

โมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ สำหรับดาวเทียมรายละเอียดสูง

WorldView-1



นางสาวจุฑามาศ ปานกลิ่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODEL OF QUANTITY AND QUALITY OF PHOTO CONTROL POINTS FOR
WORLDVIEW-1 SATELLITE IMAGERY



Miss Chuthamart Panklin

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Spatial Information System in Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

โมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดกาบคุม

ภาพ สำหรับดาเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1

โดย

นางสาวจุฑามาศ ปานกลิ่น

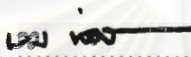
สาขาวิชา

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

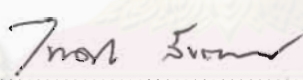
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทูเกียรติ วิเชียรเจริญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์)


..... กรรมการ
(ดร. ชงทิส ฉายากุล)


..... กรรมการ
(พันเอก ดร. กนก วีรวงศ์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(พันโท ดร. ไชกชัย พัวธนาไชกชัย)

จุฑามาส ปานภักดิ์ : โมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ
สำหรับดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1. (MODEL OF QUANTITY AND
QUALITY OF PHOTO CONTROL POINTS FOR WORLDVIEW-1 SATELLITE
IMAGERY) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์. 126 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีตรวจสอบปริมาณ คุณภาพของจุดควบคุมภาพด้วยวิธี
Hold Out Validation (HOV) และวิธี Leave One Out Cross Validation (LOOCV) เพื่อใช้คัดกรองจุด
ควบคุมภาพที่มีคุณภาพ จุดควบคุมภาพจึงเป็นต่อการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต โดยเฉพาะการปรับปรุง
แบบจำลองเซนเซอร์รีโมตเซนซอร์

ในงานวิจัยได้มีการเสนอการปรับปรุงแบบจำลองเซนเซอร์ทางกายภาพที่เหมาะสมกับ
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ที่ใช้ในงานวิจัย คือ การประมาณค่าการวางตัวแกนของ
เซนเซอร์เป็นค่าที่แท้จริงสำหรับการประมาณตำแหน่งของเซนเซอร์ (X_s, Y_s, Z_s) และค่ามุมเอียงรอบ
แกน X แกน Y ของเซนเซอร์ (ω_s, φ_s) ส่วนค่าแก้มุมเอียงรอบแกน Z ของเซนเซอร์ (κ_s) เป็นสมการ
โพลีโนเมียลกำลังสอง ซึ่งในการนี้ต้องการสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่า 8 ค่า ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้อง
ใช้จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (GCPs) อย่างน้อย 4 จุด เพื่อใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ
เซนเซอร์ จากนั้นเป็นงานวิจัยโมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ จากวิธี
HOV สามารถเลือกจุดควบคุมภาพ 72 จุดจากจุดทั้งหมด 78 จุด คิดเป็น 92 % โดยแบ่งเป็น GCPs 13
จุด และจุดตรวจสอบอิสระ 59 จุด นอกจากนั้นวิธี HOV ยังบ่งชี้จุดที่มีค่าผิดปกติ 6 จุด ส่วนวิธี LOOCV
สามารถเลือกจุดควบคุมภาพได้ 52 จุดจากทั้งหมด 78 จุด คิดเป็น 67 % วิธี LOOCV ให้แบ่งจุดควบคุม
ภาพเป็น GCPs 8 จุด และเป็นจุดตรวจสอบอิสระ 44 จุด และวิธี LOOCV บ่งชี้จุดที่มีค่าผิดปกติ 26 จุด
ซึ่งสรุปได้ว่า การเลือกจุดควบคุมภาพที่ได้จากวิธี HOV จะมีจำนวนจุดมากกว่าวิธี LOOCV
ในขณะที่เราอาจมองได้ว่าวิธี LOOCV มีเกณฑ์การคัดกรองสูงกว่าวิธี HOV เมื่อนำผลการปรับปรุง
แบบจำลองเซนเซอร์ข้างต้นไปใช้ในตัดแก้ภาพออร์โธ และในงานวิจัยยังมีการวาง GCPs บริเวณ
ขอบเขตภาพในแนวนอนกับเส้นทางวงโลจอร์ ผลการปรับปรุงแบบจำลองเซนเซอร์ได้ RMSE ของการ
ปรับแก้เท่ากับ 0.17 เมตร และมีค่าความละเอียดถูกต้องของภาพออร์โธตามมาตรฐาน NSSDA
พบว่า ภาพออร์โธที่ใช้ GCPs 13 จุด และจุดตรวจสอบอิสระ 59 จุดจากวิธี HOV มีความละเอียด
ถูกต้องเท่ากับ 1.31 เมตร (2.62 จุดภาพ) และภาพออร์โธที่ใช้ GCPs 8 จุด และจุดตรวจสอบ 44 จุดจาก
วิธี LOOCV มีความละเอียดถูกต้องเท่ากับ 0.70 เมตร (1.40 จุดภาพ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธี LOOCV
ส่งผลให้คุณภาพออร์โธที่ผลิตได้ดีกว่าวิธี HOV ในชุดข้อมูลในงานวิจัยนี้

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจลายมือชื่อ น.ส.จุฑามาส ปานภักดิ์.....
สาขาวิชา ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2553

5070245321 : MAJOR SPATIAL INFORMATION SYSTEM IN ENGINEERING

KEYWORDS : PHYSICAL MODEL / REFINEMENT OF PHYSICAL MODEL / EXTERIOR ORIENTATION / PHOTO CONTROL POINT

CHUTHAMART PANKLIN : MODEL OF QUANTITY AND QUALITY OF PHOTO CONTROL POINTS FOR WORLDVIEW-1 SATELLITE IMAGERY.

THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PHISAN SANTITAMNONT.Ph.D., 126 pp.

The research involves study of two schemes of quality assessments for photo control points namely: Hold Out Validation (HOV) and Leave One Out Cross Validation (LOOCV). Quality photo control point is crucial for sensor model refinement and further orthorectification processing.

Since the sensor model for the used high-resolution satellite image 'WorldView-1' is not specified by the operator. At the firstly the appropriated sensor models were extensively carried out. The opted sensor model for exterior orientation parameters were two biases for the three positions (X_s, Y_s, Z_s) and two biases for Euler angles namely (ω_s, ϕ_s). However for the angle around Z-axis (κ_s), polynomials of second degree were adopted. For this kind of sensor model refinement, it required 8 unknowns; therefore it demanded at least 4 GCPs. In the research the quality assessment engaged 78 photo control points. The first HOV method could discriminate good quality photo control points from the poor and obtained 72 points or 92%. These 72 qualified photo controls were deployed as 13 GCPs and 59 independent check points. The HOV could identify 6 outlier GCPs. In contrast to the LOOCV, it identified 52 qualified photo control points. These photo control points were deployed as 8 GCPs and 44 independent check points. Apparently HOV methods could identify more qualified photo control points than the LOOCV. Nevertheless LOOCV behaved more strict than HOV did.

After the sensor model refinement were finished, then orthorectifications were followed. The chosen GCPs located along the edges of satellite image and they were well parallel to the orbit track of the scene. The RMSE after sensor model refinement was 0.17 meter. The orthophoto resulting from GCPs qualified from different schemes were assessed according to the US NSSDA standard. The orthophoto involved 13 GCPs and 59 ICPs from HOV, the horizontal accuracy was 1.31 meters (2.62 pixels), where the one with 8 GCPs and 44 ICPs from LOOCV, the accuracy was 0.70 meters (1.40 pixels). Apparently the LOOCV scheme was superior than the HOV in this research.

Department : Survey Engineering

Student's Signature Chuthamart Panklin

Field of Study: Spatial Information System in Engineering

Advisor's Signature Phisan Santitamnont

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา อย่างสูงสำหรับการสนับสนุนและความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ และ พ.อ.ดร.กนก วีรวงศ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อชี้แนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ตลอดจนความช่วยเหลืออื่นๆ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบ รศ.ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ ประธานกรรมการ ดร. ธงทิศ ฉายากุล และ พ.ท.ดร.โชคชัย พัชณาโชคชัย กรรมการการสอบ ที่ได้สละเวลาในการอ่าน การตรวจสอบข้อบกพร่อง ควรถึงข้อแนะนำต่างๆ ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ และ พี่สาวรินทร์ ฤกษ์ อยู่สุข ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สำหรับมิตรภาพ ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่ดีเสมอมา และ คุณเอี่ยมพร ขาวอุบล จากกรมที่ดินที่เอื้อเฟื้อข้อมูลจุดควบคุมภาพ สุดท้ายขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่อนุเคราะห์ภาพดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย

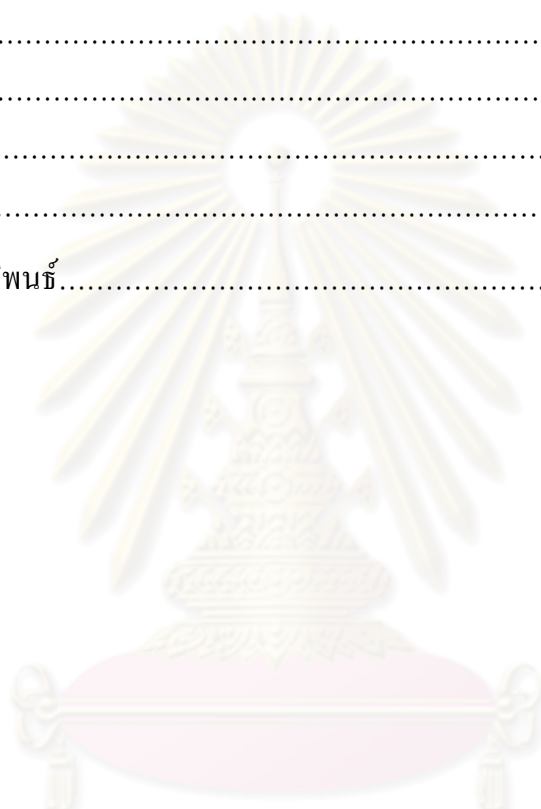
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย.....	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	9
2.1.1 คุณลักษณะและผลิตภัณฑ์ของภาพดาวเทียม WorldView-1.....	9
2.1.2 จุดควบคุมภาพ.....	12
2.1.3 การปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต.....	17
2.1.4 การปรับปรุงแบบจำลอง.....	22
2.1.5 วิธีการประเมินความถูกต้องเชิงปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ..	25
2.1.6 การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ.....	28
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
2.2.1 แนวความคิดการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต.....	30
2.2.1 แนวความคิดการกระจายของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน.....	31

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 ข้อมูลและโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย.....	33
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	34
3.2.1 การตรวจสอบข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	35
3.2.2 การปรับแก้ภาพด้วยแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุง.....	40
3.2.3 วิธีการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ.....	46
3.2.4 การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท.....	53
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
4.1 ผลการตรวจสอบจุดควบคุมภาพที่ใช้ในการวิจัย.....	54
4.2 ผลการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ.....	55
4.3 การวิเคราะห์ผลการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ.....	62
4.4 ผลการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ.....	64
4.5 การวิเคราะห์ผลการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ.....	85
4.6 ผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท.....	88
4.7 การวิเคราะห์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท.....	92
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	94
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	94
5.1.1 การปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพสำหรับดาวเทียม WorldView-1.....	94
5.1.2 การตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV.....	95
5.1.3 ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท.....	96
5.2 ข้อเสนอสรุป.....	96
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	97

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก	101
ภาคผนวก ก.....	102
ภาคผนวก ข.....	107
ภาคผนวก ค.....	111
ภาคผนวก ง.....	117
ภาคผนวก จ.....	121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	126



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงคุณลักษณะของดาวเทียม WorldView-1.....	10
2.2	แสดงผลลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1.....	11
3.1	ตัวอย่างการประมาณค่า EOPs ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังต่างๆ.....	41
3.2	การแบ่งค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบตามเงื่อนไข.....	52
4.1	ค่า RMSE ของการปรับแก้ที่มีค่าน้อยที่สุด 10 ลำดับแรกจากการวาง GCPs แบบที่ 1.....	55
4.2	ค่า RMSE ของการปรับแก้ที่มีค่าน้อยที่สุด 10 ลำดับแรกจากการวาง GCPs แบบที่ 2.....	57
4.3	ค่า RMSE ของการปรับแก้ที่มีค่าน้อยที่สุด 10 ลำดับแรกจากการวาง GCPs แบบที่ 3.....	59
4.4	ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากผลการคำนวณข่ายสามเหลี่ยม.....	64
4.5	ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพเมื่อวาง GCPs ครบ 40 จุด.....	67
4.6	ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากการวาง GCPs จำนวน 13 จุด.....	70
4.7	ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุง ร่วมกับ GCPs จากวิธี HOV.....	72
4.8	ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุง ร่วมกับ GCPs 13 จุด และจุดตรวจสอบ 65 จุด.....	73
4.9	ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุง ร่วมกับ GCPs 13 จุด และจุดตรวจสอบ 59 จุด.....	75
4.10	การแบ่งค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบตามเงื่อนไข.....	76
4.11	ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากผลการคำนวณข่ายสามเหลี่ยมเมื่อลด GCPs.....	79
4.12	ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากการวาง GCPs จำนวน 8 จุด.....	82
4.13	ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุง ร่วมกับ GCPs จากวิธี LOOCV.....	83
4.14	ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุง ร่วมกับ GCPs 8 จุด และจุดตรวจสอบ 44 จุด.....	83
4.15	ผลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โธเมื่อใช้จุดตรวจสอบ 59 จุด.	89
4.16	ผลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โธเมื่อใช้จุดตรวจสอบ 44 จุด.	90

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาและจุดควบคุมภาพ 78 จุด.....	4
2.1	แสดงดาวเทียม WorldView-1.....	9
2.2	แสดงภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1บริเวณสวนราชพฤกษ์ จ.เชียงใหม่.....	11
2.3	แสดงเกณฑ์การเลือกจุดควบคุมภาพ.....	13
2.4	แสดงการกระจายของจุดตรวจสอบ.....	14
2.5	แสดงระยะห่างระหว่างจุดตรวจสอบ.....	14
2.6	แสดงการบันทึกภาพด้วยเซนเซอร์แบบเครื่องกวาดภาพพวงรอบ.....	18
2.7	แสดงความสัมพันธ์ของพิกัดบนภาพถ่าย และพิกัดวัตถุบนพื้นโลก.....	18
2.8	แสดงข้อมูลตำแหน่งและการวางตัวของเซนเซอร์.....	22
2.9	แสดงตารางการประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ.....	28
2.10	แสดงตำแหน่งการจัดวาง GCPs ตามขอบเขตภาพขนานกับเส้นทางวงโคจร.....	32
3.1	แสดงขั้นตอนการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต.....	34
3.2	แสดงโครงสร้างของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1.....	35
3.3	แสดงรายละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ระบุในไฟล์ *.IMD.....	36
3.4	แสดงการซ้อนทับของชั้นข้อมูลถนน จุดควบคุมภาพ และข้อมูลภาพ.....	37
3.5	แสดงจุดควบคุมภาพคุณภาพดี.....	38
3.6	แสดงจุดควบคุมภาพที่ไม่ควรนำไปใช้.....	39
3.7	แสดงการกำหนดกำลังของสมการโพลีโนเมียลสำหรับค่า EOPs.....	40
3.8	แสดงตำแหน่งการจัดวาง GCPs ทั้ง 12 จุด และจุดตรวจสอบ 40 จุด.....	44
3.9	แสดงค่า RMSE ของการปรับแก้ที่ใช้พิจารณาแบบจำลองเซนเซอร์.....	44
3.10	แสดงวิธีการประมาณตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมด้วยโปรแกรม ERDAS 9.2.	45
3.11	แสดง GCPs และจุดตรวจสอบที่ใช้ในวิธี HOV.....	46
3.12	แสดงจำนวนจุดตรวจสอบแต่ละ Quadrant.....	47
3.13	แสดงรัศมีของวงกลมเท่ากับ 2,850 เมตร.....	47
3.14	แสดงลำดับการวางจุดควบคุมภาพที่ใช้ในวิธี HOV.....	48
3.15	แสดงการคัดเลือกจุดควบคุมภาพด้วยวิธี LOOCV.....	50
3.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เลือกเป็นจุดตรวจสอบ และค่า RMSE ของการปรับแก้.....	51

รูปที่	หน้า
3.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เลือกเป็นจุดตรวจสอบ และค่าเศษเหลือ..... 51
3.18	แสดงตำแหน่งจุดตรวจสอบที่ใช้ตรวจสอบภาพออร์โท..... 53
4.1	แสดงจุดควบคุมภาพ 78 จุดที่ใช้ในงานวิจัย..... 54
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMSE ของค่าปรับแก้ และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 1..... 56
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของ GCPs และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 1..... 56
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของจุดตรวจสอบและแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 1..... 57
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMSE ของค่าปรับแก้ และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 2..... 58
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของ GCPs และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 2..... 58
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของจุดตรวจสอบและแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 2..... 59
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMSE ของค่าปรับแก้ และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 3..... 60
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของ GCPs และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 3..... 60
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของจุดตรวจสอบและแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 3..... 61
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของการปรับแก้..... 65
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของจุดตรวจสอบ..... 65
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง GCPs และค่าเศษเหลือของ GCPs..... 66
4.14	แสดงตำแหน่งของ GCPs ที่มีค่าเศษเหลือเกิน 1 จุดภาพ..... 66
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของการปรับแก้..... 67
4.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของจุดตรวจสอบ..... 68

รูปที่	หน้า
4.17 แสดงการกระจายของ GCPs และจุดตรวจสอบจากวิธี HOV.....	71
4.18 แสดง GCPs ทั้ง 13 จุดจากวิธี HOV สำหรับการปรับแก้ภาพ.....	72
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดตรวจสอบ และค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ.....	74
4.20 แสดงขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบทั้ง 65 จุด.....	74
4.21 แสดงจุดตรวจสอบจากวิธี HOV.....	75
4.22 แสดงการแบ่งค่าเศษเหลือตามเงื่อนไข.....	77
4.23 แสดงการกระจายของจุดควบคุมภาพแต่ละกลุ่ม.....	78
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของการปรับแก้.....	79
4.25 แสดงการกระจายของ GCPs และจุดตรวจสอบจากวิธี LOOCV เพื่อหาตำแหน่งการวาง GCPs ที่เหมาะสม.....	81
4.26 แสดงตำแหน่งการจัดวาง GCPs จำนวน 8 จุดจากวิธี LOOCV	82
4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดตรวจสอบ และค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ.....	84
4.28 แสดงขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบทั้ง 44 จุด.....	84
4.29 แสดงตัวอย่างจุดควบคุมภาพที่มีค่าผิดปกติจากทั้งสองวิธี.....	86
4.30 แสดงตำแหน่งของจุดตรวจสอบจำนวน 59 จุดจากวิธี HOV.....	88
4.31 แสดงขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบจากภาพออร์โท...	89
4.32 แสดงตำแหน่งของจุดตรวจสอบจำนวน 44 จุดจากวิธี LOOCV.....	90
4.33 แสดงขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบจากภาพออร์โท...	91

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงได้รับความนิยมและมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น ความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (spatial resolution) ทำให้สามารถจำแนกรายละเอียดของสิ่งต่างๆ ได้อย่างชัดเจน ดาวเทียมส่วนใหญ่สามารถโคจรกลับมาบันทึกข้อมูลภาพซ้ำบริเวณเดิมทำให้ได้ข้อมูลภาพที่มีความทันสมัย อีกทั้งการบันทึกข้อมูลภาพแต่ละครั้งสามารถครอบคลุมพื้นที่ที่เป็นบริเวณกว้าง ซึ่งเหมาะสำหรับพื้นที่อันห่างไกลและยากแก่การเข้าถึง ตัวอย่างดาวเทียมรายละเอียดสูง เช่น ดาวเทียม IKONOS สามารถบันทึกข้อมูลด้วยความละเอียดจุดภาพ 1 เมตรในระบบบันทึกภาพขาวดำ (panchromatic) ดาวเทียม SPOT-5 (2.5 เมตร) ดาวเทียม QUICKBIRD (0.6 เมตร) และดาวเทียม WorldView-1 (0.5 เมตร) เป็นต้น จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำข้อมูลภาพไปประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ เช่นเดียวกับโครงการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 ของกรมที่ดิน เพื่อนำข้อมูลภาพไปใช้กับภารกิจของกรมที่ดิน เช่น การควบคุมการจัดสรรที่ดิน การตรวจสอบใบแจ้งการครอบครองที่ดิน การเข้าพื้นที่เพื่อรังวัดและออกโฉนดที่ดินให้แก่ประชาชน เป็นต้น แต่เนื่องจากข้อมูลภาพที่ได้ส่วนมากเป็นข้อมูลดิบที่มีข้อบกพร่องต่างๆ เช่น การกระจายของจุดภาพผิดพลาด ความบิดเบี้ยวของภาพ ข้อมูลขาดหาย เป็นต้น ข้อบกพร่องเหล่านี้ อาจเกิดจากยานสำรวจมีการเคลื่อนที่ไม่คงที่ การสะท้อน การหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ หรือการบันทึกข้อมูล ดังนั้นก่อนนำข้อมูลภาพไปใช้ประโยชน์ควรปรับปรุงข้อมูลภาพให้มีความถูกต้องด้วยการขจัดความคลาดเคลื่อนต่างๆ สำหรับการปรับแก้ข้อมูลภาพมี 2 กระบวนการหลัก (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) ดังนี้

- การปรับแก้เชิงรังสี (radiometric correction) เป็นการปรับแก้ข้อมูลการสะท้อนพลังงานของวัตถุต่างๆ ให้มีความถูกต้อง ข้อมูลที่ผิดพลาด เช่น การสะท้อนพลังงานที่ขาดหาย การกระจายของจุดภาพผิดพลาด หรือสัญญาณคลื่นรบกวน เป็นต้น
- การปรับแก้เชิงเรขาคณิต (geometric correction) เป็นการปรับแก้ข้อมูลภาพให้มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งตรงตามความเป็นจริงบนพื้นผิวโลก ซึ่งความผิดพลาดเหล่านี้ อาจเกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก การทรงตัว ความเร็ว หรือความสูงของดาวเทียม เป็นต้น

การปรับแก้ข้อมูลภาพควรคำนึงถึงการนำไปใช้งาน ดังเช่นงานวิจัยครั้งนี้เน้นความถูกต้องเชิงตำแหน่ง เพื่อให้ข้อมูลภาพมีพิกัดตำแหน่งที่ถูกต้องและสอดคล้องกับตำแหน่งบนพื้นโลกตามระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ หรือพิกัดยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator; UTM) ของแผนที่ จึงได้ศึกษาเฉพาะการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต โดยแนวทางการปรับแก้มี 2 แนวทางหลัก (Toutin, 2004) ดังต่อไปนี้

1. การปรับแก้ภาพด้วยแบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model หรือ Rigorous Model) เป็นการอธิบายลักษณะทางเรขาคณิตของการถ่ายภาพบนพื้นฐานของสมการสถานะร่วมเส้น (Collinearity Equation) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพ (image coordinate) และพิกัดวัตถุบนพื้นโลก (object coordinate) เป็นแบบจำลองที่มีความถูกต้องสูง เนื่องจากทราบข้อมูลต่างๆเช่นค่าความเยื้องกันที่ภาพ
2. การปรับแก้ภาพด้วยแบบจำลองเชิงประจักษ์ (Empirical Model หรือ Replacement Model) เป็นแบบจำลองที่ไม่ต้องคำนึงถึงข้อมูลเช่นค่าความเยื้องกันที่ภาพ แต่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพ และพิกัดวัตถุด้วยสมการทางคณิตศาสตร์แทนแบบจำลองทางกายภาพ เช่น ฟังก์ชันอัตราส่วนโพลิโนเมียล (Rational Function Model; RFM) เป็นต้น

การปรับแก้ภาพสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันในเรื่องที่มาของสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในแต่ละสมการ จำนวนจุดควบคุมภาพที่ใช้ และความถูกต้องที่ได้รับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของข้อมูลภาพที่ต้องการปรับแก้ ดังนั้นความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพหลังการปรับแก้ต้องคำนึงถึงสมการทางคณิตศาสตร์ หรือแบบจำลองที่ใช้ปรับแก้ร่วมกับจุดควบคุมภาพ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการแปลงพิกัดภาพ สำหรับการปรับแก้ภาพในงานวิจัยครั้งนี้เลือกแบบจำลองทางกายภาพในการตัดแก้ออร์โท (orthorectification) ของข้อมูลภาพ WorldView-1 เนื่องจากใช้ข้อมูลจริงขณะบันทึกภาพทำให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนบนภาพถ่ายที่เกิดจากการวางตัวของเซนเซอร์ (sensor orientation) และความสูงค่าของภูมิประเทศ (relief displacement) เพื่อให้ภาพหลังการปรับแก้มีความถูกต้องสามารถวัดพิกัด ทิศทาง ระยะทาง เช่นเดียวกับแผนที่ลายเส้น การสร้างภาพออร์โทสามารถทำได้หากทราบค่าความสูงภูมิประเทศในแต่ละจุดที่เป็นตำแหน่งตรงกับจุดภาพบนข้อมูลภาพ (กรณีการถ่ายภาพในแนวตั้ง) หากข้อมูลภาพไม่ได้ถ่ายในแนวตั้งจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์การจจัดวางภาพภายนอก (Exterior Orientation Parameters; EOPs) และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) ถึงแม้จะใช้ข้อมูลจริงขณะดาวเทียมบันทึกภาพแต่ข้อมูลที่ได้มักมีความคลาดเคลื่อนทำให้ผลการคำนวณไม่ถูกต้องซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของภาพออร์โท ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ (Refinement

of Physical Model) เพื่อคำนวณปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งและการวางตัวของเซนเซอร์ด้วยการใช้จุดควบคุมภาพ เพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ (Wang et al., 2008)

สำหรับจุดควบคุมภาพที่นำมาใช้ควรมีค่าความละเอียดถูกต้องสูงประมาณหนึ่งในสามของความละเอียดของจุดภาพ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553) และมีจำนวนมากเพียงพอสำหรับการปรับแก้ภาพ และการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ปรับแก้ หรือภาพหลังการปรับแก้ ปัจจุบันนิยมคัดเลือกจุดควบคุมภาพ โดยแบ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกคือจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (ground control point; GCPs) กลุ่มที่สองคือจุดตรวจสอบอิสระ (independent check points; ICPs) หรือเรียกว่าวิธี Hold Out Validation (HOV) วิธี HOV ไม่เหมาะในกรณีที่มีจุดควบคุมภาพจำนวนจำกัด และอาจเกิดข้อผิดพลาดเมื่อมีการแบ่งกลุ่มผิด ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ได้เสนอวิธี Leave One Out Cross Validation (LOOCV) เป็นอีกหนึ่งเทคนิคในการคัดเลือกจุดควบคุมภาพ โดยให้ข้อมูลทั้งหมดเป็น GCPs จากนั้นเลือกหนึ่งจุดเป็นจุดตรวจสอบแล้วคำนวณการปรับแก้ การคำนวณปรับแก้แต่ละครั้งจะทราบมีค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบเพื่อนำมาใช้ในการกรองข้อมูลก่อนคัดเลือกจุดควบคุมภาพ ทั้งสองวิธีนี้เป็นส่วนหนึ่งของเทคนิคครอสวาเลชัน (cross validation) (Brovellia et al., 2006)

งานวิจัยครั้งนี้ร่วมมือกับกรมที่ดินเพื่อศึกษาการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ และวิธีที่มีประสิทธิภาพในการหาจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV เพื่อหาจำนวนจุดควบคุมภาพที่ใช้ร่วมกับแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงสำหรับการปรับแก้ภาพ WorldView-1 ให้มีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

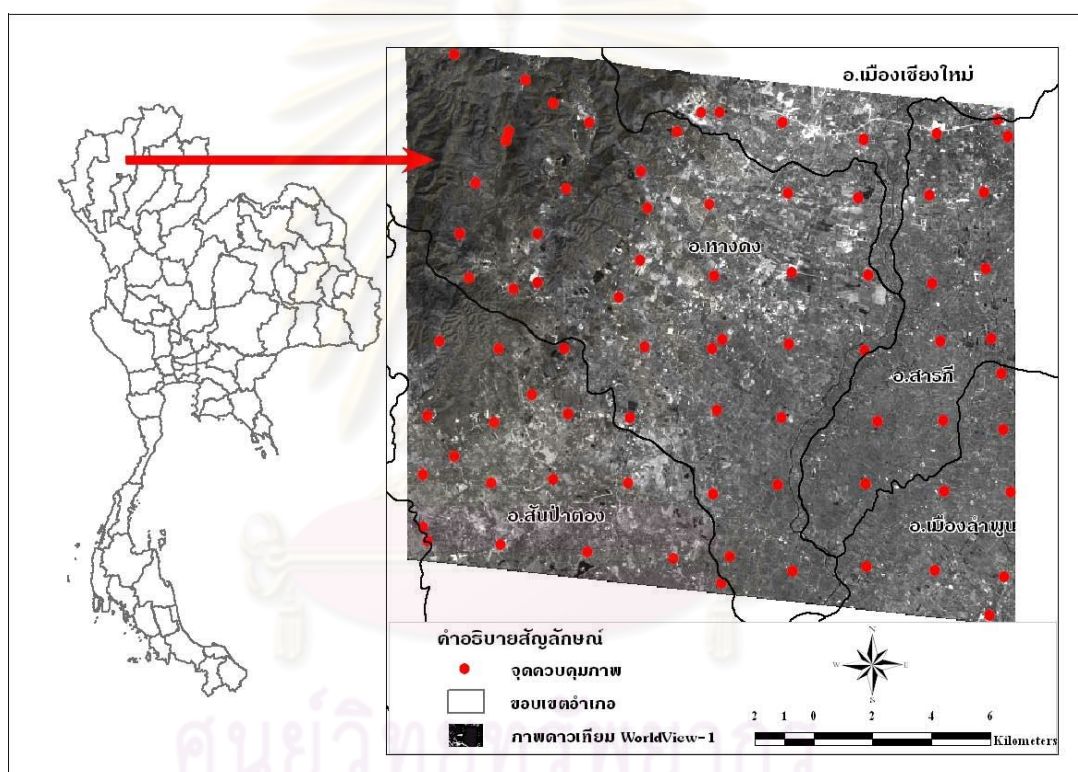
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ (Refinement of Physical Model) เพื่อการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตของภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1
2. ศึกษาวิธีที่มีประสิทธิภาพเพื่อหาจำนวนจุดควบคุมภาพที่เหมาะสมและมีคุณภาพด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV สำหรับการปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้อาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 ผลิตภัณฑ์ชนิด Basic ระดับ Level 1B บันทึกเมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2551 จำนวน 1 ซีน ขนาดของภาพถ่ายดาวเทียมด้านยาว 27,068 จุดภาพ ด้านกว้าง 35,180 จุดภาพ ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน (ละติจูด 18.59 องศาถึง 18.77 องศา และลองจิจูด 98.83 องศาถึง 99.03 องศา) ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาประมาณ 238.06 ตารางกิโลเมตร



