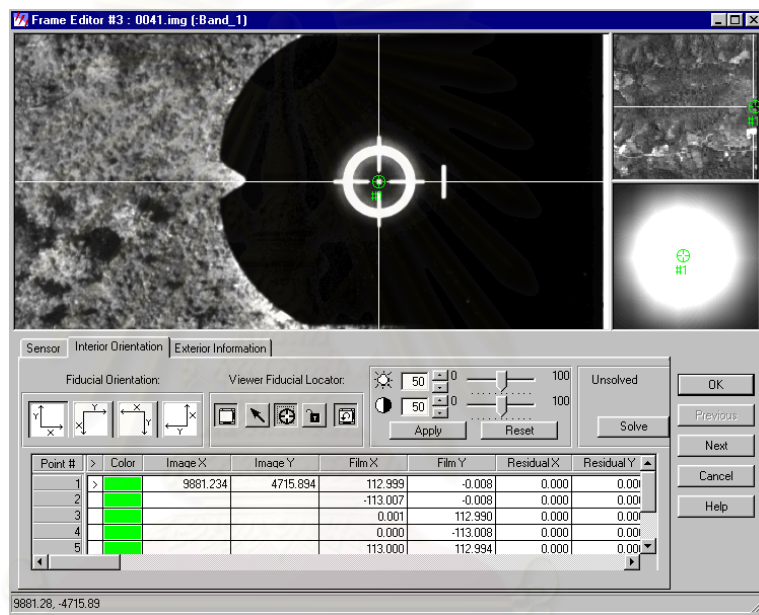
และ กำหนด ค่าพิกัดของ Fiducial mark บนฟิล์มของภาพถ่าย



ขั้นตอนต่อมา คือ การกำหนดทิศทางของแกนภายใน (Fiducial Orientation) ของภาพถ่ายแต่ละภาพ โดยต้องกำหนดให้ทิศทางของแกน X และแกน Y สัมพันธ์กับข้อมูลด้านข้างของภาพถ่าย (Strip Information) ดังรูป

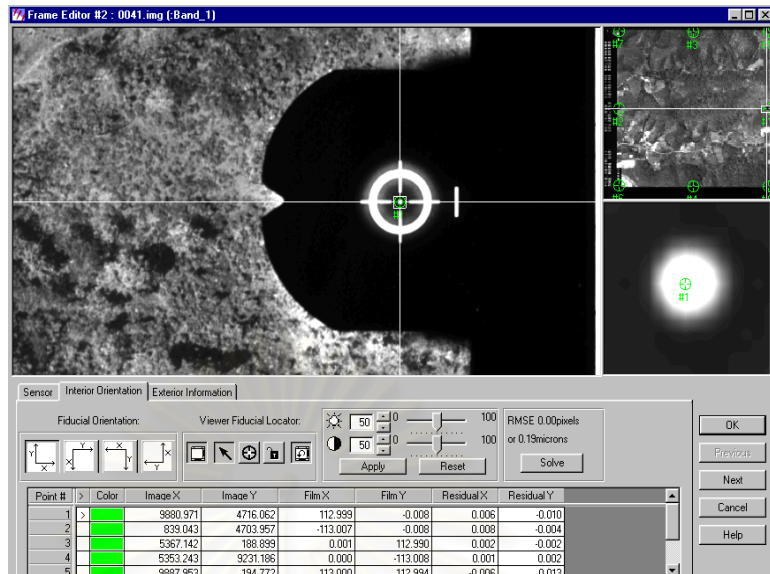


หลังจากนั้นจึงบันทึกตำแหน่งภายในของจุด fiducial mark ของภาพถ่ายแต่ละภาพ ดังรูป



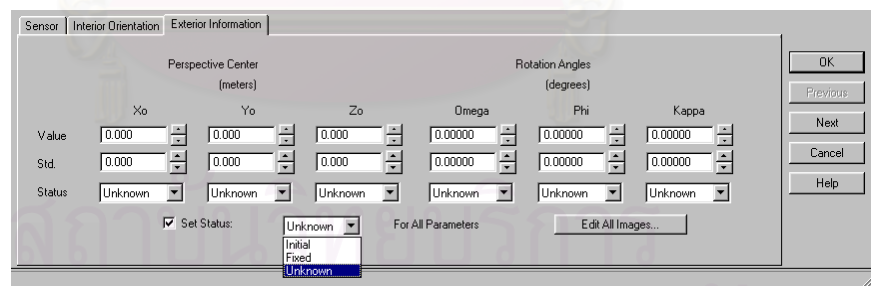
เมื่อบันทึกตำแหน่งของจุดดังกล่าวครบแล้ว โปรแกรมจะคำนวณค่าที่แสดงเศษเหลือของตำแหน่งของจุด fiducial mark แสดงให้เห็นว่าการบันทึกตำแหน่งของจุดแต่ละจุดบนภาพถ่ายแต่ละภาพมีความถูกต้องเพียงใด ถ้าค่าเศษเหลือมากแสดงว่าตำแหน่งที่ทำการบันทึกมีความผิดพลาดมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

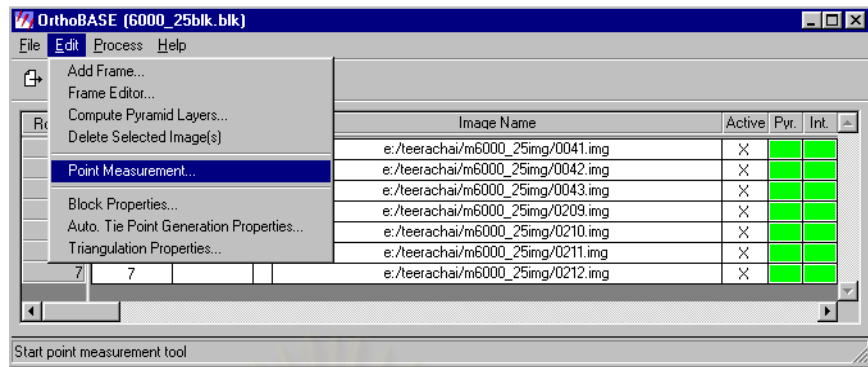


การกำหนดค่าพิกัดจุดเปิดถ่ายของแต่ละภาพถ่าย

ในงานวิจัยนี้การบินถ่ายภาพไม่ได้มีการบันทึกตำแหน่งจุดเปิดถ่ายเอาไว้ จึงกำหนดให้ข้อมูลจุดเปิดถ่ายเป็น ไม่ทราบค่า (unknown) เพื่อที่จะคำนวณหาพิกัดจุดเปิดถ่ายต่อไป หากการบินถ่ายภาพมีการนำ GPS ติดตั้งไว้บนเครื่องบิน จะสามารถกำหนดค่าจุดเปิดถ่ายได้โดยตั้งเป็น ค่าเริ่มต้น (initial) หรือหากการรังวัดพิกัดด้วย GPS ดังกล่าว ทำได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ก็สามารกำหนดเป็นค่าตายตัว (Fix) ได้เลย



7. การบันทึกตำแหน่งจุดควบคุม จุดตรวจสอบ จุดผ่านและจุดยึดลงบนภาพถ่ายเชิงเลข

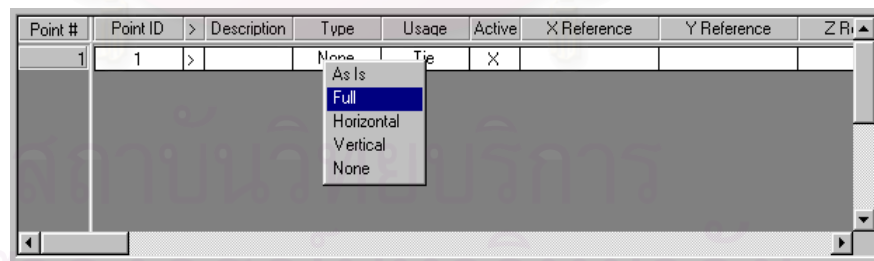


จุดควบคุม หมายถึง จุดบังคับภาพถ่ายที่ทราบค่าพิกัดจากการรังวัดในภาคสนามที่นำมาใช้ในการคำนวณปรับแก้ชายสามเหลี่ยมทางอากาศ

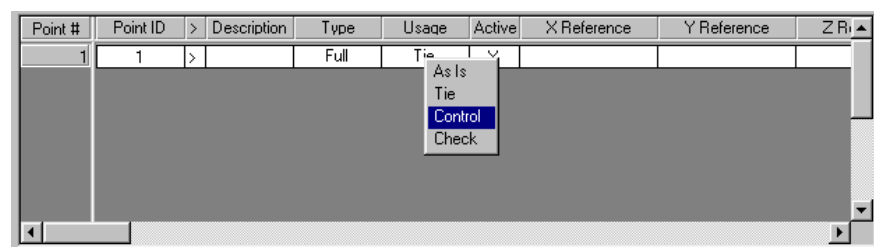
จุดตรวจสอบ หมายถึง จุดบังคับภาพถ่ายที่ทำการรังวัดค่าพิกัดในภาคสนามเพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้พิสูจน์ความถูกต้องของชายสามเหลี่ยมทางอากาศ

จุดยึด หมายถึง จุดที่ไม่ทราบค่าพิกัดบนพื้นดิน แต่สามารถมองเห็นได้บนส่วนซ้อนทับ ทั้งทางด้านหน้าและด้านข้างบนบลิคของภาพถ่าย ที่ถูกนำมาใช้บันทึก เพื่อการคำนวณปรับแก้ชายสามเหลี่ยมทางอากาศ

ขั้นตอนเริ่มต้น ก็คือ การบันทึกตำแหน่งของจุดควบคุมก่อนเป็นอันดับแรก ถ้าเป็นจุดควบคุมทั้ง 3 แขน จะเป็น ชนิด Full Control โดยในส่วนของชนิด ให้เลือก Full ดังรูป



ในส่วนของ Usage ให้เลือก Control ดังรูป



แล้วทำการใส่ค่าพิกัดของจุดควบคุม ที่ได้จากงานรังวัดด้วยดาวเทียมในภาคสนาม ดังรูป

Point #	Description	Type	Usage	Active	X Reference	Y Reference	Z Reference
1	2944	Full	Control	X	391624.157	2137223.928	216.502

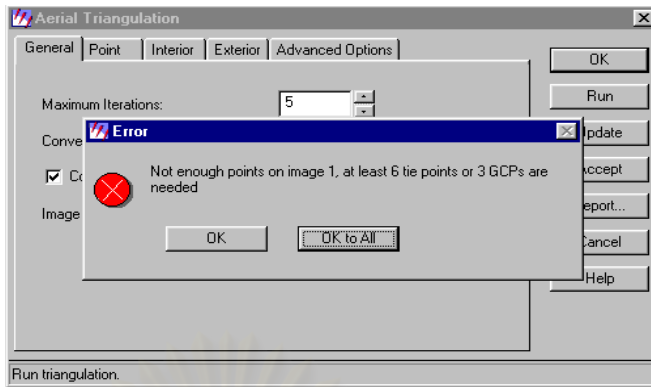
หลังจากนั้นจึงทำการบันทึกตำแหน่งของจุด ลงบนภาพถ่ายเชิงเลข ดังรูป



โปรแกรมจะบันทึกตำแหน่งของจุดควบคุมบนระบบพิกัดของภาพถ่าย และแสดงผล ดังรูป

Image #	Image Name	Active	X File	Y File
1	0209	X	9689.625	1338.375
2	0210	X	6920.055	1387.532

การบันทึกตำแหน่งของจุดควบคุม จุดผ่านและจุดยึดนั้น จำเป็นต้องทำการวัดพิกัดจุดดังกล่าวให้มีจำนวนที่เพียงพอต่อการคำนวณปรับแก้ตามสมการ Least Square ของบล็อกภาพถ่าย ในส่วนของโปรแกรมนั้นมีความสามารถที่จะบอกว่าจุดควบคุมบนภาพถ่ายใดๆ บนบล็อกของภาพถ่ายยังมีไม่เพียงพอต่อการคำนวณปรับแก้ Bundle Block Adjustment หากจำนวนจุดควบคุมบนภาพถ่ายใด มีไม่เพียงพอก็ต้องทำการบันทึกเพิ่ม จำนวนของจุดควบคุมบนภาพนั้นๆ

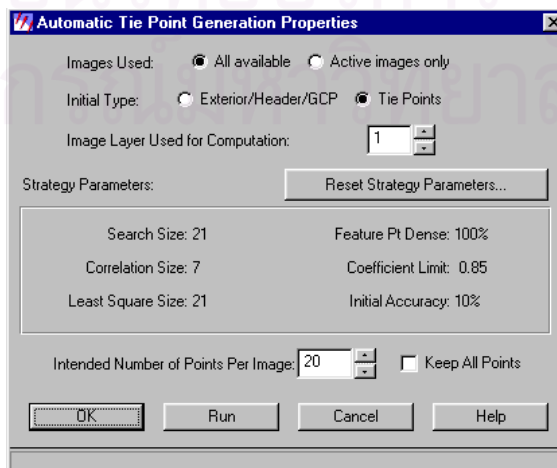


ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดพิกัดของจุดผ่านและจุดยึดด้วยมือตนเอง (Manual tie point Collection) เปรียบเทียบกับการวัดพิกัดจุดผ่านและจุดยึดโดยอัตโนมัติ (Automatic tie point Collection) โดยพิจารณาผลการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

-การวัดพิกัดของจุดผ่านและจุดยึดด้วยมือตนเอง

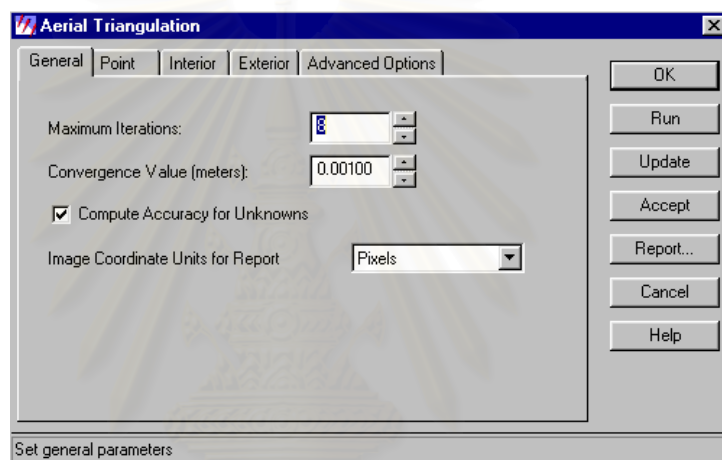


-การวัดพิกัดจุดผ่านและจุดยึดโดยอัตโนมัติ



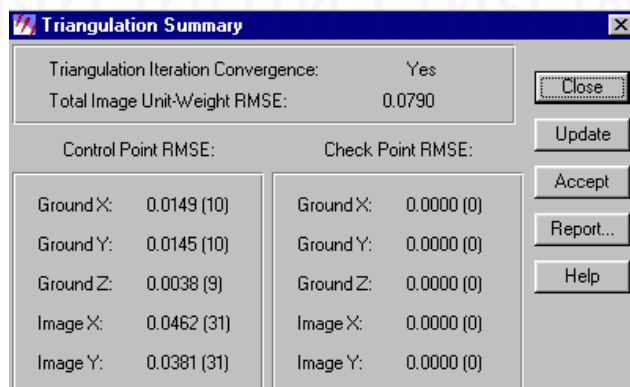
8. การปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ ซึ่งใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายเชิงเลข แบบจำลองของกล้องภาพถ่าย ค่าพิกัดบนพื้นดิน เมื่อกำหนดค่าต่างๆ ไว้อย่างถูกต้องแล้วสามารถที่จะคำนวณหาค่าของตัวแปรแทนความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นได้ ดังนี้

- ค่าพิกัดของจุดเปิดถ่ายของแต่ละภาพที่มีตัวแปร 6 ตัว บนบล็อคของภาพถ่าย
- ค่าพิกัดบนพื้นดิน (X,Y,Z) ของจุดยึดและจุดผ่าน
- ค่าตัวแปร Affine Transformation

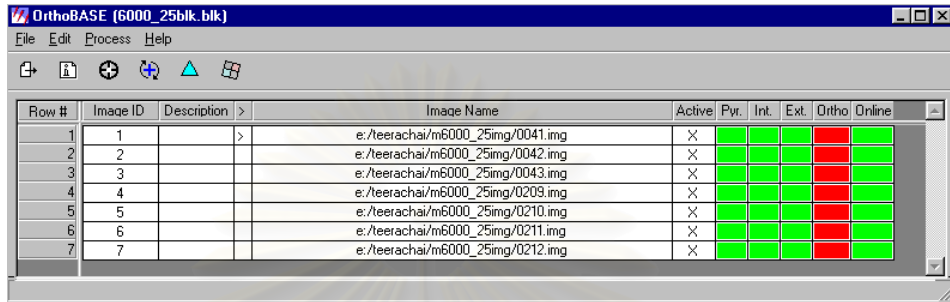


ผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ มีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง ดังนี้

1. การคำนวณปรับแก้ต้องมีผลลัพธ์ที่ลู่อู่เข้า (Convergence)
2. ค่า RMSE ของบล็อกภาพถ่ายต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้
3. ค่าความถูกต้องของจุดเปิดถ่ายแต่ละภาพ
4. ค่าเศษเหลือของจุดควบคุมและจุดตรวจสอบที่ทำการรังวัดบนภาพถ่าย
5. ค่าความถูกต้องและเศษเหลือ ของจุดยึดและจุดผ่านที่ทำการรังวัดบนภาพถ่าย



หลังจากทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากซ้ายสามเหลี่ยมทางอากาศ และทำการแก้ไข จุดที่ผิดพลาดเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการบันทึกผล โดยการยอมรับ (Accept) ผลการคำนวณที่ได้ ในส่วนของโปรแกรมจะแสดงผล ค่าการวางตัวภายนอก (Ext.) เป็นสีเขียว หมายถึงขั้นตอนนี้ได้ทำการประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังรูป



Row #	Image ID	Description	Image Name	Active	Pyr.	Int.	Ext.	Ortho	Online
1	1		e:/teerachai/m6000_25img/0041.img	X					
2	2		e:/teerachai/m6000_25img/0042.img	X					
3	3		e:/teerachai/m6000_25img/0043.img	X					
4	4		e:/teerachai/m6000_25img/0209.img	X					
5	5		e:/teerachai/m6000_25img/0210.img	X					
6	6		e:/teerachai/m6000_25img/0211.img	X					
7	7		e:/teerachai/m6000_25img/0212.img	X					

4. โปรแกรม Erdas Stereo Analyst

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในด้านการรังวัดพิกัด 3 มิติ บนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน โดยใช้หลักการมองเห็นภาพ 3 มิติ บนพื้นที่ส่วนซ้อนทับของภาพถ่ายที่อยู่ติดกัน 2 ภาพ ภายหลังจากที่ได้ทำการขยายภาพบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วทำการปรับแก้ระยะเหลี่ยมทางแกน X (X – parallax) หลังจากนั้นจึงปรับจุดลอย 3 มิติ ให้แตะบนพื้นดิน แล้วทำการบันทึกค่าพิกัดที่ได้เมื่อรวบรวมค่าพิกัด 3 มิติ ของจุดพื้นดินเสร็จแล้ว นำมาสร้างเป็นแบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model) ต่อไป ประโยชน์ของแบบจำลองระดับสูงที่ได้จากค่าพิกัด 3 มิติ ก็คือ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง เช่น วิเคราะห์ทางเดินของน้ำฝน , วางแนวเส้นทางของถนน , วิเคราะห์แนวการมองเห็น , ใช้ในด้านยุทธศาสตร์การทหาร , ออกแบบวางเสาส่งสัญญาณโทรทัศน์ วิทยุ หรือโทรศัพท์ , วิเคราะห์สภาพทางธรณีวิทยา ฯลฯ



หลักการพื้นฐานของการมองเห็น 3 มิติ

โดยปกติคนเราจะมองเห็นและรับรู้ถึงความลึกได้โดยใช้ตาทั้ง 2 ข้าง เพื่อที่จะมองเห็นวัตถุได้จาก Binocular vision ซึ่งการมองเห็นและรับรู้ถึงความลึกโดยหลักการนี้ก็คือ การมองเห็น 3 มิติ (Stereoscopic Viewing)

หลักการมองเห็น 3 มิติ นี้ ข้อมูลทางความลึกสามารถที่จะรับรู้ได้ด้วยความสะดวกและความถูกต้องสูง ช่วยให้คนเราสามารถตัดสินใจและเข้าใจถึงความแตกต่างหรือความเปลี่ยนแปลงทางความลึกและปริมาตร ในส่วนของการสำรวจด้วยภาพถ่ายนั้นการมองเห็น 3 มิติ มีบทบาทสำคัญช่วยให้เราสามารถมองเห็นและสร้างข้อมูล 3 มิติ ที่เป็นตัวแทนของวัตถุบนพื้นผิวโลก

ระยะเหลื่อมทางแกน X (X – parallax) - ขนาดของระยะเหลื่อมทางแกน X เป็นผลโดยตรงมาจากค่าระดับความสูงของจุดพื้นดิน ถ้าหากภูมิประเทศมีระดับความสูงที่แตกต่างกันมากขนาดของระยะเหลื่อมทางแกน X บนภาพคู่ 3 มิติ ก็จะมากตามไปด้วย ดังนั้นทุกครั้งที่ทำการรังวัดค่าพิกัดหรือบันทึกตำแหน่งวัตถุ ซึ่งอยู่บนตำแหน่งต่างๆ บนภาพคู่ 3 มิติ จึงต้องทำการปรับแก้ระยะเหลื่อมทางแกน X เสมอ

ระยะเหลื่อมทางแกน Y (Y – parallax) - ขนาดของระยะเหลื่อมทางแกน Y นั้น เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องและความชัดเจนของการมองเห็น 3 มิติ ซึ่งได้แก่

1. ระดับความสูงบินที่โดยความเป็นจริงมีความแตกต่างกันระหว่างการบินถ่ายภาพแต่ละภาพที่อยู่ติดกัน ซึ่งจะมีผลต่อความแตกต่างทางมาตราส่วนของการแสดงผลภาพถ่ายทางซ้ายกับภาพถ่ายทางขวา ทำให้การมองเห็น 3 มิติ ผิดเพี้ยนไป

2. แนวบินที่โดยความเป็นจริงไม่เป็นเส้นตรงระหว่างที่บินภาพถ่ายเป็นผลให้ทิศทางของภาพถ่ายแต่ละภาพที่อยู่ติดกันบนแนวบินเดียวกันแตกต่างกัน ทำให้การมองเห็น 3 มิติ เกิดความไม่ชัดเจน

3. การที่ข้อมูล Sensor model มีความคลาดเคลื่อน มีผลทำให้เกิดระยะเหลื่อมทางแกน Y เกิดขึ้น

จากปัจจัยข้างต้น ทำให้แบบจำลองเชิงพื้นผิว (Digital Surface Model) เกิดระยะเหลื่อมทางแกน Y ผลที่ตามมาก็คือ เกิดความผิดเพี้ยน , ความไม่ชัดเจน และการบันทึกค่าพิกัดตำแหน่งบนภาพคู่ซ้อนเกิดความผิดพลาด

การขจัดระยะเหลือมทางแกน Y ทำได้โดยการปรับแก้มาตราส่วน (Scale) , การเลื่อนแกนทางราบ X , Y (Translate) และการหมุนแกน (Rotate) บนภาพถ่ายแต่ละภาพให้มีค่าตรงกัน เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการมองเห็น 3 มิติ

การปรับแก้มาตราส่วน - เป็นการปรับแก้ความสูงบินให้แต่ละภาพมีค่าตรงตามตำแหน่งความสูงจริงของจุดเปิดถ่ายขณะถ่ายภาพ

การเลื่อนแกน X , Y - เป็นการปรับแก้แนวบินที่ไม่เป็นเส้นตรงระหว่างการบินถ่ายภาพแต่ละภาพ

การหมุนแกน - เป็นการปรับแก้ทิศทางของมุมของภาพถ่ายแต่ละภาพ

สำหรับโปรแกรม Erdas Stereo Analyst นั้น หลังจากที่ได้ใส่ข้อมูลระบบพิกัดอ้างอิง , Affine transformation , ค่าจุดเปิดถ่ายของแต่ละภาพและข้อมูลการปรับแก้ค่าภายในของกล้องถ่ายภาพแล้ว (ทั้งหมดรวมเรียกว่า Sensor Model) โปรแกรมจะทำการสร้างภาพใหม่ โดยการปรับแก้มาตราส่วน , เลื่อนแกนทางแกน X และ Y , ปรับทิศทางของมุมของภาพถ่ายแต่ละภาพ ซึ่งก็คือการปรับแก้ระยะเหลือมทางแกน Y ให้โดยอัตโนมัติ กระบวนการนี้ช่วยทำให้เกิดความชัดเจนในการมองเห็น 3 มิติ ซึ่งการปรับแก้ระยะเหลือมทางแกน Y ในลักษณะนี้เรียกว่า “Epipolar Resampling on the fly”

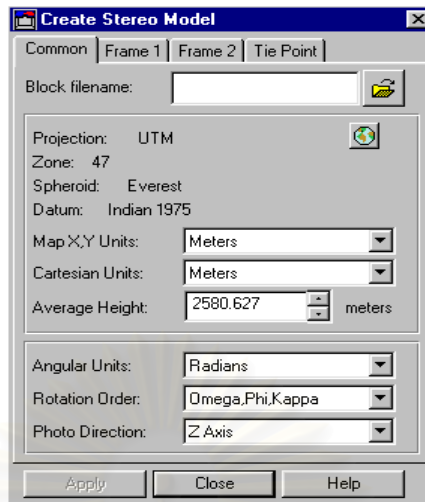
การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นผิว (Digital Surface Model)

วิธีการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข ด้วยโปรแกรม Erdas Stereo Analyst หลังจากที่ได้ทำการสร้างไฟล์ชื่อของแบบจำลองเชิงพื้นผิวแล้ว มีขั้นตอนที่ต้องกำหนดข้อมูลที่จำเป็น สำหรับสร้างแบบจำลองเชิงพื้นผิว ดังต่อไปนี้

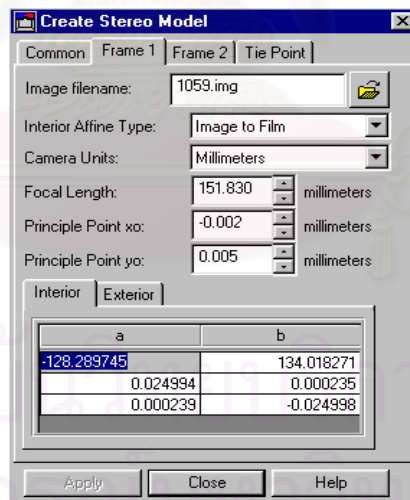
1. การกำหนดชื่อไฟล์ของแบบจำลองเชิงพื้นผิวที่จะสร้าง
2. การกำหนด projection , Spheroid และ datum
3. ความสูงบินเฉลี่ยของภาพถ่ายแต่ละภาพเหนือระดับพื้นดิน
4. การกำหนดลำดับของมุมที่สัมพันธ์กับแกน X , Y , Z โดยทั่วไป ลำดับของมุมที่

สัมพันธ์กับแกน X , Y , Z ก็คือมุม ω , ϕ , κ

5. ทิศทางของแกนการถ่ายภาพ ในกรณีนี้เป็นภาพถ่ายทางอากาศแกนการถ่ายภาพก็คือ แกน Z



6. ภาพถ่ายเชิงเลขที่นำมาใช้
7. ค่าปรับแก้ภายในกล้องถ่ายภาพ ได้แก่ ความยาวโฟกัส และจุดพิกัดแกนमुखยสำคัญ
8. ค่าตัวแปรของการแปลงพิกัดภายใน 6 ตัวแปร ของแต่ละภาพถ่าย (Affine transformation)
9. ค่าตัวแปรของจุดเปิดถ่าย 6 ตัวแปร (Exterior Orientation Parameter)



การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงพื้นผิวที่สร้าง

เมื่อสร้างแบบจำลองเชิงพื้นผิวเรียบร้อยแล้ว สามารถตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้โดยใช้การวัดพิกัด 3 มิติ ของจุดควบคุมภาพถ่ายบนแบบจำลองเชิงพื้นผิว โดยการใช้เครื่องมือกำหนดตำแหน่ง (Position Tool)



โดยการใส่ค่าพิกัดของจุดที่ทราบค่าพิกัดและตำแหน่งบนภาพถ่ายอยู่แล้ว ซึ่งก็คือ จุดควบคุมภาพถ่าย ลงในกล่องข้อความของเครื่องมือกำหนดตำแหน่ง ซึ่งบนกล่องข้อความต้องป้อนค่าพิกัดของจุดบนแกน X , แกน Y , แกน Z

Position Tool

Projection: UTM

Map X,Y: Map

X: 390852.9572 meters

Y: 2135853.7745 meters

Z: 226.1084 meters

Zoom: 0.0170

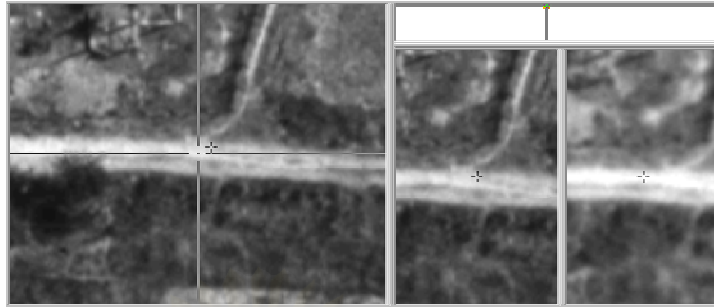
Enable Update

กล่องข้อความเครื่องมือกำหนดตำแหน่ง

หลังจากนั้นต้องป้อนค่ากำลังขยายของภาพ (Zoom) บนเครื่องมือกำหนดตำแหน่ง ซึ่งโดยทั่วไปใช้ค่าตัวเลข 2 – 4 เท่า สำหรับกำลังขยายภาพนี้มีผลต่อช่วงความละเอียดของค่าพิกัดที่จะทำการบันทึกโดยใช้จุดลอย 3 มิติ ซึ่งหากใช้กำลังขยายภาพมาก จะได้ความละเอียดของค่าตัวเลขพิกัดตำแหน่งในการบันทึกค่าพิกัดตำแหน่งบนพื้นดินมีความละเอียดที่ดีกว่า ในงานวิจัยนี้ภาพถ่ายเชิงเลขมาตราส่วน 1:6000 ความละเอียด 15 ไมครอน หากใช้กำลังขยายของภาพที่ 2, 3 และ 4 เท่า จะได้ความละเอียดของค่าตัวเลขทางดิ่งเท่ากับ 4 , 3 และ 2 เซนติเมตร ตามลำดับ ทุกครั้งของการเลื่อนเมาท์ปรับแก้ระยะเหลือมทางแกน X เมื่อใส่ค่าตัวเลขของจุดพิกัดและกำลังขยายที่ใช้เรียบร้อยแล้วให้กด Enter บนแป้นพิมพ์ ซึ่งหน้าจอจะแสดงผลตำแหน่งดังกล่าวบนกึ่งกลางหน้าจอพร้อมทั้งปรับแก้ค่าความสูง ให้ใกล้เคียงกับค่า Z ที่ได้กำหนดไว้ในเครื่องมือกำหนดตำแหน่ง หากค่า Z ที่กำหนดไปนั้นมีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าพิกัดจริงบนพื้นดิน การแสดงผลตำแหน่งของจุดนั้นบนภาพคู่จะได้ตำแหน่งที่ตรงกัน



การแสดงผลภาพถ่ายจากการป้อนกำลังขยายของภาพ 2 เท่า

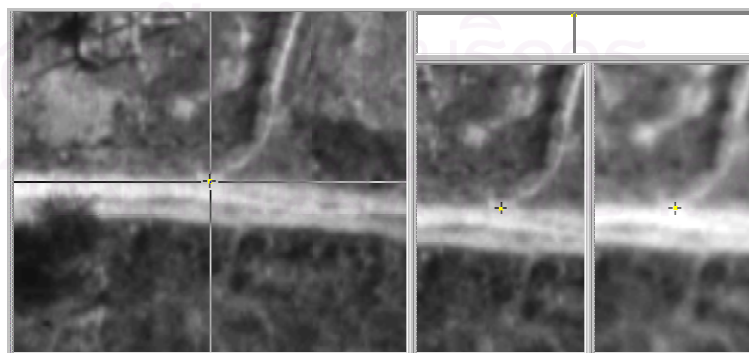


การแสดงผลภาพถ่ายจากการป้อนกำลังขยายของภาพ 3 เท่า

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงพื้นผิว ทำได้โดยการบันทึกตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายในจำนวนที่มากพอสมควรและมีตำแหน่งกระจายอยู่ทั่วทั้งแบบจำลองเชิงพื้นผิว หากผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดจุดควบคุมที่ป้อนเข้าไปในครั้งแรก แสดงว่า แบบจำลองดังกล่าวมีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ในการรังวัดพิกัดของวัตถุอื่นๆ ได้ดี

จุดลอย 3 มิติ และการบันทึกข้อมูลบนพื้นดิน

การที่จะบันทึกข้อมูล 3 มิติ บนแบบจำลองเชิงพื้นผิวที่สร้างจากภาพคู่ซ้อนให้ได้ค่าที่ถูกต้องนั้น จะต้องทำการปรับแก้จุดลอย 3 มิติ ให้จุดแต่ละวัตถุนั้นๆ บนพื้นดิน ตัวอย่างเช่น หากจะบันทึกถนน ระดับความสูงของจุดลอย 3 มิติ จะต้องถูกปรับแก้ให้แต่ละจุดบนพื้นผิวของถนนนั้นๆ ซึ่งอยู่บนพื้นดิน ในกรณีนี้ค่าระดับความสูงของถนนที่ได้และค่าระดับของจุดลอย 3 มิติ จะเป็นค่าเดียวกัน



การปรับแก้จุดลอย 3 มิติ ให้แต่ละจุดบนพื้นดิน โดยการปรับแก้ระยะเหลือมทางแกน X

สำหรับโปรแกรม Erdas Stereo Analyst นั้น การบันทึกข้อมูล 3 มิติ ของวัตถุต้องปรับแก้ให้ตำแหน่งของจุดลอยบนภาพซ้ายและภาพขวา อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันก่อนบันทึกข้อมูล 3 มิติ การปรับแก้ลักษณะนี้ ก็คือ การปรับแก้ระยะเหลือมทางแกน X นั่นเอง

การบันทึกค่า 3 มิติ

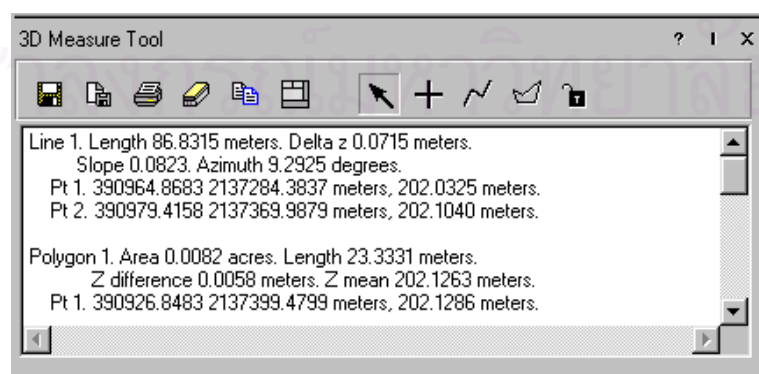
การบันทึกค่า 3 มิติ ทำได้โดย เครื่องมือวัดขนาด 3 มิติ (3D Measurement Tool)



ค่า 3 มิติ ที่สามารถบันทึกได้บนแบบจำลองเชิงพื้นผิว มีดังนี้

1. ค่าจุดพิกัด 3 มิติ
2. ความยาวของเส้นตรง
3. ความชันของเส้นตรง
4. ค่ามุมระหว่างเส้น 2 เส้น (Azimuth)
5. ค่าความต่างระดับของจุดต้นและจุดปลายของเส้นตรง
6. พื้นที่ภายในรูปหลายเหลี่ยม
7. ค่ามุมภายในระหว่างจุด 3 จุด
8. ค่าระดับเฉลี่ยภายในรูปหลายเหลี่ยม
9. ค่าระดับเฉลี่ยของเส้นตรงที่ต่อกันหลายๆ เส้น