รูปที่ 1.1 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาและจุดควบคุมภาพ 78 จุด

จากรูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่ศึกษาและจุดควบคุมภาพ 78 จุดกระจายครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมือง อำเภอหางดง อำเภอสารภี อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอเมืองจังหวัดลำพูน ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาค่อนข้างมีความแตกต่างด้านความสูงต่ำของภูมิประเทศ ประกอบด้วยพื้นที่ราบบริเวณด้านทิศตะวันออกของภาพ และพื้นที่สูงชันบริเวณด้านทิศตะวันตกของภาพ

2. ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

ในงานวิจัยครั้งนี้สามารถกำหนดขอบเขตของการศึกษาวิจัยแบ่งเป็น 4 ส่วนใหญ่ดังนี้

- 2.1 การศึกษาคุณลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 และวิธีการตรวจสอบคุณภาพของจุดควบคุมภาพ
- 2.2 การศึกษาวิธีปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตให้เหมาะสมต่อคุณลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 และศึกษาวิธีปรับปรุงแบบจำลองเพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น โดยการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์การจัดวางภาพภายนอก
- 2.3 การศึกษาการเลือกจุดควบคุมภาพ ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพ และการคัดเลือกจุดควบคุมภาพด้วยวิธี Hold Out Validation และ Leave One Out Cross Validation เพื่อหาจำนวนจุดควบคุมภาพที่เหมาะสมและมีคุณภาพสำหรับการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต
- 2.4 กระบวนการตัดแก้ภาพออร์โท และการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบภายหลังการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยึดตามการใช้งานเกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลปริภูมิ (National Standard for Spatial Data Accuracy; NSSDA)

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีศัพท์เทคนิคเกี่ยวข้องกับการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต เช่น วิธีการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต วิธีการคัดเลือกจุดควบคุมภาพ เป็นต้น โดยบางเนื้อหาต้องกล่าวถึงศัพท์เทคนิคดังกล่าวหลายรอบประกอบกับชื่อค่อนข้างมีความยาว ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ชื่อย่อของศัพท์เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตดังต่อไปนี้

HOV คือ วิธี Hold out Validation

LOOCV คือ วิธี Leave One out Cross Validation

EOPs คือ ค่าพารามิเตอร์การจัดวางภาพภายนอก (Exterior Orientation Parameters)

RMSE คือ รากความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error)

MAD คือ ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์จากมัธยฐาน (Median Absolute Deviation)

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. Photo Control Point หมายถึง จุดที่ปรากฏ หรือจุดที่บ่งบอกได้จากสิ่งแวดล้อมที่ปรากฏบนภาพถ่ายที่มีลักษณะเด่นชัด สามารถชี้ชัดทางตำแหน่งได้อย่างชัดเจนบนภาพ และเมื่อลงไป ในสนามจุดดังกล่าวก็จะสามารถค้นหาได้ง่ายบนวัตถุหรือภูมิประเทศ (ไพศาล สันติธรรม นนท์, 2553)
2. Sensor model หมายถึง แบบจำลองที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดภาพ และค่า พิกัดวัตถุบนพื้นโลกด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (Kim and Dowman, 2005)
3. Sensor orientation หมายถึง การวางตัวของเซนเซอร์ขณะบันทึกข้อมูลภาพประกอบด้วย ตำแหน่งของเซนเซอร์ หรือจุดเปิดถ่ายภาพ และมุมหมุนรอบแกนทั้งสามของเซนเซอร์ได้ แก่ มุมหมุนรอบแกน X (Omega; ω) มุมหมุนรอบแกน Y (Phi; φ) และมุมหมุนรอบแกน Z (Kappa; κ) (Toutin, 2006)
4. Orthorectification หมายถึง กระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตของภาพ เพื่อให้ทุกจุดภาพแสดงอยู่ในลักษณะแนวตั้ง โดยใช้ข้อมูลระดับสูงในการตัดแก้ความ คลาดเคลื่อนจากความสูงภูมิประเทศของภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายจากดาวเทียม (กรมแผนที่ทหาร, 2549)
5. Single Photo Resection หมายถึง การวัดย้อนสำหรับภาพถ่ายเดี่ยวเพื่อหาค่าจัดวางภาพ ภายนอกของภาพถ่ายทีละภาพ โดยอาศัยหลักการของการวัดพิกัดภาพถ่ายของจุดควบคุม ภาพประกอบเข้ากับความสัมพันธ์จากสมการสภาวะร่วมเส้น (Colinearity Equation) (ไพศาล สันติธรรม นนท์, 2553)
6. Residual หมายถึง ความคลาดเคลื่อนตกค้าง หรือค่าเศษเหลือของผลต่างระหว่างค่าพิกัดที่ ใช้อ้างอิง (จุดควบคุมภาพ) และค่าพิกัดของจุดเดียวกันจากการแปลงค่าพิกัด (Kapnias, Milenov and Kay, 2008)
7. Root Mean Squared Error (RMSE) หมายถึง รากความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเป็นค่าที่ แสดงความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบบนภาพออร์โท (Kapnias, Milenov and Kay, 2008)
8. National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) หมายถึง มาตรฐานความถูกต้อง ทางตำแหน่งของข้อมูลปริภูมิโลก (ไพศาล สันติธรรม นนท์, 2553)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบแบบจำลองการวางตัวของเซนเซอร์ดาวเทียม WorldView-1 ขณะบันทึกข้อมูลภาพ เพื่อปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพให้เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษา
2. ทราบจำนวนขั้นต่ำของ GCPs สำหรับปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต
3. ทราบค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ภายหลังจากปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. การรวบรวมข้อมูลจุดควบคุมภาพ แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม รายละเอียดสูง WorldView-1
3. การศึกษาคุณลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อเลือกแบบจำลองที่ใช้ในการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ผลิตภัณฑ์ชนิด Basic ระดับ Level 1B สามารถปรับแก้ภาพด้วยแบบจำลองทางกายภาพ และแบบจำลองเชิงประจักษ์ เนื่องจากมีข้อมูลที่สนับสนุนสำหรับการปรับแก้ภาพจัดเก็บในเพิ่มข้อมูลภาพ
4. การคัดเลือกจุดควบคุมภาพทั้ง 78 จุด ก่อนการรังวัดพิักัดภาพของจุดควบคุมภาพให้ตรงกับภูมิประเทศ จำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของจุดควบคุมภาพว่าเป็นไปตามเงื่อนไขหรือไม่ โดยพิจารณาจากรูปถ่าย ส่วนขยายของจุดควบคุมภาพของรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ (photo control description)
5. การรังวัดพิักัดจุดควบคุมภาพด้วยโปรแกรม ERDAS IMAGINE Version 9.2 เริ่มจากสร้างโครงการ (Project) กำหนดระบบพิักัดและการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กำหนดแบบจำลองหรือสมการที่ใช้ในการจัดทำโครงข่ายสามเหลี่ยม โดยเลือกเป็นแบบ Orbital Pushbroom เลือกชนิดของเส้นโครงแผนที่ (UTM) บนพื้นหลักฐาน (datum) World Geodetic System 1984 (WGS84)
6. การกำหนดข้อมูลเฉพาะของภาพถ่ายดาวเทียม เช่น ค่าการจีดวางภาพภายใน ค่าการจีดวางภาพภายนอก เป็นต้น
7. การรังวัดพิักัดจุดภาพของจุดควบคุมภาพให้ตรงกับภูมิประเทศ สำหรับการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ

8. การปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพด้วยการปรับแก้ค่า EOPs ของเซนเซอร์ ซึ่งจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่า EOPs และเวลาของการถ่ายภาพ (t) ด้วยสมการโพลีโนเมียลดีกรีต่างๆ โดยการทดลองแต่ละครั้งใช้จำนวน GCPs เท่ากัน แต่มีการกระจายแตกต่างกัน และกำหนดค่าต่างๆสำหรับการคำนวณซ้ำสามเหลี่ยมให้มีค่าเหมือนกัน
9. เมื่อทราบแบบจำลองเซนเซอร์ที่เหมาะสมกับดาวเทียม WorldView-1 ทำให้เกิดสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าจากสมการโพลีโนเมียลจึงต้องใช้ GCPs เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลีโนเมียลสำหรับค่าแก้ EOPs และเป็นพารามิเตอร์ของการปรับแก้
10. รังวัดพิกัดจุดภาพของจุดควบคุมภาพให้ตรงกับภูมิประเทศโดยแบ่งจุดควบคุมภาพเป็นสองกลุ่มตามเงื่อนไขของวิธี HOV และการวางจุดควบคุมภาพทั้งหมดเป็น GCPs สำหรับวิธี LOOCV
11. การวิเคราะห์หาจำนวนจุดควบคุมภาพที่ใช้ในแต่ละวิธี โดยพิจารณาจากค่าความถูกต้องของการปรับแก้ (Total Image Unit-Weight RMSE) จากผลการคำนวณซ้ำสามเหลี่ยมไม่เกิน 1 ใน 3 ของความละเอียดจุดภาพของภาพดาวเทียมที่ปรับแก้ (ประมาณ 0.17 เมตร)
12. กระบวนการตัดแก้ภาพออร์โทระหว่างแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs จากวิธี HOV และวิธี LOOCV
13. การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทตามมาตรฐานของ NSSDA โดยจุดตรวจสอบที่มีกระจายครอบคลุมทั่วพื้นที่ศึกษาจากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม
14. การวิเคราะห์และสรุปผลโมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพสำหรับดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 ระหว่าง วิธี HOV และวิธี LOOCV
15. สรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

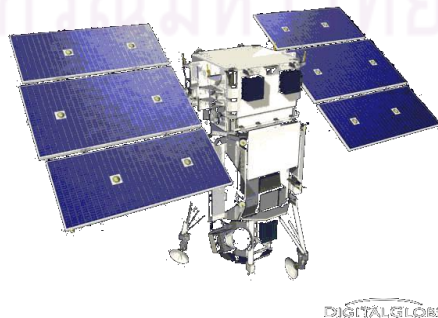
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสำรวจข้อมูลจากระยะไกลมักเกิดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการถ่ายภาพหรือการโคจรของดาวเทียมทำให้ตำแหน่งของวัตถุต่างๆ มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงจึงต้องมีการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการแก้ไขภาพก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ของระบบพิกัดระหว่างข้อมูลภาพและระบบพิกัดภาคพื้นดิน ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อนนำไปใช้งานด้านต่างๆ โดยเฉพาะงานที่ต้องการข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง เช่น การศึกษาแหล่งชุมชน เมือง เส้นทางคมนาคม สิ่งก่อสร้างสาธารณูปโภคต่างๆ รวมถึงการทำแผนที่ เป็นต้น ดังนั้นความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพหลังการปรับแก้ต้องคำนึงถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จุดควบคุมภาพที่เลือกใช้ ในบทนี้จึงกล่าวถึงการเลือกจุดควบคุมภาพ การปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตด้วยวิธีต่างๆ การปรับปรุงแบบจำลอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 คุณลักษณะและผลิตภัณฑ์ของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1

ปัจจุบันมีข้อมูลจากดาวเทียมมากมายให้ผู้ใช้ได้เลือกตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องทราบวัตถุประสงค์ว่าต้องการนำข้อมูลภาพไปใช้ประยุกต์ด้านใด การทราบรายละเอียดต่างๆ ของข้อมูลภาพทำให้ผู้ใช้สามารถนำข้อมูลไปใช้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับคุณลักษณะและผลิตภัณฑ์ของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 แสดงดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงดาวเทียม WorldView-1

ที่มา : Digital Globe, 2009

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะของดาวเทียม WorldView-1

WorldView-1 Characteristics	
Scheduled Launch Date	Date: September 18, 2007 Launch Vehicle: Delta II 7920 Launch Site: Vandenberg Air Force Base
Orbit	Altitude: 496 kilometers Type: Sun synchronous, 10:30 am descending node Period: 94.6 minutes
Sensor Bands	Panchromatic
Sensor Resolution	0.50 meters Ground Sample Distance (GSD) at nadir 0.59 meters GSD at 25° off-nadir
Dynamic Range	11-bits per pixel
Swath Width	17.6 kilometers at nadir
Revisit Frequency	1.7 days at 1 meter GSD 4.6 days at 25° off-nadir or less (0.59 meter GSD)
Geolocation Accuracy (CE 90)	Specification of 6.5 m CE90 at nadir, excluding terrain and off-nadir effects
Mission Life	7.25 years

ที่มา : Digital Globe, 2009

จากตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะของดาวเทียม WorldView-1 ซึ่งเป็นดาวเทียมเชิงพาณิชย์ผลิตโดยบริษัท Digital Globe ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2550 ณ ฐานทัพอากาศ Vandenberg รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา วงโคจรมีระดับความสูง 496 กิโลเมตร ลักษณะการโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (sun synchronous) โดยผ่านขั้วโลก เวลาที่ดาวเทียมโคจรซ้ากับมายังแนวละติจูดเดิมประมาณ 10:30 นาฬิกาเป็นเวลาท้องถิ่น การโคจรรอบโลก 1 รอบใช้เวลาประมาณ 94.60 นาที ดาวเทียม WorldView-1 มีระบบการบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นเดียวหรือระบบภาพขาวดำ (panchromatic) มีความละเอียดจุดภาพ 50 เซนติเมตรเมื่อบันทึกภาพในแนวตั้ง (nadir) ความละเอียดเชิงแสง 11 บิตต่อจุดภาพ ความกว้างของภาพ 17.60 กิโลเมตร ความถี่ในการบันทึกข้อมูลบริเวณเดิมทุก 2-5 วัน ความถูกต้องเชิงตำแหน่งภูมิศาสตร์ (Geolocal) 6.5 เมตร และมีอายุการทำงานประมาณ 7 – 8 ปี



รูปที่ 2.2 แสดงภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 บริเวณสวนราชพฤกษ์ จ.เชียงใหม่

ตารางที่ 2.2 แสดงผลิตภัณฑ์ของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1

Product Level	Processing	Absolute Accuracy (meters)	
		CE90%	RMSE
Basic	Sensor Corrected (Raw)	6.5	-
• Basic 1B (Level 1)		6.5	
• Basic Stereo Pairs (Level 1)		6.5	
Standard 2A (Level 2)	Georectified	6.5	-
Ortho			
• Ortho 1:12,000	Orthorectified	10.2	6.2
• Ortho 1:5,000	Orthorectified	4.23	2.6
• Ortho 1:4,800	Orthorectified	4.1	2.5
• Custom Ortho	Orthorectified	Variable	Variable

ที่มา : Digital Globe, 2009

จากตารางที่ 2.2 แสดงผลิตภัณฑ์ของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ที่ทางบริษัท Digital Globe ให้บริการ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ชนิด Basic ระดับ Level 1B ข้อมูลภาพที่ได้มีการปรับแก้ภาพเชิงรังสี และขจัดความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตแบบมีระบบ (systematic error) อันเนื่องมาจากความผิดพลาดจากการกวาดภาพที่เกิดจากอุปกรณ์ตรวจจับซึ่งสถานีรับภาคพื้นดินจะเป็นผู้ปรับแก้ทำให้ภาพเอียงสอดคล้องกับแนวการกวาดภาพ ข้อมูลที่ได้ยังคงเป็นระบบพิกัดของแถวและสดมภ์ของข้อมูลภาพตาม โครงสร้างข้อมูลแบบราสเตอร์ทำให้ข้อมูลภาพที่ได้มีลักษณะเหมือนกับข้อมูลดิบ (raw data)

2.1.2 จุดควบคุมภาพ

จุดควบคุมภาพถูกนำมาใช้ในกระบวนการปรับแก้ภาพเพื่อหาความสัมพันธ์ของระบบพิกัด การปรับปรุงแบบจำลอง และการประเมินความถูกต้องของภาพหลังการปรับแก้ ทำให้การเลือกจุดควบคุมภาพ ความละเอียดถูกต้องของจุดควบคุมภาพ ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพ และจำนวนที่ใช้มีผลต่อความถูกต้องของการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการแปลงค่าพิกัด ดังนั้นขั้นตอนการเลือกตำแหน่งของจุดควบคุมภาพจึงมีความสำคัญมากในการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต

- การเลือกจุดควบคุมภาพ

จุดควบคุมภาพ คือจุดที่สามารถระบุหรือวัดค่าพิกัดภาพบนภาพดาวเทียม แล้วทำการรังวัดค่าพิกัดวัตถุบนพื้นดินตามระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ หรือพิกัดยูทีเอ็มของแผนที่เพื่อใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการแปลงค่าพิกัด หรือการคำนวณปรับแก้ ดังนั้นการเลือกจุดที่มีความถูกต้องแม่นยำจะมีผลดีต่อการปรับแก้ภาพ โดยทั่วไปจุดควบคุมภาพที่รังวัดในสนามด้วยเครื่องมือและวิธีการที่ให้ความละเอียดถูกต้องสูงเพื่อนำมาควบคุมงานช่างสามเหลี่ยมมักถูกเรียกว่า จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (ground control point; GCPs) (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553)

จุดตรวจสอบ คือจุดที่สามารถระบุหรือวัดค่าพิกัดภาพบนภาพดาวเทียม แล้วรังวัดค่าพิกัดวัตถุบนพื้นดินเช่นเดียวกับจุดควบคุมภาพเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้อง หรือการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองการแปลงค่าพิกัดภาพ โดยไม่นำไปใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต จากรูป 2.3 แสดงเกณฑ์การเลือกจุดควบคุมภาพ (Kapnias, Milenov and Kay, 2008) ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดดังนี้

- จุดที่เลือกต้องมีลักษณะคมชัดสามารถระบุทางตำแหน่งได้อย่างชัดเจนบนภาพ และค้นหาได้ง่ายในภูมิประเทศที่เรียกว่า “Well Defined Point” สามารถค้นหาได้ง่าย และสะดวกต่อการเข้าถึงไม่เป็นสถานที่ที่ต้องขออนุญาต
- จุดที่เลือกควรมีรูปทรงค่อนข้างคงที่หรือยากต่อการเปลี่ยนแปลง เช่น มุมสนามคอนกรีต มุมถนน มุมแปลงเกษตร ฝาบ่อพักของท่อ แนวกึ่งกลางหรือจุดตัดของทางเดิน ถนน สะพาน คันนา เป็นต้น จุดที่เลือกควรอยู่บริเวณพื้นที่โล่งไม่มีอุปสรรคบังสัญญาณระหว่างการรังวัดค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS
- จุดที่เลือกต้องกระจายครอบคลุมทั่วทั้งภาพถ่ายดาวเทียม และมีจำนวนมากเพียงพอสำหรับการปรับแก้ภาพ และตรวจสอบความถูกต้องของภาพ



ก. แสดงจุดตัดของถนนบนภาพถ่ายดาวเทียม



ข. แสดงจุดตัดของถนนบนภูมิประเทศ



ค. แสดงมุมของขอบถนน



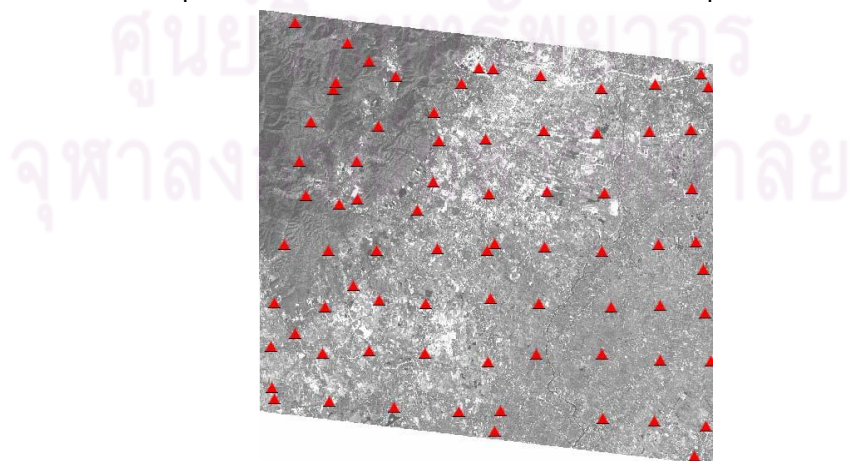
ง. แสดงจุดตัดของสะพาน



จ. แสดงมุมสนามคอนกรีต



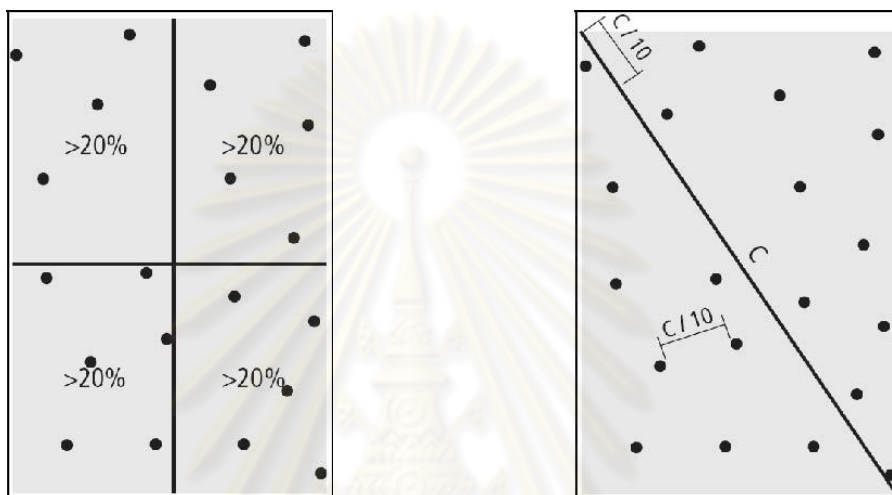
ฉ. แสดงจุดตัดของคันนา



ช. แสดงตำแหน่งของจุดควบคุมภาพบนภาพถ่ายดาวเทียมจำนวน 78 จุด

รูปที่ 2.3 แสดงเกณฑ์การเลือกจุดควบคุมภาพ

สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของภาพออร์โทตามาตรฐานแห่งชาติเกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลปริภูมิ (National Standard for Spatial Data Accuracy; NSSDA) แนะนำการกระจายของจุดตรวจสอบควรมีจุดตรวจสอบอย่างน้อย 20 % ของข้อมูลทั้งหมดภายในพื้นที่หนึ่งในสี่ของพื้นที่ศึกษา และมีระยะห่างระหว่างจุดประมาณหนึ่งในสิบของเส้นทแยงมุม (Minnesota Department of Administration, 1999) แสดงดังรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายของจุดตรวจสอบ รูปที่ 2.5 แสดงระยะห่างระหว่างจุดตรวจสอบ

ที่มา : Minnesota Department of Administration, 1999

เมื่อกำหนดจุดควบคุมภาพและจุดตรวจสอบที่มีความชัดเจนบนภาพ ขึ้นตอนต่อไปเป็นการรังวัดพิกัดของจุดควบคุมภาพด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส (Global Positioning System) เพื่อความสะดวกในการใช้งานการออกภาคสนามแต่ละครั้งควรมีการบันทึกข้อมูลต่างๆลงในแบบฟอร์ม การจดบันทึกต้องชัดเจนเพื่อนำไปเขียนหรือคำนวณหาสิ่งที่ต้องการได้ หรือเรียกว่า สมุดสนาม (field sheet and description) ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลต่างๆขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงาน เช่น การสำรวจแนวทางเพื่อทำถนน การรังวัดจุดควบคุมภาพ เป็นต้น สำหรับงานรังวัดจุดควบคุมภาพอาจเรียกรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ (photo control description) ประโยชน์ของรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพเพื่อใช้พิจารณาการวางจุดควบคุมภาพให้ตรงตำแหน่งตามภูมิประเทศ เนื่องจากผู้รังวัดอาจมิใช่บุคคลเดียวกันกับผู้วางจุดควบคุมภาพ และเพื่อความสะดวกในการค้นหาในการแก้ไข หรือสำรวจข้อมูลเพิ่มเติม โดยหัวข้อที่ใช้ในรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพควรมีรายละเอียดดังนี้ (Kapnias, Milenov and Kay, 2008)

- ชื่อผู้บันทึกจุดควบคุมภาพ (point identifier)
- ค่าพิกัด X, Y, Z ของจุดควบคุมภาพ
- วิธีการได้มาของจุดควบคุมภาพ เช่น การรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS แผนที่ภาพถ่ายออร์โทรีโอส แผนที่ภูมิประเทศ เป็นต้น
- ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางตั้ง (RMSE_x, RMSE_y, RMSE_z)
- ภาพวาด (sketches) หรือส่วนขยายของจุดควบคุมภาพ
- รูปถ่ายที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของจุดควบคุมภาพบนภูมิประเทศ หรือทำแผนที่ การเข้าถึงจุดให้ชัดเจน เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการกำหนดตำแหน่งในภาคสนาม
- ภาพแสดงการกระจายของจุดควบคุมภาพ
- ข้อสังเกตหรือข้อเสนอแนะอื่นๆ

นอกจากนี้ควรระบุระบบพิกัด การฉายแผนที่ พื้นหลักฐาน และหมุดหลักฐานที่ใช้ในการรังวัดจุดควบคุมภาพ ควรทำเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ลงบนภาพดาวเทียมและแผนที่ นอกจากนี้การกำหนดชื่อ GCPs และจุดตรวจสอบต้องแตกต่างกัน เพื่อความสะดวกในการค้นหา หลังการสำรวจควรรวบรวมรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพของแต่ละจุดให้เป็นระเบียบ (ตัวอย่างรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพแสดงในภาคผนวก ก)

- **การรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม**

นอกจากการเลือกตำแหน่งจุดควบคุมภาพที่เหมาะสมแล้ว วิธีการรังวัดหรือการได้มาของจุดควบคุมภาพควรมีค่าความละเอียดถูกต้องสูงประมาณหนึ่งในสามของความละเอียดของจุดภาพ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2553) ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของการปรับแก้ภาพ ในปัจจุบันนิยมรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสเนื่องจากให้ค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องสูง การวางตำแหน่งจุดควบคุมภาพไม่จำเป็นต้องเข้าไปยังภูมิประเทศจริง อีกทั้งเครื่องมือในปัจจุบันมีราคาถูกลงและใช้งานได้สะดวกขึ้น งานวิจัยครั้งนี้ใช้จุดควบคุมภาพทั้งหมด 78 จุดได้ความอนุเคราะห์จากโครงการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 สำหรับงานทางด้านแผนที่ของกรมที่ดิน ที่มีความละเอียดถูกต้องทางราบ 20 เซนติเมตร และความละเอียดถูกต้องทางตั้ง 50 เซนติเมตร ด้วยการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid static) และการรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real time kinematic; RTK) (กรมที่ดิน, 2551) ซึ่งเทคนิคการรังวัดแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

1. การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid static)

วิธีการนี้ต้องการใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง เครื่องที่หนึ่งถูกวางไวบนหมุดที่ทราบค่าพิกัดหรือสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับที่สองถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดหรือสถานีจร เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้เป็นเครื่องรับสัญญาณแบบ 1 หรือ 2 ความถี่ โดยมีการรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกันไม่น้อยกว่า 5 ดวง เวลาการรับสัญญาณขึ้นอยู่กับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และระยะระหว่างสถานีฐานกับสถานีจร เช่น เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ มีระยะระหว่างสถานี 5 - 10 กิโลเมตรให้รับสัญญาณ 10 - 20 นาที เป็นต้น โดยสถานีฐานต้องเป็นหมุดที่รับสัญญาณแบบ Static ไม่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง วิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้อง 1-3 เซนติเมตร สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตรเหมาะสำหรับการสร้างหรือขยายโครงข่ายการแผนที่ที่มีความถูกต้องสูง

2. การรังวัดแบบจลนในทันที (Real time kinematic; RTK)

วิธีการนี้เป็นการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ เครื่องที่หนึ่งจะถูกวางไวบนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว และเครื่องรับที่สองถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด แต่สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณที่สองได้ (แต่ละจุดควรอยู่ที่เดิมประมาณ 1-2 นาที) โดยมีอุปกรณ์สื่อสารระหว่างเครื่องรับทั้งสองสำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน การทำงานแบบ RTK เป็นการส่งข้อมูลที่รับสัญญาณดาวเทียมใด ไปยังจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเครื่องรับมีการประมวลผลค่าพิกัดในภาคสนามทันที ระยะห่างระหว่างสถานีไม่เกิน 15 กิโลเมตร วิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1-5 เซนติเมตร ค่าความถูกต้องที่ได้ขึ้นอยู่กับกำลังของคลื่นวิทยุที่ใช้การรับส่งข้อมูลระหว่างกัน เครื่องรับสัญญาณทั้งสองมีการรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 5 ดวง และเครื่องรับสัญญาณที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น

• ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน

จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (ground control point; GCPs) มีความสำคัญต่อการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตอย่างมาก เนื่องจากค่าความถูกต้องของ GCPs สามารถถ่ายทอดไปยังสมการของการคำนวณปรับแก้ภาพ ความผิดพลาดของ GCPs ก็สามารแพร่เข้าไปในผลลัพธ์ได้เช่นกัน ถ้าหากมี GCPs จำนวนมากก็จะทำให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ ซึ่งนอกจากความละเอียดถูกต้องของ GCPs แล้วการจัดวางตำแหน่งและจำนวน GCPs นับว่ามีความสำคัญเช่นกัน สำหรับตำแหน่งการจัดวาง GCPs และจำนวนที่เหมาะสม คือจำนวนที่ไม่มากเกินไปจนทำให้เกิด

ค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น ในขณะที่เดียวกันให้ผลลัพธ์การคำนวณปรับแก้ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงพอสมควร การหาตำแหน่งการจจัดวาง GCPs และจำนวนที่เหมาะสมสามารถทำได้โดยการสร้างสนามทดสอบที่มีจุดควบคุมภาพอย่างหนาแน่นแล้วทำการคำนวณปรับแก้เปรียบเทียบผลลัพธ์ของจุดตรวจสอบกับค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดภาคพื้นดินที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า หลังจากนั้นทำการคำนวณใหม่โดยการลดจำนวนการจจัดวาง GCPs ลงแล้วทำการคำนวณเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ซึ่งจะสามารนำไปสู่ข้อสรุปของตำแหน่งการจจัดวาง GCPs และจำนวนที่เหมาะสมที่สุด (ไพศาล สันติธรรมนท, 2553) โดยการสร้างสนามทดสอบควรมี GCPs กระจายครอบคลุมทั่วทั้งภาพ เริ่มจากวางจุดอย่างน้อย 4 จุดบริเวณมุมทั้งสี่ของบล็อกภาพถ่ายจากนั้นจึงวางจุดอื่นๆ ต่อไปให้กระจายทั่ว

2.1.3 การปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต

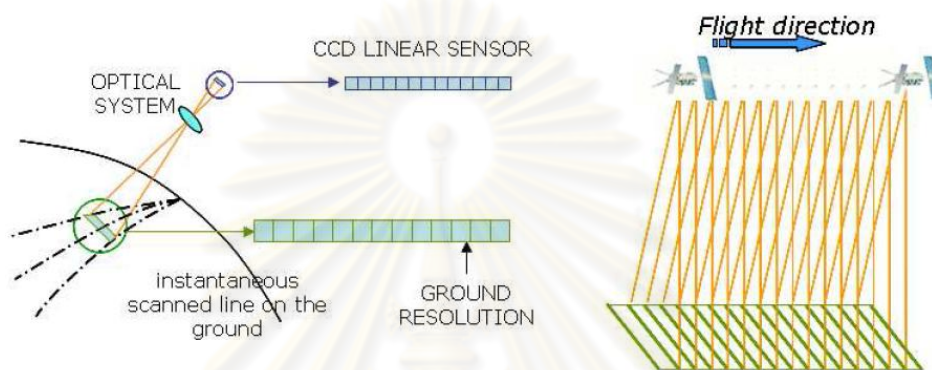
การปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตเป็นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดภาพซึ่งสามารถวัดได้จากภาพดาวเทียมกับระบบพิกัดวัตถุบนพื้นดินโดยวัตถุประสงค์ของการปรับแก้ภาพเพื่อให้ค่าพิกัดหรือตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนภาพถ่ายดาวเทียมสัมพันธ์กับตำแหน่งใดๆ บนพื้นโลก ทำให้ข้อมูลภาพหลังปรับแก้เป็นตัวแทนเสมือนจริงของพื้นที่ที่ถูกระบุในภาพ การปรับแก้ภาพมีความสำคัญอย่างมากโดยเฉพาะงานที่ต้องการข้อมูลภาพที่มีความละเอียดถูกต้องสูงเพื่อใช้ในการงานด้านการวางผังเมือง การผลิตหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่ ปัจจุบันนิยมปรับแก้ภาพด้วย 2 แบบจำลองหลัก (Toutin, 2004) ซึ่งแต่ละแบบจำลองสามารถสรุปรายละเอียดดังนี้

- การปรับแก้ภาพด้วยแบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model หรือ Rigorous Model)

แบบจำลองทางกายภาพเป็นการอธิบายการทำงานของเซนเซอร์ หรือลักษณะทางเรขาคณิตของการถ่ายภาพขณะที่ดาวเทียมกำลังบินถ่ายภาพทำให้ทราบข้อมูลต่างๆของเซนเซอร์ขณะถ่ายภาพ นับว่าเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือและมีความถูกต้องมากกว่าวิธีอื่นๆ ข้อมูลดังกล่าวถูกจัดเก็บมาพร้อมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในรูปแบบของเอกสาร XML เพื่อให้ผู้ใช้มีข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการนำภาพไปใช้งาน เช่น วันเวลาการบินที่ภาพ ระดับการประมวลผล ข้อมูลวงโคจร (ephemeris data) ที่นำมาใช้คำนวณการปรับแก้ภาพ ได้แก่ ตำแหน่งของดาวเทียม เวลาที่บันทึกข้อมูลภาพในแต่ละเส้นภาพ ความเร็วของดาวเทียม (velocity) ค่าพารามิเตอร์การจจัดวางภาพภายใน (Interior Orientation Parameters; IOPs) ได้แก่ ค่าความยาวโฟกัสของเลนส์ (focal length of lens) จุดमुखยสำคัญ (principal point) เป็นต้น ค่าพารามิเตอร์การจจัดวางภาพภายนอก (Exterior

Orientation Parameters; EOPs) ได้แก่ ค่าพิกัดของเซนเซอร์ (X_s, Y_s, Z_s) หรือจุดเปิดถ่ายภาพที่มีค่าพิกัดขณะบันทึกภาพ ค่ามุมหมุนรอบแกนทั้งสามของเซนเซอร์ ($\omega_s, \phi_s, \kappa_s$)

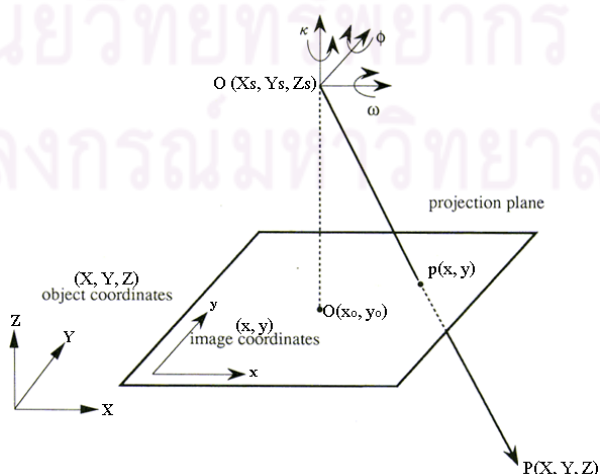
ดาวเทียม WorldView-1 บันทึกข้อมูลด้วยเซนเซอร์แบบเครื่องกวาดภาพพวยบรูม (Pushbroom Scanner) หรือเครื่องวัดแบบแผงเชิงเส้น (Linear array sensor) เป็นเครื่องกวาดภาพที่ใช้แผงเชิงเส้นทำให้สามารถบันทึกแต่ละแผงเส้นของภาพ หรือแต่ละเฟรมย่อยได้พร้อมๆ กันแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการบันทึกภาพด้วยเซนเซอร์แบบเครื่องกวาดภาพพวยบรูม

ที่มา : Crespi and Giannone, 2006

จากรูปที่ 2.6 แสดงการเก็บบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องกวาดภาพแบบพวยบรูมที่ใช้แผงของอุปกรณ์ที่เรียงตัวกันเป็นแถวที่เรียกว่าเครื่องซีซีดีเชิงเส้น (Linear CCD sensor) บันทึกข้อมูลในแนวขนานกับทิศทางการโคจรของดาวเทียม โดยบันทึกภาพเป็นแบบเส้นต่อเส้นซึ่งแต่ละเส้นมีการฉายชนิดผ่านศูนย์กลาง (perspective projection) เป็นไปตามพื้นฐานของสมการสภาวะร่วมเส้น (Collinearity Equation) ทำให้แต่ละเส้นภาพมีการบันทึกค่า EOPs ณ เวลาต่างกัน



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของพิกัดบนภาพถ่าย และพิกัดวัตถุบนพื้นโลก

ที่มา : Crespi and Giannone, 2006

จากรูปที่ 2.7 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพ และพิกัดวัตถุบนพื้น โลกบน พื้นฐานของสมการสถานะร่วมเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดรวมแสงของภาพจุดพิกัด ภาพถ่าย (x,y) และจุดบนภาคพื้นดิน (X,Y,Z) อยู่บนเส้นตรงเดียวกันซึ่งเป็นลักษณะทางเรขาคณิต ของการถ่ายภาพแบบการฉายชนิดผ่านศูนย์กลาง โดยสมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของการแปลงพิกัด วัตถุบนพื้นดิน ไปสู่พิกัดบนภาพถ่าย (Wang et al., 2008) แสดงดังนี้

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix} = \lambda * M * \begin{bmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

หรือ

$$\begin{aligned} x &= x_0 - f \frac{M_{11}(X - X_s) + M_{21}(Y - Y_s) + M_{31}(Z - Z_s)}{M_{13}(X - X_s) + M_{23}(Y - Y_s) + M_{33}(Z - Z_s)} \\ y &= y_0 - f \frac{M_{12}(X - X_s) + M_{22}(Y - Y_s) + M_{32}(Z - Z_s)}{M_{13}(X - X_s) + M_{23}(Y - Y_s) + M_{33}(Z - Z_s)} \end{aligned} \quad (2.2)$$

- เมื่อ x, y คือ ค่าพิกัดภาพ
 x_0, y_0 คือ ค่าพิกัดภาพของจุดमुखยสำคัญ
 X, Y, Z คือ ค่าพิกัดวัตถุบนพื้นดิน
 X_s, Y_s, Z_s คือ ค่าพิกัดตำแหน่งเซนเซอร์จากข้อมูลวงโคจร
 f คือ ค่าความยาวโฟกัสของเซนเซอร์
 M คือ เมตริกซ์ค่าสัมประสิทธิ์ของการหมุนรอบแกนทั้งสาม $(\omega_s, \varphi_s, \kappa_s)$

ข้อดีของแบบจำลองทางกายภาพคือ สามารถปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิด จากอุปกรณ์บันทึกข้อมูล เนื่องจากใช้ข้อมูลจริงที่ได้จากการบันทึกของดาวเทียมขณะทำการ ถ่ายภาพทำให้มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งและความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีอื่น สำหรับข้อเสียคือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีความซับซ้อน และมีความยุ่งยากต้องใช้ซอฟต์แวร์เฉพาะทางใน การประมวลผล ซึ่งซอฟต์แวร์เหล่านี้มีราคาแพงทำให้ไม่สะดวกต่อการนำไปใช้งานจริงในทาง ปฏิบัติ หรือข้อมูลขณะบันทึกภาพไม่เปิดเผย

- การปรับแก้ภาพด้วยแบบจำลองเชิงประจักษ์ (Empirical Model หรือ Replacement Model)

แบบจำลองเชิงประจักษ์เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ต้องคำนึงถึงข้อมูลของเซนเซอร์ขณะบันทึกภาพ เนื่องจากผู้ผลิตภาพดาวเทียมไม่เปิดเผยค่าดังกล่าวทำให้ไม่สามารถใช้สมการสถานะร่วมเส้น แนวทางสำหรับการปรับแก้ปัญหาโดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ทดแทนแบบจำลองทางกายภาพที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพและพิกัดวัตถุบนพื้นดินแทนสมการสถานะร่วมเส้น เช่น การแปลงแบบเส้นตรง การแปลงแบบสัมพรรค การใช้สมการโพลีโนเมียล หรือฟังก์ชันอัตราส่วนโพลีโนเมียล ในปัจจุบันนิยมใช้ฟังก์ชันอัตราส่วนโพลีโนเมียลซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดดังนี้

ฟังก์ชันอัตราส่วนโพลีโนเมียล (Rational Function Model; RFM) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับนิยมนอกจากปัญหาการแกว่งของค่าขึ้นๆลงๆ เมื่อใช้สมการโพลีโนเมียลกำลังสูงๆ และกระจายค่าความคลาดเคลื่อนอย่างสม่ำเสมอ การปรับแก้ภาพด้วยวิธี RFM จำเป็นต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์เศษส่วนโพลีโนเมียล (Rational Polynomial Coefficient; RPC) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพกับพิกัดวัตถุบนพื้นโลกสมการที่ใช้แสดงดังนี้ (Wang et al., 2008)

$$\begin{aligned} x &= \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)} \\ y &= \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.3 เป็นสมการการแปลงค่าพิกัดจากพิกัดวัตถุบนภูมิประเทศ (X, Y, Z) ไปเป็นพิกัดบนภาพ (x, y) ที่วัตถุนั้นไปปรากฏอยู่ โดยทั่วไปรูปของสมการที่ใช้คือสมการโพลีโนเมียลกำลังสามเนื่องจากสามารถปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากความสูงของดาวเทียม การวางตัวของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล และความคลาดเคลื่อนที่ไม่ทราบสาเหตุ เหมาะสำหรับดาวเทียมที่มีระบบบันทึกภาพด้วยเซนเซอร์แบบเครื่องกวาดภาพพวงรอบ สมการที่ใช้คำนวณปรับแก้ภาพแสดงดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} x &= \frac{a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XY + a_5XZ + a_6YZ + a_7XYZ + a_8X^2 + \dots + a_{19}Z^3}{1 + b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4XY + b_5XZ + b_6YZ + b_7XYZ + b_8X^2 + \dots + b_{19}Z^3} \\ y &= \frac{c_0 + c_1X + c_2Y + c_3Z + c_4XY + c_5XZ + c_6YZ + c_7XYZ + c_8X^2 + \dots + c_{19}Z^3}{1 + d_1X + d_2Y + d_3Z + d_4XY + d_5XZ + d_6YZ + d_7XYZ + d_8X^2 + \dots + d_{19}Z^3} \end{aligned} \quad (2.4)$$

เมื่อ x, y คือ ค่าพิกัดภาพ
 X, Y, Z คือ ค่าพิกัดวัตถุบนพื้นดิน
 a_n, b_n, c_n, d_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์เศษส่วนโพลิโนเมียล
 (Rational Polynomial Coefficients; RPC)

จากสมการที่ 2.4 ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดเท่ากับ 78 ตัวซึ่งค่า RPC จัดเก็บมาพร้อมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ในไฟล์ RPB โดยทางผู้ผลิตจะคำนวณค่า RPC จากข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมที่บริษัทมีอยู่ ดังนั้นความถูกต้องของค่า RPC ที่คำนวณได้จึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูลวงโคจรของดาวเทียม หรือข้อมูลเซนเซอร์ขณะบันทึกภาพซึ่งส่งผลกระทบต่อความต้องการของการคำนวณพิกัดบนภาคพื้นดิน

ข้อดีของฟังก์ชันอัตราส่วนโพลิโนเมียลคือ เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อน เข้าใจได้ง่าย ทำให้ใช้งานหรือการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมารองรับสามารถทำได้ไม่ยาก การปรับแก้ภาพด้วยวิธี RFM สามารถใช้ซอฟต์แวร์ฟรีหรือเสรี (Free/Open Source Software) เช่น โปรแกรม FWTOOLS หรือ OSSIM เป็นต้น สามารถใช้ได้กับข้อมูลภาพที่ไม่เปิดเผยข้อมูลของเซนเซอร์ สำหรับข้อเสียด้านความละเอียดถูกต้องมีค่าน้อยกว่าแบบจำลองทางกายภาพ หรือในกรณีที่ไม่ทราบค่า RPC ต้องคำนวณค่าดังกล่าวเองซึ่งจำเป็นต้องใช้ GCPs จำนวนมาก

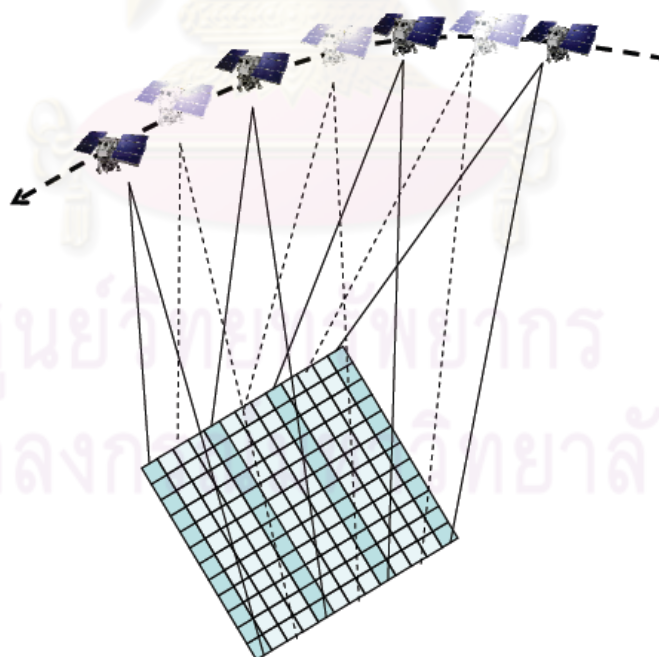
ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4 การปรับปรุงแบบจำลอง

กระบวนการปรับปรุงแบบจำลองเพื่อเพิ่มความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ใช้ปรับแก้ทั้งสองวิธี เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ของวงโคจรส่วนใหญ่ยังมีความคลาดเคลื่อนจึงจำเป็นต้องมีการคำนวณปรับแก้ค่าต่างๆ ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

- การปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ (Refinement of Physical Model)

การปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตด้วยวิธีแบบจำลองทางกายภาพให้ความถูกต้องระดับหนึ่งเท่านั้น ถึงแม้จะใช้ค่า EOPs ที่ได้จากขณะบันทึกภาพที่ผนวกมากับภาพถ่าย WorldView-1 ค่าที่ได้มักมีความคลาดเคลื่อนทำให้สามารถนำมาใช้สำหรับงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงมาก อีกทั้งค่าที่ได้มายังขาดความละเอียดในการบันทึกของดาวเทียมทำให้ไม่สามารถบันทึกค่า EOPs ของเซนเซอร์ครบทุกเส้นภาพ แต่เป็นการบันทึกทุกๆ t วินาที ทำให้บางเส้นภาพของข้อมูลภาพไม่ทราบค่า EOPs ทำให้ผลการคำนวณไม่ถูกต้องซึ่งมีผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งของภาพหลังการปรับแก้ สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูงก่อนนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ควรมีการคำนวณปรับแก้ EOPs เพื่อเป็นการปรับปรุงความถูกต้องของค่าพารามิเตอร์ด้วยเพิ่มการรังวัด GCPs



รูปที่ 2.8 แสดงข้อมูลตำแหน่งและการวางตัวของเซนเซอร์

จากรูปที่ 2.8 แสดงการบันทึกข้อมูลในแต่ละเส้นภาพที่ได้จากข้อมูลวงโคจรซึ่งถูกจัดเก็บมาพร้อมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในแต่ละเส้นภาพประกอบด้วยค่า EOPs 6 ค่าได้แก่ ตำแหน่งของเซนเซอร์ (X_s, Y_s, Z_s) และค่ามุมหมุนรอบแกนทั้งสามของดาวเทียม ($\omega_s, \varphi_s, \kappa_s$) โดยทิศทางของเส้นภาพเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าค่า EOPs มักมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่จึงมีความจำเป็นต้องคำนวณปรับแก้เพื่อการปรับปรุงความถูกต้องของค่าพารามิเตอร์ สำหรับการปรับแก้ด้วยการจำลองวงโคจร หรือความสัมพันธ์ระหว่างค่า EOPs และเวลาของการถ่ายภาพ (t) ด้วยสมการ โพลีโนเมียลดีกรีต่างๆ (Kim and Dowman, 2005) สมการที่ใช้แสดงดังนี้

$$\begin{aligned}
 X_s &= X_{s0} + \Delta X_s, & \Delta X_s &= a_0 + a_1 t_i + a_2 t_i^2 + \dots \\
 Y_s &= Y_{s0} + \Delta Y_s, & \Delta Y_s &= b_0 + b_1 t_i + b_2 t_i^2 + \dots \\
 Z_s &= Z_{s0} + \Delta Z_s, & \Delta Z_s &= c_0 + c_1 t_i + c_2 t_i^2 + \dots \\
 \omega_s &= \omega_{s0} + \Delta \omega_s, & \Delta \omega_s &= d_0 + d_1 t_i + d_2 t_i^2 + \dots \\
 \varphi_s &= \varphi_{s0} + \Delta \varphi_s, & \Delta \varphi_s &= e_0 + e_1 t_i + e_2 t_i^2 + \dots \\
 \kappa_s &= \kappa_{s0} + \Delta \kappa_s, & \Delta \kappa_s &= f_0 + f_1 t_i + f_2 t_i^2 + \dots
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

เมื่อ

$X_s, Y_s, Z_s, \omega_s, \varphi_s, \kappa_s$	คือ EOPs ที่ปรับแก้
$X_{s0}, Y_{s0}, Z_{s0}, \omega_{s0}, \varphi_{s0}, \kappa_{s0}$	คือ EOPs จากข้อมูลวงโคจร
$\Delta X_s, \Delta Y_s, \Delta Z_s, \Delta \omega_s, \Delta \varphi_s, \Delta \kappa_s$	คือ ค่าแก้ความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t_i ที่ได้จากสมการ โพลีโนเมียล
$a_n, b_n, c_n, d_n, e_n, f_n$	คือ เป็นสัมประสิทธิ์ของสมการ โพลีโนเมียล สำหรับค่าแก้ EOPs
t_i	คือ เวลาที่บันทึกภาพของแถว i

สำหรับจำนวนขั้นต่ำของ GCPs เพื่อใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบจากสมการที่ 2.5 สามารถคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$N = \frac{n}{2} + 1 \tag{2.6}$$

เมื่อ N คือ จำนวนขั้นต่ำของ GCPs

n คือ จำนวนค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่า

จากสมการที่ 2.6 เป็นการใช้ GCPs มากกว่าจำนวนน้อยที่สุดที่จำเป็นต้องใช้หนึ่งจุด เพราะการใช้ GCPs มากกว่าจำนวนที่ต้องใช้เพื่อให้มีค่าเศษเหลือเกิดขึ้นในการคำนวณปรับแก้สำหรับตรวจสอบผลลัพธ์ หรือขจัดจุดที่มีความคลาดเคลื่อนสูงออกจากการคำนวณ โดยสมการที่ใช้คำนวณปรับแก้จากการวาง GCPs เพิ่มเติม (Wang et al., 2008) แสดงดังนี้

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix} = \lambda * \Delta M * M \begin{bmatrix} X - X_s - \Delta X_s \\ Y - Y_s - \Delta Y_s \\ Z - Z_s - \Delta Z_s \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

หรือ

$$\begin{aligned} x &= x_0 - f \frac{M_{11}(X - X_s) + M_{21}(Y - Y_s) + M_{31}(Z - Z_s)}{M_{13}(X - X_s) + M_{23}(Y - Y_s) + M_{33}(Z - Z_s)} \\ y &= y_0 - f \frac{M_{12}(X - X_s) + M_{22}(Y - Y_s) + M_{32}(Z - Z_s)}{M_{13}(X - X_s) + M_{23}(Y - Y_s) + M_{33}(Z - Z_s)} \end{aligned} \quad (2.8)$$

เมื่อ

- x, y คือ ค่าพิกัดภาพ
- x_0, y_0 คือ ค่าพิกัดภาพของจุดमुखยสำคัญ
- X, Y, Z คือ ค่าพิกัดวัตถุบนพื้นดิน
- X_s, Y_s, Z_s คือ ค่าพิกัดตำแหน่งเซนเซอร์จากข้อมูลวงโคจร
- $\Delta X_s, \Delta Y_s, \Delta Z_s$ คือ ค่าปรับแก้ของค่าพิกัดตำแหน่งเซนเซอร์
- f คือ ค่าความยาวโฟกัสของเซนเซอร์
- ΔM คือ ค่าปรับแก้ของการหมุนรอบแกนทั้งสาม
- M คือ เมทริกซ์ค่าสัมประสิทธิ์ของการหมุนรอบแกนทั้งสาม
- การปรับปรุงแบบจำลองฟังก์ชันอัตราส่วน โพลีโนเมียล (Refinement of RFM Model)

เนื่องจากการปรับแก้ที่ใช้เฉพาะค่า RPC จากเพิ่มข้อมูลภาพดาวเทียมให้ผลในการรังวัดถูกต้องที่ระดับหนึ่งเท่านั้น ในการปรับปรุงแบบจำลองด้วยการรังวัด GCPs เพิ่มเติม จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการคำนวณปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์เศษส่วน โพลีโนเมียลให้ได้ค่าใหม่

2.1.5 วิธีการประเมินความถูกต้องเชิงปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ

วิธีหาความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง หรือครอสวาเลชัน (cross validation) มีพื้นฐานจากการสุ่มตัวอย่าง (resampling) เริ่มจากแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นกลุ่มๆ และนำบางส่วนจากชุดข้อมูลนั้นมาตรวจสอบแล้วคำนวณหาความคลาดเคลื่อน ครอสวาเลชันสามารถประยุกต์ได้หลากหลายสาขาวิชา เช่น สาขาคอมพิวเตอร์ สาขาเศรษฐศาสตร์ สาขาเกษตรศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งแต่ละสาขามีการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนแตกต่างกัน โดยทั่วไปใช้รากความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error; RMSE) วิธีการครอสวาเลชันที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 วิธีคือ

1. Hold Out Validation (HOV) โดยแบ่งข้อมูลเป็นสองกลุ่ม คือข้อมูลฝึกฝน (training data) และข้อมูลทดสอบ (test data) ซึ่งทั้งสองกลุ่มมีการเลือกข้อมูลแบบสุ่มแล้วจึงคำนวณหาความคลาดเคลื่อน การใช้วิธีนี้อาจเกิดปัญหาจากการเลือกข้อมูลที่ตีมาเป็นข้อมูลชุดทดสอบ
2. Leave One Out Cross Validation (LOOCV) ถือว่าเป็นการแบ่งข้อมูลแบบ K-fold cross-validation เป็นการแบ่งข้อมูลออกเป็น K ชุดเท่าๆกัน และทำการคำนวณหาความคลาดเคลื่อน K รอบ โดยแต่ละรอบการคำนวณเลือกข้อมูลหนึ่งชุดจากข้อมูล K ชุดจะถูกเลือกออกมาเพื่อเป็นข้อมูลทดสอบ และข้อมูลอีก K - 1 ชุดจะถูกใช้เป็นข้อมูลฝึกฝน ซึ่งวิธี LOOCV จะกำหนดให้ $K = L$ เมื่อ L เท่ากับจำนวนข้อมูลทั้งหมดแล้วจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน

งานวิจัยครั้งนี้ได้นำวิธี HOV และวิธี LOOCV มาใช้ในกระบวนการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตเพื่อคัดเลือกจุดควบคุมภาพ โดยใช้ค่าเศษเหลือจากผลการคำนวณปรับแก้ในการคัดเลือกจุดควบคุมภาพ ซึ่งการคำนวณปรับแก้แต่ละครั้งจะมีความคลาดเคลื่อนที่เรียกว่าความคลาดเคลื่อนตกค้าง หรือค่าเศษเหลือ (residual error) เป็นผลต่างระหว่างพิกัดภาพจากการรังวัดจุดควบคุมภาพบนภาพดิจิทัลกับค่าพิกัดภาพที่ได้จากการปรับแก้ ซึ่งสามารถแสดงถึงความผิดพลาดในการรังวัดจุดควบคุมภาพ สำหรับวิธี HOV จะใช้ค่าเศษเหลือของจุดควบคุมภาพขณะเป็น GCPs และวิธี LOOCV ใช้ค่าเศษเหลือของจุดควบคุมภาพขณะเป็นจุดตรวจสอบในการคัดเลือก GCPs (Brovellia et al., 2006) ซึ่งแต่ละวิธีสามารถสรุปรายละเอียดดังนี้

- วิธี Hold Out Validation (HOV)

ในปัจจุบันนิยมใช้วิธี HOV ในกระบวนการปรับแก้ภาพ เพื่อคัดเลือกจุดควบคุมภาพเริ่มการแบ่งจุดควบคุมภาพเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกคือจุดควบคุมภาพถ่ายภาพพื้นดิน (ground control point; GCPs) ประมาณ 70 % ของข้อมูลทั้งหมดสำหรับคำนวณค่าพารามิเตอร์ของการปรับแก้ กลุ่มที่สองเป็นจุดตรวจสอบอิสระ (independent check points; ICPs) ประมาณ 30 % ของข้อมูลทั้งหมดเพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ปรับแก้ หรือภาพออร์โทซึ่งคำนวณด้วย RMSE ทั้งสองกลุ่มควรมีการกระจายครอบคลุมทั่วทั้งภาพ สำหรับการคัดเลือก GCPs จะพิจารณาค่าเศษเหลือของจุดควบคุมภาพขณะเป็น GCPs จากผลการคำนวณซ้ำสามเหลี่ยม โดยทั่วไปค่าเศษเหลือควรมีค่าน้อยกว่าความละเอียดจุดภาพ (resolution) ของข้อมูลภาพดาวเทียมที่กำลังทำการปรับแก้ หรือสามเท่าของความละเอียดจุดที่ต้องการที่กำหนด

ข้อมูลที่มีคุณภาพสูงคือข้อมูลที่ปราศจากค่าผิดปกติ (outlier) แต่ในความเป็นจริงอาจพบค่าผิดปกติในข้อมูลได้ ดังนั้นเมื่อสงสัยหรือแน่ใจว่ามีค่าผิดปกติเกิดขึ้นควรที่จะหลีกเลี่ยงการใช้ตัวสถิติที่ไวต่อค่าผิดปกติ เช่น ค่าเฉลี่ย และหันมาเลือกใช้วิธีทางสถิติแบบคงทน (robust statistic methods) หรือการตัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติออกก่อนที่จะทำการคำนวณผลสรุปทางสถิติ (ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข และกานดา โกมลวัฒน์ชัย, 2546) สำหรับวิธี HOV นำการตัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ คือค่าที่มากกว่าสามเท่าของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; 3S.D.) (Kapnias, Milenov and Kay, 2008) เพื่อตัดข้อมูลที่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้อดีของวิธี HOV คือเป็นวิธีที่ง่ายสามารถตรวจสอบจุดควบคุมภาพในเวลาไม่นาน สำหรับข้อเสียกรณีที่มีจำนวนจุดควบคุมภาพจำกัดทำให้ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพหลังการปรับแก้อาจมีการเบี่ยงเบน เนื่องจากจุดส่วนมากถูกนำไปใช้เป็น GCPs หรืออาจเกิดการแบ่งกลุ่มถ้าจุดที่มีค่าเศษเหลือมากๆ อยู่ในกลุ่มจุดตรวจสอบทำให้ความถูกต้องของภาพหลังการปรับแก้ไม่น่าเชื่อถือ

- วิธี Leave One Out Cross Validation (LOOCV)