โดยที่แต่ละครั้งที่ทำกรบันทึกค่า 3 มิติ ต้องปรับแก้ระยะเหลือมทางแกน X และปรับแก้ตำแหน่งของจุดลอย 3 มิติ ให้แต่ละลงบนพื้นดิน



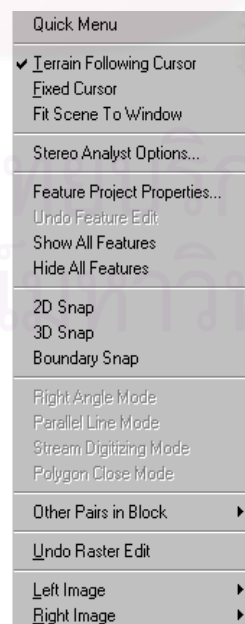
กล่องข้อความของเครื่องมือวัดขนาด 3 มิติ แสดงการวัดขนาดเส้นตรง และการวัดขนาดของรูปหลายเหลี่ยม

โปรแกรม Erdas Stereo Analyst ยังมีวิธีการ ที่เรียกว่า “การปรับแก้จุดลอยให้ตะ
บนพื้นดิน” (Terrain following Cursor) ซึ่งเป็นวิธีการอัตโนมัติ วิธีการนี้ใช้เทคนิคสห
สัมพันธ์ของภาพถ่ายเชิงเลข (Digital image Correlation) ในการค้นหาพิกัดตำแหน่งของจุด
ภาพบนภาพถ่ายเชิงเลขภาพซ้ายและภาพขวา ที่จะทำการบันทึกค่าพิกัด ซึ่งค่าความสูงของจุด
ลอยที่ใช้บันทึกจะถูกรับแก้ไขให้ตะอยู่บนพื้นผิวของวัตถุนั้นๆ เสมอ (วิธีการดังกล่าวยังใช้งานได้
ไม่ดี ค่าพิกัดที่ได้ยังมีความผิดพลาดของตำแหน่งอยู่พอสมควร ก่อนบันทึกค่าต้องพิจารณาว่าจุด
ลอยตะอยู่ที่พื้นดินจริง)

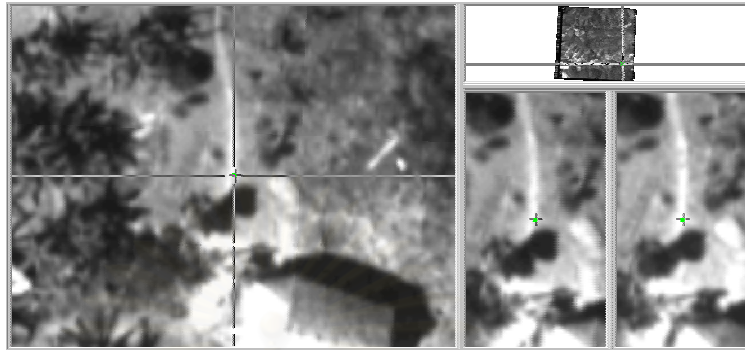
ขั้นตอนในการทำงานของ วิธีการปรับแก้จุดลอยให้ตะบนพื้นดินโดยอัตโนมัติ มีดังนี้

1. ใช้การมองเห็น 3 มิติบนภาพคู่ซ้อน บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ซึ่งส่วนประกอบหลัก
สำหรับการมองเห็น 3 มิติ ได้แก่แว่นชดเดิล (Shuttle-Glasses) สำหรับช่วยให้มองเห็น 3 มิติ
กล่องค้นสัญญาณภาพวางบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ และการ์ดจอสำหรับแสดงผลภาพ 3 มิติ โดย
เฉพาะ) แล้วทำการขยายภาพเข้าไปประมาณ 2-4 เท่า ตรงบริเวณของจุดที่จะทำการบันทึก
ตำแหน่ง จากนั้นให้ทำการปรับแก้ระยะเหลือมทางแกน X โดยวิธี กดแป้นพิมพ์ ปุ่ม X ค้างไว้ แล้ว
เลื่อนเมาท์ไปทางแนวราบ ให้ได้ตำแหน่งของจุดที่สนใจบนภาพคู่ ที่แสดงบนหน้าจอ ให้มีตำแหน่ง
ที่ใกล้เคียงกัน

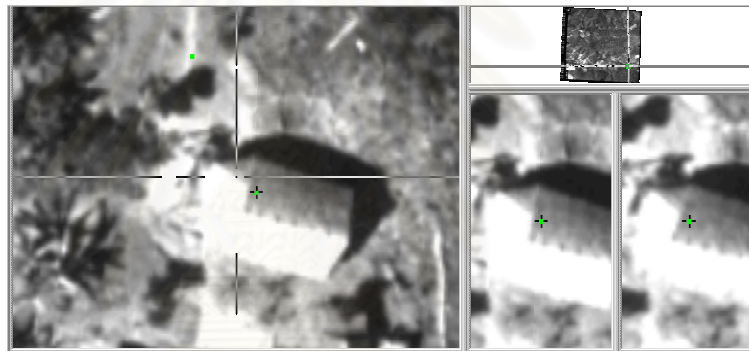
2.คลิกปุ่มขวามือ บนเมาท์ แล้วเลือกไปที่ ฟังก์ชันการปรับแก้จุดลอยให้ตะบนพื้นดิน



3. ใช้เครื่องมือวัดขนาด 3 มิติ เพื่อบันทึกค่าพิกัด 3 มิติ ตามวิธีการปรับแก้จุดลอยให้
ตะขบพื้นดินโดยอัตโนมัติ ซึ่งในขั้นตอนนี้ไม่ต้องทำการปรับแก้ระยะเหลือมทางแกน X อีก



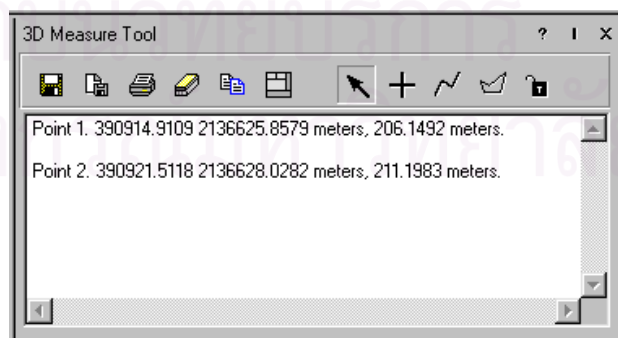
การบันทึกตำแหน่ง โดยวิธีการปรับแก้จุดลอยให้ตะขบพื้นดินโดยอัตโนมัติ



การบันทึกตำแหน่ง โดยวิธีการปรับแก้จุดลอยให้ตะขบพื้นดินโดยอัตโนมัติ

(เป็นการบันทึกตำแหน่งของจุดบนหลังคาบ้าน ซึ่งทำได้เช่นกัน)

4. กล่องข้อความของเครื่องมือวัดขนาด 3 มิติ แสดงผลค่าพิกัดของจุดที่ได้ (จุดที่ 1. อยู่
บนพื้นดิน และจุดที่ 2. อยู่บนหลังคาบ้าน ตามรูป)



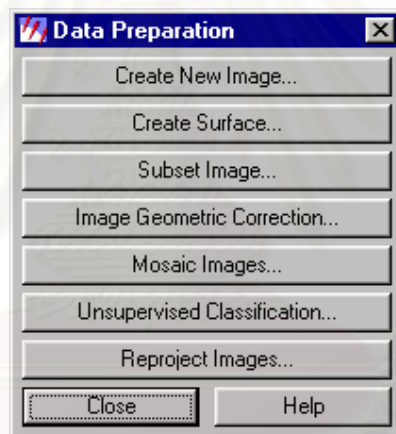
5. โปรแกรม DataPreparation

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเตรียมภาพในรูปแบบเป็นไฟล์นามสกุล .img จากข้อมูลในรูปแบบอื่น นอกจากนั้นยังมีความสามารถในลักษณะอื่น เช่น แบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อย การต่อภาพหลายภาพเข้าด้วยกัน ฯลฯ

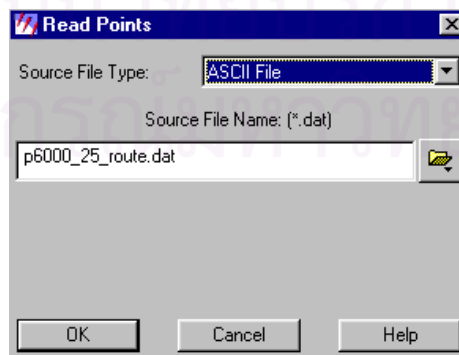


ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model) ในรูปแบบไฟล์นามสกุล .img โดยการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข มีดังนี้

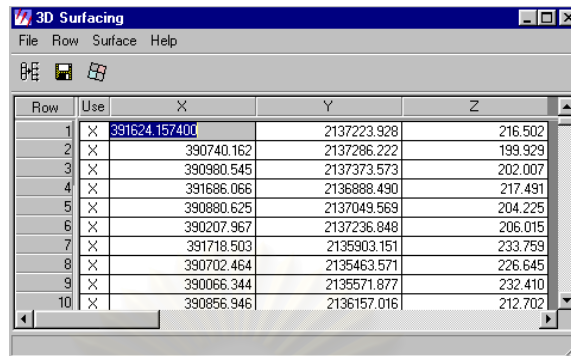
1. การเลือกไปที่ปุ่ม สร้างพื้นผิว (Create Surface)



2. การนำเข้าสู่ข้อมูลจุดพิกัด 3 มิติ ซึ่งใช้เฉพาะจุดพิกัดบนพื้นดินที่ได้จากการวัดบนภาพคู่
ซ้อน

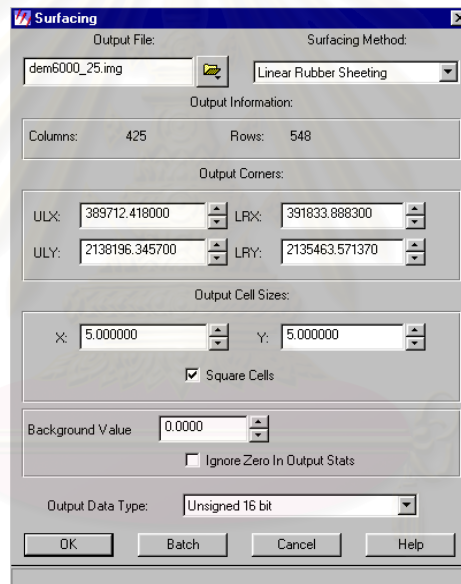


3. การสร้างพื้นผิว จากข้อมูลจุดพิกัด 3 มิติบนพื้นดินที่นำเข้า



Row	Use	X	Y	Z
1	X	391624.157400	2137223.928	216.502
2	X	390740.162	2137286.222	199.929
3	X	390980.545	2137373.573	202.007
4	X	391686.066	2136888.490	217.491
5	X	390880.625	2137049.569	204.225
6	X	390207.967	2137236.848	206.015
7	X	391718.503	2135903.151	233.759
8	X	390702.464	2135463.571	226.645
9	X	390066.344	2135571.877	232.410
10	X	390856.946	2136157.016	212.702

4. การสร้างชื่อไฟล์ของแบบจำลองระดับสูง การเลือกขอบเขตของพิกัดที่ใช้ ระดับของความละเอียดของจุดภาพ และชนิดการจัดเก็บข้อมูลของแบบจำลองระดับสูง



Output File: dem6000_25.img

Surfacing Method: Linear Rubber Sheeting

Output Information:
Columns: 425 Rows: 548

Output Corners:
ULX: 389712.418000 LFX: 391833.888300
ULY: 2138196.345700 LRY: 2135463.571370

Output Cell Sizes:
X: 5.000000 Y: 5.000000
 Square Cells

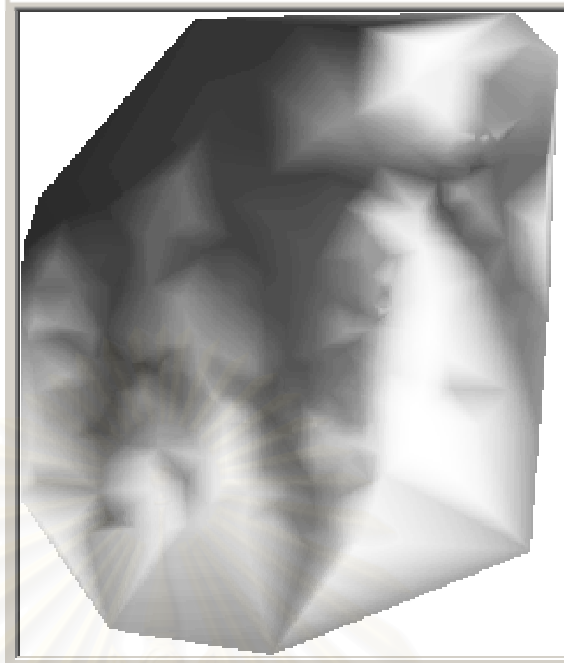
Background Value: 0.0000
 Ignore Zero In Output Stats

Output Data Type: Unsigned 16 bit

Buttons: OK, Batch, Cancel, Help

การบันทึกค่าจุดพิกัดมีระยะห่างประมาณ 5 ม. ตามแนวเส้นทาง ดังนั้นการสร้างแบบจำลองระดับสูง มีขนาดจุดภาพทุก 5 ม.

5. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้างต้นก็คือ แบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model)

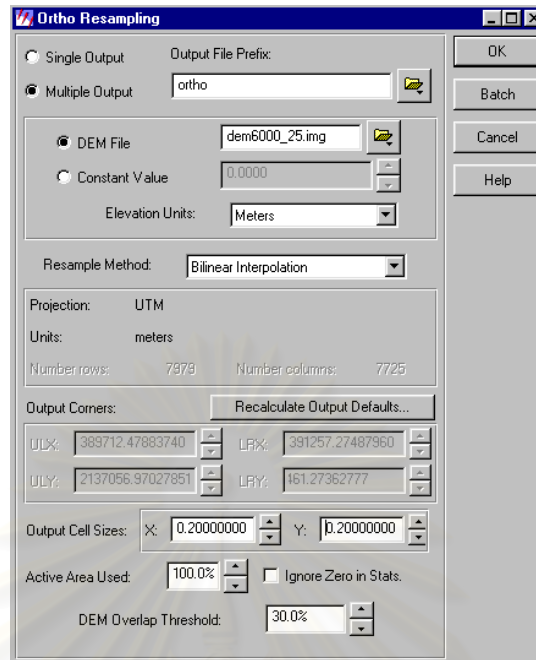


6. การสร้างภาพถ่ายตัดแก้ortho (Orthophoto)

ขั้นตอนการสร้างภาพถ่ายตัดแก้ortho ทำโดยใช้การประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลขด้วยโปรแกรม Erdas IMAGINE OrthoBASE อีกครั้ง โดยการเรียกไฟล์ข้อมูลบล็อกของภาพถ่ายเชิงเลขที่ได้ทำการปรับแก้ขยับสามเหลี่ยมทางอากาศไปเรียบร้อยแล้วมาใช้ แล้วเลือกไปที่คำสั่งทำการ Ortho Resampling

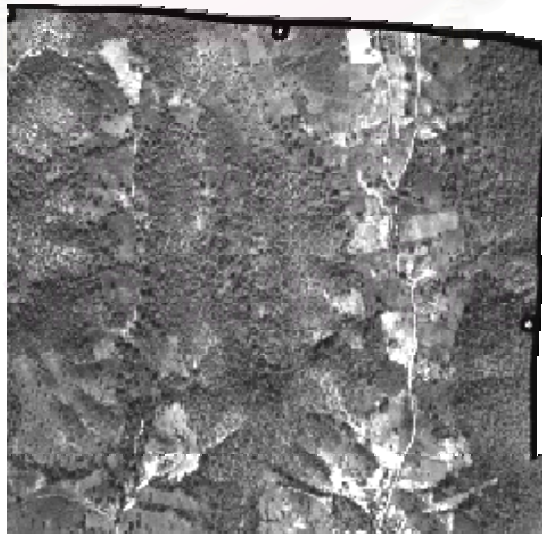
Row #	Image ID	Description	Image Name	Active	Pvr.	Int.	Ext.	Ortho	Online
1	1		e:/teerachai/m6000_25img/0041.img	X					
2	2		e:/teerachai/m6000_25img/0042.img	X					
3	3		e:/teerachai/m6000_25img/0043.img	X					
4	4		e:/teerachai/m6000_25img/0209.img	X					
5	5		e:/teerachai/m6000_25img/0210.img	X					
6	6		e:/teerachai/m6000_25img/0211.img	X					
7	7		e:/teerachai/m6000_25img/0212.img	X					

เมื่อเลือกคำสั่ง Ortho Resampling เรียบร้อยแล้ว จะปรากฏกล่องข้อความ เพื่อให้สร้างไฟล์ข้อมูลของภาพถ่ายตัดแก้ที่เป็นผลลัพธ์ , ให้ทำการนำเข้าไฟล์ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงที่ใช้เพื่อการแก้ค่าความสูงของภูมิประเทศ , เลือกวิธีการประมาณค่าของจุดภาพใหม่ที่จะใช้ , ขอบเขตบนบล็อกของภาพถ่ายที่จะทำการ Resampling , ความละเอียดของจุดภาพของภาพถ่ายตัดแก้orthoที่ต้องการ



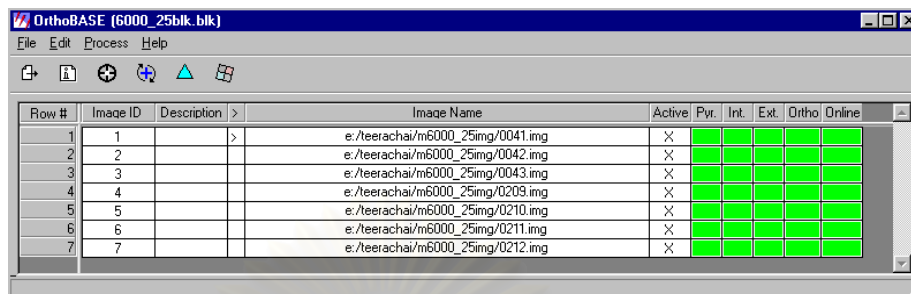
ภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000 สแกนที่ความละเอียด 25 ไมครอน มีความละเอียดบนพื้นดิน 15 cm. ดังนั้นความละเอียดของภาพถ่ายตัดแก้ortho จะถูกประมาณค่าใหม่ (Resampling) ให้มีความละเอียดของจุดภาพได้ไม่เกิน 15 cm.

ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ภาพถ่ายตัดแก้ortho (Orthophoto) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายลักษณะ เช่น เป็นชั้นข้อมูลภาพถ่ายตามแนวเส้นทางบนโปรแกรมช่วยเขียนแบบ ใช้ทำแผนที่การจัดกรรมสิทธิ์ที่ดินในเขตทาง



ภาพถ่ายตัดแก้ortho

กล่องข้อความบลิคของภาพถ่ายหลังจากทำ Ortho Resampling เรียบร้อยแล้ว ในช่องของ Ortho จะปรากฏเป็นสีเขียว

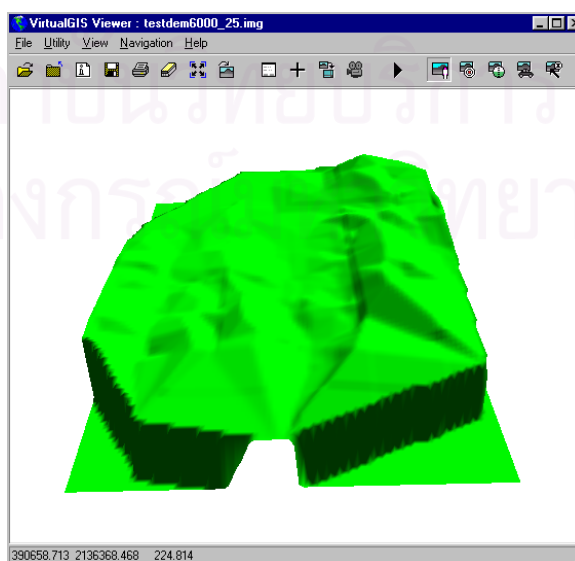


7. โปรแกรม Erdas IMAGINE VirtualGIS

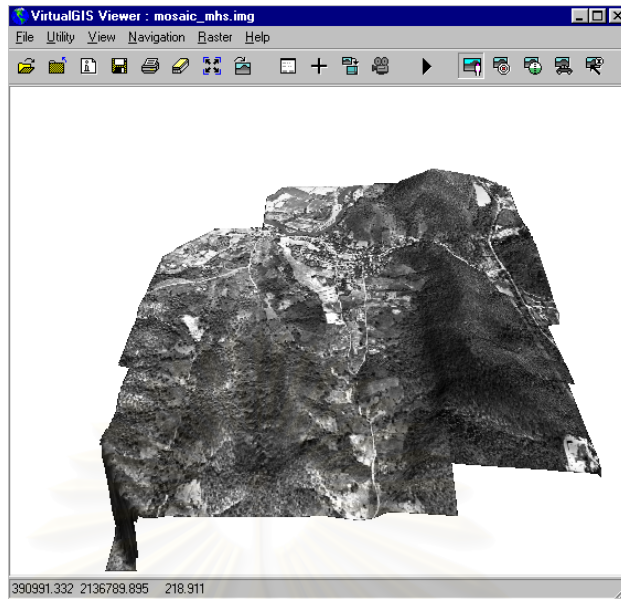
เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างและแสดงผลภาพในรูปแบบ 3 มิติ นอกจากนั้น ยังสามารถใช้เพื่อสร้างชั้นข้อมูล GIS เพิ่มเข้าไปบนภาพถ่ายได้อีกด้วย



ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Erdas IMAGINE VirtualGIS ในการตรวจสอบความถูกต้องของจุดที่ได้ทำการบันทึกเอาไว้และสร้างเป็นแบบจำลองระดับสูง โดยการแสดงผลแบบจำลองระดับสูงร่วมกับภาพถ่ายตัดแก้ออโท อาศัยสมมุติฐานที่ว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงของภูมิประเทศโดยฉับพลันนั้นไม่มี

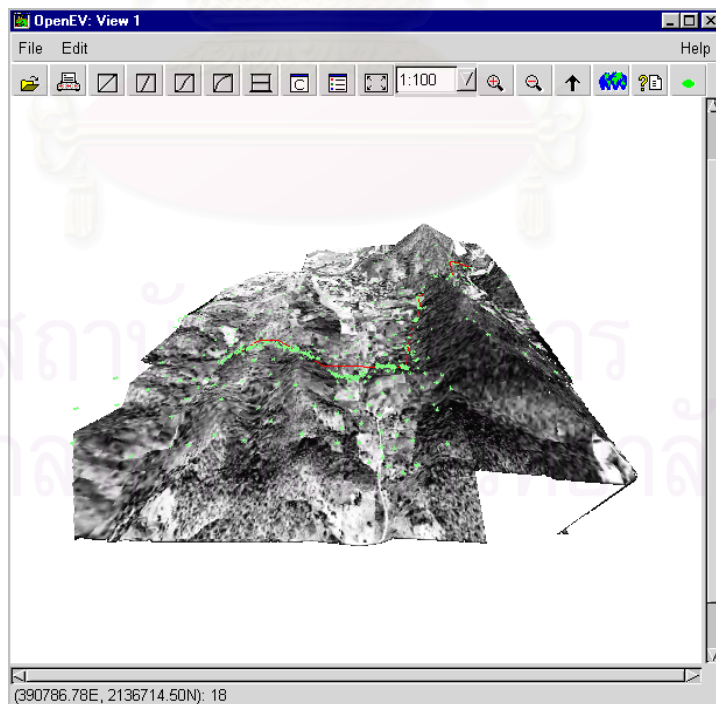


การแสดงผลแบบจำลองระดับสูง (Digital Elevation Model)



การแสดงผลแบบจำลองระดับสูงร่วมกับภาพถ่ายตัดแก้ออโท ในลักษณะของภาพ 3 มิติ

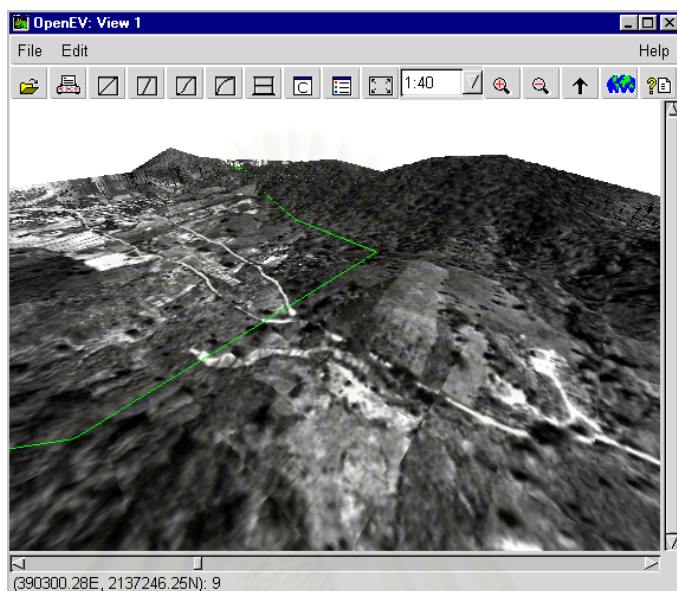
ขั้นตอนของการตรวจสอบก็คือ หลังจากการแสดงผลแบบจำลองระดับสูงร่วมกับภาพถ่ายตัดแก้ออโทแล้ว จึงนำเข้าจุดพิกัดที่บันทึกไว้และตรวจสอบจุดพิกัดด้วยสายตา เพื่อหาจุดที่มีการบันทึกค่าพิกัดผิดพลาด แล้วทำการลบจุดที่ผิดพลาดนั้นออกไป ข้อมูลของจุดพิกัดที่เหลืออยู่จะนำไปสร้างแบบจำลองระดับสูงอีกครั้ง



การนำเข้าจุดพิกัดและตรวจสอบจุดด้วยสายตา เพื่อลบจุดที่มีการบันทึกผิดพลาดออก

หมายเหตุ - การแสดงผลจุดพิกัด 3 มิติ บนแบบจำลองระดับสูงและภาพถ่ายตัดแก้ออโท ใช้โปรแกรม OpenEV ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี ใช้ในการแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตำแหน่งทั้งที่เป็นข้อมูล raster และ vector

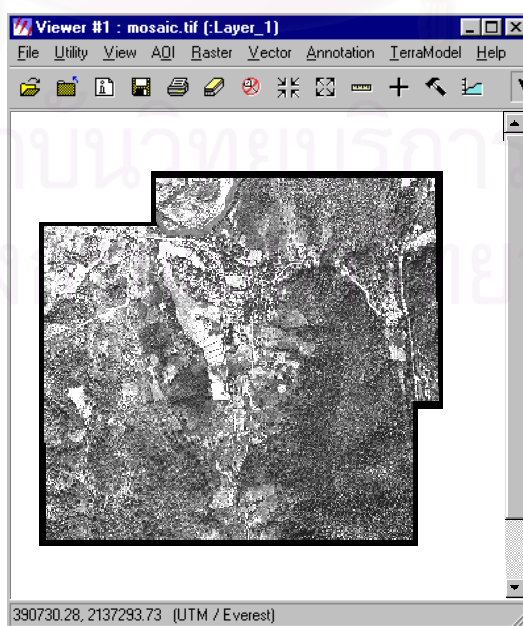
นอกจากนำเข้ามาและแสดงผลจุดพิกัดแล้ว สามารถนำเข้ามาและแสดงผลแนวเส้นทาง 3 มิติ ที่ได้ทำการบันทึกเอาไว้ได้อีกด้วย ซึ่งวิธีการแสดงผลนี้ใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกและวางแนว ทางได้เป็นอย่างดี โดยเป็นการแสดงผลในลักษณะของภาพ 3 มิติบนแบบจำลองระดับสูง



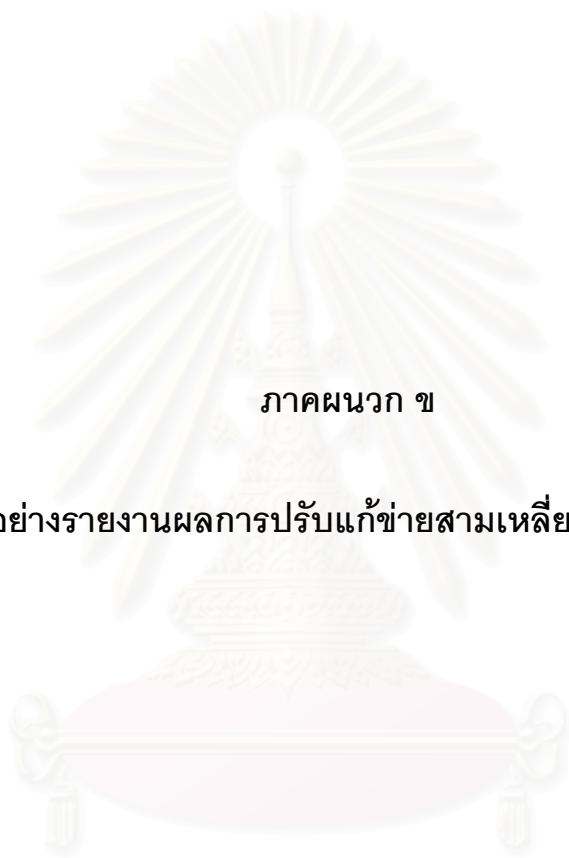
การแสดงผลแนวเส้นทางบนแบบจำลองระดับสูงและภาพถ่ายตัดแก้ออโท ในลักษณะของภาพ 3 มิติ

8. การต่อภาพ (Mosaic) จากภาพถ่ายตัดแก้ออโท

เมื่อได้ภาพถ่ายตัดแก้ออโทมาแล้ว จึงนำมาต่อภาพในบริเวณส่วนซ้อนทับเข้าด้วยกัน บนโปรแกรม Data Preparation โดยใช้ เทคนิค Image Matching



ภาพต่อชนิดไม่เห็นรอยต่อชน (Seamless Mosaic)



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างรายงานผลการปรับแก้ข้อสามเหลี่ยมทางอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:6000
ที่ความละเอียด 15 ไมครอน โดยวิธีการบันทึกจุดยึดด้วยมือ (Manual Tie Point)

The Triangulation Report With OrthoBASE

The output image x, y units: pixels

The output angle unit: degrees

The output ground X, Y, Z units: meters

The Input Image Coordinates

image ID = 1

Point ID	x	y
1	11479.375	14052.946
5	12504.643	7157.545
9	12900.130	9211.210
10	11733.703	5622.470
11	13149.999	5506.186
12	4862.290	8830.930
13	5127.633	5565.851
14	6585.930	5625.620
15	12001.994	1212.806
16	12610.039	3001.854
17	10333.490	3252.457
18	8195.513	1082.286
19	3687.992	1032.192
20	4752.418	3781.933
41	5113.094	13416.801

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
118.4773	0.000005	-0.015002	126.2251	-0.015002	-0.000004

image ID = 2

Point ID	x	y
4	10963.101	1565.955
5	12752.506	12466.929
6	13241.072	588.932
8	12460.256	3769.406
9	13128.161	14563.886
10	11995.563	10903.101
11	13419.099	10887.526
12	5079.138	14054.466
13	5382.849	10794.682
14	6842.731	10918.711
15	12311.451	6477.902
16	12901.860	8293.380
17	10618.403	8507.932
18	8503.793	6365.226
19	3996.374	6245.634
20	5027.224	8972.203
29	14585.741	3449.600
45	5830.211	2308.993
40	13141.617	1445.583

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
117.1453	0.000146	-0.015002	127.7074	-0.015000	-0.000146

image ID = 3

Point ID	x	y
4	11202.532	6708.163
6	13485.146	5722.970
8	12709.652	8924.232
17	10873.910	13689.098
18	8751.143	11596.053
15	12566.594	11644.190
16	13163.898	13482.635
19	4235.414	11462.046
20	5273.085	14157.653
45	6061.376	7489.452
73	14304.830	1971.217

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
117.6798	0.000078	-0.015001	127.4944	-0.014999	-0.000078

image ID = 4

Point ID	x	y
3	14099.552	16149.964
4	5461.731	15769.676
6	7754.419	14854.766
21	13807.858	13166.652
22	13815.086	14543.236
23	9863.108	14107.410
24	10324.647	12237.539
25	2878.521	15212.821
26	5806.311	13161.419
74	5642.273	9533.594
75	5617.531	9824.828
76	14829.304	10668.648
84	11258.135	14482.649
73	8555.975	11269.314

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-134.4539	-0.000087	0.015001	-128.0539	0.015001	0.000088

image ID = 5

Point ID	x	y
3	14062.991	11528.076
4	5424.616	11226.472
6	7718.714	10293.878
7	14790.769	14782.859
8	6870.106	13473.989
21	13765.913	8558.574
22	13776.032	9929.069
23	9826.850	9538.160
24	10284.275	7597.018
25	2833.047	10687.348
26	5763.810	8617.422
27	14678.781	15363.294
28	14347.007	12941.853

29	8938.368	13290.588
30	9065.068	15134.128
31	3190.041	14725.137
32	6888.453	16017.961
74	5590.200	4993.060
75	5566.153	5283.959
76	14780.122	6010.703
84	11221.928	9900.211

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-134.3380	0.000001	0.015000	-127.9791	0.015000	-0.000000

image ID = 6

Point ID	x	y
3	13881.853	6992.603
4	5240.368	6710.671
6	7541.500	5775.229
7	14600.386	10249.719
8	6684.200	8958.762
27	14487.297	10830.076
28	14162.045	8416.007
29	8755.436	8726.949
30	8878.134	10580.399
31	2990.131	10164.967
32	6697.018	11504.484
33	15450.279	16264.008
34	15274.974	13823.923
35	7315.985	16153.839
36	6169.649	12796.553
37	2393.321	13134.131
38	5764.285	15081.330
40	7406.758	6646.562

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-134.4123	0.000009	0.015000	-127.2622	0.015000	-0.000009

image ID = 7

Point ID	x	y
2	15245.329	15459.307
3	13906.861	2515.979
4	5262.808	2220.865
7	14607.897	5783.697
8	6689.529	4469.610
33	15425.004	11800.572
34	15263.296	9361.840
35	7270.891	11596.987
36	6147.691	8309.434
37	2371.866	8556.009
38	5726.140	10584.192

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-133.7560	-0.000093	0.015001	-126.9780	0.015002	0.000093

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 0.0903
 the maximal correction of the object points = 11.64194

the no. of iteration =2 the standard error = 0.0797
 the maximal correction of the object points = 0.40673

the no. of iteration =3 the standard error = 0.0797
 the maximal correction of the object points = 0.00014

The exterior orientation parameters

image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA
1	390415.2394	2136106.2706	2297.8761	0.0882	-0.5014	86.1036
2	390429.6522	2136640.0152	2297.0995	0.2499	-0.3628	86.2027
7	391051.1661	2136591.6293	2300.3516	-0.2659	0.1997	-92.0278
3	390442.7696	2137172.7572	2295.3906	0.2400	-0.2258	86.3278
6	391065.1705	2137059.0342	2299.1782	-0.4327	-0.0277	-92.0286
5	391079.9523	2137522.8713	2297.9550	-0.4027	0.2859	-92.1900
4	391098.1412	2137984.6686	2296.4390	-0.3304	0.5695	-92.3961

The accuracy of the exterior orientation parameters

image ID	mXs	mYs	mZs	mOMEGA	mPHI	mKAPPA
1	0.1412	0.0876	0.0258	0.0023	0.0038	0.0004
2	0.1135	0.0899	0.0260	0.0024	0.0030	0.0004
7	0.0930	0.0815	0.0223	0.0021	0.0025	0.0005
3	0.1768	0.1520	0.0346	0.0041	0.0047	0.0006
6	0.1126	0.1006	0.0236	0.0027	0.0030	0.0005
5	0.1140	0.1771	0.0458	0.0049	0.0030	0.0006
4	0.1156	0.2443	0.0931	0.0067	0.0029	0.0009