วิธี LOOCV เป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อคัดเลือกจุดควบคุมภาพ วิธีนี้จะมีการวนซ้ำในขั้นตอนของการปรับแก้ เริ่มจากแบ่งจุดควบคุมภาพออกเป็น $K=L$ กลุ่ม (L คือจำนวนจุดควบคุมภาพทั้งหมด) กลุ่มละเท่าๆกัน โดยให้ข้อมูลหนึ่งกลุ่มเป็นจุดตรวจสอบ ส่วนข้อมูลที่เหลือ $K-1$ เป็น GCPs จากนั้นจึงคำนวณการปรับแก้จนครบ K รอบซึ่งแต่ละการวนซ้ำจะเกิดค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบเพื่อนำมาใช้คัดเลือกจุดควบคุมภาพด้วยค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์จากมัธยฐาน (Median Absolute Deviation; MAD) สำหรับการคัดเลือก GCPs จะพิจารณาค่าเศษเหลือของจุดควบคุมภาพขณะเป็นจุดตรวจสอบจากผลการคำนวณซ้ำสามเหลี่ยม เนื่องจากเป็นค่าที่ไม่มีผลต่อการปรับแก้ค่าที่ได้จึงไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่า RMSE ของการปรับแก้

สำหรับวิธี LOOCV ใช้วิธีทางสถิติแบบคงทนเพื่อค้นหาข้อมูลที่มีค่าผิดปกติซึ่งได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้ได้กับข้อมูลที่มีการกระจายแบบไม่ปกติ โดยใช้มัธยฐานเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด ส่วนค่าการกระจายของข้อมูลใช้ MAD การใช้สถิติแบบคงทนเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงผลกระทบของการเบี่ยงเบนจากข้อมูล สิ่งหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดการเบี่ยงเบนคือค่าผิดปกติ ดังนั้นการใช้วิธีดังกล่าวเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการเกิดค่าผิดปกติ ซึ่งหลักการของตัวสถิติแบบคงทนที่นิยมใช้คือ วิธีการตัดค่าผิดปกติออก เช่น ปฏิเสธค่าสังเกตทุกตัวที่อยู่นอก $3MAD$ (Crespi and Giannone, 2006) สมการที่ใช้แสดงดังนี้

$$MAD = median \left(|A_i - MED_A| \right) \quad 2.9$$

เมื่อ A_i คือ ค่าเศษเหลือของจุดควบคุมภาพขณะเป็นจุดตรวจสอบแต่ละจุด

MED_A คือ ค่ามัธยฐานของค่าเศษเหลือของจุดควบคุมภาพขณะเป็นจุดตรวจสอบ

สำหรับการคัดเลือก GCPs ด้วยวิธี LOOCV จะพิจารณาค่าเศษเหลือของจุดควบคุมภาพขณะเป็นจุดตรวจสอบ โดยทั่วไปค่าเศษเหลือควรมีค่าน้อยกว่าความละเอียดจุดภาพของข้อมูลภาพดาวเทียมหรือ สามเท่าของความละเอียดถูกต้องที่กำหนด

ข้อดีของวิธี LOOCV เพื่อลดปัญหาเรื่องการแบ่งจุดควบคุมภาพกล่าวคือ ทุกตำแหน่งสามารถเป็น GCPs เพื่อหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองการแปลงค่าพิกัด สำหรับข้อเสียคือใช้เวลานานในการตรวจสอบจุดควบคุมภาพ

จากรูปที่ 2.9 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเพื่อประเมินความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัดทางทิศตะวันออก ($RMSE_x$) ค่าพิกัดทางทิศเหนือ ($RMSE_y$) และค่าความละเอียดถูกต้องรวม ($RMSE_r$) สำหรับผู้ใช้ที่ต้องการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้แฟกเตอร์ 1.7308 คูณเข้ากับค่า $RMSE_r$ จากตารางในรูป 2.9 สำหรับการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 หลังการปรับแก้ (X_o, Y_o) และจุดตรวจสอบ (X_c, Y_c) โดยตำแหน่งที่เลือกต้องเป็นตำแหน่งเดียวกันสมการที่ใช้แสดงดังนี้

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((X_c - X_o)^2 + (Y_c - Y_o)^2)}{n}} \quad 2.10$$

เมื่อ X_c, Y_c คือ ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่รังวัดบนภูมิประเทศจริง
 X_o, Y_o คือ ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่รังวัดบนภาพออร์โท
 n คือ จำนวนจุดตรวจสอบ

$$Accuracy_r = 1.7308 * RMSE_r \quad 2.11$$

เมื่อ $Accuracy_r$ คือ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ
 $RMSE_r$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แนวความคิดการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต

เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากกระบวนการบันทึกภาพเป็นข้อมูลดิบซึ่งมีความคลาดเคลื่อน ความบิดเบี้ยวทางเรขาคณิต จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ทันทีจึงต้องมีการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต ที่ผ่านมามีการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อในการปรับแก้ภาพหลายวิธี Vozikis, Fraser and Jansa (2003) ได้ทดลองปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ด้วยการแปลงแบบเส้นตรง (Direct Linear Transformation; DLT) และฟังก์ชันอัตราส่วนโพลีโนเมียล (Rational Function Model; RFM) ร่วมกับ GCPs จำนวน 52 จุด ผลการศึกษาพบว่า การปรับแก้ด้วยวิธี RFM ให้ค่า RMSE ของการปรับแก้ดีกว่าวิธี DLT กล่าวคือ 0.74 จุดภาพ และ 0.35 จุดภาพตามลำดับ นอกจากนี้ Cheng, Toutin and Zhang (2003) ทดลองเปรียบเทียบการปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird ชนิด Basic ระหว่างแบบจำลองทางกายภาพและวิธี RFM โดยใช้ GCPs จำนวน 7 จุด และจุดตรวจสอบจำนวน 29 จุดสำหรับตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งของภาพถ่ายดาวเทียม ผลการศึกษาพบว่า การปรับแก้ด้วยแบบจำลองทางกายภาพให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบดีกว่าวิธี RFM กล่าวคือ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบด้านตะวันออก ($RMSE_x$) เท่ากับ 0.80 และ 1.20 เมตร ด้านเหนือ ($RMSE_y$) เท่ากับ 0.70 และ 0.80 เมตรตามลำดับ

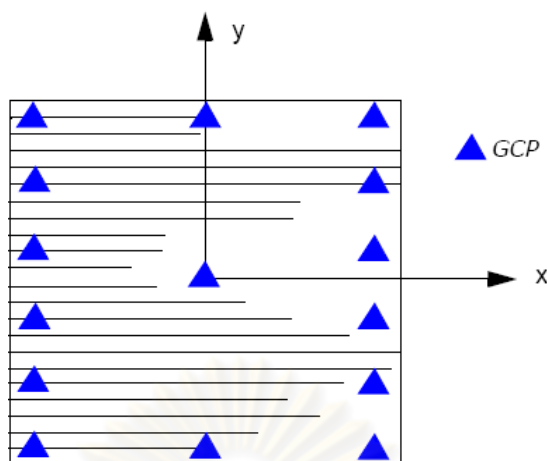
ในปัจจุบันการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตด้วยแบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model หรือ Rigorous Model) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากใช้ข้อมูลจริงขณะดาวเทียมบันทึกภาพทำให้มีความน่าเชื่อถือและมีความถูกต้องมากกว่าวิธีอื่นๆ Wang et al. (2008) ได้ทดลองการปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระหว่างแบบจำลองทางกายภาพ (ไม่ใช่ GCPs) กับการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพด้วยการวาง GCPs เพิ่มจำนวน 9 จุด และจุดตรวจสอบจำนวน 6 จุด ผลการทดลองพบว่า การปรับแก้ด้วยแบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบดีกว่า กล่าวคือความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบด้านตะวันออก เท่ากับ 0.54 และ 0.59 จุดภาพ ด้านเหนือ เท่ากับ 2.67 และ 8.65 จุดภาพตามลำดับ นอกจากนี้ Jeong and Bethel (2008) ได้เสนอการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ โดยการประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ด้วยสมการโพลีโนเมียล ได้ทดสอบข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Quickbird ทดสอบแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ (sensor models) ทั้ง 6 แบบ ร่วมกับ GCPs จำนวน 20 จุด ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง ให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบดีกว่าแบบอื่นๆ คือ ค่า RMSE ของการปรับแก้เท่ากับ 0.85 จุดภาพ

2.2.2 แนวความคิดการกระจายของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน

มรกต แก้วมณี (2545) ทดลองปรับแก้ภาพ Spot-2 ความละเอียดจุดภาพ 10 เมตร โดยแบบจำลองนอนพาราเมตริกด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลัง 1, 2 และ 3 ร่วมกับการใช้ GCPs ผลการศึกษาพบว่า การปรับแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลัง 2 โดยใช้ GCPs จำนวน 15 จุดให้ค่า RMSE ของการปรับแก้เท่ากับ 0.5 จุดภาพ โดยลักษณะการกระจายที่พึงประสงค์ของ GCPs คือการกระจายตัวแบบครอบคลุมทั้งภาพ (จากการทดสอบการกระจายของจุดควบคุมภาพบริเวณกึ่งกลางภาพ บริเวณขอบภาพทั้งสองด้าน บริเวณมุมภาพ และการกระจายครอบคลุมทั้งภาพ)

ปรมัตถพร พูลศรี (2548) ทดลองปรับแก้ภาพ QuickBird ความละเอียดจุดภาพ 0.60 เมตร ผลิตภัณฑ์ชนิด Standard โดยใช้แบบจำลองนอนพาราเมตริกด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลัง 1, 2 และ 3 ร่วมกับ GCPs ผลการศึกษาพบว่า การปรับแก้ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลัง 2 ร่วมกับ GCPs จำนวน 10 จุด จากนั้นทดลองจัดตำแหน่งการวางตัวของ GCPs ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน (ตำแหน่งจุดควบคุมภาพกระจุกตัวอยู่ที่มุมภาพ, กระจุกตัวบริเวณกึ่งกลางภาพ, กระจายตัวบริเวณขอบภาพ และ กระจายทั่วทั้งภาพ) ผลการศึกษาพบว่า ตำแหน่งจุดควบคุมภาพกระจายทั่วทั้งภาพให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบดีที่สุด คือ 1.08 เมตร โดยข้อมูลภาพจะต้องมี GCPs อย่างน้อย 4 จุดในบริเวณมุมของบล็อกภาพ จากนั้นจึงวางจุดอื่นๆต่อไปให้กระจายทั่วพื้นที่ศึกษา

นอกจากนี้กรมพัฒนาที่ดิน (2549) ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับตำแหน่งการจัดวาง GCPs จากคู่มือการผลิตแผนที่ภาพถ่ายจากระยะไกลทางอากาศด้วยโปรแกรม ERDAS IMAGINE ในกรณีที่ผลิตภาพถ่ายออร์โธ โดยใช้ภาพถ่ายเดี่ยวที่มีความแตกต่างทางด้านความสูงต่ำของภูมิประเทศ ควรวาง GCPs บริเวณพื้นที่สูงชันมากกว่าพื้นที่ราบ และทาง ERDAS (2008) ได้แนะนำตำแหน่งการจัดวาง GCPs สำหรับภาพถ่ายดาวเทียมควรวาง GCPs อย่างน้อย 6 จุด หรือถ้าต้องการผลการคำนวณปรับแก้ที่ดียิ่งขึ้นควรวาง GCPs มากกว่าหรือเท่ากับ 10 จุด ซึ่งตำแหน่งการจัดวางที่เหมาะสมสำหรับ GCPs ในแต่ละภาพคือวาง GCPs ตามขอบเขตภาพในแนวขนานกับเส้นทางวงโคจรแสดงดังรูปที่ 2.10 สำหรับจำนวน GCPs ที่ใช้ต้องคำนึงถึงสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าที่เกิดจากแบบจำลอง หรือสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการปรับแก้



รูปที่ 2.10 แสดงตำแหน่งการจัดวาง GCPs ตามขอบเขตภาพขนานกับเส้นทางวงโคจร

ที่มา : ERDAS, 2008

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

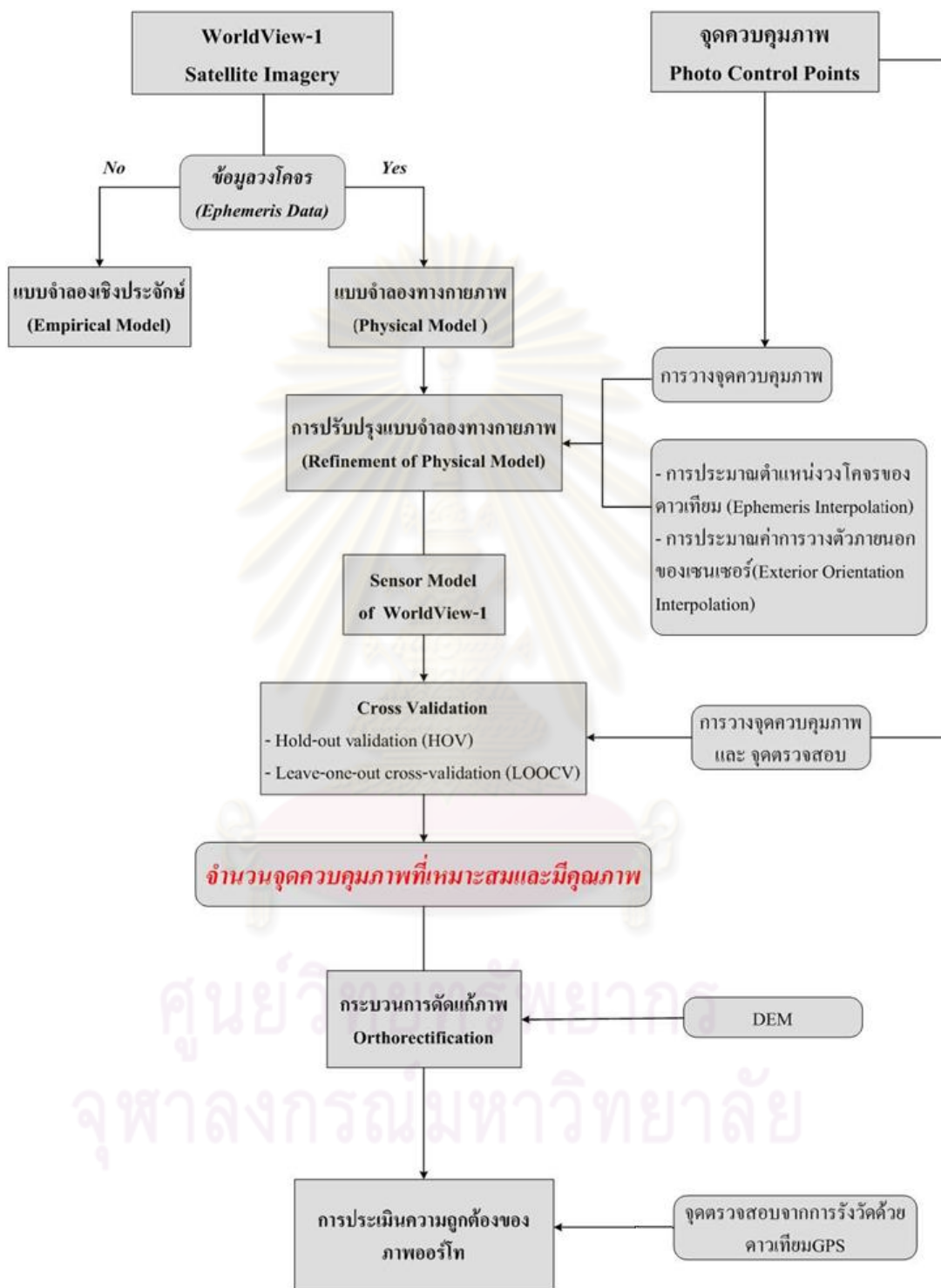
ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยโมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ สำหรับการปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 แบ่งขอบเขตของการวิจัยเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรกดำเนินการศึกษาคุณลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 การตรวจสอบจุดควบคุมภาพ ขั้นตอนที่สองศึกษาวิธีปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต การปรับปรุงแบบจำลอง ขั้นตอนที่สามเน้นศึกษาวิธีการคัดเลือกจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV ขั้นตอนที่สี่ศึกษาการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพหลังการปรับแก้ แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ข้อมูลและโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีข้อมูล และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการดำเนินงานประกอบด้วย

1. ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 ผลิตภัณฑ์ชนิด Basic 1B (Level 1) ความละเอียดของจุดภาพ 50 เซนติเมตรในระบบบันทึกภาพขาวดำ ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
2. จุดควบคุมภาพ 78 จุดที่มีความละเอียดถูกต้องทางราบ 20 เซนติเมตร และความละเอียดถูกต้องทางตั้ง 50 เซนติเมตร ได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 สำหรับงานทางด้านแผนที่ของกรมที่ดิน
3. แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการจัดทำแผนที่เพื่อการบริหารทรัพยากรธรรมชาติ และทรัพย์สินของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ของกรมพัฒนาที่ดิน
4. โปรแกรมประมวลผลภาพ ERDAS IMAGINE Version 9.2 สำหรับการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต
5. โปรแกรม ArcGIS 9.2 สำหรับการตรวจสอบการกระจายของจุดควบคุมภาพ
6. โปรแกรม Octave สำหรับสร้างแผนภาพแบบลูกศร (Quiver plot) เพื่อแสดงขนาดและทิศทางของความคลาดเคลื่อนทางราบของจุดตรวจสอบ

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต

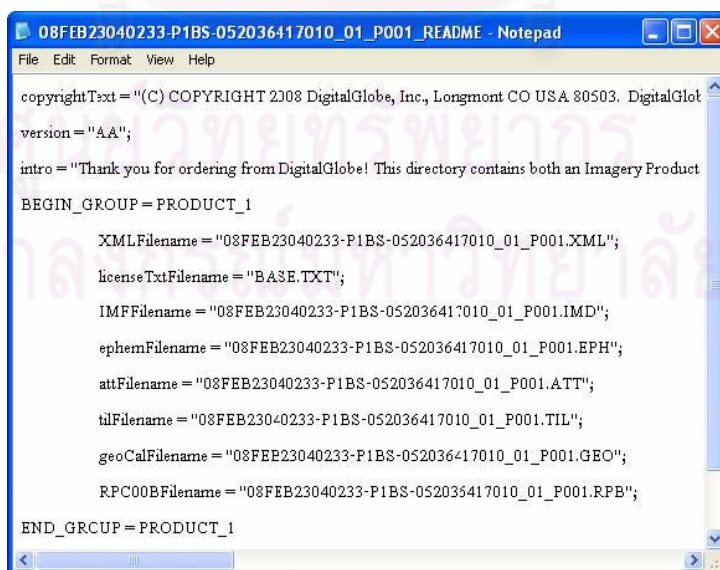
จากรูปที่ 3.1 แสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยมุ่งเน้นศึกษาการปรับปรุงแบบจำลองที่ใช้ปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตให้มีความถูกต้องเพิ่มความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น และศึกษาวิธีที่มีประสิทธิภาพในการประเมินความถูกต้องเชิงปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV เพื่อหาจำนวนจุดควบคุมภาพที่เหมาะสมและมีคุณภาพ แต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายดังนี้

3.2.1 การตรวจสอบข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาคุณลักษณะของข้อมูล หรือการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ข้อมูลใดตรงตามวัตถุประสงค์ของงาน

- ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1

ปัจจุบันข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีเป็นจำนวนมากทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน การวิจัยครั้งนี้เน้นความถูกต้องเชิงตำแหน่งเพราะฉะนั้นการศึกษาคคุณลักษณะ และระดับผลิตภัณฑ์ของข้อมูลภาพถือว่ามีความสำคัญสำหรับการเลือกวิธีปรับแก้ การตรวจสอบคุณลักษณะของภาพสามารถพิจารณาจากไฟล์ที่ผนวกไว้กับผลิตภัณฑ์ภาพจากดาวเทียม ซึ่งแต่ละดาวเทียมจะมีโครงสร้างของแฟ้มข้อมูลแตกต่างกัน เช่น ไฟล์ *.DIM จัดเก็บคำอธิบายข้อมูล (metadata) ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Spot-5 และ Theos หรือ ไฟล์ *.IMD จัดเก็บคำอธิบายข้อมูลของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Quickbird และ WorldView-1



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1

จากรูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ได้จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) สามารถอธิบายโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ดังนี้

- ไฟล์ *.XML คือเพิ่มจัดเก็บรายละเอียดผลิตภัณฑ์ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งใช้หาคำสั่งเกี่ยวกับข้อมูลบนเว็บทำให้โครงสร้างข้อมูลจากหลากหลายแอปพลิเคชันมาเสนอบนเครื่องเดสก์ทอปด้วย XML ทำให้การจัดการข้อมูล หรือเรียกใช้ข้อมูลจากแอปพลิเคชันต่างๆ เข้าสู่มาตรฐานเดียวกัน
- ไฟล์ *.IMD คือเพิ่มจัดเก็บรายละเอียดผลิตภัณฑ์เบื้องต้นของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เช่น วันเวลาการบินที่ภาพ ระบบการบินที่ภาพ ขนาดของภาพ จำนวนบิตต่อจุดภาพ รูปแบบข้อมูลภาพ มุมการถ่ายภาพ ปริมาณเมฆปกคลุม เป็นต้น
- ไฟล์ *.EPH คือเพิ่มจัดเก็บข้อมูลวงโคจรของดาวเทียม เช่น ระยะเวลาการบินที่ก ตำแหน่งของดาวเทียม ความเร็วของดาวเทียม เป็นต้น
- ไฟล์ *.ATT คือเพิ่มจัดเก็บข้อมูลการเอียงตัวของเซนเซอร์ในรูปแบบ Quaternion
- ไฟล์ *.TIL คือเพิ่มจัดเก็บขอบเขตข้อมูลภาพ
- ไฟล์ *.GEO คือเพิ่มจัดเก็บข้อมูล Geo-Calibration ของเซนเซอร์ เช่น ความยาวโฟกัสของเลนส์ เป็นต้น
- ไฟล์ *.RPB คือเพิ่มจัดเก็บค่าสัมประสิทธิ์เศษส่วนโพลีโนเมียล

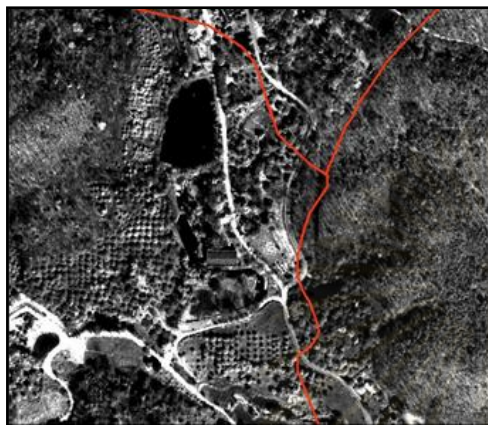
```

version = "AA";
generationTime = 2008-07-31T07:30:06.000000Z;
productOrderId = "052036417010_01_P001";
productCatalogId = "2020010028668400";
imageDescriptor = "Basic1B";
bandId = "P";
panSharpenAlgorithm = "None";
numRows = 27068;
numColumns = 35180;
productLevel = "LV1B";
productType = "Basic";
numberOfLooks = 1;
radiometricLevel = "Corrected";
bitsPerPixel = 16;
compressionType = "None";
minInTrackViewAngle = 24.5;
maxInTrackViewAngle = 24.6;
meanInTrackViewAngle = 24.5;
minCrossTrackViewAngle = -14.7;
maxCrossTrackViewAngle = -14.3;
meanCrossTrackViewAngle = -14.5;
minOffNadirViewAngle = 28.3;
maxOffNadirViewAngle = 28.3;
meanOffNadirViewAngle = 28.3;
PNIIRS = 4.4;
cloudCover = 0.001;
resamplingKernel = "CC";
TDILevel = 16;
positionKnowledgeSrc = "R";
attitudeKnowledgeSrc = "R";
revNumber = 2397;
END_GROUP = IMAGE_1
END;

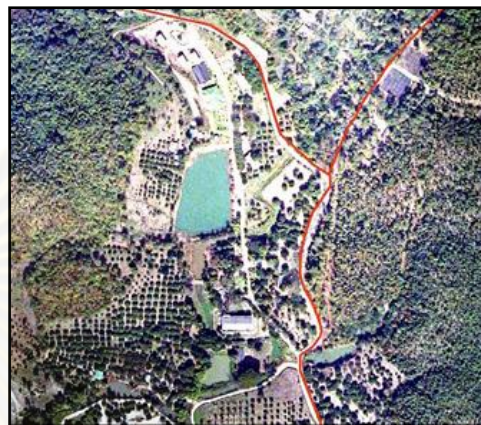
```

รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ระบุในไฟล์ *.IMD

จากรูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของภาพในแฟ้มข้อมูลภาพในรูปแบบของเอกสาร XML หรือไฟล์*.IMD พบว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 เป็นผลิตภัณฑ์ชนิด Basic ระดับ Level 1B ผ่านการปรับแก้เชิงรังสี ไม่มีการระบุเส้นโครงแผนที่ทำให้ข้อมูลภาพที่ได้มีลักษณะเหมือนกับข้อมูลดิบ (raw data)



ก. แสดงข้อมูลถนนซ้อนทับข้อมูลภาพ Basic



ข. แสดงข้อมูลถนนซ้อนทับภาพออร์โท



ค. แสดงจุดควบคุมภาพซ้อนทับข้อมูลภาพ Basic



ง. แสดงจุดควบคุมภาพซ้อนทับภาพออร์โท

รูปที่ 3.4 แสดงการซ้อนทับของชั้นข้อมูลถนน จุดควบคุมภาพ และข้อมูลภาพ

จากรูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบการซ้อนทับของข้อมูลถนนจากกรมผังเมือง จุดควบคุมภาพจากกรมที่ดินบนภาพออร์โทสี และบนข้อมูลภาพ Basic (LV1B) ปรากฏว่าชั้นข้อมูลดังกล่าวเกิดระยะเหลื่อมประมาณ 550 เมตรบนข้อมูลภาพ Basic ทำให้ข้อมูลภาพ Basic ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจึงควรมีการปรับแก้ภาพ สำหรับข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัยสามารถปรับแก้ได้ทั้งแบบจำลองทางกายภาพโดยอาศัยข้อมูลพารามิเตอร์การจัดวางภาพภายนอก (Exterior Orientation Parameters; EOPs) จากไฟล์ EPH และไฟล์ ATT หรือปรับแก้ด้วยวิธี RFM โดยใช้ค่า RPC จัดเก็บในไฟล์ RPB งานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้แบบจำลองทางกายภาพสำหรับการตัดแก่ออร์โทของข้อมูลภาพ เนื่องจากใช้ข้อมูลจริงขณะที่ดาวเทียมบันทึกภาพ

- จุดควบคุมภาพ

จุดควบคุมภาพที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพอื่น ๆ ที่มีความละเอียดจุดภาพมากกว่า หรือเท่ากับ 50 เซนติเมตร สำหรับคุณภาพของจุดควบคุมภาพสามารถตรวจสอบได้เบื้องต้นจากหลักเกณฑ์การเลือกจุดควบคุมภาพว่าเป็นไปตามเงื่อนไขหรือไม่ โดยพิจารณาร่วมกับรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มแต่ละกลุ่มมีรายละเอียดดังนี้

1. จุดควบคุมภาพที่มีคุณภาพดี

เงื่อนไขของกลุ่มที่หนึ่งมีลักษณะตามเงื่อนไขทุกประการสามารถวางจุดควบคุมภาพให้ตรงกับภูมิประเทศ ตัวอย่างจุดควบคุมภาพที่มีคุณภาพดีแสดงดังนี้



ก. แสดงจุด PCP_011



ข. แสดงจุด PCP_053



ค. แสดงจุด PCP_067



ง. แสดงจุด PCP_014



จ. แสดงจุด PCP_019



ฉ. แสดงจุด PCP_068

รูปที่ 3.5 แสดงจุดควบคุมภาพคุณภาพดี

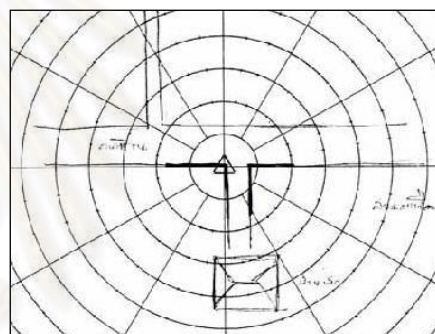
จากรูปที่ 3.5 แสดงจุดควบคุมภาพที่มีคุณภาพดีเป็นไปตามเงื่อนไข กล่าวคือจุดที่อยู่บริเวณพื้นที่โล่ง มีความคมชัดทั้งบนภาพดาวเทียมและในภูมิประเทศ คั่นทาง่าย สะดวกต่อการเข้าถึง และรูปทรงงที่มีมีการเปลี่ยนแปลงยาก เช่น รูปที่ 3.5 (ก) ถึง รูปที่ 3.5 (ค) แสดงแนวกึ่งกลางหรือจุดตัดของทางเดิน ถนน สะพาน คั่นนา ซึ่งจุดควบคุมภาพส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นจุดตัดของคั่นนา รูปที่ 3.5 (ง) ถึง รูปที่ 3.5 (จ) แสดงมุมถนน มุมแปลงเกษตร

2. จุดควบคุมภาพที่ไม่ควรนำไปใช้

เงื่อนไขของกลุ่มที่สองมีลักษณะตามเงื่อนไขทุกประการ แต่ความคมชัดหรือความชัดเจนของจุดลดลง ทำให้การวางจุดควบคุมภาพให้ตรงกับภูมิประเทศต้องพิจารณาจากภาพวาด (sketches) ส่วนขยายของภาพ หรือข้อสังเกตอื่นๆ (คำอธิบายสัญลักษณ์ที่วาดเพิ่มเติม) จากรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพเพิ่มเติม ตัวอย่างจุดควบคุมภาพแสดงดังนี้