The interior orientation parameters of photos

image ID	f(mm)	xo(mm)	yo(mm)
1	305.5180	0.0000	0.0000
2	305.5180	0.0000	0.0000
7	305.5180	0.0000	0.0000
3	305.5180	0.0000	0.0000
6	305.5180	0.0000	0.0000
5	305.5180	0.0000	0.0000
4	305.5180	0.0000	0.0000

The residuals of the control points

Point ID	rX	rY	rZ
1	-0.0043	-0.0032	0.0004
2	-0.0006	-0.0034	0.0009
3	0.0018	0.0013	0.0026
4	0.0026	0.0090	0.0044
6	-0.0089	0.0015	-0.0026
7	-0.0073	0.0009	-0.0027
8	0.0073	-0.0004	-0.0026
41	0.0034	-0.0011	-0.0003
45	0.0057	-0.0048	-0.0002
5	0.0003	0.0004	

aX aY aZ

-0.0000	0.0000	-0.0000
mX	mY	mZ
0.0051	0.0036	0.0023

The coordinates of object points

Point ID	X	Y	Z	Overlap	
1	390702.4602	2135463.5681	226.6452	1	1
2	391718.5021	2135903.1476	233.7600	1	1
3	391624.1592	2137223.9291	216.5046	4	4
4	390740.1649	2137286.2311	199.9330	6	6
6	390980.5364	2137373.5749	202.0043	5	5
7	391686.0590	2136888.4914	217.4880	3	3
8	390880.6327	2137049.5685	204.2224	5	5
41	390066.3470	2135571.8759	232.4092	1	1
45	390207.9727	2137236.8429	206.0150	2	2
5	390856.9458	2136157.0167	215.3774	2	2
9	390880.1979	2135945.3774	228.3077	2	2
10	390789.9615	2136319.9351	208.4747	2	2
11	390927.6632	2136318.5629	243.1415	2	2
12	390064.3165	2136038.9496	208.6788	2	2
13	390114.4740	2136370.4207	212.4484	2	2
14	390264.2466	2136352.0035	232.4413	2	2
15	390849.1895	2136771.8109	204.6481	3	3
16	390897.5436	2136582.0598	211.9742	3	3
17	390663.1502	2136573.1805	205.4855	3	3
18	390458.3800	2136803.7208	225.1648	3	3
19	389999.1542	2136842.6895	213.2243	3	3
20	390086.4590	2136557.9129	199.3079	3	3
29	391094.0718	2137065.6389	227.3686	3	3
40	390963.7107	2137283.9762	207.7106	2	2
73	391076.7928	2137744.4967	238.6509	2	2
21	391606.5839	2137528.2265	209.8976	2	2
22	391601.6854	2137388.1235	213.1490	2	2
23	391200.4269	2137443.0217	200.6239	2	2
24	391252.4639	2137639.1345	231.0076	2	2
25	390474.0027	2137351.7504	196.9319	2	2
26	390785.2109	2137553.8797	196.3756	2	2
74	390781.0971	2137929.1773	190.0275	2	2
75	390777.5171	2137899.1384	190.6577	2	2
76	391713.4903	2137782.1023	229.8766	2	2
84	391342.0866	2137400.4830	203.9995	2	2
27	391672.4098	2136829.5739	217.7480	2	2
28	391648.8172	2137077.5631	213.0864	2	2
30	391099.8208	2136876.4574	225.0017	2	2
31	390501.9629	2136940.4231	225.0620	2	2
32	390872.5936	2136787.9517	206.9418	2	2
33	391748.2806	2136273.5284	229.8017	2	2
34	391740.7684	2136521.5467	223.6121	2	2
35	390921.3337	2136319.9265	243.8818	2	2
36	390813.2326	2136656.5087	204.5681	2	2
37	390432.5003	2136641.8073	234.3792	2	2
38	390763.6390	2136424.0991	210.3022	2	2

The total object points = 46

The accuracy of object points

Point ID	mX	mY	mZ	mP	Overlap
1	0.0071	0.0074	0.0079	0.0130	1

2	0.0076	0.0077	0.0079	0.0134	1
3	0.0064	0.0057	0.0078	0.0115	4
4	0.0052	0.0051	0.0074	0.0104	6
6	0.0054	0.0052	0.0075	0.0106	5
7	0.0061	0.0058	0.0077	0.0114	3
8	0.0048	0.0049	0.0075	0.0101	5
41	0.0073	0.0073	0.0079	0.0130	1
45	0.0065	0.0067	0.0079	0.0123	2
5	0.0071	0.0067	0.0494	0.0504	2
9	0.0164	0.0157	0.0795	0.0827	2
10	0.0125	0.0088	0.0643	0.0661	2
11	0.0160	0.0093	0.0637	0.0663	2
12	0.0148	0.0140	0.0809	0.0834	2
13	0.0130	0.0103	0.0696	0.0715	2
14	0.0102	0.0100	0.0646	0.0661	2
15	0.0102	0.0073	0.0490	0.0506	3
16	0.0113	0.0077	0.0529	0.0546	3
17	0.0085	0.0075	0.0470	0.0484	3
18	0.0081	0.0079	0.0434	0.0449	3
19	0.0132	0.0102	0.0614	0.0636	3
20	0.0114	0.0092	0.0587	0.0605	3
29	0.0073	0.0066	0.0263	0.0281	3
40	0.0085	0.0105	0.0371	0.0395	2
73	0.0128	0.0127	0.0486	0.0519	2
21	0.0203	0.0112	0.0742	0.0777	2
22	0.0195	0.0136	0.0672	0.0712	2
23	0.0098	0.0116	0.0631	0.0649	2
24	0.0130	0.0091	0.0773	0.0789	2
25	0.0234	0.0157	0.0709	0.0763	2
26	0.0132	0.0111	0.0691	0.0712	2
74	0.0159	0.0153	0.0877	0.0905	2
75	0.0157	0.0146	0.0863	0.0889	2
76	0.0256	0.0118	0.0947	0.0988	2
84	0.0122	0.0125	0.0628	0.0652	2
27	0.0204	0.0160	0.0657	0.0707	2
28	0.0188	0.0099	0.0605	0.0641	2
30	0.0079	0.0140	0.0603	0.0624	2
31	0.0216	0.0151	0.0716	0.0763	2
32	0.0101	0.0179	0.0751	0.0778	2
33	0.0266	0.0199	0.0798	0.0864	2
34	0.0240	0.0125	0.0693	0.0744	2
35	0.0108	0.0206	0.0788	0.0821	2
36	0.0112	0.0113	0.0704	0.0721	2
37	0.0248	0.0140	0.0838	0.0885	2
38	0.0135	0.0178	0.0816	0.0846	2

amX amY amZ
0.0130 0.0110 0.0547

The residuals of image points

Point	Image	Vx	Vy
1	1	0.041	-0.036

Point	Image	Vx	Vy
2	7	0.005	-0.034

Point	Image	Vx	Vy
3	7	0.099	0.052
3	6	-0.069	0.028
3	5	-0.050	-0.092
3	4	0.001	0.026

Point	Image	Vx	Vy
4	2	0.015	0.045
4	7	0.005	0.076
4	3	0.057	-0.046
4	6	-0.047	0.075
4	5	0.020	0.032
4	4	-0.073	-0.090

Point	Image	Vx	Vy
6	2	0.032	-0.023
6	3	0.029	0.060
6	6	-0.015	-0.048
6	5	0.025	0.008
6	4	0.022	0.013

Point	Image	Vx	Vy
7	7	-0.045	-0.028
7	6	0.082	0.041
7	5	0.038	-0.007

Point	Image	Vx	Vy
8	2	0.070	0.057
8	7	-0.077	-0.065
8	3	-0.036	0.065
8	6	-0.023	-0.086
8	5	-0.007	0.027

Point	Image	Vx	Vy
41	1	-0.035	-0.009

Point	Image	Vx	Vy
45	2	-0.022	0.025
45	3	-0.039	-0.072

Point	Image	Vx	Vy
5	1	0.026	0.000
5	2	-0.029	0.004

Point	Image	Vx	Vy
9	1	-0.022	0.001
9	2	0.022	-0.001

Point	Image	Vx	Vy
10	1	-0.047	0.002
10	2	0.047	-0.001

Point	Image	Vx	Vy
11	1	0.046	-0.002
11	2	-0.046	0.001

Point	Image	Vx	Vy
-------	-------	----	----

12	1	-0.032	0.001
12	2	0.032	-0.001
Point	Image	Vx	Vy
13	1	0.022	-0.001
13	2	-0.022	0.001
Point	Image	Vx	Vy
14	1	0.049	-0.002
14	2	-0.049	0.001
Point	Image	Vx	Vy
15	1	0.072	0.021
15	2	-0.087	-0.045
15	3	0.015	0.023
Point	Image	Vx	Vy
16	1	0.009	-0.025
16	2	0.055	0.046
16	3	-0.064	-0.022
Point	Image	Vx	Vy
17	1	-0.056	0.036
17	2	0.018	-0.067
17	3	0.039	0.032
Point	Image	Vx	Vy
18	1	-0.060	0.014
18	2	0.047	-0.024
18	3	0.013	0.011
Point	Image	Vx	Vy
19	1	0.015	-0.014
19	2	-0.064	0.029
19	3	0.049	-0.015
Point	Image	Vx	Vy
20	1	-0.030	0.014
20	2	0.024	-0.027
20	3	0.007	0.013
Point	Image	Vx	Vy
29	2	-0.041	-0.022
29	6	0.099	-0.009
29	5	-0.059	0.032
Point	Image	Vx	Vy
40	2	0.001	0.001
40	6	-0.001	-0.001
Point	Image	Vx	Vy
73	3	-0.068	-0.048
73	4	0.067	0.050
Point	Image	Vx	Vy
21	5	-0.035	-0.000
21	4	0.035	0.000

Point	Image	Vx	Vy
22	5	-0.099	-0.000
22	4	0.099	0.000

Point	Image	Vx	Vy
23	5	-0.052	-0.000
23	4	0.052	0.000

Point	Image	Vx	Vy
24	5	-0.026	-0.000
24	4	0.026	0.000

Point	Image	Vx	Vy
25	5	0.014	-0.000
25	4	-0.014	-0.000

Point	Image	Vx	Vy
26	5	-0.101	-0.000
26	4	0.101	0.000

Point	Image	Vx	Vy
74	5	0.068	0.000
74	4	-0.068	-0.000

Point	Image	Vx	Vy
75	5	0.048	0.000
75	4	-0.048	-0.000

Point	Image	Vx	Vy
76	5	0.110	0.000
76	4	-0.110	-0.000

Point	Image	Vx	Vy
84	5	0.092	0.000
84	4	-0.092	-0.000

Point	Image	Vx	Vy
27	6	0.014	-0.000
27	5	-0.014	0.000

Point	Image	Vx	Vy
28	6	-0.026	0.000
28	5	0.026	-0.000

Point	Image	Vx	Vy
30	6	0.048	-0.000
30	5	-0.048	0.000

Point	Image	Vx	Vy
31	6	0.035	-0.000
31	5	-0.035	0.000

Point	Image	Vx	Vy
32	6	-0.087	0.000
32	5	0.087	-0.001

Point	Image	Vx	Vy
33	7	-0.010	-0.000
33	6	0.011	-0.000

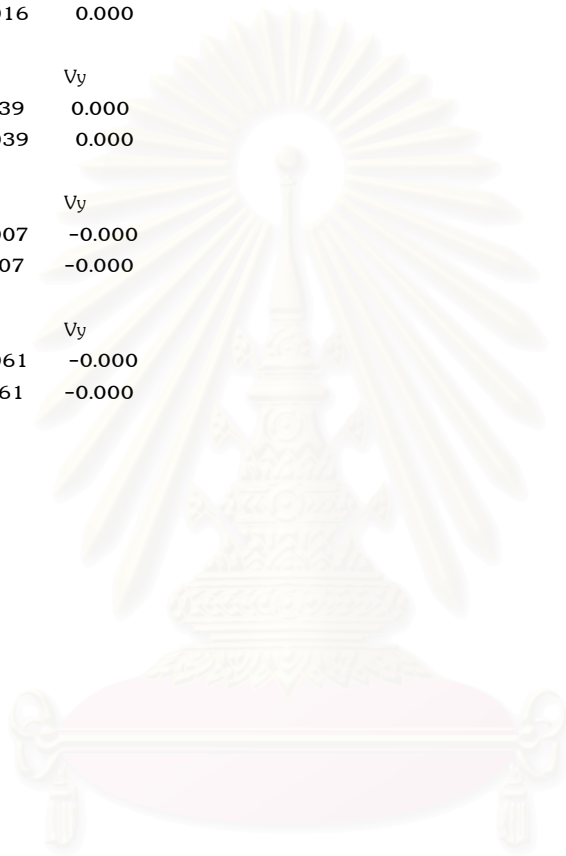
Point	Image	Vx	Vy
34	7	0.036	0.000
34	6	-0.036	0.000

Point	Image	Vx	Vy
35	7	0.016	0.000
35	6	-0.016	0.000

Point	Image	Vx	Vy
36	7	0.039	0.000
36	6	-0.039	0.000

Point	Image	Vx	Vy
37	7	-0.007	-0.000
37	6	0.007	-0.000

Point	Image	Vx	Vy
38	7	-0.061	-0.000
38	6	0.061	-0.000



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการปรับแก้ภาพถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ บนภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15000
ที่ความละเอียด 15 ไมครอน โดยวิธีการบันทึกจุดยึดด้วยมือ (Manual Tie Point)

The Triangulation Report With OrthoBASE

The output image x, y units: pixels

The output angle unit: degrees

The output ground X, Y, Z units: meters

The Input Image Coordinates

image ID = 1

Point ID	x	y
2	11207.288	11669.076
3	11772.282	3714.348
5	7492.320	9779.794
6	7747.043	2073.186
7	8766.403	1698.743
8	11515.853	2287.372
9	11903.920	7926.492
11	11134.782	9085.833
12	10703.688	10463.786
13	7628.312	10190.970
14	6441.655	10609.105
15	4886.871	9776.560
16	4932.150	8507.045
65	6055.928	12305.345
1	4769.567	9286.899

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-126.5772	0.015002	0.000018	134.5118	0.000016	-0.015005

image ID = 2

Point ID	x	y
3	11655.954	9367.476
5	7406.402	15482.387
6	7609.042	7661.795
7	8630.794	7291.141
8	11391.981	7926.748
9	11807.792	13639.352
11	11045.027	14815.851
12	10621.662	16228.263
13	7545.489	15890.275
14	6360.015	16301.157
15	4793.036	15513.498
16	4828.678	14186.398

17	10453.763	1962.833
18	11870.645	5045.992
19	8632.085	2448.469
20	6041.838	2310.801
21	8384.458	3965.300
22	2679.792	5848.943
23	6858.666	4795.876
1	4671.064	15006.966

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-128.2823	0.015000	0.000143	134.0248	0.000141	-0.015004

image ID = 3

Point ID	x	y
3	11427.128	14899.918
6	7385.532	13189.853
7	8405.283	12817.567
8	11157.612	13467.359
10	9791.547	2784.883
17	10191.000	7464.000
18	11616.454	10640.863
19	8373.612	7951.536
20	5768.546	7838.337
21	8135.998	9471.975
22	2394.989	11411.431
23	6610.906	10312.451

Affine coefficients from file (pixels) to film (millimeters)

A0	A1	A2	B0	B1	B2
-126.0841	0.015001	-0.000036	135.6415	-0.000037	-0.015004

THE OUTPUT OF SELF-CALIBRATING BUNDLE BLOCK ADJUSTMENT

the no. of iteration =1 the standard error = 0.0685
the maximal correction of the object points = 0.12796

the no. of iteration =2 the standard error = 0.0685
the maximal correction of the object points = 0.00005

The exterior orientation parameters

image ID	Xs	Ys	Zs	OMEGA	PHI	KAPPA	
1	390954.2265	2135634.9859	2580.2699	0.4526	0.8782	0.5070	
2	390968.8271	2136961.6831	2580.9180	0.1711	0.6188	-0.3475	
3	390981.2135	2138271.4657	2581.6317	-0.0954	-0.1765	-0.0556	

The accuracy of the exterior orientation parameters

image ID	mXs	mYs	mZs	mOMEGA	mPHI	mKAPPA
1	0.0935	0.0745	0.0327	0.0016	0.0022	0.0004
2	0.1234	0.0707	0.0312	0.0016	0.0029	0.0004
3	0.1117	0.1051	0.0291	0.0020	0.0026	0.0005

The interior orientation parameters of photos

image ID	f(mm)	xo(mm)	yo(mm)
----------	-------	--------	--------

1	151.8300	-0.0020	0.0050
2	151.8300	-0.0020	0.0050
3	151.8300	-0.0020	0.0050

The residuals of the control points

Point ID	rX	rY	rZ
2	-0.0009	0.0111	-0.0030
3	-0.0143	-0.0096	-0.0008
6	0.0175	0.0134	-0.0029
8	0.0203	-0.0095	0.0044
10	-0.0129	0.0025	-0.0003
65	-0.0093	-0.0009	0.0026
1	-0.0004	-0.0070	

aX	aY	aZ
0.0000	0.0000	-0.0000
mX	mY	mZ
0.0130	0.0088	0.0027

The residuals of the check points

Point ID	rX	rY	rZ
7	-0.0069	0.0598	0.0122
5	0.0243	0.0109	0.0564
9	0.0409	-0.0088	0.0714

aX	aY	aZ
0.0194	0.0207	0.0467
mX	mY	mZ
0.0278	0.0355	0.0530

The coordinates of object points

Point ID	X	Y	Z	Overlap
2	391561.1626	2135042.4712	249.4293	1
3	391686.0520	2136888.4809	217.4899	3
6	390740.1799	2137286.2356	199.9257	3
8	391624.1777	2137223.9184	216.5064	3
10	391312.3730	2139723.6564	214.8074	1
65	390375.1889	2134873.6957	231.4359	1
1	390066.3431	2135571.8700	233.7559	2
7	390980.5385	2137373.6332	202.0191	3
5	390702.4888	2135463.5823	226.7012	2
9	391718.5436	2135903.1422	233.8305	2
11	391542.3421	2135633.6710	239.6563	2
12	391443.3085	2135317.1450	252.7017	2
13	390735.0441	2135368.1259	224.9742	2
14	390458.2673	2135266.8315	220.9894	2
15	390097.5801	2135458.5329	239.8443	2
16	390096.5789	2135754.8858	218.4905	2
17	391406.0226	2138632.9439	194.4969	2
18	391727.5032	2137888.4372	235.4376	2
19	390976.9083	2138519.1672	195.3868	2
20	390366.4149	2138546.4232	206.8550	2
21	390919.6775	2138160.8284	194.6990	2
22	389573.4813	2137711.6680	206.7808	2
23	390559.7796	2137964.1227	196.3068	2

The total object points = 23

The accuracy of object points

Point ID	mX	mY	mZ	mP	Overlap
2	0.0145	0.0141	0.0162	0.0259	1
3	0.0116	0.0116	0.0149	0.0222	3
6	0.0115	0.0123	0.0161	0.0233	3
8	0.0116	0.0118	0.0146	0.0220	3
10	0.0155	0.0163	0.0164	0.0279	1
65	0.0148	0.0144	0.0163	0.0263	1
1	0.0143	0.0137	0.0652	0.0682	2
7	0.0135	0.0158	0.0295	0.0361	3
5	0.0168	0.0240	0.0715	0.0773	2
9	0.0231	0.0189	0.0696	0.0757	2
11	0.0210	0.0218	0.0743	0.0803	2
12	0.0208	0.0276	0.0828	0.0898	2
13	0.0168	0.0255	0.0734	0.0795	2
14	0.0199	0.0276	0.0785	0.0856	2
15	0.0260	0.0251	0.0825	0.0901	2
16	0.0250	0.0206	0.0775	0.0840	2
17	0.0215	0.0349	0.0808	0.0906	2
18	0.0250	0.0228	0.0616	0.0703	2
19	0.0176	0.0346	0.0738	0.0834	2
20	0.0242	0.0380	0.0824	0.0939	2
21	0.0168	0.0291	0.0636	0.0719	2
22	0.0500	0.0259	0.0898	0.1059	2
23	0.0207	0.0265	0.0648	0.0730	2

amX	amY	amZ
0.0197	0.0223	0.0572

The residuals of image points

Point	Image	Vx	Vy
2	1	0.003	0.044

Point	Image	Vx	Vy
3	1	0.040	0.008
3	2	0.012	-0.031
3	3	0.006	-0.016

Point	Image	Vx	Vy
6	1	0.032	-0.007
6	2	-0.043	0.047
6	3	-0.061	0.015

Point	Image	Vx	Vy
8	1	-0.066	-0.011
8	2	-0.058	-0.021
8	3	0.042	-0.008

Point	Image	Vx	Vy
10	3	0.052	0.010

Point	Image	Vx	Vy
65	1	0.038	-0.003

Point	Image	Vx	Vy
1	1	-0.105	-0.033

1	2	0.106	0.004
Point	Image	Vx	Vy
7	1	-0.005	-0.001
7	2	-0.024	0.002
7	3	0.029	-0.001
Point	Image	Vx	Vy
5	1	0.001	0.000
5	2	-0.001	-0.000
Point	Image	Vx	Vy
9	1	0.025	0.000
9	2	-0.025	-0.000
Point	Image	Vx	Vy
11	1	-0.087	-0.002
11	2	0.087	0.001
Point	Image	Vx	Vy
12	1	0.035	0.001
12	2	-0.035	-0.000
Point	Image	Vx	Vy
13	1	-0.029	-0.001
13	2	0.029	0.000
Point	Image	Vx	Vy
14	1	0.052	0.001
14	2	-0.051	-0.001
Point	Image	Vx	Vy
15	1	0.049	0.001
15	2	-0.048	-0.001
Point	Image	Vx	Vy
16	1	0.018	0.000
16	2	-0.018	-0.000
Point	Image	Vx	Vy
17	2	0.050	0.001
17	3	-0.050	-0.000
Point	Image	Vx	Vy
18	2	0.011	0.000
18	3	-0.011	-0.000
Point	Image	Vx	Vy
19	2	0.006	0.000
19	3	-0.006	-0.000
Point	Image	Vx	Vy
20	2	0.046	0.001
20	3	-0.045	-0.000
Point	Image	Vx	Vy
21	2	-0.026	-0.000

21 3 0.025 0.000

Point	Image	Vx	Vy
22	2	-0.022	-0.000
22	3	0.022	0.000

Point	Image	Vx	Vy
23	2	0.003	0.000
23	3	-0.003	-0.000

ภาคผนวก ค

ค่าพิกัดจุดบนพื้นดินที่บันทึกจากภาพคู่ซ้อน ที่มาตราส่วน 1:6000
ความละเอียด 25 ไมครอน เพื่อสร้างแบบจำลองระดับสูง

ตารางแสดงผลการบันทึกค่าจุดพิกัดบนพื้นดินจากภาพคู่ซ้อน

No.	X	Y	Z	No.	X	Y	Z
1	391624.1574	2137223.9279	216.5020	345	390410.7857	2136610.6119	223.8383
2	390740.1624	2137286.2222	199.9286	346	390383.6417	2136645.6325	220.5931
3	390980.5453	2137373.5734	202.0069	347	390387.2719	2136644.1486	220.4737
4	391686.0663	2136888.4905	217.4907	348	390380.4203	2136629.1161	217.5799
5	390880.6254	2137049.5689	204.2251	349	390396.7895	2136626.8447	221.0133
6	390207.9670	2137236.8478	206.0152	350	390398.3418	2136617.0636	220.1817
7	391718.5027	2135903.1510	233.7591	351	390392.0595	2136604.1799	217.8553
8	390702.4645	2135463.5714	226.6448	352	390425.1165	2136610.0614	227.0497
9	390066.3436	2135571.8770	232.4095	353	390375.3722	2136659.1907	220.5273
10	390856.9455	2136157.0164	212.7017	354	390333.4543	2136681.3202	212.7489
11	391654.1770	2137643.6263	215.3969	355	390335.0170	2136676.9231	212.4693
12	391656.2958	2137648.5889	215.1700	356	390341.6977	2136656.3070	210.4647
13	391625.0317	2137654.6043	215.0268	357	390362.4743	2136667.5631	217.7711
14	391594.2496	2137639.3989	215.5003	358	390363.2093	2136639.0368	213.3565
15	391616.4245	2137651.1985	215.4059	359	390350.8823	2136655.5025	212.1673
16	391606.3541	2137649.2272	212.9494	360	390312.6940	2136685.7086	212.1794
17	391583.8910	2137665.7595	233.2473	361	390290.2753	2136689.5593	209.7346
18	391584.6028	2137660.3666	231.2331	362	390285.8532	2136694.0053	209.9360
19	391561.4358	2137674.0984	225.4708	363	390281.1081	2136698.1282	210.4168
20	391550.0536	2137676.1992	224.4538	364	390256.2429	2136644.5268	204.3784
21	391543.5145	2137668.7922	241.5518	365	390271.3080	2136710.0024	202.7292
22	391545.0836	2137680.1581	225.3548	366	390265.2735	2136703.6836	202.3132
23	391554.5904	2137678.4361	225.5105	367	390261.1551	2136697.4536	201.3288

24	391560.9806	2137668.4701	224.1020	368	390243.3998	2136673.8432	199.2870
25	391621.4262	2137655.4861	213.9568	369	390254.7688	2136713.9188	205.5688
26	391608.0204	2137654.0893	215.5326	370	390255.9409	2136719.0365	205.7557
27	391533.8015	2137684.4590	225.1524	371	390258.0039	2136731.8697	207.8210
28	391534.2652	2137677.6123	224.9227	372	390236.0270	2136691.5967	202.2409
29	391537.9445	2137673.0870	224.0338	373	390300.8663	2136741.2747	208.4263
30	391532.4182	2137681.1612	225.6625	374	390267.3515	2136787.0395	217.5610
31	391616.2717	2137656.1818	209.5438	375	390232.4346	2136762.8794	213.6768
32	391527.6949	2137679.9559	225.5890	376	390239.8505	2136752.0984	210.0147
33	391528.4929	2137684.5661	225.8360	377	390230.7604	2136747.4411	210.7215
34	391524.1793	2137679.9766	226.2312	378	390217.8663	2136723.7414	205.4202
35	391518.1403	2137681.0252	228.1548	379	390218.5461	2136728.0118	207.4482
36	391512.7163	2137679.8729	228.2069	380	390204.8827	2136702.6875	200.1305
37	391518.8303	2137684.9774	227.7898	381	390227.0704	2136682.4164	199.5257
38	391510.5508	2137683.4097	229.0703	382	390202.7736	2136698.0256	197.7711
39	391505.5366	2137685.2627	229.6545	383	390202.9823	2136695.3250	196.9534
40	391502.9052	2137686.3810	229.7655	384	390199.5145	2136695.7852	196.7194
41	391499.1160	2137687.7746	231.1542	385	390196.2065	2136697.3042	196.1844
42	391505.2788	2137688.8273	230.8838	386	390197.4919	2136693.7966	197.1537
43	391514.9267	2137684.4163	228.1365	387	390197.7601	2136690.8184	197.3798
44	391507.6633	2137686.6741	229.6490	388	390194.4410	2136692.5279	197.6182
45	391506.0761	2137683.3638	229.7345	389	390193.4002	2136685.6232	198.1477
46	391500.6499	2137689.5907	231.0492	390	390192.1707	2136690.4346	197.6899
47	391499.0365	2137684.3419	230.6621	391	390198.1860	2136681.1960	198.1883
48	391500.6595	2137679.8599	229.6499	392	390190.6221	2136683.0983	197.9020
49	391501.8965	2137682.9589	230.0725	393	390188.0775	2136690.4293	197.7793
50	391499.1044	2137660.6125	226.8612	394	390183.7460	2136681.0729	197.5555
51	391502.8238	2137663.5017	226.4712	395	390187.7607	2136675.9407	198.1745
52	391495.9711	2137666.7736	239.9761	396	390180.3514	2136683.4588	197.4647
53	391502.5240	2137655.7728	225.5518	397	390180.7501	2136676.0693	198.5000
54	391498.8411	2137656.0867	226.1114	398	390175.6824	2136672.4551	197.5506
55	391493.3028	2137639.2151	224.0808	399	390173.7775	2136676.3275	197.2010
56	391498.7253	2137646.0757	224.9217	400	390177.2095	2136659.3650	201.6179
57	391497.2018	2137649.9928	225.5308	401	390192.4539	2136633.3326	207.8160
58	391567.3690	2137666.9245	223.4101	402	390184.9644	2136643.8507	205.7276
59	391552.7481	2137670.1936	224.0885	403	390142.3632	2136683.7660	200.1704
60	391528.1906	2137675.9328	225.5746	404	390142.0303	2136695.6575	199.2091
61	391495.7739	2137682.1920	230.7895	405	390141.0659	2136655.8331	200.1423
62	391498.1915	2137631.0998	222.8340	406	390143.2391	2136660.9717	200.6478
63	391493.2722	2137632.1761	223.0015	407	390133.2377	2136665.1986	200.4221
64	391497.5943	2137607.9643	219.3376	408	390156.1230	2136654.8362	200.2947
65	391494.5227	2137612.1914	220.6919	409	390154.3407	2136651.7113	199.9299
66	391481.9460	2137578.0875	213.8432	410	390142.3030	2136637.7135	198.8841
67	391492.1845	2137565.1436	210.8105	411	390140.6538	2136612.7596	201.4670
68	391483.4902	2137552.5570	208.2567	412	390136.9232	2136620.9883	201.2256
69	391485.0938	2137565.1167	211.5249	413	390121.4201	2136632.4018	200.8426
70	391484.3028	2137525.8387	200.5633	414	390132.9681	2136637.6104	201.2258
71	391483.1850	2137511.2484	205.3825	415	390144.3292	2136632.5022	199.7421
72	391479.4499	2137514.4348	203.9865	416	390124.7187	2136623.8571	201.3603
73	391478.1474	2137528.1861	207.8776	417	390100.7787	2136611.9059	199.8572
74	391478.2544	2137501.7444	207.4667	418	390096.4151	2136586.1382	200.1105

75	391476.7419	2137504.1890	207.4005	419	390100.0589	2136591.9958	200.7688
76	391480.4428	2137499.5617	208.2248	420	390097.2405	2136600.2000	200.6458
77	391478.6413	2137494.3936	209.6314	421	390100.4659	2136603.8530	200.1656
78	391476.7211	2137491.6833	210.1067	422	390085.3623	2136573.3320	199.6598
79	391471.3012	2137495.4958	209.8371	423	390085.9472	2136556.6208	200.2745
80	391475.5576	2137495.8963	210.8418	424	390083.0673	2136556.4613	200.4525
81	391472.2272	2137483.6469	214.6480	425	390080.2832	2136554.7277	200.4368
82	391472.2991	2137480.2441	215.1340	426	390079.1781	2136546.5617	200.4035
83	391473.6154	2137482.2372	214.2383	427	390077.4572	2136550.9503	200.2502
84	391473.6946	2137478.8187	215.8928	428	390079.9319	2136551.1787	200.3906
85	391470.2736	2137469.2321	219.5284	429	390091.7751	2136577.4827	201.7235
86	391471.4441	2137466.7219	219.7968	430	390078.6512	2136568.4665	200.4854
87	391470.0544	2137465.0901	220.5308	431	390077.4052	2136533.1897	200.2141
88	391467.6156	2137467.1257	220.5311	432	390047.9748	2136591.7930	202.7064
89	391467.8993	2137457.6006	223.9167	433	390060.2670	2136542.8850	203.6129
90	391466.3741	2137457.5509	223.9584	434	389978.4618	2135969.6066	232.9522
91	391456.2829	2137445.3611	229.7396	435	389850.5491	2135959.9858	283.6050
92	391452.3764	2137445.4024	229.3675	436	390025.6451	2136154.3985	225.9404
93	391450.7761	2137440.8216	229.4129	437	389790.1909	2136197.3389	235.6338
94	391449.4392	2137442.3990	228.9741	438	389889.2171	2136269.6113	244.2120
95	391443.2205	2137436.9222	229.9132	439	389753.7032	2136299.7371	262.3141
96	391444.3011	2137433.3824	229.4624	440	389899.4537	2136376.9185	232.5962
97	391440.8114	2137434.8126	229.8856	441	390033.7723	2136261.6268	218.0278
98	391446.2758	2137440.5402	229.0971	442	389958.5589	2136369.6030	222.1438
99	391450.2565	2137448.1539	228.7072	443	389712.4180	2136130.1038	265.3477
100	391432.6560	2137425.0628	228.5347	444	390061.3441	2136034.4196	208.1964
101	391431.3826	2137420.5146	228.1906	445	390175.0366	2136000.2944	245.4388
102	391435.0079	2137418.7514	228.6846	446	390289.6258	2136001.9746	273.7102
103	391429.7667	2137418.1959	227.4996	447	390255.6553	2136166.4628	273.3139
104	391428.9387	2137420.7944	226.9145	448	390210.5247	2136283.6047	249.3439
105	391433.3826	2137417.1499	228.2332	449	390109.7811	2136366.4219	209.6794
106	391422.4437	2137410.1489	225.0282	450	390041.9052	2136346.5575	209.6181
107	391424.4540	2137405.3954	225.0647	451	390050.3895	2136419.5338	201.4910
108	391414.7599	2137402.7884	221.8122	452	390259.1070	2136343.9704	233.4590
109	391413.2130	2137398.8864	221.2395	453	390259.8316	2136515.3088	220.9845
110	391411.7141	2137396.7157	220.2913	454	390212.7287	2136626.8234	211.2032
111	391413.9954	2137394.6818	220.7636	455	389971.2714	2136485.9825	212.5482
112	391410.9205	2137389.5613	218.8350	456	389993.2808	2136414.2531	204.3990
113	391406.7939	2137389.3952	217.4608	457	390050.2458	2136480.7550	202.8906
114	391408.4292	2137387.0502	217.4240	458	389941.4771	2136585.6423	215.8241
115	391412.9397	2137393.0349	219.9637	459	389979.7347	2136575.1130	211.2283
116	391405.5946	2137385.4232	215.6756	460	389835.3825	2136470.5419	231.9119
117	391402.3721	2137381.1654	213.5707	461	389781.7238	2136575.3652	235.3211
118	391403.0235	2137379.7794	213.5358	462	390024.0877	2136631.7701	205.5200
119	391406.8146	2137383.8084	215.7445	463	389891.1422	2136649.8511	235.4745
120	391399.4797	2137376.5670	211.4709	464	390193.5973	2136562.6430	222.5200
121	391401.1975	2137377.3148	212.3580	465	390065.2282	2136631.7199	199.7006
122	391397.4858	2137375.1065	210.4617	466	390077.7707	2136689.8769	200.4696
123	391388.5050	2137361.0582	204.1036	467	390073.8150	2136753.1552	195.1087
124	391390.3281	2137359.1671	203.6189	468	389993.0337	2136826.8525	214.3895
125	391386.8423	2137362.5483	203.3589	469	390031.4034	2136789.6520	202.8341