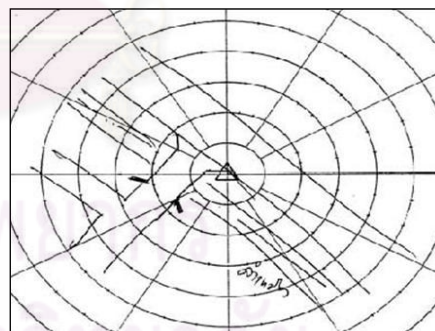
ก. แสดงจุด PCP_021



ข. แสดงคำอธิบายของจุด PCP_021



ค. แสดงจุด PCP_048



ง. แสดงคำอธิบายของจุด PCP_048

รูปที่ 3.6 แสดงจุดควบคุมภาพที่ไม่ควรนำไปใช้

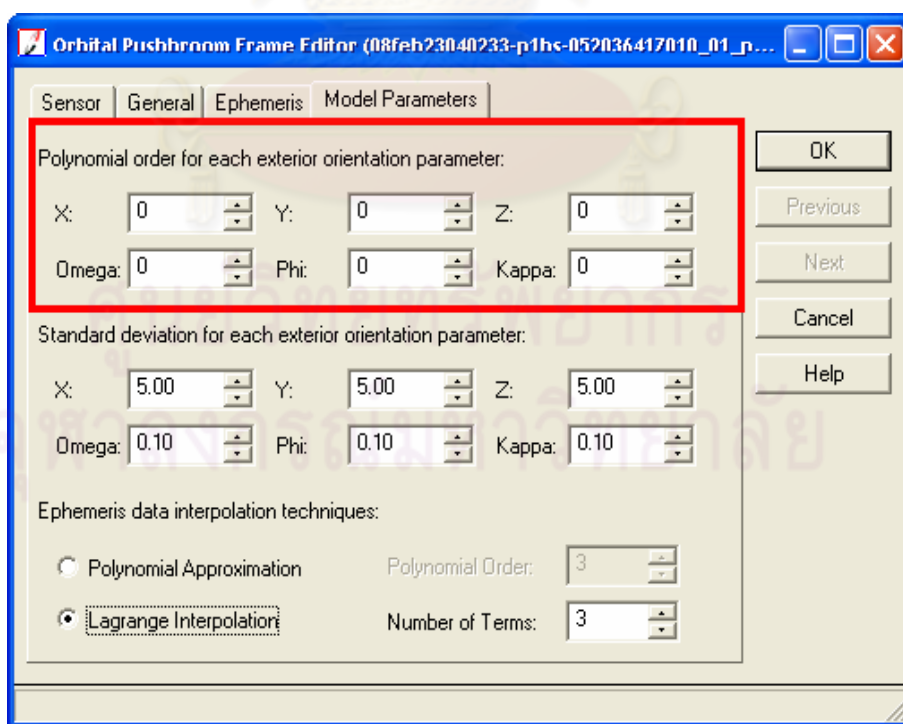
จากรูปที่ 3.6 แสดงจุดควบคุมภาพที่ไม่ควรนำไปใช้เพราะขาดความคมชัดบนภาพดาวเทียม เช่นรูปที่ 3.6 (ก) แสดงจุดตัดระหว่างถนนกับทางเดินที่ขาดความคมชัดอย่างมาก (ทางเดินควรตั้งฉากกับถนน) ทำให้ต้องอาศัยภาพวาด และคำอธิบายเพิ่มเติมจากรูปที่ 3.6 (ข) หรือรูปที่ 3.6 (ค) แสดงจุดที่ขาดความชัดเจนเนื่องจากตำแหน่งของจุดอยู่ใกล้อยู่บนพุ่มไม้จึงไม่ควรเลือกเป็นจุดควบคุมภาพ ถึงแม้จะมีคำอธิบายเพิ่มเติมจากรูปที่ 3.6 (ง)

3.2.2 การปรับแก้ภาพด้วยแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงแบบ

จากการตรวจสอบคุณลักษณะของข้อมูลภาพผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลองทางกายภาพเพื่อตัดแก้ออร์โทของข้อมูลภาพ โดยใช้โปรแกรม ERDAS IMAGINE 9.2 สำหรับการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลักดังนี้

1. การประมาณค่าการจัดวางภาพภายนอกของเซนเซอร์ (Exterior Orientation Interpolation)

จากไฟล์ *IMD ที่จัดเก็บคำอธิบายข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ไม่สามารถบันทึกค่า EOPs ครบทุกเส้นภาพแต่เป็นการบันทึกทุกๆ 0.02 วินาที สำหรับการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพดังที่กล่าวในหัวข้อ 2.1.4 จะใช้สมการโพลีโนเมียลที่มีเวลาเป็นตัวแปรอิสระจำลองความสัมพันธ์ของค่า EOPs ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้จะประมาณค่า EOPs โดยการสร้างฟังก์ชันแบบต่อเนื่องด้วยค่าคงที่ (constant) สมการโพลีโนเมียลกำลังหนึ่ง (1^{st} order) และกำลังสอง (2^{nd} order) จากค่า EOPs ที่ได้มาจากเพิ่มข้อมูลภาพ โดยทำการปรับเปลี่ยนเลขกำลังของสมการโพลีโนเมียลดังรูป 3.7 เพื่อค้นหาค่ากำลังของสมการโพลีโนเมียลที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงแบบจำลองเซนเซอร์ (sensor model refinement)



รูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดกำลังของสมการ โพลีโนเมียลสำหรับค่า EOPs

จากรูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดกำลังของสมการ โพลีโนเมียลสำหรับค่า EOPs หรือการประมาณค่า EOPs ในงานวิจัยครั้งนี้เรียกว่าแบบจำลองการจัดวางภาพภายนอกของเซนเซอร์ (PE) ด้วยโปรแกรม ERDAS 9.2 โดยผู้วิจัยได้ทดลองแบบจำลอง EOPs ทั้งหมด 81 แบบซึ่งแต่ละแบบจำลองมีการกำหนดสมการ โพลีโนเมียลกำลังต่างๆแสดงในภาคผนวก ค ทั้งนี้ได้เลือกแบบจำลอง PE ทั้ง 10 แบบที่นิยมใช้ในการปรับปรุงค่า EOPs แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการประมาณค่า EOPs ด้วยสมการ โพลีโนเมียลกำลังต่างๆ

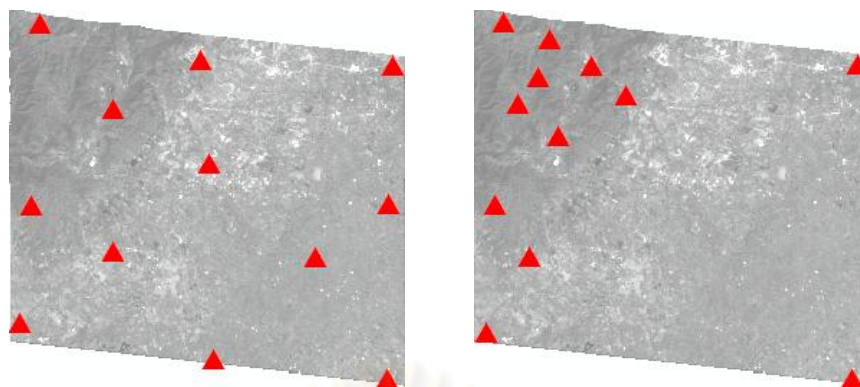
แบบจำลองการวางตัว ภายนอกของเซนเซอร์	การกำหนดสมการโพลีโนเมียลกำลังต่างๆ					
	สำหรับตำแหน่งของเซนเซอร์			สำหรับค่ามุมหมุนรอบแกน ของเซนเซอร์		
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
PE_01	0	0	0	0	0	0
PE_28	1	1	1	0	0	0
PE_29	1	1	1	0	0	1
PE_41	1	1	1	1	1	1
PE_54	1	1	1	2	2	2
PE_55	2	2	2	0	0	0
PE_57	2	2	2	0	0	2
PE_59	2	2	2	0	1	1
PE_68	2	2	2	1	1	1
PE_81	2	2	2	2	2	2

จากตารางที่ 3.1 แสดงการจำลองการวางตัวของเซนเซอร์ในลักษณะต่างๆ เช่น PE_28 แทนการประมาณตำแหน่งของเซนเซอร์ (X_s, Y_s, Z_s) ด้วยสมการ โพลีโนเมียลกำลังหนึ่ง และการสร้างฟังก์ชันแบบต่อเนื่องด้วยค่าคงที่ของค่ามุมหมุนรอบแกนทั้งสามของเซนเซอร์ ($\omega_s, \phi_s, \kappa_s$) หรือ PE_81 แทนแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ด้วยสมการ โพลีโนเมียลกำลังสองสำหรับการประมาณตำแหน่งของเซนเซอร์ และค่ามุมหมุนรอบแกนทั้งสามของเซนเซอร์ แบบจำลองทั้ง 10 สามารถเขียนในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

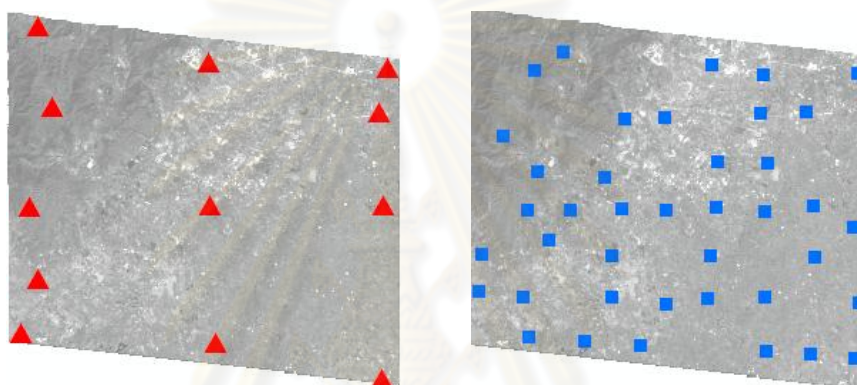
จากตารางที่ 3.1 แสดงแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ที่นิยมใช้กับดาวเทียมที่มีความสูงของวงโคจรประมาณ 450 – 500 กิโลเมตร เช่นดาวเทียม Quickbird (Jeong and Bethel, 2008) หรือดาวเทียม WorldView-1 ที่มีความสูง 496 กิโลเมตร สำหรับการเลือกแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์แต่ละแบบนี้ย่อมเกิดสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าจึงมีความจำเป็นต้องใช้ GCPs แตกต่างกัน เช่น แบบจำลอง PE_81 ใช้สมการโพลีโนเมียลกำลังสองทำให้เกิดสัมประสิทธิ์ไม่ทราบค่า 18 ค่าจึงต้องใช้ GCPs อย่างน้อย 10 จุดซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้จำนวน GCPs มากกว่าแบบจำลองอื่นๆ ดังนั้นผู้วิจัยได้รังวัด GCPs 12 จุด สำหรับคำนวณปรับแก้ค่า EOPs ดังที่ได้กล่าวไว้ว่าตำแหน่งการจัดวาง GCPs ส่งผลต่อค่าปรับแก้เพื่อให้ได้แบบจำลองเซนเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ผู้วิจัยได้ทดลองวาง GCPs 12 จุด โดยจุดที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเศษเหลือน้อยกว่าความละเอียดจุดภาพแสดงในภาคผนวก ค มีลักษณะการกระจายแตกต่างกันดังนี้

- ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 1 คือจุดควบคุมภาพกระจายครอบคลุมทั่วทั้งภาพ (ปรมัตถพร พูลศรี, 2548) แสดงดังรูปที่ 3.8 (ก)
- ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 2 คือจุดควบคุมภาพกระจายบริเวณด้านทิศตะวันตกของข้อมูลภาพ เนื่องจากข้อมูลภาพก่อนข้างมีความแตกต่างทางด้านความสูงต่ำของภูมิประเทศ ดังนั้นควรวางจุดควบคุมภาพบริเวณพื้นที่ภูเขามากกว่าพื้นที่ราบ(กรมพัฒนาที่ดิน, 2549) แสดงดังรูปที่ 3.8 (ข)
- ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 3 คือจุดควบคุมภาพวางตามขอบเขตภาพในแนวขนานกับเส้นทางวงโคจร (ERDAS, 2008) แสดงดังรูปที่ 3.8 (ค)

รูปที่ 3.9 แสดงผลการคำนวณขายสามเหลี่ยมสำหรับเกณฑ์การเลือกแบบจำลองเซนเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 พิจารณาจากแบบจำลองที่ทำให้ได้ค่า RMSE ของการปรับแก้ (Total Image Unit-Weight RMSE) มีค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณปรับแก้ พิจารณาร่วมกับค่า RMSE ของ GCPs (Control Point RMSE) และค่า RMSE ของจุดตรวจสอบ (Check Point RMSE)

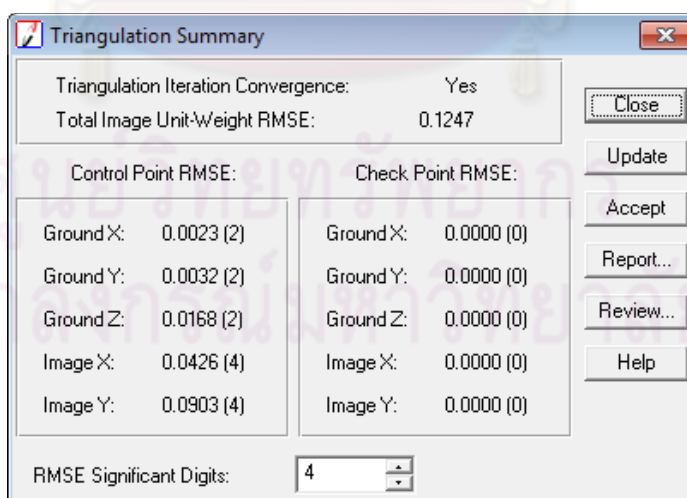


ก. การจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 1 ข. การจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 2



ค. การจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 3 ง. การกระจายของจุดตรวจสอบ

รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งการจัดวาง GCPs ทั้ง 12 จุด และจุดตรวจสอบ 40 จุด



รูปที่ 3.9 แสดงค่า RMSE ของการปรับแก้ที่ใช้พิจารณาแบบจำลองเซนเซอร์

2. การประมาณค่าวงโคจรของดาวเทียม (Ephemeris Interpolation)

งานวิจัยครั้งนี้เลือกวิธี Lagrange interpolation เพื่อประมาณค่าตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียมจากข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมในไฟล์ *.EPH วิธี Lagrange เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ใช้ในการประมาณค่าโดยตรงไม่ต้องจำเป็นต้องหาสัมประสิทธิ์จากฟังก์ชันการประมาณค่า วิธี Lagrange ยังเหมาะสำหรับดาวเทียมที่มีระยะเวลาการบินที่ข้อมูลไม่ห่างกัน หรือข้อมูลที่มีหลายเส้นภาพ เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 มี 2,810 เส้นภาพที่มีค่าตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียม สมการที่ใช้ประมาณค่าแสดงดังนี้

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^n f(x_k)l_k(x) \quad (3.1)$$

เมื่อ

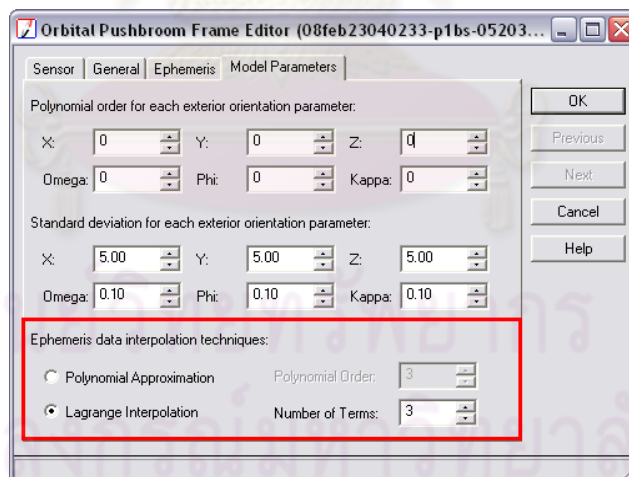
$$l_k(x) = \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^n \frac{x - x_i}{x_k - x_i}$$

เมื่อ

n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้เพื่อการประมาณค่า

$f(x_k)$ คือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณ

x_i คือ ข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียม



รูปที่ 3.10 แสดงวิธีการประมาณตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมด้วยโปรแกรม ERDAS 9.2

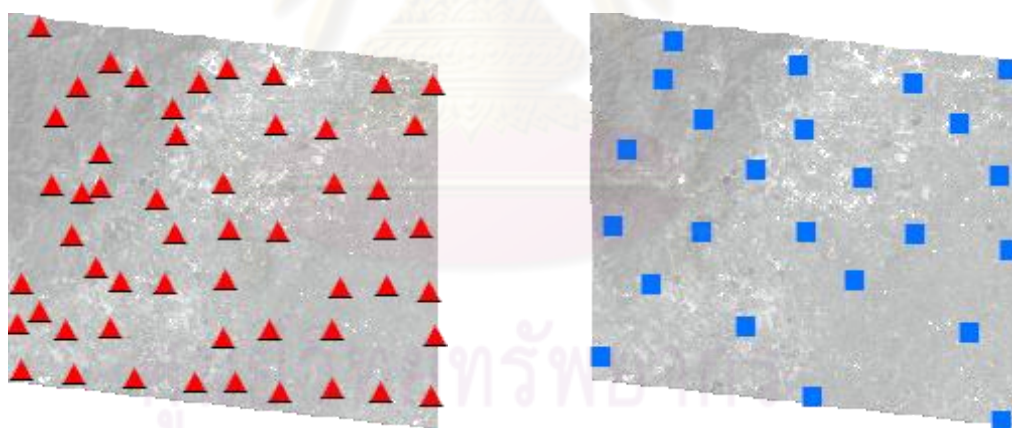
จากรูปที่ 3.10 แสดงวิธีการประมาณตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมด้วยวิธี Lagrange interpolation โดยใช้โปรแกรม ERDAS IMAGINE 9.2 สำหรับการกำหนดจำนวนทอมหรือการเลือกจำนวนจุดที่ใกล้เคียงเพื่อใช้ในการประมาณค่าส่วนมากจะใช้ 3 จุดก็เพียงพอต่อความต้องการสำหรับภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งหมายความว่า การคำนวณข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมด้วยค่าก่อนหน้าที่ดาวเทียมบันทึกข้อมูล 3 ค่า และหลังจากบันทึกข้อมูลแล้วจำนวน 3 ค่า

3.2.3 วิธีการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ

การตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV แบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 กรณี คือ 1) ศึกษาจำนวน GCPs ที่เหมาะสมในการปรับแก้โดยพิจารณาจากผลการคำนวณค่าสามเหลี่ยม ได้แก่ค่า RMSE ของการปรับแก้ ซึ่งคำนวณจาก RMSE ของ GCPs โดยให้มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 ใน 3 ของความละเอียดจุดภาพของภาพดาวเทียมที่ปรับแก้ประมาณ 0.17 เมตร (Kapnias, Milenov and Kay, 2008) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความแม่นยำหรือคุณภาพของการปรับแก้ และพิจารณาจากค่าเศษเหลือซึ่งสามารถแสดงถึงความผิดพลาดของการรังวัดจุดควบคุมภาพ 2) ศึกษาตำแหน่งการวางตัวของ GCPs ที่เหมาะสม ซึ่งแต่ละวิธีมีขั้นตอนดังนี้

1. วิธี Hold out Validation (HOV)

การคัดเลือกจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV เริ่มจากการแบ่งจุดควบคุมภาพเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกคือ GCPs 54 จุด (ประมาณ 70% ของข้อมูลทั้งหมด) และกลุ่มที่สองคือจุดตรวจสอบประมาณ 24 จุด (ประมาณ 30% ของข้อมูลทั้งหมด) ทั้งสองกลุ่มมีการกระจายครอบคลุมทั่วทั้งภาพแสดงดังรูปที่ 3.11

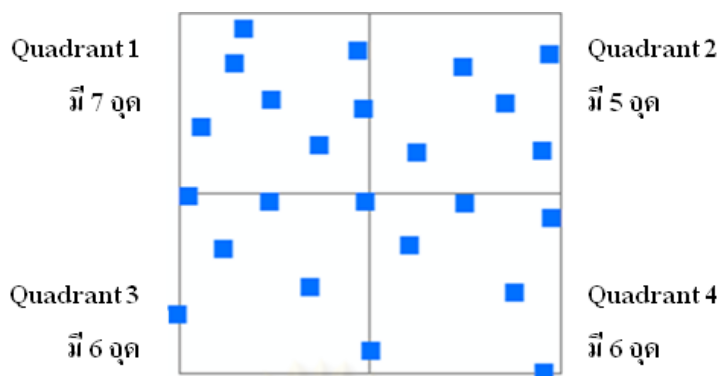


ก. แสดง GCPs 54 จุด

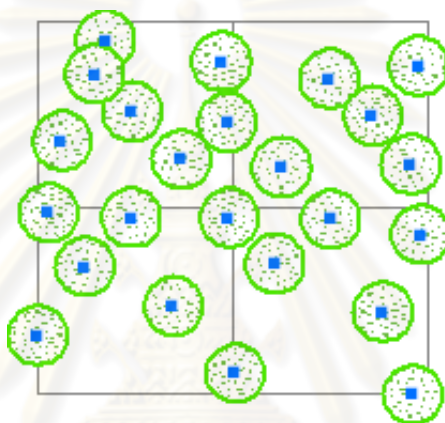
ข. แสดงจุดตรวจสอบ 24 จุด

รูปที่ 3.11 แสดง GCPs และจุดตรวจสอบที่ใช้ในวิธี HOV

โดยตำแหน่งของจุดตรวจสอบควรกระจายครอบคลุมทั่วทั้งภาพ กล่าวคือพื้นที่หนึ่งในสี่ส่วนของพื้นที่ศึกษามีจุดอย่างน้อย 20 % ของข้อมูลจุดทั้งหมด (ประมาณ 5 จุด) แสดงดังรูปที่ 3.12 จุดตรวจสอบแต่ละจุดควรมีระยะห่างระหว่างจุดประมาณหนึ่งในสิบของเส้นทแยงมุม (ประมาณ 2,850 เมตร) แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 แสดงจำนวนจุดตรวจสอบแต่ละ Quadrant

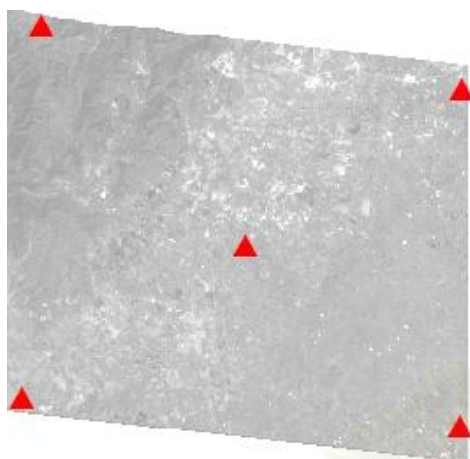


รูปที่ 3.13 แสดงรัศมีของวงกลมเท่ากับ 2,850 เมตร

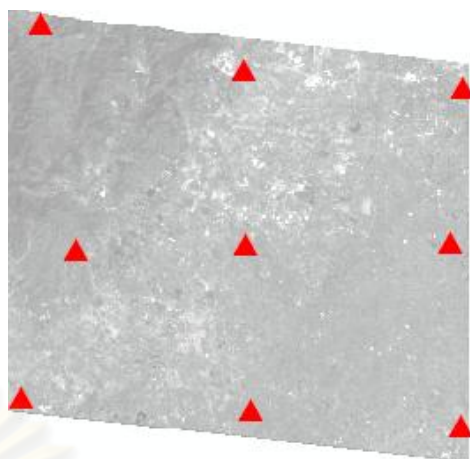
จากรูปที่ 3.13 แสดงพื้นที่กั้นชนของแต่ละจุดตรวจสอบที่มีระยะทางออกจากจุด 2,850 เมตร พบว่าระยะห่างระหว่างจุดตรวจสอบส่วนมากมีค่าน้อยกว่า 2,850 เมตรซึ่งไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจากหัวข้อ 2.1.2 (สังเกตจากพื้นที่กั้นชนซ้อนทับกัน)

1.1 ศึกษาจำนวน GCPs ที่เหมาะสม

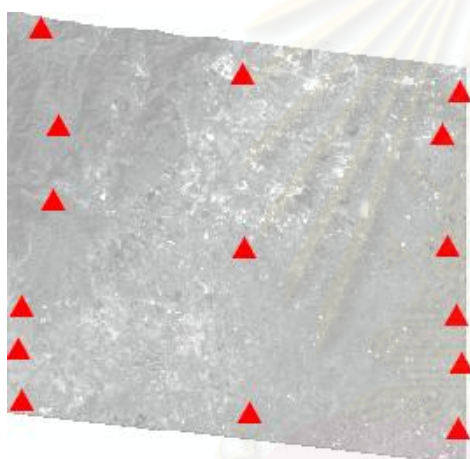
จากนั้นรังวัดพิกัดภาพของจุดควบคุมภาพบนภาพดิจิทัลให้ตรงกับภูมิประเทศ ทั้ง 54 จุด โดยพิจารณาจากรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ (Photo Control Description) เริ่มจากวาง GCPs จำนวนขั้นต่ำที่ใช้ในการปรับแก้และวางเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยลำดับการวาง GCPs ควรวางบริเวณมุมทั้งสี่ของบล็อกภาพถ่าย จากนั้นแบ่งพื้นที่ศึกษาเป็น Quadrant (ตารางกริดขนาด 2 X 2 , 4 X 4 และ 8 X 8) แล้ววาง GCPs บริเวณมุม หรือจุดตัดของกริดแสดงดังรูปที่ 3.14



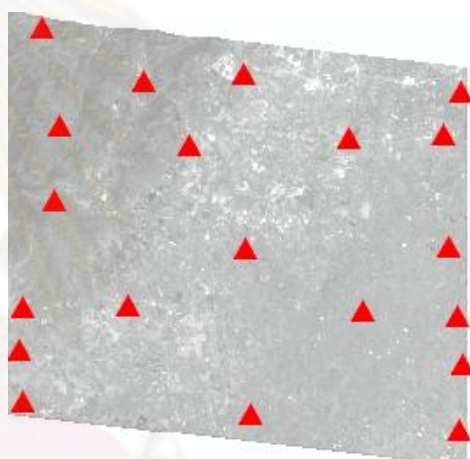
ก. จุดควบคุมภาพจำนวน 5 จุด



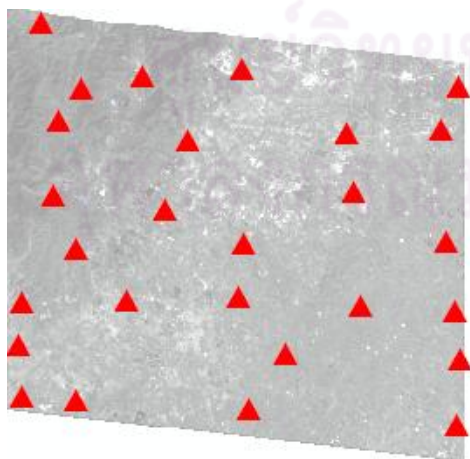
ข. จุดควบคุมภาพจำนวน 9 จุด



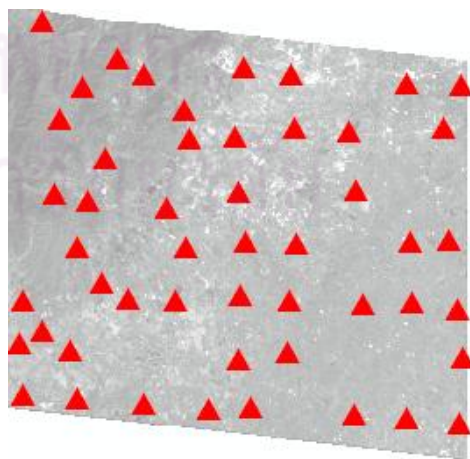
ค. จุดควบคุมภาพจำนวน 15 จุด



ง. จุดควบคุมภาพจำนวน 20 จุด



จ. จุดควบคุมภาพจำนวน 30 จุด



ฉ. จุดควบคุมภาพจำนวน 54 จุด

รูปที่ 3.14 แสดงลำดับการวางจุดควบคุมภาพที่ใช้ในวิธี HOV

เมื่อวาง GCPs ครอบคลุมตามกำหนดควรมีการตรวจสอบค่า RMSE ของการปรับแก้ ในกรณีที่ค่าปรับแก้มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดสามารถตรวจสอบจุดที่ผิดปกติจากค่าเศษเหลือของ GCPs ในรายงานผลการคำนวณข่ายสามเหลี่ยม (triangulation report) จากนั้นจึงทำการรังวัดซ้ำใหม่จนค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งการแก้ไขจุดควบคุมภาพควรพิจารณาพร้อมกับรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ สำหรับการวิเคราะห์หา GCPs ที่ใช้ในการปรับแก้ภาพจะพิจารณาจากจุด GCPs ที่มีค่าเศษเหลือน้อยกว่าสามเท่าของความละเอียดถูกต้องที่กำหนด หรือ 1 จุดภาพ

1.2 ศึกษาตำแหน่งการจัดวาง GCPs ที่เหมาะสม

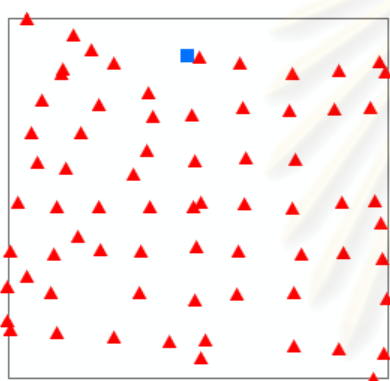
ดังที่ได้กล่าวไว้ตำแหน่งการจัดวาง GCPs ส่งผลต่อค่าปรับแก้ ผู้วิจัยได้ทดลองการกระจายตัวของ GCPs ที่ได้จากการปรับแก้ในขั้นตอนที่ 1.1 โดยแบ่งการกระจายออกเป็น 3 กรณี (ดูจากรูปที่ 3.8) ดังนี้

- แบบที่ 1 คือจุดควบคุมภาพกระจายครอบคลุมทั่วทั้งภาพ
- แบบที่ 2 คือจุดควบคุมภาพวางบริเวณพื้นที่ภูเขามากกว่าพื้นที่ราบ
- แบบที่ 3 คือจุดควบคุมภาพวางตามขอบเขตภาพขนานกับเส้นทางวงโคจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. วิธี Leave One out Cross Validation (LOOCV)

การคัดเลือกจุดควบคุมภาพด้วยวิธี LOOCV เริ่มจากรังวัดพิกัดภาพของจุดควบคุมภาพทั้ง 78 จุดบนภาพดิจิทัลกำหนดให้เป็น GCPs โดยพิจารณาพร้อมกับรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ เมื่อวางจุดครบจึงเลือก GCPs 1 จุด (PCP_068) และกำหนดให้เป็นจุดตรวจสอบแล้วคำนวณการปรับแก้ และบันทึกค่า RMSE ของการปรับแก้ ค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบดังรูปที่ 3.15 โดยวิธี LOOCV จะมีการคำนวณปรับแก้ทั้งหมด 78 รอบ (การสลับเปลี่ยน GCPs เป็นจุดตรวจสอบ) ซึ่งแต่ละการวนซ้ำจะเกิดค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เลือกเป็นจุดตรวจสอบ ค่า RMSE ของการปรับแก้ และค่าเศษเหลือ จึงนำค่าเหล่านี้มาแสดงในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 3.16 ถึง รูปที่ 3.17

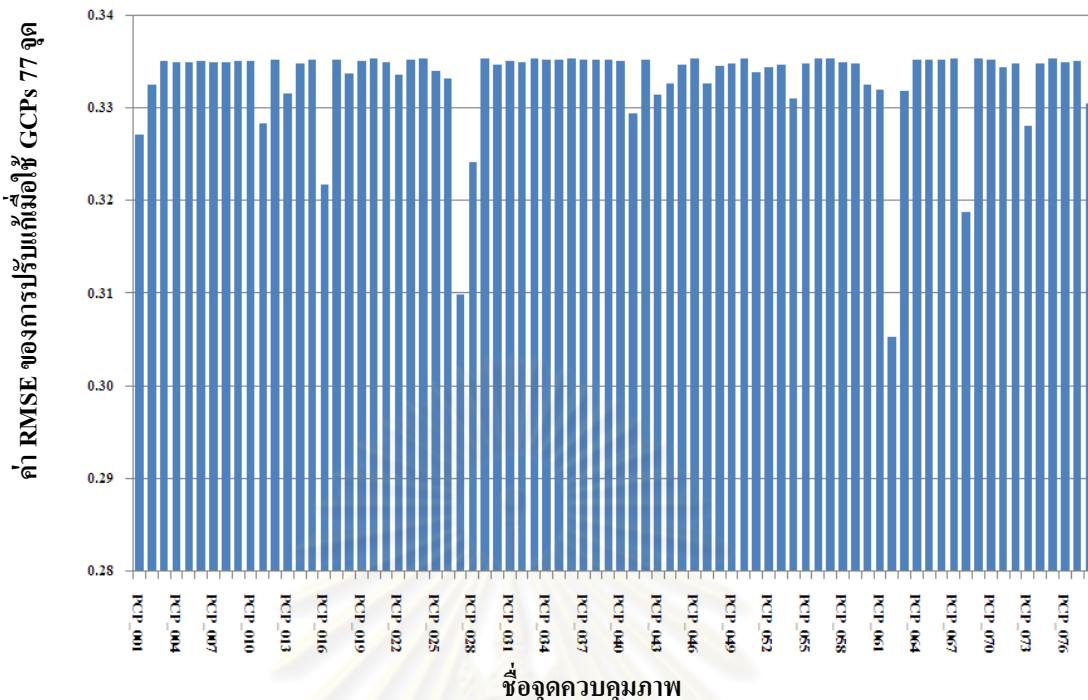


ก. PCP_068 กำหนดเป็นจุดตรวจสอบ

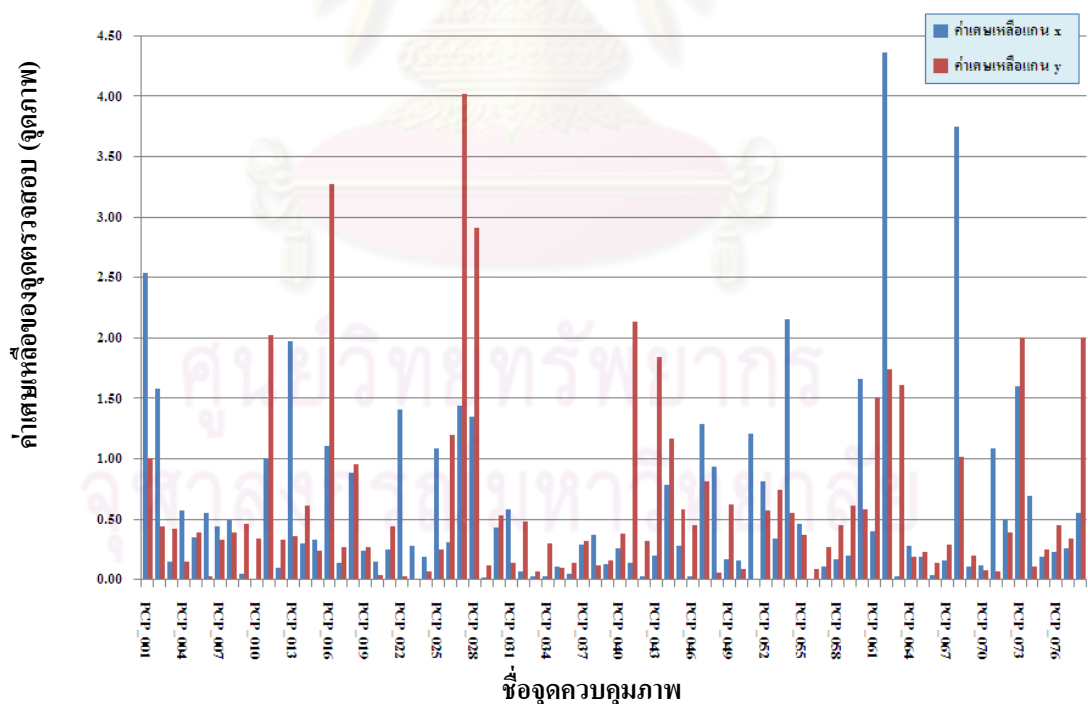
Triangulation Summary			
Triangulation Iteration Convergence:		Yes	
Total Image Unit-Weight RMSE:		0.2037327	
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	0.0784426 (70)	Ground X:	0.0000000 (0)
Ground Y:	0.0484905 (70)	Ground Y:	0.0000000 (0)
Ground Z:	0.1574050 (70)	Ground Z:	0.0000000 (0)
Image X:	0.6710240 (70)	Image X:	4.4692883 (1)
Image Y:	0.5450507 (70)	Image Y:	1.3970380 (1)

ข. ผลการคำนวณค่าสามเหลี่ยม

รูปที่ 3.15 แสดงการคัดเลือกจุดควบคุมภาพด้วยวิธี LOOCV



รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เลือกเป็นจุดตรวจสอบ และค่า RMSE ของการปรับแก้



รูปที่ 3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เลือกเป็นจุดตรวจสอบ และค่าเศษเหลือ

จากรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เลือกเป็นจุดตรวจสอบ ค่า RMSE ของการปรับแก้ และค่าเศษเหลือ พบว่าเมื่อกำหนดให้จุด PCP_062 เป็นจุดตรวจสอบทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้ดีขึ้นคือมีค่า RMSE น้อยที่สุดประมาณ 0.30 เมตร เนื่องจากจุดดังกล่าวมีค่าเศษเหลือขณะเป็นจุดตรวจสอบมากที่สุดมีค่า 4.69 จุดภาพ (ประมาณ 2.35 เมตร) เมื่อตัดจุด PCP_062 ออกทำให้ค่าความถูกต้องของแบบจำลองดีขึ้น จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงสามารถวิเคราะห์หาจำนวน GCPs ที่ใช้ในการปรับแก้ดังนี้

2.1 ศึกษาจำนวน GCPs ที่เหมาะสม

พิจารณาจากค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบที่ได้แต่ละการวนซ้ำ โดยแบ่งค่าเศษเหลือออกเป็น 4 กลุ่มแสดงดังตารางที่ 3.2 เพื่อหาจุดผิดปกติในเชิงสถิติ (outlier) กล่าวคือจุดที่มีขนาดความคลาดเคลื่อนมากกว่าสามเท่าของค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์จากมัธยฐาน (Median Absolute Deviation; 3MAD) จากนั้นวิเคราะห์หาจำนวน GCPs ที่ใช้ในการปรับแก้จากค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบที่มีค่าน้อยที่สุด (Brovellia et al., 2006)

ตารางที่ 3.2 การแบ่งค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบตามเงื่อนไข

กลุ่ม	คุณสมบัติ	เงื่อนไข
1	ดีมาก	$0 < \text{ค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ} < \text{MAD}$
2	ดี	$\text{MAD} < \text{ค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ} < 2 * \text{MAD}$
3	ปานกลาง	$2 * \text{MAD} < \text{ค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ} < 3 * \text{MAD}$
4	แย่มาก	$\text{ค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ} > 3 * \text{MAD}$

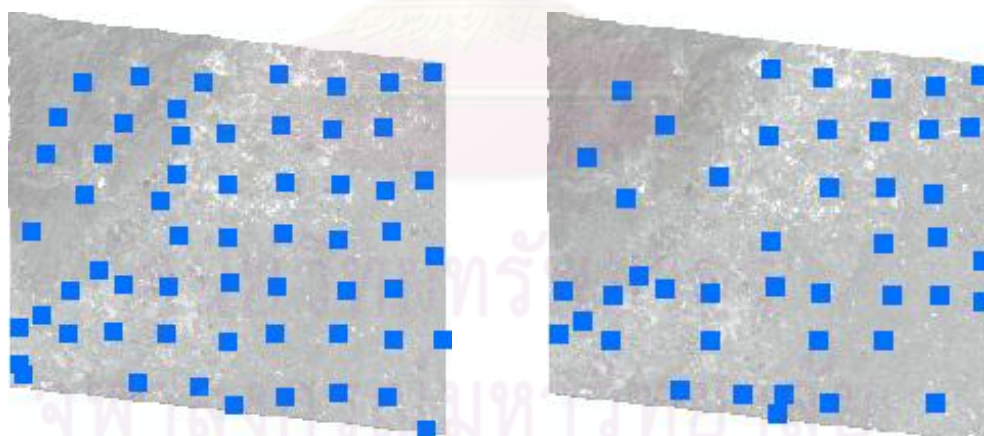
2.2 ศึกษาตำแหน่งการจัดวาง GCPs ที่เหมาะสม

เมื่อทราบจำนวน GCPs ที่ใช้ในการปรับแก้จากขั้นตอนที่ 2.1 จากนั้นทดลองการกระจายตัวของ GCPs เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1.2

3.2.4 การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท

การตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของข้อมูลภาพหลังการปรับแก้ตามมาตรฐานของ NSSDA ดำเนินการ โดยการนำค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่รังวัดด้วยความละเอียดสูง (จากการรังวัดค่าพิกัดบนภูมิประเทศจริงด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม) มาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดของจุดตรวจสอบที่รังวัดค่าพิกัดบนภาพออร์โท เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง โดยใช้ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบและขั้นตอนการคำนวณความละเอียดถูกต้องของจุดตรวจสอบดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1.6 (รูปที่ 2.9) จากนั้นจึงสร้างแผนภาพแบบลูกศร (Quiver plot) ด้วยโปรแกรม Octave เพื่อแสดงขนาดและทิศทางของความคลาดเคลื่อนทางราบ โดยความยาวของลูกศรแทนขนาดของความคลาดเคลื่อนทางราบของจุดตรวจสอบ ส่วนทิศทางของลูกศรจะมีจุดเริ่มต้นที่ปลายลูกศรเป็นค่าพิกัดที่รังวัดได้ในภาคสนาม (จากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS หรือจุดควบคุมภาพที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า) ไปยังตำแหน่งเดียวกันที่ปรากฏบนภาพออร์โท (หัวลูกศร)

สำหรับจุดตรวจสอบที่ใช้ได้จากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่เหลือจากการคัดเลือก GCPs (วิธี HOV และวิธี LOOCV) มีกระจายครอบคลุมทั่วพื้นที่ศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.18 และนำผลความคลาดเคลื่อนทางราบสร้างแผนภาพแบบลูกศร



ก. แสดงจุดตรวจสอบ 59 จุดจากวิธี HOV

ข. แสดงจุดตรวจสอบ 44 จุดจากวิธี LOOCV

รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งจุดตรวจสอบที่ใช้ตรวจสอบภาพออร์โท

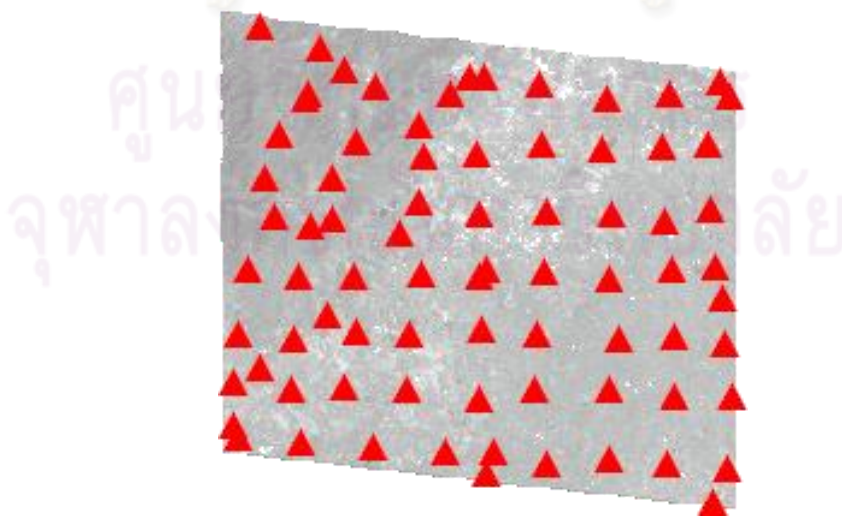
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบภายหลังจากการปรับแก้เชิงเรขาคณิตด้วยแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงแบบจำลองร่วมกับการใช้ GCPs จากโมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วยผลการศึกษา เช่น ผลการตรวจสอบข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ผลการปรับปรุงแบบจำลอง จำนวนจุดควบคุมภาพที่ใช้ปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV และผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพหลังการปรับแก้ ส่วนที่สอเป็นการวิเคราะห์ผลการศึกษา เช่น การปรับปรุงแบบจำลองด้วยการประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ที่เหมาะสมต่อข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 จำนวน GCPs ที่ใช้ปรับแก้ และการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพหลังการปรับแก้ แต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการตรวจสอบจุดควบคุมภาพที่ใช้ในการวิจัย

จากการตรวจสอบคุณภาพของจุดควบคุมภาพด้วยสายตาก่อนการรังวัดพิกัดภาพของจุดควบคุมภาพให้ตรงกับภูมิประเทศ พบว่าจุดควบคุมภาพทั้งหมด 78 จุดสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ จุดควบคุมภาพคุณภาพดี 71 จุด และจุดควบคุมภาพที่ไม่ควรนำไปใช้ 7 จุด ตัวอย่างจุดควบคุมภาพแต่ละกลุ่มแสดงในภาคผนวก ข ตำแหน่งของจุดควบคุมภาพที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงจุดควบคุมภาพ 78 จุดที่ใช้ในงานวิจัย

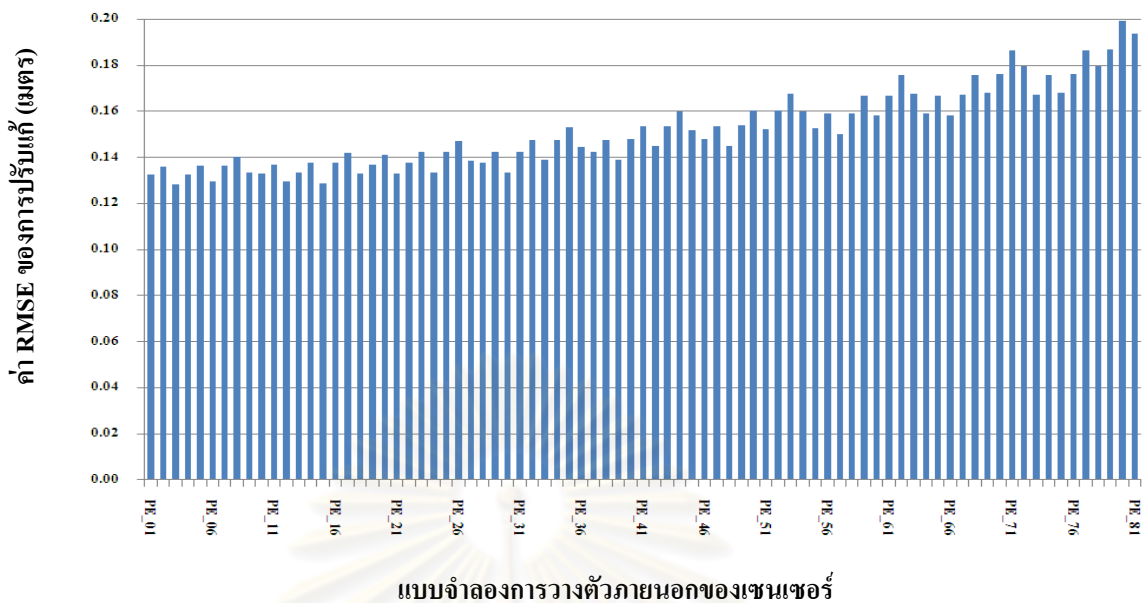
4.2 ผลการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ

จากการประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์โดยการสร้างฟังก์ชันแบบต่อเนื่องด้วยค่าคงที่ (constant) สมการ โพลีโนเมียลกำลังหนึ่ง (1^{st} order) และกำลังสอง (2^{nd} order) ผู้วิจัยได้ทดลองแบบจำลองทั้งหมด 81 แบบซึ่งแต่ละแบบจำลองมีการกำหนดสมการโพลีโนเมียลกำลังต่างๆ แต่ละแบบจำลองได้วาง GCPs เพิ่ม 12 จุดที่มีการกระจายแตกต่างกัน การเลือกแบบจำลองเซนเซอร์พิจารณาจากแบบจำลองที่ให้ค่า RMSE ของการปรับแก้มีค่าน้อยที่สุด จากตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.3 แสดงค่า RMSE ของการปรับแก้ที่มีค่าน้อยที่สุด 10 ลำดับแรก โดยผลการคำนวณข้างสามเหลี่ยมแสดงดังนี้

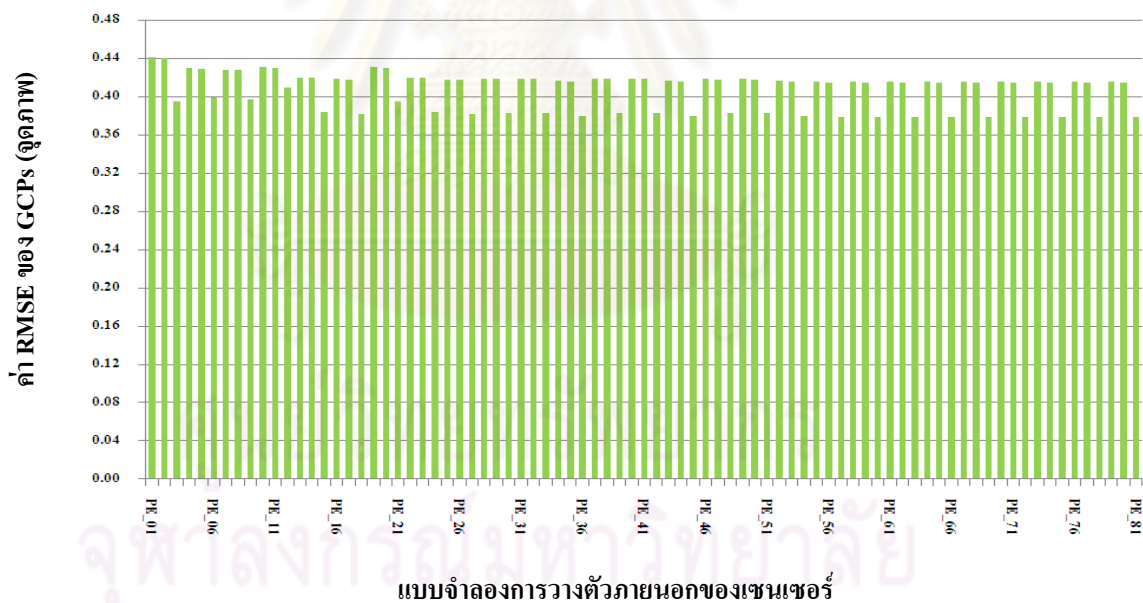
ตารางที่ 4.1 ค่า RMSE ของการปรับแก้ที่มีค่าน้อยที่สุด 10 ลำดับแรกจากการวาง GCPs แบบที่ 1

แบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์	ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 1		
	RMSE ของการปรับแก้ (เมตร)	RMSE ของ GCPs (จุดภาพ)	RMSE ของจุดตรวจสอบ (จุดภาพ)
PE_03	0.128	0.395	1.606
PE_15	0.129	0.384	1.604
PE_06	0.129	0.399	1.622
PE_12	0.130	0.410	1.622
PE_04	0.133	0.430	1.638
PE_01	0.133	0.441	1.639
PE_21	0.133	0.395	1.605
PE_10	0.133	0.431	1.626
PE_18	0.133	0.382	1.600
PE_30	0.133	0.383	1.602

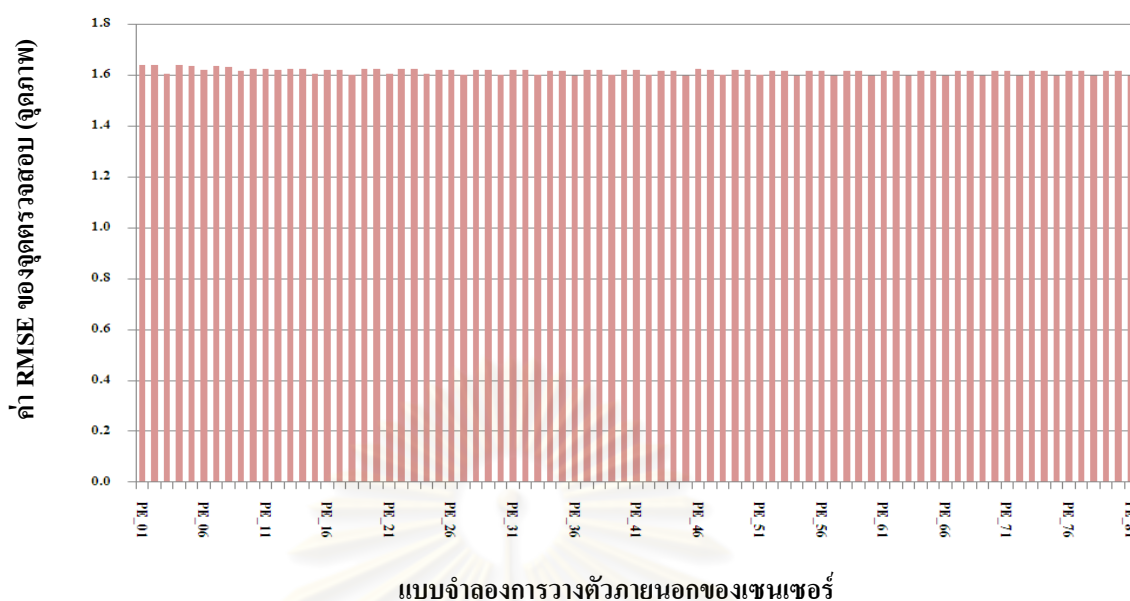
จากตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณข้างสามเหลี่ยมเมื่อวาง GCPs แบบที่ 1 ทำให้ทราบค่า RMSE ของการปรับแก้ ค่า RMSE ของ GCPs และจุดตรวจสอบ เพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้นจึงนำค่าต่างๆ จาก 81 แบบจำลองแสดงในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMSE ของการปรับแก้ และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 1



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิคัดของ GCPs และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 1

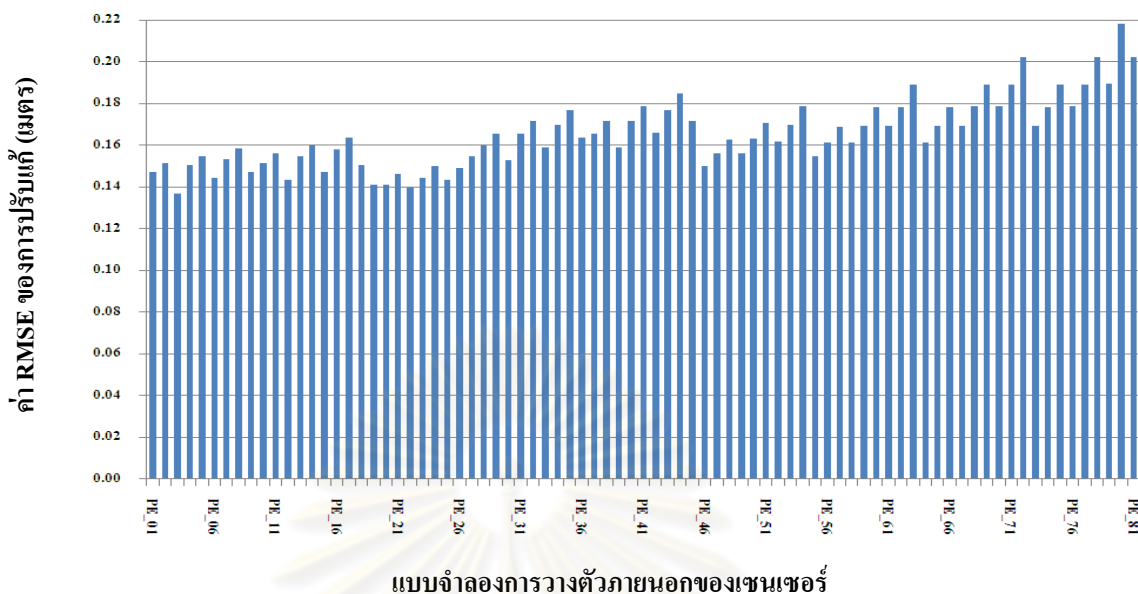


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของจุดตรวจสอบ และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 1

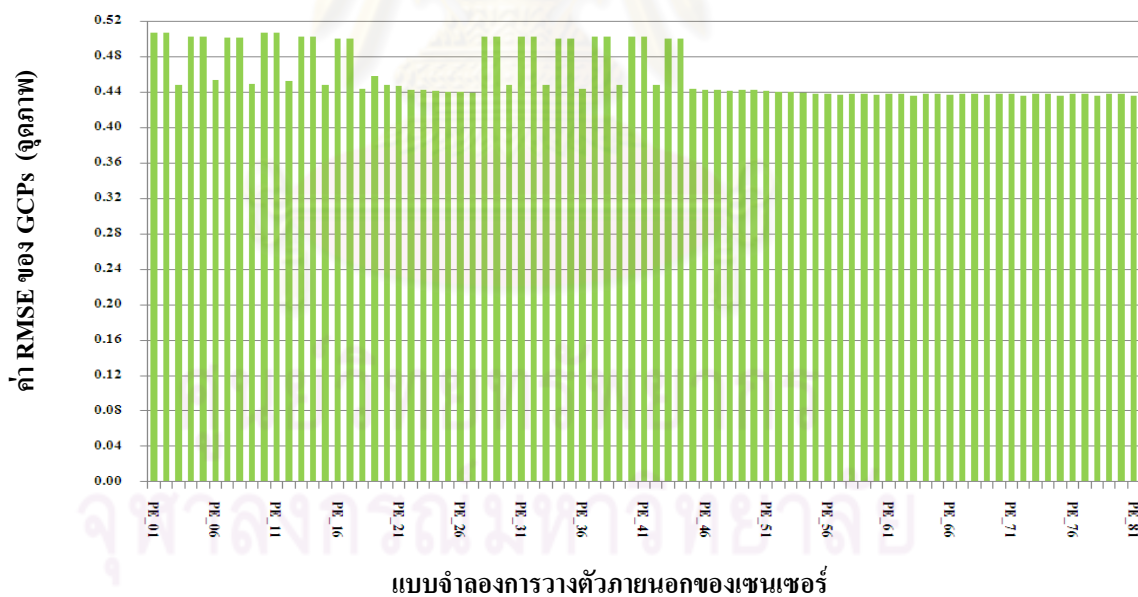
ตารางที่ 4.2 ค่า RMSE ของการปรับแก้ที่มีค่าน้อยที่สุด 10 ลำดับแรกจากการวาง GCPs แบบที่ 2

แบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์	ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 2		
	RMSE ของการปรับแก้ (เมตร)	RMSE ของ GCPs (จุดภาพ)	RMSE ของจุดตรวจสอบ (จุดภาพ)
PE_03	0.137	0.448	1.995
PE_22	0.140	0.443	1.977
PE_20	0.141	0.448	1.997
PE_19	0.141	0.458	1.899
PE_25	0.144	0.441	2.001
PE_12	0.144	0.453	1.889
PE_06	0.144	0.454	1.884
PE_23	0.145	0.443	1.979
PE_21	0.146	0.447	1.935
PE_09	0.147	0.450	1.918

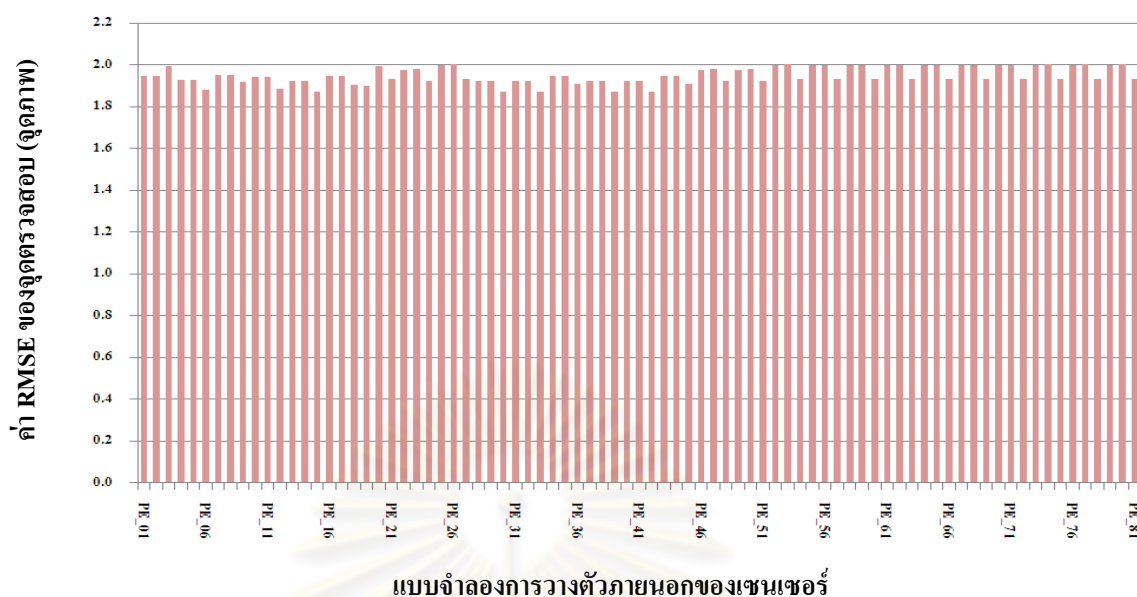
จากตารางที่ 4.2 แสดงค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากการวาง GCPs แบบที่ 2 เพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้นจึงนำค่าต่างๆ จาก 81 แบบจำลองแสดงในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMSE ของการปรับแก้ และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 2



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิสัยของ GCPs และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 2