126	391385.8265	2137357.7462	204.2841	470	389747.7783	2136787.1649	224.4391
127	391388.0848	2137355.6342	204.0153	471	389881.1046	2136811.3499	207.8310
128	391383.3913	2137359.9324	203.8194	472	389989.5381	2136719.0894	207.5282
129	391398.5454	2137372.6224	210.1477	473	390345.5893	2136550.9677	210.0088
130	391378.9410	2137347.6423	207.1100	474	390373.0189	2136400.6956	227.4773
131	391382.3529	2137353.0948	205.8236	475	390365.2324	2136205.3805	224.5703
132	391371.8015	2137338.6288	207.7100	476	390372.6273	2136014.0510	249.9456
133	391364.5145	2137329.7086	209.4133	477	390439.8932	2136294.1120	252.4060
134	391280.7264	2137232.3321	276.6083	478	390452.9324	2136091.7166	255.3448
135	391274.2415	2137218.4908	279.1985	479	390534.5795	2136219.5959	285.3512
136	391269.8185	2137225.5885	278.5997	480	390516.2678	2136441.1850	260.6606
137	391267.4720	2137231.7489	277.9809	481	390582.3845	2136019.1825	266.0601
138	391211.8195	2137177.9807	251.5016	482	390611.4409	2136147.9313	264.3044
139	391250.0084	2137227.4217	277.7678	483	390677.6919	2136264.3215	221.7073
140	391249.4981	2137194.4878	272.8395	484	390701.5396	2136011.6353	245.8477
141	391204.7887	2137175.6169	249.3770	485	390682.8415	2136371.6084	218.4500
142	391197.1925	2137158.5356	237.6135	486	390517.5986	2136313.2342	280.3816
143	391166.3298	2137096.2809	245.6206	487	390730.1657	2136341.2297	210.4265
144	391144.1182	2137067.4597	243.5031	488	390697.6283	2136146.8206	242.8530
145	391154.2816	2137066.1699	245.5798	489	390814.9805	2135967.1059	218.5654
146	391149.0032	2137064.4383	244.6203	490	390782.0452	2136050.2561	217.5477
147	391148.6261	2137059.2867	244.9043	491	390746.1459	2136291.3130	212.2976
148	391149.3780	2137053.7947	244.8268	492	390672.2388	2136414.3218	214.5455
149	391150.4407	2137045.7551	242.4212	493	390553.0037	2136462.5576	252.9046
150	391152.0535	2137039.0055	239.8335	494	390712.5070	2136096.7215	229.4093
151	391145.8634	2137035.9735	237.9227	495	390789.5137	2136132.6343	221.1087
152	391145.4445	2137048.5713	241.8472	496	390766.2990	2136203.4139	217.1345
153	391153.8754	2137056.4999	244.7663	497	390867.2984	2136181.0069	216.3396
154	391151.1839	2137027.1159	235.7253	498	390781.1728	2136321.2581	209.1017
155	391146.2750	2137025.7642	234.3758	499	390823.0357	2136243.8974	211.6842
156	391151.0229	2137020.7405	233.4333	500	390861.5558	2136329.7924	236.5745
157	391150.9736	2137016.8522	232.0629	501	390863.3006	2136031.8023	215.3487
158	391146.9404	2137013.0819	229.7287	502	390934.8097	2136346.8081	243.5446
159	391152.4404	2137008.7618	228.2805	503	390910.9211	2136398.4500	239.8965
160	391149.6018	2137005.3402	226.8539	504	390921.9312	2136072.7501	225.4829
161	391146.6553	2137001.5790	225.2997	505	390867.4368	2136100.5255	215.2785
162	391152.7061	2136999.9552	224.8068	506	390880.3742	2135943.8231	225.8024
163	391154.6944	2137042.5733	241.3532	507	390850.8366	2135915.6204	219.2785
164	391153.7298	2137004.4399	226.8221	508	390940.8766	2136393.6472	241.6759
165	391153.9811	2137021.3696	233.6065	509	390884.2828	2136273.8441	234.2825
166	391149.9653	2136955.9215	237.9185	510	390928.4348	2135912.6112	233.2762
167	391154.0423	2136956.0396	239.6739	511	391057.8201	2135948.4147	292.8940
168	391141.9506	2136934.3323	233.8925	512	391077.9681	2136139.8233	261.6130
169	391134.9113	2136926.6688	245.2940	513	390865.0687	2135986.9623	218.4792
170	391127.1458	2136889.4085	223.6061	514	390974.8726	2135927.4268	244.9231
171	391123.9466	2136878.3961	227.7641	515	390910.3869	2136016.4403	225.4162
172	391120.7759	2136880.1346	226.0767	516	390972.1186	2136023.6501	245.5741
173	391125.2798	2136871.5421	230.2283	517	391130.3186	2136319.1533	267.2054
174	391120.9863	2136871.5824	230.0751	518	391109.8473	2136301.2249	251.4889
175	391118.0052	2136873.5720	228.3461	519	391087.1003	2136197.6575	240.5559
176	391119.3735	2136867.5834	230.3383	520	391142.9106	2136227.7196	273.9602

177	391123.0825	2136866.8266	232.0953	521	390995.3134	2136277.0776	241.2329
178	391115.6817	2136869.6275	228.8883	522	391051.9113	2136300.2668	238.8762
179	391117.5122	2136863.9536	231.1173	523	390970.3252	2136135.9044	229.3530
180	391114.7439	2136865.1486	229.2246	524	391067.4219	2136351.0463	256.0655
181	391121.5465	2136862.9037	231.9334	525	391008.8842	2136363.4813	248.8291
182	391115.1846	2136857.9789	231.5564	526	391058.9314	2136561.1991	232.7587
183	391111.8274	2136859.6005	230.6119	527	391058.3856	2136434.2201	232.9158
184	391117.2815	2136856.8366	232.6322	528	391066.3957	2136499.4156	233.6607
185	391112.5829	2136852.4106	232.4287	529	391055.7844	2136494.9539	230.4807
186	391109.2125	2136852.7781	231.7412	530	391088.6727	2136556.6670	241.1050
187	391105.0645	2136829.5769	234.1766	531	390869.3821	2136464.6685	232.6408
188	391101.1564	2136834.9562	232.6121	532	390925.0329	2136486.3743	225.1020
189	391108.1517	2136829.3050	236.3332	533	391106.0194	2136472.3842	249.8395
190	391103.4074	2136852.8218	230.5379	534	390827.4660	2136483.2010	215.3122
191	391119.1107	2136850.7080	234.9680	535	390706.5889	2136508.1455	205.6398
192	391119.1932	2136884.2711	223.8373	536	390763.7442	2136481.5979	210.6123
193	391094.5118	2136839.9086	231.0242	537	390780.6664	2136584.9495	205.9815
194	391045.8812	2136797.1473	215.8197	538	390674.2778	2136486.7049	205.2195
195	391050.5527	2136815.6898	219.8092	539	390633.5280	2136538.4949	210.6178
196	391052.9332	2136707.2903	222.3994	540	390971.2036	2136638.4279	214.2168
197	391057.1026	2136701.9318	224.4361	541	390913.6125	2136583.1781	212.6236
198	391027.1769	2136689.8491	215.4945	542	390874.4982	2136752.1471	208.3762
199	391041.3417	2136632.6254	222.6210	543	390533.9757	2136647.3524	218.5088
200	391037.7517	2136633.8519	221.1306	544	390415.1650	2136684.4373	229.6569
201	391015.1956	2136643.8295	217.8003	545	390843.2418	2136596.0904	205.4189
202	391027.6843	2136599.2138	219.3770	546	390814.3741	2136530.7444	206.5971
203	391026.5718	2136609.8363	222.2730	547	389747.6265	2136836.3586	230.8775
204	391029.1954	2136626.6389	219.6135	548	389854.1869	2136870.4226	227.4402
205	391047.5931	2136573.4120	226.7926	549	390055.0224	2136843.0761	198.5536
206	391029.6750	2136572.1345	224.3651	550	390717.3847	2136619.0181	202.7778
207	391047.1902	2136546.8118	227.2533	551	390657.3512	2136588.5663	206.1841
208	391006.2072	2136471.3632	224.6858	552	390594.6758	2136608.2499	213.6853
209	391005.9718	2136465.4673	225.2518	553	390529.9951	2136577.6307	221.8949
210	390983.3867	2136517.9277	218.0467	554	390406.5171	2136781.4948	230.7168
211	390994.8713	2136481.8879	222.7778	555	390605.0144	2136696.4220	225.5527
212	390997.3342	2136453.6295	225.6478	556	390741.2917	2136671.2194	203.6768
213	390999.7716	2136445.8371	226.4906	557	390832.7613	2136683.9565	202.8617
214	391007.8838	2136445.2904	227.8572	558	390948.0334	2136711.6782	211.7903
215	391011.2159	2136456.6405	224.8550	559	390687.1385	2136732.0115	208.9729
216	390986.2283	2136464.9263	225.0286	560	390767.6523	2136724.1316	202.8850
217	391004.0073	2136440.6668	227.4035	561	390986.6989	2136764.3309	210.5641
218	390987.7377	2136444.3172	227.4595	562	391163.8391	2136940.2671	243.5996
219	390975.3727	2136377.2839	244.9435	563	391102.7710	2136957.9841	228.3470
220	390946.4677	2136455.5600	229.6445	564	389769.3882	2137017.7015	208.9767
221	390949.1122	2136442.8746	230.8567	565	389713.4715	2136909.7605	216.0187
222	390946.9337	2136449.7030	230.4109	566	389774.7218	2136881.1084	232.8489
223	390940.3895	2136426.8573	235.3593	567	389725.0632	2137200.3181	183.3349
224	390980.1909	2136475.1485	222.9708	568	389846.1939	2137123.9889	214.1257
225	390954.4015	2136475.1524	223.6553	569	389931.7337	2137025.2382	209.3620
226	390935.9255	2136443.1616	234.2041	570	389889.2506	2137322.9879	186.0577
227	390934.9870	2136448.6708	233.3730	571	389969.7147	2137135.8895	198.2049

228	390936.9949	2136436.9671	235.3536	572	390096.9798	2137017.5736	194.1060
229	390930.3191	2136441.2090	234.2546	573	390043.7977	2137366.1964	186.8019
230	390928.9908	2136446.5481	234.4117	574	389787.7416	2137408.5254	185.3324
231	390929.1313	2136434.0610	236.8494	575	390134.1203	2137196.5750	194.8254
232	390923.0792	2136440.1248	236.2826	576	390221.0721	2137023.9978	206.2634
233	390924.6890	2136443.8810	236.4967	577	390346.1062	2136974.4158	224.4779
234	390922.0112	2136432.4406	237.6170	578	390274.1020	2137241.9095	206.3915
235	390914.0488	2136443.0680	234.5159	579	390677.4249	2136924.2915	200.2027
236	390914.1397	2136435.6915	236.8593	580	390541.9070	2136984.9970	207.9790
237	390919.3071	2136444.6363	234.7111	581	390383.1337	2137314.2553	211.8402
238	390907.5168	2136433.3986	237.8673	582	390439.7153	2137178.5756	197.6052
239	390917.9210	2136452.3524	232.6275	583	390674.1014	2137099.0526	196.8622
240	390908.5330	2136447.9713	234.5287	584	390562.2588	2137230.6264	194.4894
241	390896.8719	2136444.8768	234.4536	585	390772.3308	2136997.1531	200.2325
242	390893.5041	2136436.0195	237.6692	586	390822.9391	2137366.4569	198.4319
243	390888.6561	2136426.8739	237.6516	587	390614.4233	2137369.2638	198.1408
244	390875.8602	2136443.0045	237.9554	588	390878.6274	2137140.7959	203.6585
245	390876.5450	2136431.4835	238.7003	589	390944.9714	2136975.3277	208.9054
246	390881.8485	2136439.5274	236.5087	590	391005.7445	2136835.7152	230.1100
247	390868.6817	2136437.9847	236.9011	591	391035.1379	2136930.2927	211.6097
248	390871.5136	2136444.1540	236.1006	592	390876.5343	2136921.8824	206.3861
249	390891.2113	2136446.0220	234.8277	593	390756.1930	2136872.6637	199.8242
250	390869.4579	2136428.3991	236.7466	594	391086.2652	2137074.4185	226.6037
251	390853.5154	2136416.6612	230.9216	595	391078.8452	2137255.6521	228.6482
252	390813.9547	2136445.4260	214.1847	596	391034.3338	2137015.6774	217.3029
253	390827.8287	2136400.5243	220.6384	597	390941.9459	2137096.6853	210.3310
254	390807.7950	2136427.1330	212.9957	598	391058.9256	2137176.0900	228.0149
255	390808.2355	2136381.8598	215.3459	599	391147.4767	2137156.7431	228.7610
256	390802.6120	2136437.5234	212.5203	600	391180.7863	2137050.4973	247.2657
257	390807.2628	2136467.6723	212.3089	601	391174.5503	2136933.6613	248.8317
258	390798.4562	2136427.5130	214.1728	602	391124.0669	2137037.5498	232.0938
259	390793.3947	2136428.1724	213.7528	603	391021.0705	2137124.1392	216.5033
260	390792.7795	2136423.6641	211.6461	604	391159.7879	2137306.2162	267.8039
261	390786.6839	2136420.2614	212.0906	605	391787.3009	2136880.9648	225.1422
262	390776.0563	2136433.0727	207.5545	606	391736.6767	2136800.9948	219.1727
263	390795.5443	2136444.5174	211.3737	607	391678.6513	2136765.7682	217.8653
264	390774.7563	2136420.8825	207.1603	608	391601.4341	2136986.1022	214.0366
265	390775.8647	2136427.0088	207.7360	609	391616.0567	2136846.6433	224.4650
266	390771.7973	2136406.3309	206.3712	610	391402.9076	2136892.2870	276.4307
267	390787.5809	2136448.9190	211.1707	611	391323.9710	2136824.5717	324.7431
268	390767.0677	2136434.1623	206.8513	612	391329.5983	2136995.8260	302.3832
269	390769.3110	2136427.6446	206.7596	613	391276.1281	2137344.7979	257.5229
270	390768.8529	2136419.5486	206.5367	614	391559.3133	2137065.5333	217.4326
271	390764.0098	2136425.5594	206.7784	615	391526.7560	2137140.4732	211.6440
272	390760.7763	2136432.7076	206.5786	616	391718.8826	2136993.6277	217.7236
273	390758.4491	2136423.4232	205.9205	617	391652.7315	2137039.5649	211.8031
274	390756.1647	2136429.8241	205.9055	618	391403.2373	2137343.3766	202.2976
275	390754.1911	2136421.8198	205.7603	619	391362.5807	2137381.8802	202.0675
276	390757.4870	2136416.6753	206.1097	620	391473.8581	2137265.9478	212.3076
277	390749.8312	2136425.2832	205.7373	621	391453.6748	2137227.9729	208.6241
278	390741.6185	2136427.6858	205.6002	622	391546.4353	2137206.2784	208.9383

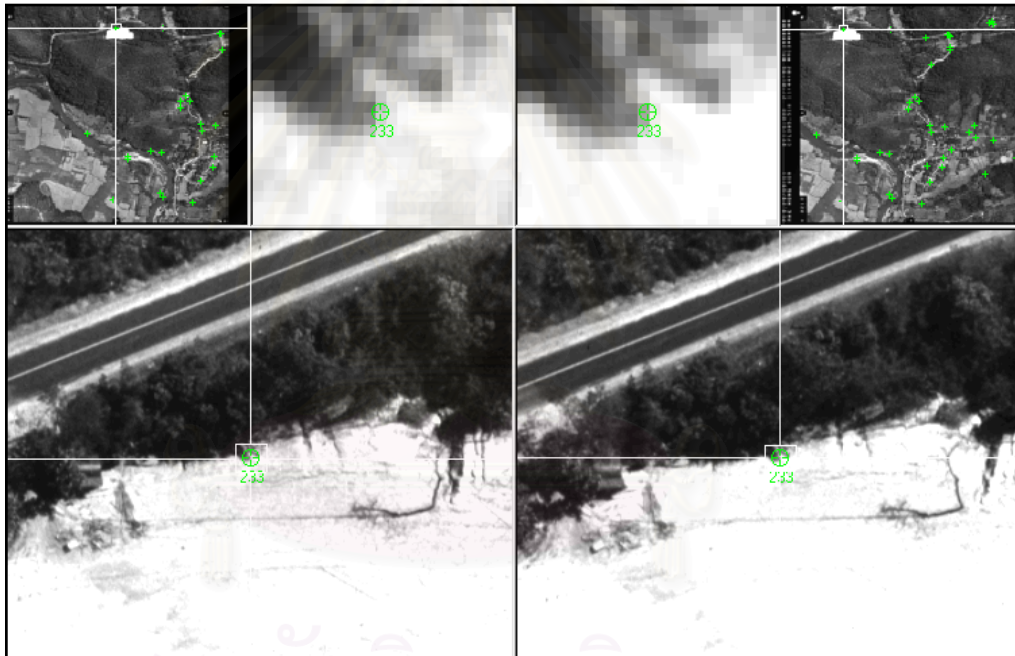
279	390741.3540	2136432.0117	205.8829	623	391774.8743	2137272.9728	266.4777
280	390747.7309	2136435.4018	205.6515	624	391713.0045	2137220.8854	238.5065
281	390734.4739	2136427.0687	206.3922	625	390474.7917	2137561.2469	194.6110
282	390732.9961	2136432.9059	205.4745	626	390656.9376	2137678.8737	190.2323
283	390733.4813	2136439.5430	205.6320	627	390464.4616	2137731.4682	190.7482
284	390730.6608	2136409.8577	207.4468	628	390346.1036	2137506.3640	209.1078
285	390740.2004	2136393.6297	209.0901	629	390492.1673	2137411.4414	195.3219
286	390726.3942	2136436.7546	205.5912	630	390690.0421	2137494.8444	195.5998
287	390720.3673	2136436.6867	205.3181	631	390910.9176	2137694.8970	222.5536
288	390725.6477	2136431.8514	205.1823	632	391022.0506	2137752.6387	226.2684
289	390715.7818	2136441.9248	205.2912	633	390916.5282	2137507.1147	196.2375
290	390719.9054	2136416.2758	207.6103	634	391122.0209	2137547.3136	207.7394
291	390703.9652	2136422.3968	209.1688	635	391061.7556	2137456.6342	197.7461
292	390701.2691	2136430.3124	208.2921	636	391226.1069	2137631.8702	226.5845
293	390703.5981	2136416.8130	209.8938	637	391442.6930	2137624.6026	229.9169
294	390685.6408	2136437.2512	208.8927	638	391369.7260	2137531.6180	208.1963
295	390688.0692	2136422.6178	210.4352	639	391497.0818	2137759.0585	239.6848
296	390689.0115	2136429.5535	208.5389	640	391243.4805	2137736.9884	242.4349
297	390696.7621	2136427.6472	208.7638	641	391618.4599	2137561.5427	208.2201
298	390676.6184	2136430.7633	212.5418	642	391779.6866	2137567.2376	210.4975
299	390679.3025	2136425.2295	210.4990	643	391661.8596	2137586.1498	210.7698
300	390673.7100	2136424.0564	211.0059	644	391540.3182	2137715.2806	227.6419
301	390669.1693	2136426.9943	214.3199	645	391385.1393	2137756.5714	279.3682
302	390664.5210	2136427.1850	215.7627	646	391495.8606	2137700.9604	233.0861
303	390662.8619	2136422.5433	216.4484	647	391420.8823	2137686.2566	255.2298
304	390658.0939	2136422.2664	217.5163	648	391315.2588	2137664.5785	240.5406
305	390669.2211	2136430.0608	214.4034	649	391535.5239	2137612.7794	216.5241
306	390657.0578	2136429.0751	217.9864	650	391571.8831	2137537.7486	207.1175
307	390653.8217	2136424.2403	221.4590	651	391534.7276	2137540.8833	202.6289
308	390651.7569	2136431.4298	216.7911	652	391520.2285	2137568.1219	206.6284
309	390646.6478	2136438.1759	219.5199	653	391497.4432	2137396.7689	226.4282
310	390638.1412	2136440.5053	222.3928	654	391601.7657	2137388.1470	210.3922
311	390581.3133	2136493.6538	237.3745	655	391769.4373	2137709.0182	217.5416
312	390586.4648	2136487.4622	237.6467	656	391691.6828	2137752.5679	224.4616
313	390559.8553	2136475.2896	248.8499	657	391359.0821	2137477.8776	203.4991
314	390566.0447	2136471.6201	248.2053	658	391538.2204	2137337.0114	226.8472
315	390550.9222	2136483.9187	248.4024	659	391298.4238	2137187.2031	284.6353
316	390541.4679	2136493.3834	249.5660	660	391382.2250	2137584.1352	225.2565
317	390535.8873	2136499.0964	249.3768	661	391298.9574	2136623.4266	307.5416
318	390543.3727	2136499.5352	248.1990	662	391090.0863	2136633.0857	235.7399
319	390530.3915	2136496.2935	250.4397	663	391154.8375	2136670.7850	260.1880
320	390522.2942	2136502.8543	249.0422	664	391105.8618	2136770.6175	234.4969
321	390525.4785	2136498.2314	249.8206	665	391284.3657	2136364.1628	353.2252
322	390511.5370	2136515.0834	245.2620	666	391266.4840	2136484.8328	345.1380
323	390519.4178	2136515.7328	245.7581	667	391386.3052	2136736.6149	291.9616
324	390501.3101	2136522.4586	242.3526	668	391409.9708	2136591.4440	247.7897
325	390498.2164	2136530.0561	241.9220	669	391520.5091	2136437.1304	276.8872
326	390493.5349	2136535.0365	239.6801	670	391712.5785	2136630.5802	220.7682
327	390488.5108	2136541.6071	238.8896	671	391753.7182	2136395.3901	227.5856
328	390485.8010	2136546.2122	237.8959	672	391669.0045	2136387.8227	243.8636
329	390479.6567	2136555.6090	237.4161	673	391636.4695	2136583.0597	242.7968