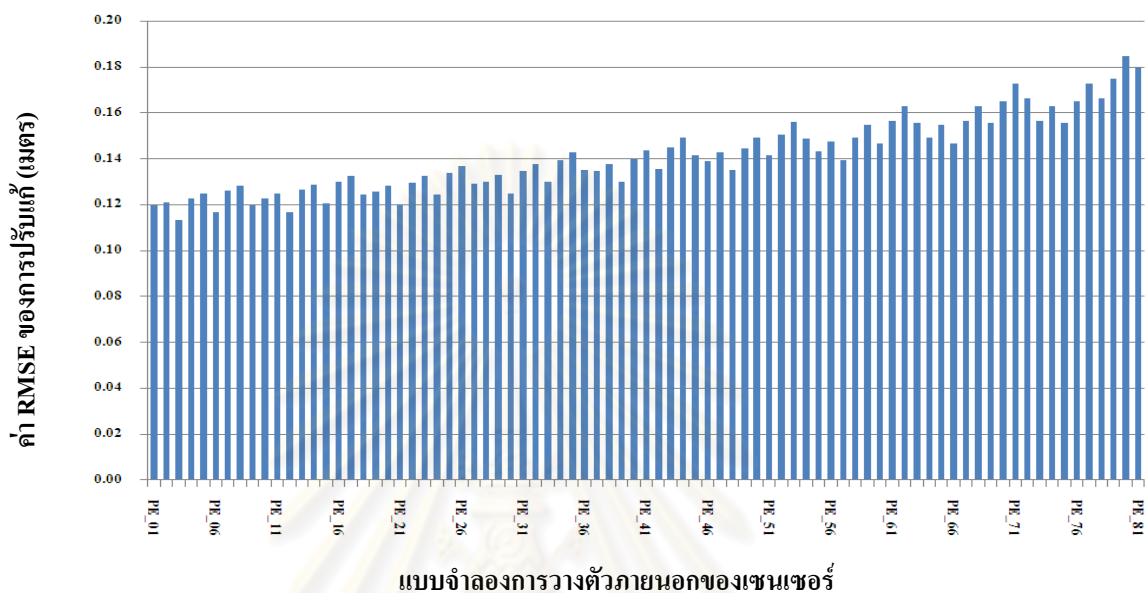


รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของจุดตรวจสอบ และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 2

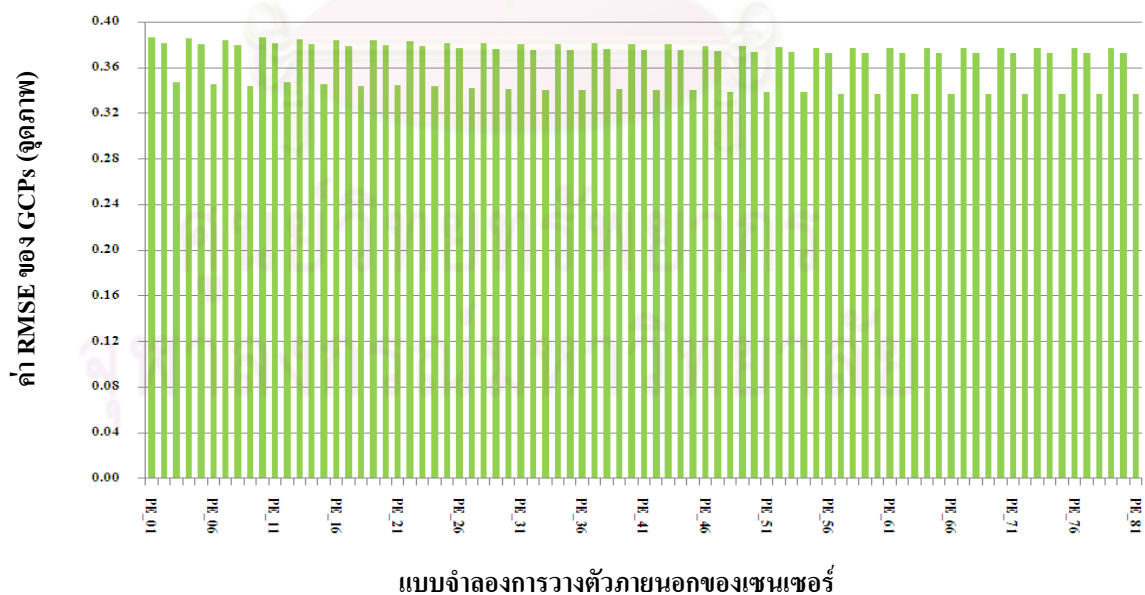
ตารางที่ 4.3 ค่า RMSE ของการปรับแก้ที่มีค่าน้อยที่สุด 10 ลำดับแรกจากการวาง GCPs แบบที่ 3

แบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์	ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 3		
	RMSE ของการปรับแก้ (เมตร)	RMSE ของ GCPs (จุดภาพ)	RMSE ของจุดตรวจสอบ (จุดภาพ)
PE_03	0.113	0.347	1.593
PE_06	0.117	0.346	1.595
PE_12	0.117	0.347	1.594
PE_01	0.120	0.387	1.615
PE_09	0.120	0.344	1.138
PE_21	0.120	0.345	1.590
PE_15	0.121	0.346	1.597
PE_02	0.121	0.382	1.612
PE_04	0.123	0.386	1.617
PE_10	0.123	0.386	1.619

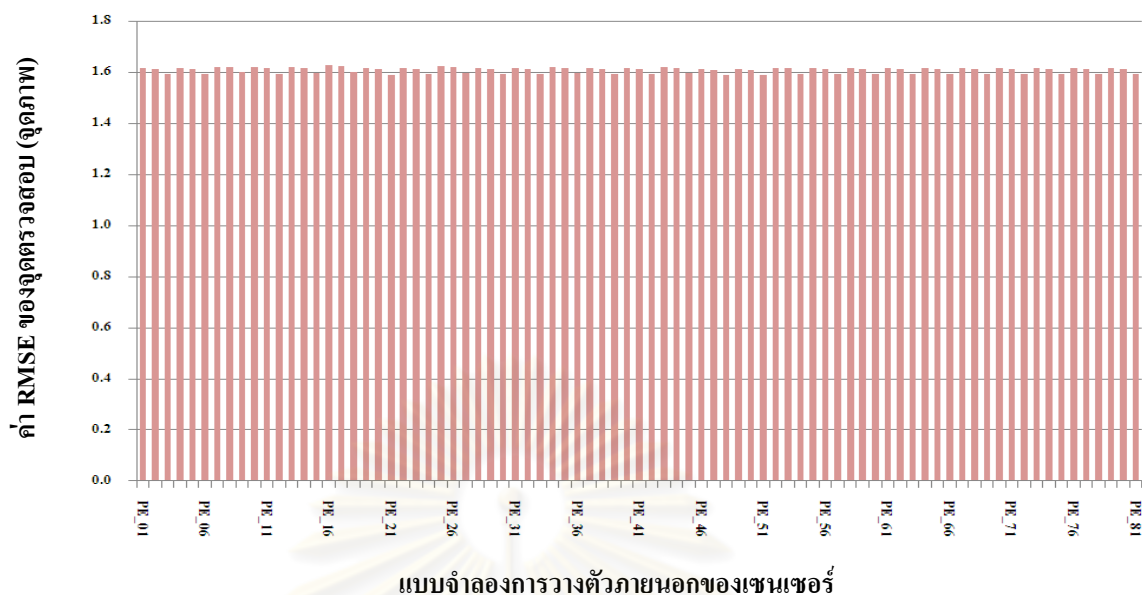
จากตารางที่ 4.3 แสดงค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพดาวเทียมจากการวาง GCPs แบบที่ 3 เพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้นจึงนำค่าต่างๆ จาก 81 แบบจำลองแสดงในรูปแบบของกราฟ ดังรูปที่ 4.8 ถึง รูปที่ 4.10



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMSE ของการปรับแก้ และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 3



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของ GCPs และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบจากการวาง GCPs แบบที่ 3



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดของจุดตรวจสอบ และแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบแบบจากการวาง GCPs แบบที่ 3

4.3 การวิเคราะห์ผลการปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ

จากการประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ด้วยแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ทั้ง 81 แบบร่วมกับ GCPs 12 จุดที่มีตำแหน่งการจัดวางแตกต่างกัน 3 รูปแบบ เมื่อคำนวณค่าสามเหลี่ยมทำให้ทราบค่า RMSE ของการปรับแก้ (Total Image Unit-Weight RMSE) ค่า RMSE ของ GCPs (Control Point RMSE) ค่า RMSE ของจุดตรวจสอบ (Check Point RMSE) และค่าเศษเหลือต่างๆที่ใช้พิจารณาหาแบบจำลองเซนเซอร์ แต่ละค่าสามารถอธิบายดังนี้

จากผลการคำนวณค่าสามเหลี่ยมทำให้ทราบค่า RMSE ของการปรับแก้ แสดงค่าความถูกต้องของการรังวัดเป็นตัวบ่งชี้ความแม่นยำหรือคุณภาพของการปรับแก้ สำหรับการเลือกแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์พิจารณาจากแบบจำลองที่ทำให้ได้ค่า RMSE ของการปรับแก้มีค่าน้อยที่สุด จากตารางที่ 4.1-4.3 และรูปที่ 4.2 - 4.10 แสดงค่า RMSE ของการปรับแก้จากการวาง GCPs ทั้งสามแบบพบว่า แบบจำลอง PE_03 ทำให้มีค่าปรับแก้มีค่าน้อยที่สุดคือ 0.128, 0.137 และ 0.113 เมตรตามลำดับการวางจุดควบคุมภาพ สำหรับแบบจำลอง PE_81 ทำให้มีค่าปรับแก้มากที่สุดคือ 0.199, 0.218 และ 0.185 เมตรตามลำดับ โดยค่าปรับแก้ที่ได้ในแต่ละแบบจำลองมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาค่า RMSE ของพิกัดภาพจาก GCPs หรือค่าเศษเหลือของ GCPs แสดงผลต่างระหว่างพิกัดภาพจากการรังวัด GCPs บนภาพดิจิทัลกับค่าพิกัดภาพที่ได้จากการปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Adjustment Computation) เป็นค่าที่แสดงถึงความผิดพลาดของ GCPs ที่ใช้ปรับแก้ จากตารางที่ 4.1-4.3 แสดงค่า RMSE ของ GCPs ทั้ง 12 จุดจากการวางจุดควบคุมภาพทั้งสามแบบ พบว่า เมื่อกำหนดให้การประมาณค่ามุมรอบแกน Z ของเซนเซอร์ (κ_s) ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสองทำให้ค่า RMSE ของพิกัดภาพจาก GCPs มีค่าลดลง หรือมีค่าน้อยกว่าแบบจำลองอื่นๆ จากการวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 1 และ 3 ซึ่งการวางจุดแบบที่ 3 มีค่า RMSE ของ GCPs ดีกว่าการกระจายแบบอื่น โดยแบบจำลอง PE_06 ทำให้ได้ค่า RMSE น้อยที่สุดมีค่า 0.337 จุดภาพ (0.169 เมตร) และแบบจำลอง PE_01 ทำให้ได้ค่า RMSE มากที่สุดมีค่า 0.387 จุดภาพ (0.193 เมตร) สำหรับการจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 2 มีค่า RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.337 จุดภาพ (0.169 เมตร) จากแบบจำลอง PE_54 แล้วมีค่า RMSE มากที่สุดเท่ากับ 0.507 จุดภาพ (0.254 เมตร) จากแบบจำลอง PE_01 และการจัดวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 1 มีค่า RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.379 จุดภาพ (0.190 เมตร) จากแบบจำลอง PE_60 โดยแบบจำลอง PE_01 ทำให้มีค่า RMSE มากที่สุดเท่ากับ 0.441 จุดภาพ (0.220 เมตร) จากผลการทดลองทั้งหมดค่าเศษเหลือที่ได้มีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 1 จุดภาพ

เมื่อพิจารณาค่า RMSE ของจุดตรวจสอบทั้ง 40 จุด จากตารางที่ 4.1-4.3 พบว่าแบบจำลองทั้งหมดที่ใช้ทดลองให้ค่า RMSE ประมาณ 1.60 จุดภาพ (0.80 เมตร) จากการวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 1 และแบบที่ 3 สำหรับการวางจุดควบคุมภาพแบบที่ 2 มีค่า RMSE ประมาณ 1.80 – 2.00 จุดภาพ (0.90-1.00 เมตร) จากผลการทดลองค่าที่ได้ต่างกันเพียงเล็กน้อย

จากผลการคำนวณขายสามเหลี่ยมค่าที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์แบบใดมีความถูกต้องที่สุด ผู้วิจัยจึงพิจารณาค่าปรับแก้ที่มีค่าน้อยที่สุด และจำนวน GCPs ที่ใช้น้อยที่สุดเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการแปลงค่าพิกัด เช่นแบบจำลองที่ใช้สมการโพลีโนเมียลกำลังหนึ่งประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ต้องใช้ GCPs อย่างน้อย 7 จุด หรือแบบจำลองที่ใช้สมการโพลีโนเมียลกำลังสองต้องใช้ GCPs อย่างน้อย 10 จุด ซึ่งการใช้สมการโพลีโนเมียลกำลังหนึ่งก็เพียงพอต่อความต้องการเพราะให้ค่า RMSE ของการปรับแก้ใกล้เคียงกับการใช้สมการโพลีโนเมียลกำลังสอง (การใช้สมการโพลีโนเมียลที่มีกำลังมากๆ ย่อมใช้จำนวน GCPs ที่เพิ่มขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการออกสนาม) จากเหตุผลดังกล่าวปรากฏว่าแบบจำลอง PE_03 มีค่าปรับแก้ที่มีค่าน้อยที่สุด และใช้จุดควบคุมภาพน้อยที่สุด

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 เพื่อปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ คือ PE_03 เนื่องจากมีค่า RMSE ของการปรับแก้ที่น้อยที่สุดถึงแม้ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพแตกต่างกัน สำหรับสมการโพลีโนเมียลของการประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์สามารถเขียนในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\begin{aligned}
 X_S &= X_{S_0} + \Delta X_S & ; \Delta X_S &= a_0 \\
 Y_S &= Y_{S_0} + \Delta Y_S & ; \Delta Y_S &= b_0 \\
 Z_S &= Z_{S_0} + \Delta Z_S & ; \Delta Z_S &= c_0 \\
 \omega_S &= \omega_{S_0} + \Delta \omega_S & ; \Delta \omega_S &= d_0 \\
 \varphi_S &= \varphi_{S_0} + \Delta \varphi_S & ; \Delta \varphi_S &= e_0 \\
 \kappa_S &= \kappa_{S_0} + \Delta \kappa_S & ; \Delta \kappa_S &= f_0 + f_1 t + f_2 t_i^2
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

จากสมการที่ 4.1 แสดงแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ด้วยการสร้างฟังก์ชันแบบต่อเนื่องด้วยค่าคงที่สำหรับการประมาณตำแหน่งของเซนเซอร์ (X_S, Y_S, Z_S) และค่ามุมรอบแกน X แกน Y ของเซนเซอร์ (ω_S, φ_S) และการประมาณค่ามุมรอบแกน Z ของเซนเซอร์ (κ_S) ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสองทำให้เกิดสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่า 8 ค่า ดังนั้นควรใช้ GCPs อย่างน้อย 5 จุด สำหรับคำนวณค่าแก้ของ EOPs เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ของการปรับแก้

4.4 ผลการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ

4.4.1 การตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV

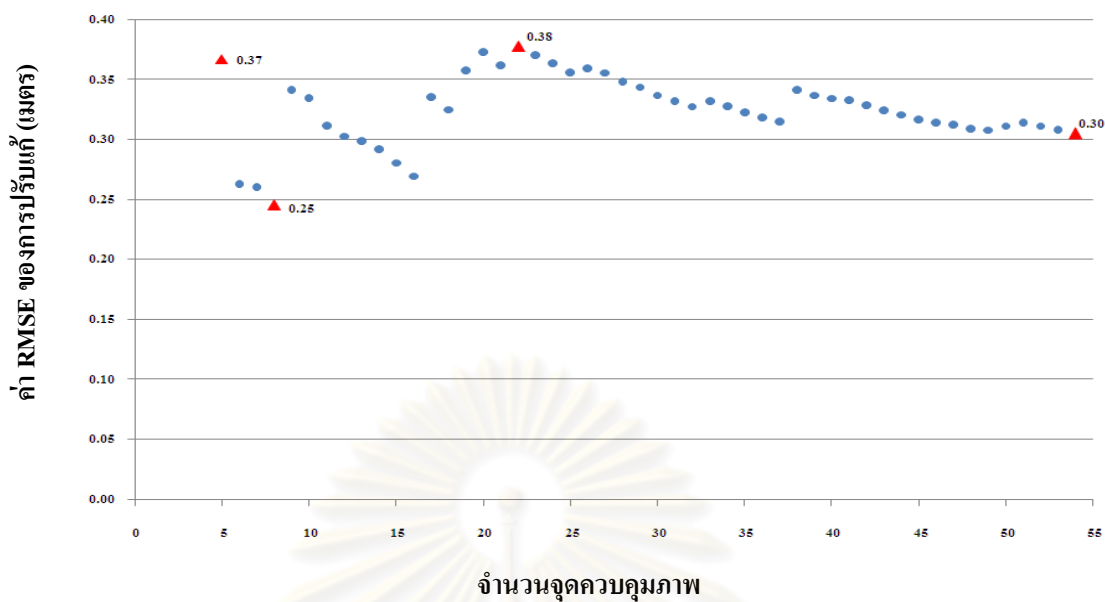
1. ผลการหาจำนวน GCPs ที่เหมาะสมและมีคุณภาพด้วยวิธี HOV

จากผลการประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ด้วยสมการโพลีโนเมียลทำให้เกิดสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่า 8 ค่า เพราะฉะนั้นต้องใช้ GCPs อย่างน้อย 5 จุดตามเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อใช้คำนวณหาสัมประสิทธิ์ของสมการโพลีโนเมียลสำหรับค่าแก้ไขของค่า EOPs (เพื่อเป็นพารามิเตอร์ของการปรับแก้) เมื่อวาง GCPs ครอบคลุมตามกำหนดจึงคำนวณการปรับแก้ ซึ่งผลการคำนวณข้างสามเหลี่ยมแสดงในตารางที่ 4.4

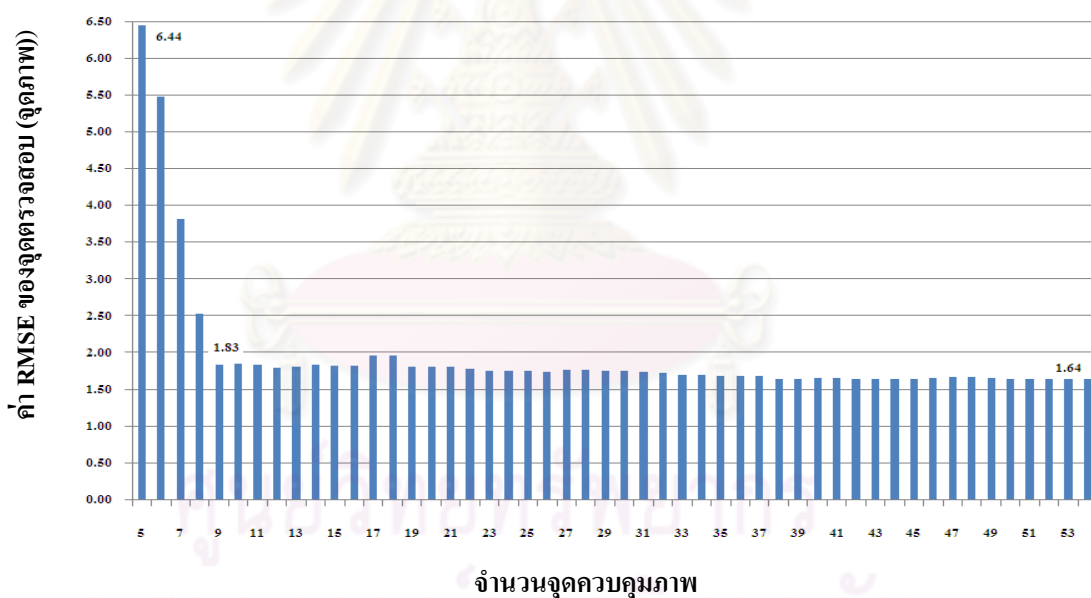
ตารางที่ 4.4 ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากผลการคำนวณข้างสามเหลี่ยม

จำนวน จุดควบคุมภาพ	ชนิดความคลาดเคลื่อน		
	RMSE ของการปรับแก้ (เมตร)	RMSE ของ GCPs (จุดภาพ)	RMSE ของจุดตรวจสอบ 24 จุด (จุดภาพ)
5	0.37	0.57	6.44
15	0.28	1.00	1.82
20	0.37	1.49	1.80
25	0.36	1.43	1.75
30	0.34	1.37	1.75
35	0.32	1.32	1.69
40	0.33	1.38	1.65
45	0.32	1.31	1.64
50	0.31	1.29	1.64
54	0.30	1.26	1.64

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ เมื่อวาง GCPs ครอบคลุม 54 จุดทำให้มีค่า RMSE ของการปรับแก้มีค่าเท่ากับ 0.30 เมตร ค่าที่ไม่ได้อยู่ในเกณฑ์ (1 ใน 3 ของความละเอียดจุดภาพประมาณ 0.17 เมตร) โดยค่า RMSE ของ GCPs มีค่าเท่ากับ 1.26 จุดภาพ และค่า RMSE ของจุดตรวจสอบมีค่าเท่ากับ 1.64 จุดภาพ และเพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้นจึงนำค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากการวาง GCPs เพิ่มทีละตำแหน่งแสดงในลักษณะของกราฟดังรูปที่ 4.11

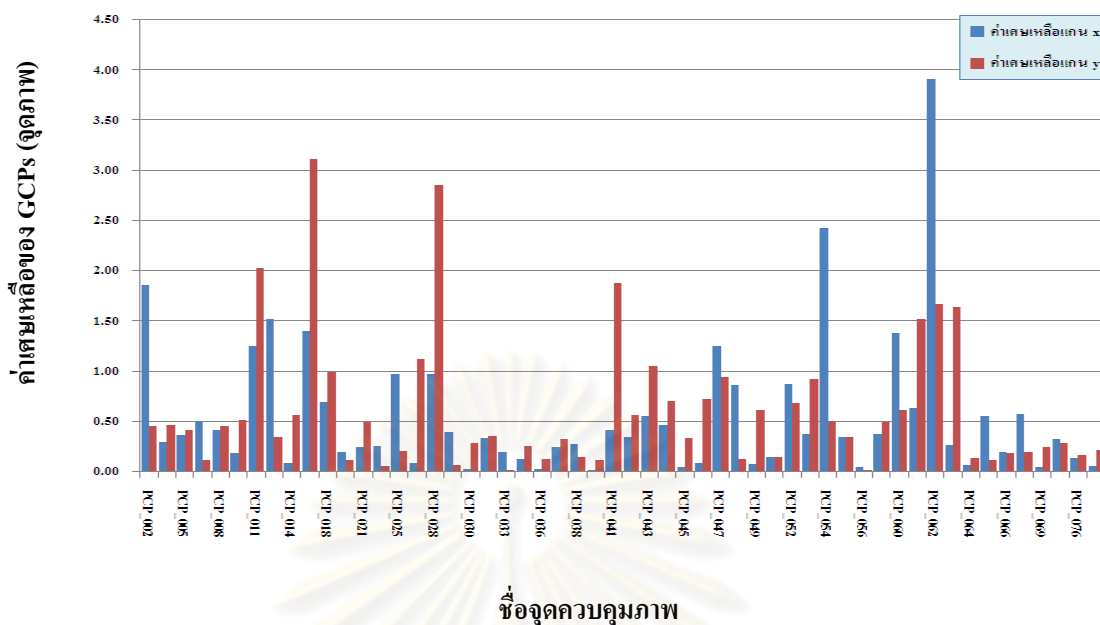


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของการปรับแก้



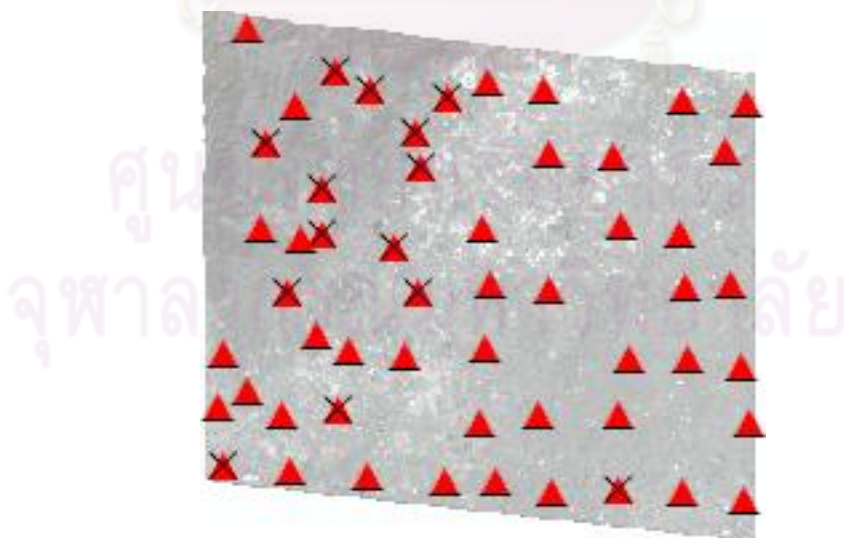
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของจุดตรวจสอบ

โดยทั่วไปเมื่อเพิ่ม GCPs ถึงระดับหนึ่งทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้มีค่าคงที่จากรูปที่ 4.11 ไม่ได้เป็นไปตามแนวคิดเนื่องจาก GCPs อาจมีบางจุดที่มีข้อผิดพลาด ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากค่าเศษเหลือของ GCPs ที่ได้จากการคำนวณข่ายสามเหลี่ยม เพื่อให้เห็นผลยิ่งขึ้นจึงนำเสนอในรูปแบบของกราฟแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง GCPs และค่าเศษเหลือของ GCPs

จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าเศษเหลือของ GCPs แต่ละจุด โดยพบ GCPs จำนวน 14 จุด ที่มีค่าเศษเหลือเกิน 1 จุดภาพ (0.50 เซนติเมตร) ซึ่งจุดเหล่านี้พบบริเวณพื้นที่สูงชันดังรูปที่ 4.14 เมื่อตัดจุดที่ผิดพลาดทั้ง 14 จุดทำให้มีค่า RMSE ของการปรับแก้เป็นไปตามเงื่อนไข คือ 0.14 เมตร แต่จำนวน GCPs ที่ใช้มากเกินไปจนจำเป็น ดังนั้นจึงพิจารณา GCPs ที่เหลือใหม่อีกครั้ง ซึ่งผลการคำนวณซ้ำสามเหลี่ยมจากการวาง GCPs ทั้ง 40 จุดแสดงดังตารางที่ 4.5

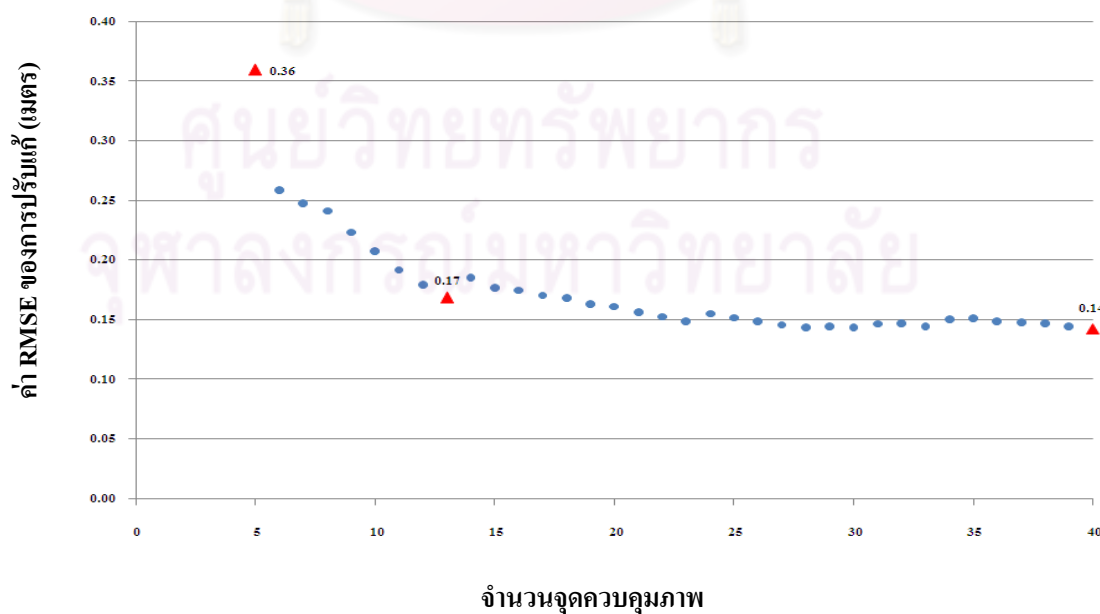


รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งของ GCPs ที่มีค่าเศษเหลือเกิน 1 จุดภาพ

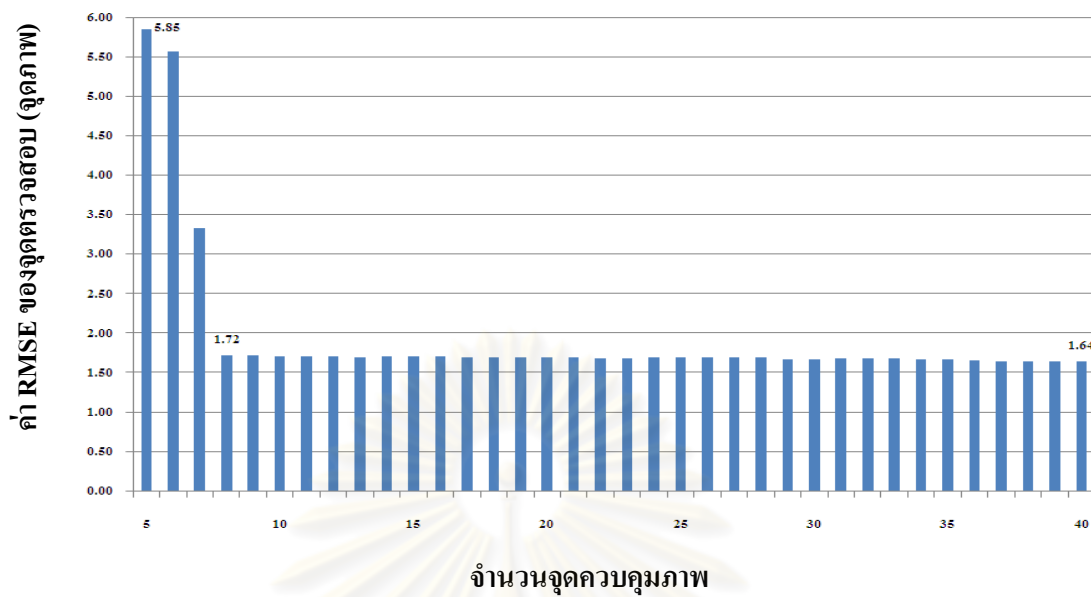
ตารางที่ 4.5 ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพเมื่อวาง GCPs ครบ 40 จุด

จำนวน จุดควบคุมภาพ	ชนิดความคลาดเคลื่อน		
	RMSE ของการปรับแก้ (เมตร)	RMSE ของ GCPs (จุดภาพ)	RMSE ของจุดตรวจสอบ 24 จุด (จุดภาพ)
5	0.36	0.60	5.85
10	0.21	0.58	1.71
11	0.19	0.56	1.71
12	0.18	0.53	1.70
13	0.17	0.51	1.70
14	0.19	0.61	1.70
15	0.18	0.59	1.70
20	0.16	0.56	1.69
25	0.15	0.55	1.69
30	0.14	0.53	1.67
35	0.15	0.56	1.66
40	0.14	0.53	1.64

จากตารางที่ 4.5 เพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้นจึงนำค่า RMSE ของการปรับแก้ และค่าเศษเหลือของจุดควบคุมภาพ มาแสดงในลักษณะของกราฟดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของการปรับแก้



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของจุดตรวจสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การวิเคราะห์หาจำนวน GCPs ที่เหมาะสมและมีคุณภาพด้วยวิธี HOV

การหาจำนวนจุดควบคุมภาพที่ใช้ปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตด้วยวิธี HOV สามารถพิจารณาจากค่า RMSE ของการปรับแก้ จากการวาง GCPs เพิ่มทีละจุด เมื่อวางจุด GCPs จำนวนมากขึ้นแนวโน้มของค่า RMSE ของการปรับแก้จะลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อวางจุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับหนึ่งทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ จนถึงได้ว่าไม่มีนัยสำคัญ

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.11 แสดงผลการทดลองจากการ GCPs ทั้งหมด 54 จุด พบว่าเมื่อวาง GCPs 5 จุดซึ่งเป็นจำนวนขั้นต่ำเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าในสมการ (4.1) ทำให้มีค่า RMSE ของการปรับแก้เท่ากับ 0.37 เมตร เมื่อเพิ่ม GCPs เป็น 6 - 8 จุดค่าที่ได้ลดลงทำให้ทราบค่า RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.25 เมตรเมื่อใช้ GCPs 8 จุด จากนั้นเพิ่ม GCPs เป็น 9 - 22 จุดทำให้ค่า RMSE ที่ได้มีค่าขึ้นๆลงๆ (ค่าแกว่ง) ซึ่งทำให้มีค่า RMSE มากที่สุดคือ 0.38 เมตรเมื่อใช้ GCPs จำนวน 22 จุด หลังจากนั้นเพิ่ม GCPs เป็น 23 - 54 จุดทำให้ค่า RMSE ลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้ได้ค่า RMSE เท่ากับ 0.30 เมตรเมื่อใช้ GCPs 54 จุด จากรูปที่ 4.12 แสดงค่า RMSE ของจุดตรวจสอบทั้ง 24 จุดจากการวาง GCPs เพิ่มทีละจุด พบค่า RMSE เท่ากับ 6.44 จุดภาพ (3.22 เมตร) เมื่อวาง GCPs จำนวน 5 จุด หลังจากวาง GCPs 6-9 จุดทำให้ค่า RMSE ลดลงอย่างมากเหลือเพียง 1.83 จุดภาพ (0.91 เมตร) เมื่อใช้ GCPs 9 จุด จากนั้นเพิ่ม GCPs ทีละจุดทำให้ค่า RMSE ลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้ได้ค่า RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 1.64 จุดภาพ (0.82 เมตร) เมื่อใช้ GCPs 38-54 จุด

เมื่อวาง GCPs ครบตามกำหนดทำให้มีค่า RMSE ของการปรับแก้ที่น้อยที่สุดคือ 0.25 เมตร เมื่อใช้ GCPs 8 จุด แต่ค่าที่ได้ไม่ เป็นไปตามเงื่อนไข (น้อยกว่า 1 ใน 3 ของความละเอียดจุดภาพประมาณ 0.17 เมตร) ดังนั้นจึงพิจารณาหาจุดที่ผิดพลาดจากค่าเศษเหลือของ GCPs ที่ได้จากรายงานผลการคำนวณข่ายสามเหลี่ยมแสดงดังรูปที่ 4.13 พบ GCPs ที่มีค่าเศษเหลือมากกว่า 1 จุดภาพทั้งหมด 14 จุด ซึ่งจุดเหล่านี้อยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชัน (ทางทิศตะวันตกของภาพ) จุดส่วนมากมีค่าลาดเคลื่อนอยู่ทางแกน Y เมื่อตัดจุดดังกล่าวทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้เท่ากับ 0.14 เมตรตามเกณฑ์ที่กำหนดเมื่อใช้ GCPs จำนวน 40 จุด แต่จำนวนจุดที่ใช้มีจำนวนมากเกินความจำเป็นจึงต้องพิจารณา GCPs ที่เหลือ

จากตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.15 แสดงผลการทดลองจากการวาง GCPs ทั้งหมด 40 จุด พบว่าเมื่อวาง GCPs จำนวน 5 จุดซึ่งเป็นจำนวนขั้นต่ำทำให้มีค่า RMSE ของการปรับแก้เท่ากับ 0.36 เมตร หลังจากวาง GCPs ทีละจุดทำให้ค่า RMSE ลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้ได้ค่า RMSE เป็นไปตามเงื่อนไขเมื่อวาง GCPs 13 จุด โดยค่า RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.14 เมตรเมื่อใช้ GCPs

จำนวน 22-40 จุด จากรูปที่ 4.16 แสดงค่า RMSE พิกัดภาพของจุดตรวจสอบทั้ง 24 จุดจากการวาง GCPs เพิ่มทีละจุด พบค่า RMSE เท่ากับ 5.85 จุดภาพ (2.93 เมตร) เมื่อใช้ GCPs จำนวน 5 จุด หลังจากวาง GCPs 6-8 จุดทำให้ค่า RMSE ลดลงอย่างมากเหลือเพียง 1.72 จุดภาพ (0.86 เมตร) เมื่อใช้ GCPs 8 จุด จากนั้นเพิ่ม GCPs ทีละจุดทำให้ค่า RMSE ค่อนข้างคงที่ทำให้ได้ค่า RMSE น้อยที่สุดเท่ากับ 1.64 จุดภาพ (0.82 เมตร) เมื่อใช้ GCPs 37-40 จุด

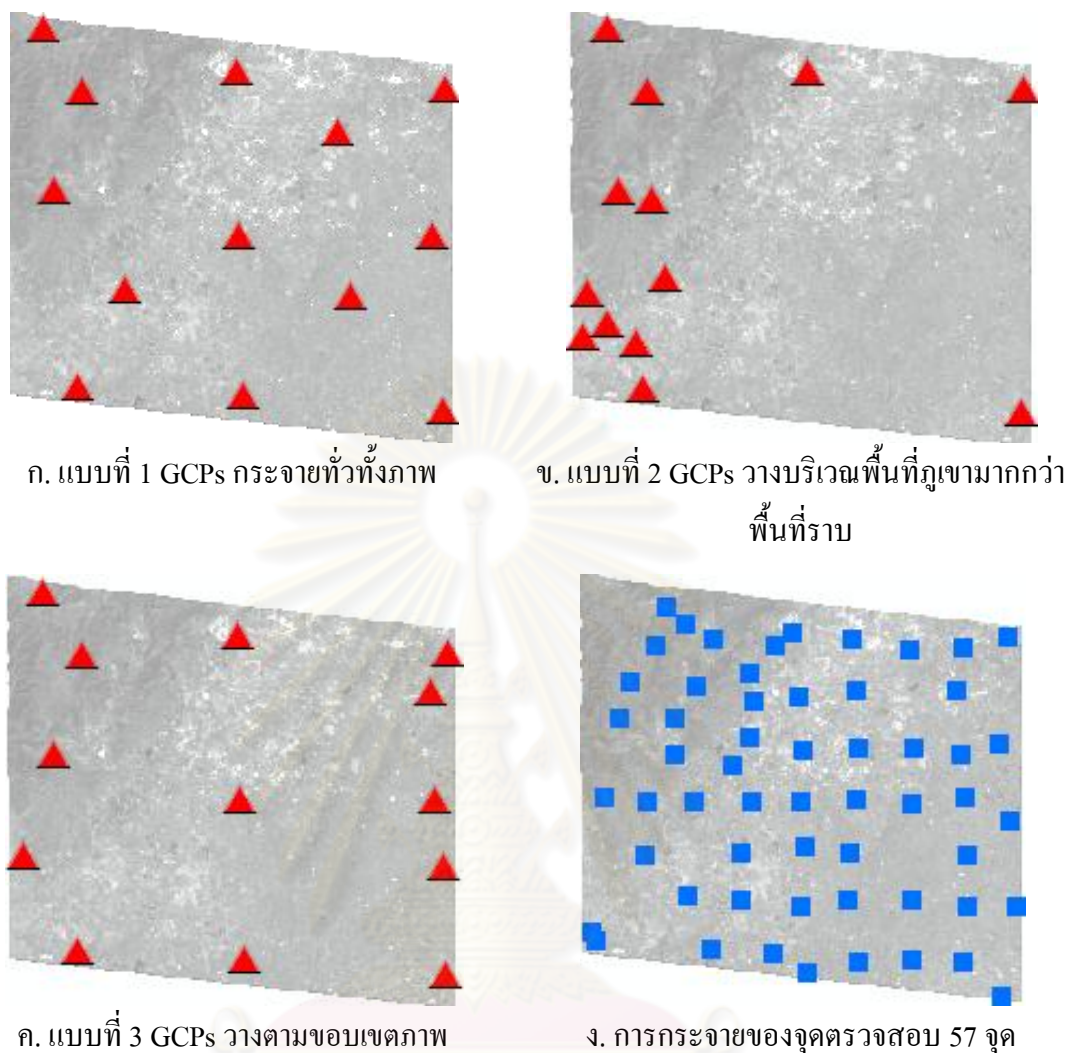
การวิเคราะห์หาจำนวน GCPs สำหรับการปรับแก้ภาพควรเลือกจำนวน GCPs ที่ทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้มีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 1 ใน 3 ของความละเอียดจุดภาพ (ประมาณ 0.17 เมตร) กล่าวคือ GCPs จำนวน 13 - 40 จุด มีความเหมาะสมสำหรับการปรับแก้ภาพ เพราะมีค่าตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่เนื่องจากค่า RMSE ของการปรับแก้มีค่าไม่ต่างกัน เราจึงควรเลือกจำนวนจุดที่น้อยที่ทำให้ค่า RMSE ตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้น GCPs จากวิธี HOV ที่เหมาะสมสำหรับการปรับแก้ภาพดาวเทียม WorldView-1 คือ 13 จุด เนื่องจากมีค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพเท่ากับ 0.17 เมตร

3. ผลการหาดำแหน่งการจัดวาง GCPs ที่เหมาะสม

การศึกษาตำแหน่งการจัดวางของ GCPs ใช้การปรับแก้ภาพโดยแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs จำนวน 13 จุดจากผลการศึกษาจาก 4.4.1(1) แล้วทดลองวาง GCPs ที่มีกระจายต่างกันดังรูปที่ 4.17 จากนั้นจึงคำนวณการปรับแก้ซึ่งผลการคำนวณข้างสามเหลี่ยมแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากการวาง GCPs จำนวน 13 จุด

ตำแหน่งการจัดวาง จุดควบคุมภาพ	ชนิดความคลาดเคลื่อน		
	RMSE ของการ ปรับแก้ (เมตร)	RMSE ของ GCPs (จุดภาพ)	RMSE ของจุดตรวจสอบ 57 จุด (จุดภาพ)
แบบที่ 1	0.18	0.55	1.65
แบบที่ 2	0.18	0.53	1.69
แบบที่ 3	0.17	0.50	1.65

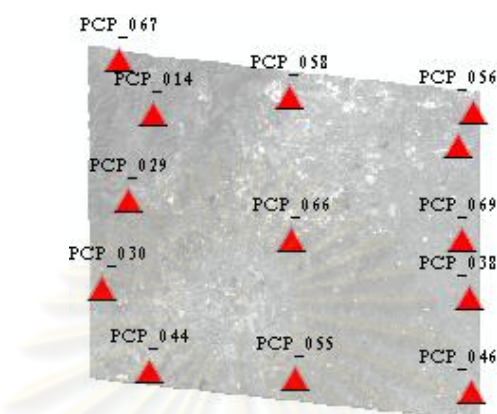


รูปที่ 4.17 แสดงการกระจายของ GCPs และจุดตรวจสอบจากวิธี HOV

4. การวิเคราะห์หาค่าตำแหน่งการจัดวาง GCPs ที่เหมาะสม

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณค่าสามเหลี่ยมจากการวาง GCPs ทั้งสามแบบ พบว่าความคลาดเคลื่อนแต่ละชนิดที่ได้มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย โดย GCPs มีการกระจายตัวแบบที่ 1 และ 2 ทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ในขณะที่วาง GCPs แบบที่ 3 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดทั้งค่า RMSE ของการปรับแก้คือ 0.17 เมตร และค่า RMSE ของจุดตรวจสอบเท่ากับ 1.20 จุดภาพ (0.8 เมตร) ดังนั้นตำแหน่งการจัดวาง GCPs ที่เหมาะสมคือ แบบที่ 3 เป็นการวาง GCPs ตามขอบเขตภาพในแนวขนานกับเส้นทางวงโคจรแสดงดังรูปที่ 4.18

หลังจากนั้นจึงทำการปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs ทั้ง 13 จุดทำให้ได้ผลการคำนวณปรับแก้ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของการรังวัด GCPs



รูปที่ 4.18 แสดง GCPs ทั้ง 13 จุดจากวิธี HOV สำหรับการปรับแก้ภาพ

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs จากวิธี HOV

ชื่อของ GCPs	ค่าเศษเหลือของ จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน				
	ด้านตะวันออก (เมตร)	ด้านเหนือ (เมตร)	ด้านทางตั้ง (เมตร)	ด้านตะวันออก (จุดภาพ)	ด้านเหนือ (จุดภาพ)
PCP_006	0.02	0.00	0.04	-0.19	-0.04
PCP_014	0.03	0.02	-0.04	-0.20	0.21
PCP_029	0.06	-0.02	0.14	-0.52	-0.28
PCP_030	0.02	0.00	0.00	-0.11	0.03
PCP_038	-0.01	0.01	-0.05	0.10	0.12
PCP_044	-0.04	0.05	-0.22	0.41	0.61
PCP_046	-0.05	0.04	-0.20	0.48	0.49
PCP_055	-0.05	0.01	-0.11	0.50	0.17
PCP_056	-0.04	0.00	-0.07	0.37	0.09
PCP_058	0.02	-0.06	0.22	-0.31	-0.66
PCP_066	0.00	-0.03	0.11	-0.08	-0.35
PCP_067	0.09	-0.01	0.14	-0.75	-0.19
PCP_069	-0.04	-0.02	0.01	0.31	-0.20

5. ผลการหาจำนวนจุดตรวจสอบที่เหมาะสมและมีคุณภาพด้วยวิธี HOV

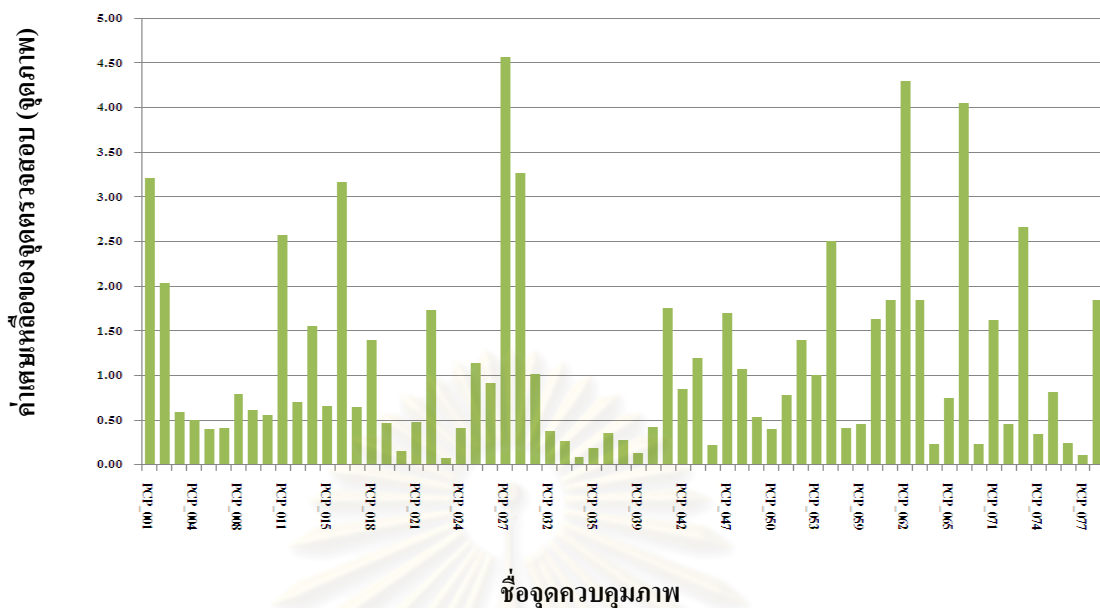
จากการคัดเลือก GCPs ภายในกลุ่มแรก (GCPs ประมาณ 70% ของข้อมูลทั้งหมด) ทำให้เหลือจุดควบคุมภาพที่ใช้เป็นจุดตรวจสอบจำนวน 41 จุด โดยรวมจุดตรวจสอบจากกลุ่มที่สองทำให้มีจุดตรวจสอบทั้งหมด 65 จุด ซึ่งผลการคำนวณปรับแก้จากการวาง GCPs 13 และจุดตรวจสอบ 65 จุดแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs 13 และจุดตรวจสอบ 65 จุด

ค่าทางสถิติ	ค่าเฉลี่ยเหลือของจุดตรวจสอบ (จุดภาพ)		
	ด้านตะวันออก	ด้านเหนือ	รวม
Max Diff.	3.80	4.22	4.56
Average	1.28	1.14	2.42
RMSE	1.13	1.07	1.56

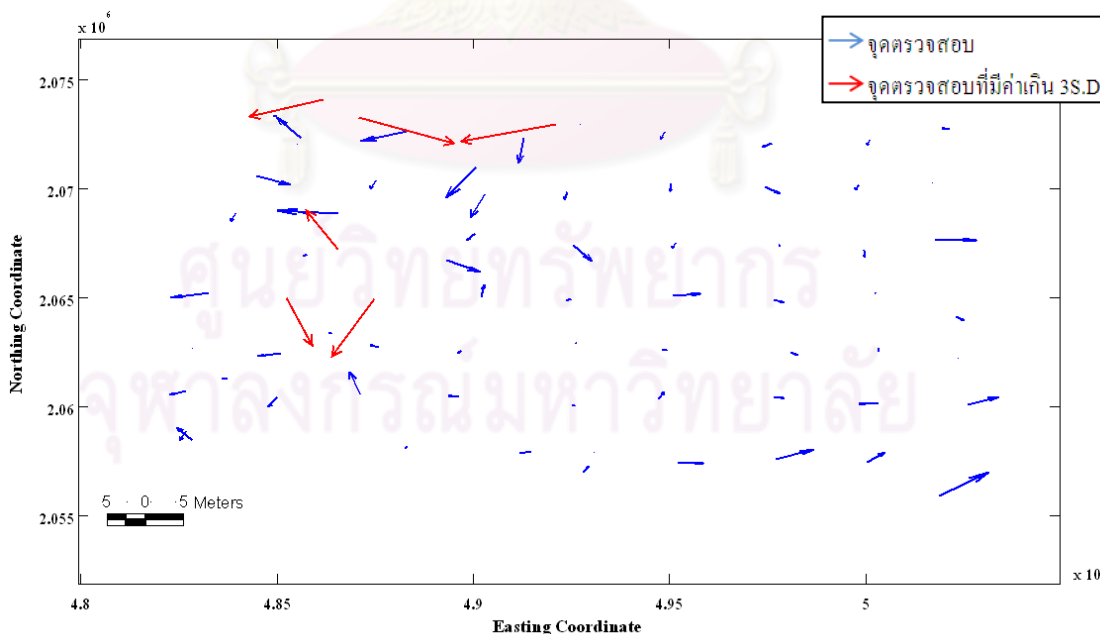
จากการคำนวณปรับแก้เมื่อใช้ GCPs 13 จุดทำให้ RMSE ของการปรับแก้ 0.17 เมตร เมื่อนำแบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงมาประยุกต์ใช้กับการวัดค่าพิกัดบนภาพไปยังจุดตรวจสอบทั้ง 65 จุดปรากฏว่ามีความละเอียดถูกต้องเป็น 1.56 จุดภาพ (จากตารางที่ 4.8) กล่าวคือค่า RMSE ของพิกัดภาพจากจุดตรวจสอบ หรือค่าเฉลี่ยเหลือของจุดตรวจสอบแสดงผลต่างระหว่างพิกัดภาพจากการรังวัดจุดตรวจสอบบนภาพกับค่าพิกัดภาพที่ได้จากการปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Adjustment Computation) เป็นค่าที่แสดงถึงความผิดพลาดของจุดตรวจสอบ ซึ่งจุดตรวจสอบแต่ละจุดมีค่าเฉลี่ยเหลือแสดงดังรูป 4.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



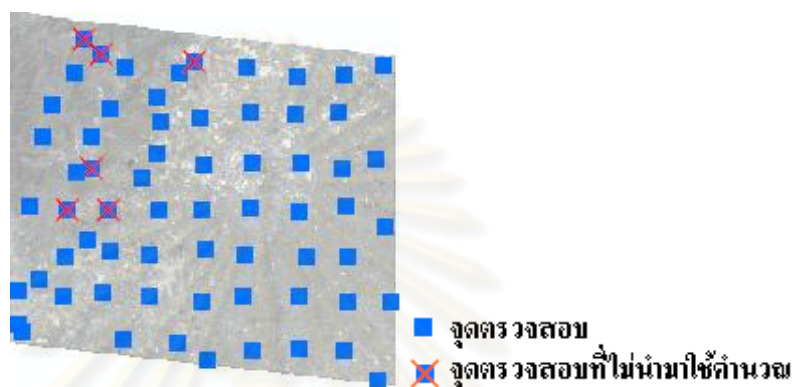
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดตรวจสอบ และค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ

เพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจนขึ้นจึงนำค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบมาสร้างแผนภาพแบบลูกศร (Quiver plot) เพื่อแสดงขนาดและทิศทางของความคลาดเคลื่อนทางราบ แต่แผนภาพที่ได้มีขนาดเล็กมากทำให้ต้องเพิ่มค่าเกินจริง (Exaggeration) แก่ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 20 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบทั้ง 65 จุด

จากรูปที่ 4.20 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละจุดตรวจสอบ พบจุดตรวจสอบที่มีค่าผิดปกติจำนวน 6 จุด คือ PCP_001, PCP_016, PCP_027, PCP_028, PCP_062 และ PCP_068 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า 3S.D (ประมาณ 3.47 จุดภาพแทนด้วยลูกศรสีแดง) พบบริเวณด้านทิศตะวันตกของภาพ ดังนั้นจึงได้ตัดจุดดังกล่าวออกทำให้มีจุดตรวจสอบทั้งสิ้น 59 จุดแสดงดังรูปที่ 4.21 ซึ่งผลการคำนวณความคลาดเคลื่อนแสดงในตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.21 แสดงจุดตรวจสอบจากวิธี HOV

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs 13 จุด และจุดตรวจสอบ 59 จุด

ค่าทางสถิติ	ค่าเฉลี่ยเหลือของจุดตรวจสอบ (จุดภาพ)		
	ด้านตะวันออก	ด้านเหนือ	รวม
Max Diff.	2.50	2.25	2.66
Average	0.66	0.53	1.19
RMSE	0.81	0.73	1.09

4.4.2 การตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพด้วยวิธี LOOCV

1. ผลการหาจำนวน GCPs ที่เหมาะสมและมีคุณภาพด้วยวิธี LOOCV

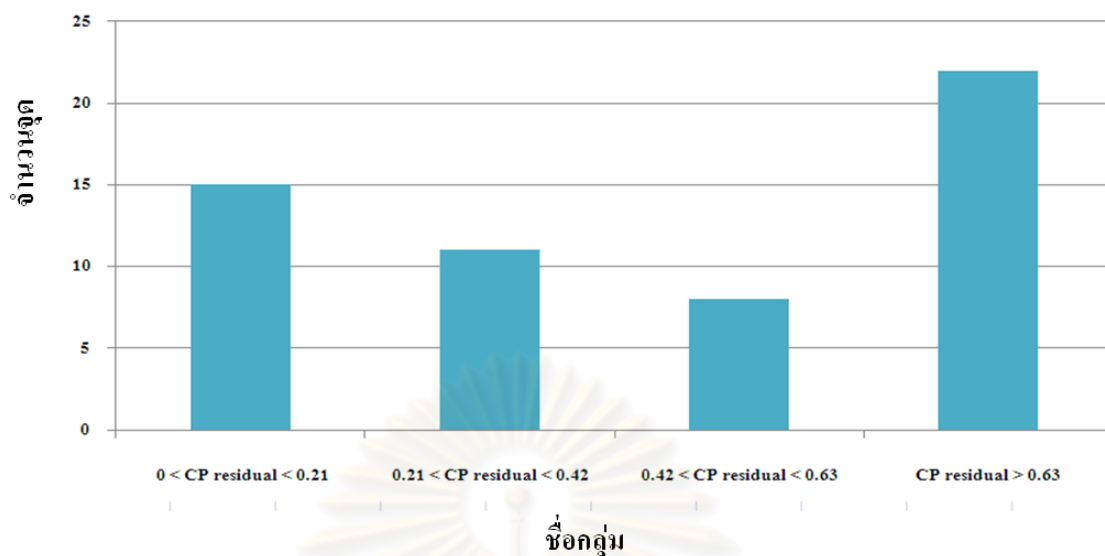
จากเกณฑ์การหาจำนวน GCPs ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นต้องใช้จุดอย่างน้อย 5 จุด สำหรับการคัดเลือกจุดควบคุมภาพด้วยวิธี LOOCV จะพิจารณาจากค่าเศษเหลือขณะจุดที่พิจารณาเป็นจุดตรวจสอบ โดยนำค่าเศษเหลือทั้งสองแกนคำนวณหาค่า MAD จากสมการที่ 2.9 จากนั้นแบ่งค่าเศษเหลือออกเป็น 4 กลุ่มดังตารางที่ 4.10 เพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงนำเสนอในรูปแบบของกราฟแสดงในรูปที่ 4.22

ตารางที่ 4.10 การแบ่งค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบตามเงื่อนไข

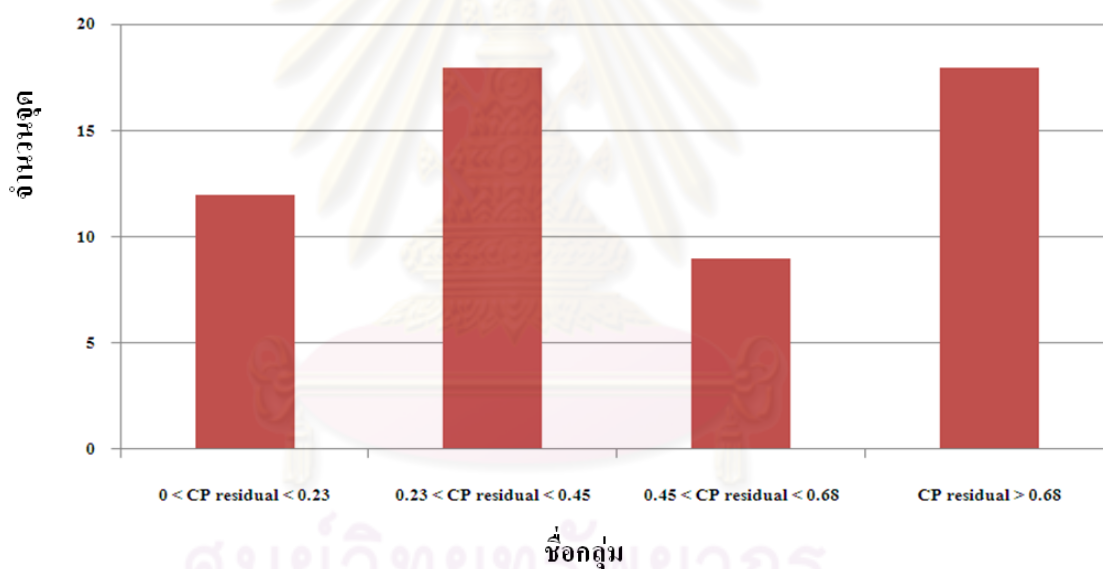
กลุ่ม	เงื่อนไข	คุณสมบัติ	จำนวนจุด		
			แกน X	แกน Y	ทั้งสองแกน
1	$0 < \text{ค่าเศษเหลือ} < \text{MAD}$	ดีมาก	15	12	15
2	$\text{MAD} < \text{ค่าเศษเหลือ} < 2 * \text{MAD}$	ดี	11	18	19
3	$2 * \text{MAD} < \text{ค่าเศษเหลือ} < 3 * \text{MAD}$	ปานกลาง	8	9	18
4	$\text{ค่าเศษเหลือ} > 3 * \text{MAD}$	แย่มาก	22	18	26

งานวิจัยครั้งนี้ไม่นำจุดที่มีค่าเศษเหลือมากกว่า 3MAD (กลุ่มที่4) เพื่อคัดเลือกจุดควบคุมภาพ ซึ่งจากตารางที่ 4.10 พบว่าจุดที่มีค่าเศษเหลือมากกว่า 0.63 จุดภาพในแกน X จำนวน 22 จุด และจุดที่มีค่าเศษเหลือมากกว่า 0.68 จุดภาพในแกน Y จำนวน 18 จุด ทำให้มีจุดที่มีความผิดปกติทั้งหมด 26 จุดซึ่งมีการกระจายดังรูปที่ 4.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