330	390472.8482	2136551.3216	236.1945	674	391276.5649	2137195.5785	279.7932
331	390471.9633	2136570.0322	236.1256	675	391833.8883	2137844.1653	225.8077
332	390468.4768	2136578.1020	234.5774	676	391727.3869	2137886.4396	228.5223
333	390465.3763	2136582.6459	234.6312	677	391827.3243	2138011.0850	239.0591
334	390463.8618	2136565.7965	234.0975	678	391792.6368	2137969.0341	233.3443
335	390430.6067	2136592.4096	226.0262	679	391721.9710	2138067.1524	238.4380
336	390457.4311	2136564.8750	232.3935	680	391655.0484	2138196.3457	227.4797
337	390452.4841	2136575.3771	231.0097	681	391555.1915	2137896.4521	224.5223
338	390448.3518	2136574.5410	230.9033	682	391426.7490	2137991.7812	277.5193
339	390449.3884	2136559.7257	227.7155	683	391326.2838	2138046.3049	320.3537
340	390436.8114	2136578.1726	227.0858	684	391239.7392	2137879.8014	283.6341
341	390442.3608	2136576.1615	228.2685	685	391033.4766	2138134.9903	186.7968
342	390468.7758	2136552.4234	235.8161	686	390801.7315	2138145.8527	188.8399
343	390454.6043	2136605.6104	232.1886	687	390402.1636	2138168.5206	187.3617
344	390427.6836	2136584.2556	224.6834	688	390637.6221	2137918.8711	189.7904



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

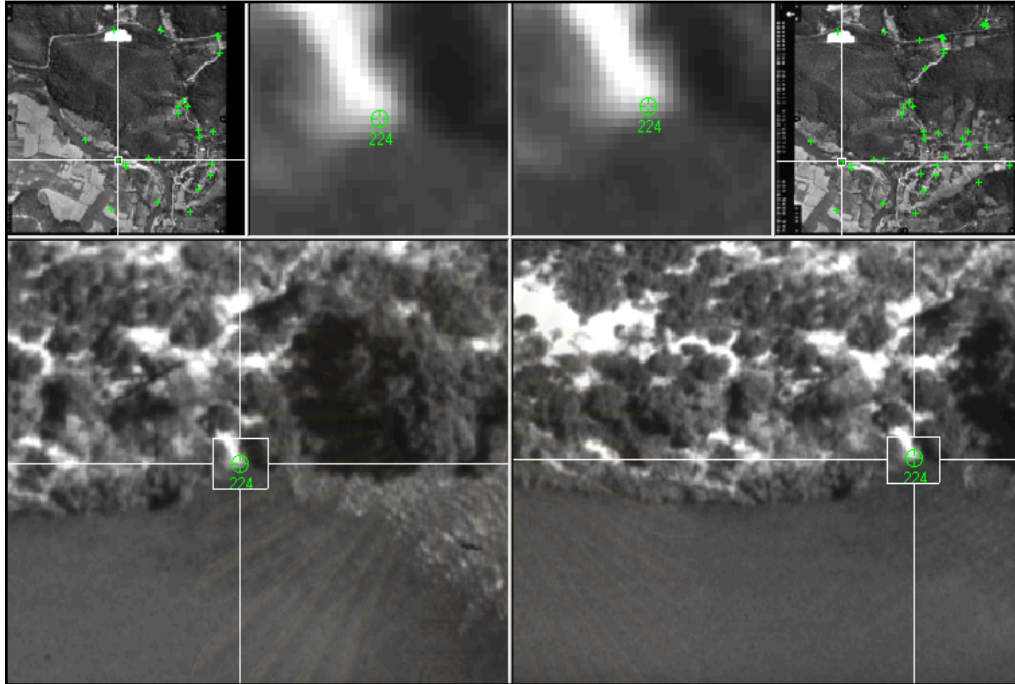
ภาคผนวก ง
ค่าความถูกต้องจากการบันทึกจุดยอด
โดยวิธีอัตโนมัติเปรียบเทียบกับวิธีด้วยมือ



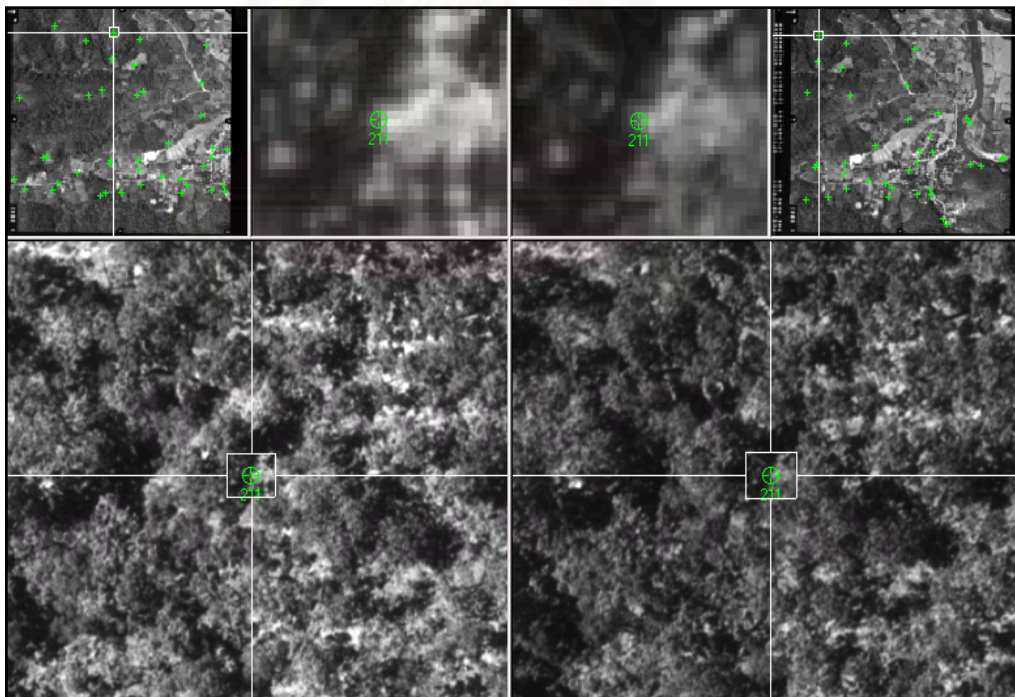
รูปแสดงการวัดจุดยึดโดยอัตโนมัติ (Auto-tie point)

ได้จุด 233 ที่เป็นเงาของต้นไม้ (Shadow)

สถาบันวิจัยรังสีวิทยา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



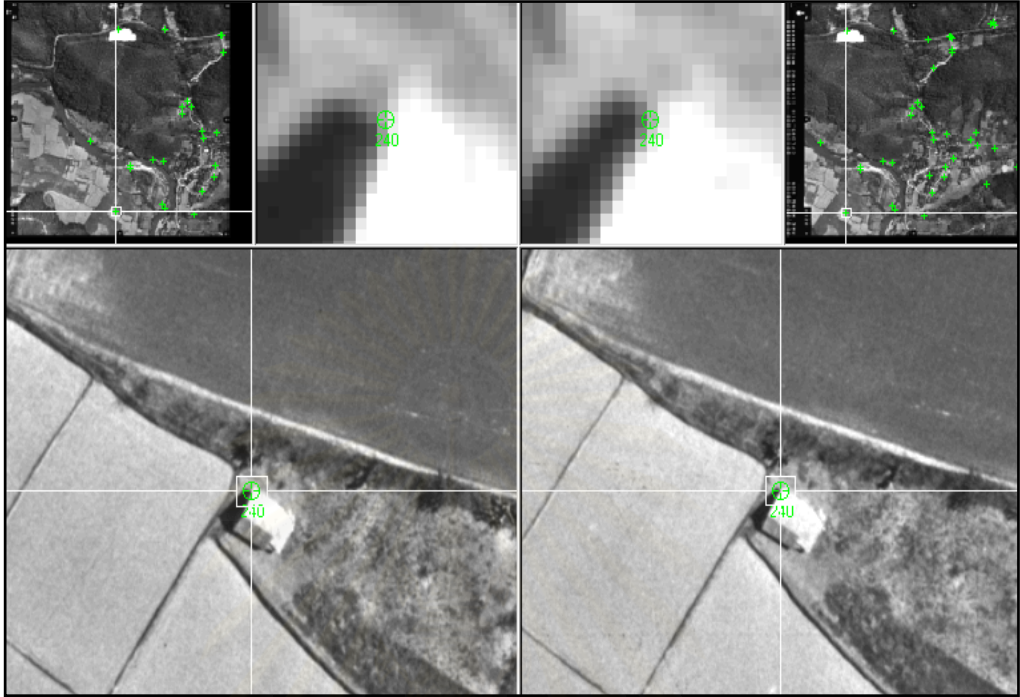
รูปแสดงการวัดจุดยึดโดยอัตโนมัติ (Auto-tie point)



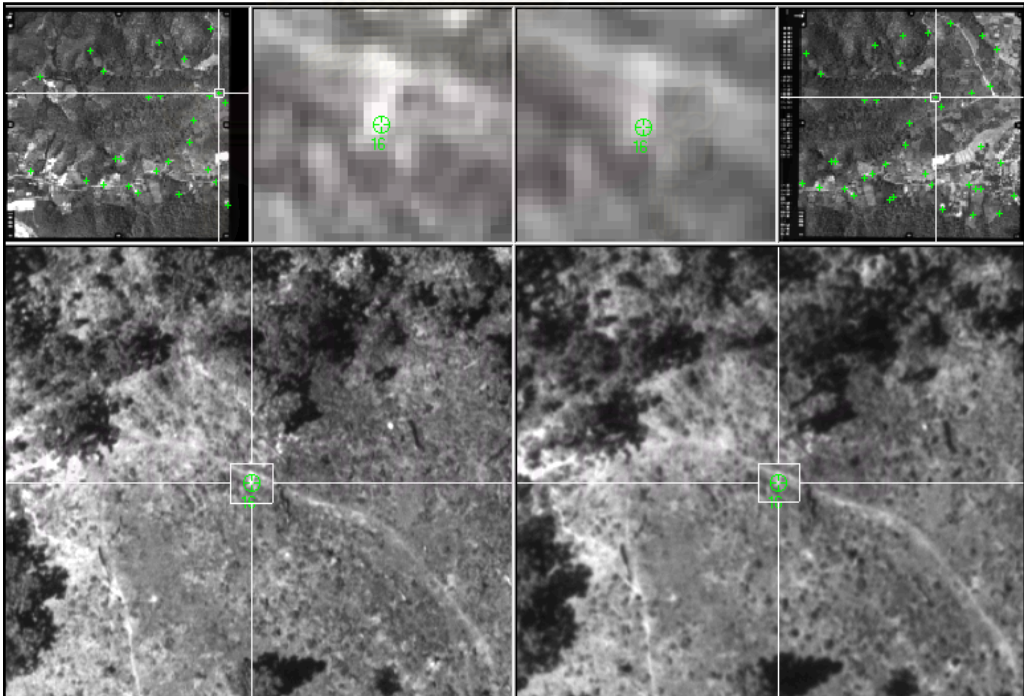
ได้จุด 224 ที่เป็นขอบของแม่น้ำ (Edge of river)

รูปแสดงการวัดจุดยึดโดยอัตโนมัติ (Auto-tie point)

ได้จุด 211 ที่เป็นยอดของต้นไม้ (Top of tree)

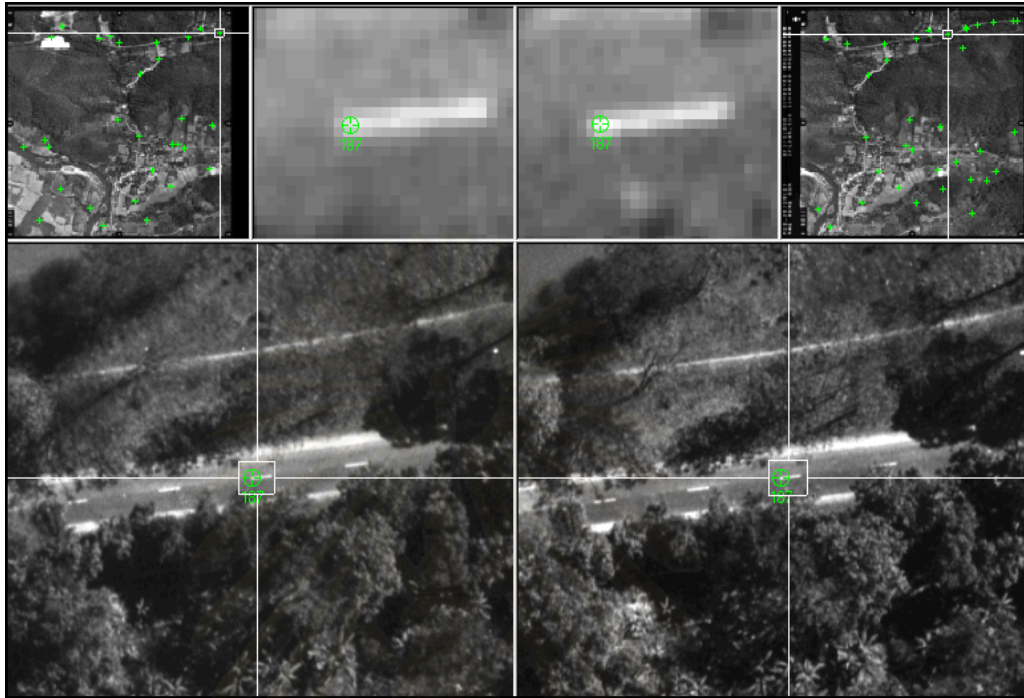


รูปแสดงการวัดจุดยึดโดยอัตโนมัติ (Auto-tie point)
ได้จุด 40 ที่เป็นขอบหลังคา (Edge of roof)



รูปแสดงการวัดจุดยึดด้วยมือ (Manual-tie point)

บนจุด 16 ที่เป็นพื้นดิน (Ground point)



รูปแสดงการวัดจุดยึดด้วยมือ (Manual-tie point)
บนจุด187 ที่เป็นพื้นถนน (Ground of road)

The accuracy of object points for auto – tie point

Point ID	mX	mY	mZ	mP	Overlap
Top of tree					
211	0.2914	0.1788	0.9975	1.0544	2
Edge of river					
224	0.1945	0.1821	0.9918	1.0270	2
Shadow of tree					
233	0.3101	0.1931	1.0653	1.1262	2
Edge of building					
240	0.3217	0.2184	1.0352	1.1058	2

The accuracy of object points for manual – tie point

Point ID	mX	mY	mZ	mP	Overlap
----------	----	----	----	----	---------

Ground point

16 0.0159 0.0228 0.1049 0.1085 2

Ground of road

187 0.0192 0.0131 0.0546 0.0593 3

The total accuracy of test block object points

Auto – tie point scale 1:6000 25 micron $S_{xy} = 0.027$ $S_z = 0.120$

Manual – tie point scale 1:6000 25 micron $S_{xy} = 0.017$ $S_z = 0.071$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรชัย รัถวิจิตรกุล เกิดวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2518 ที่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541 ปัจจุบันรับราชการ ในตำแหน่ง วิศวกรโยธา 4 สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย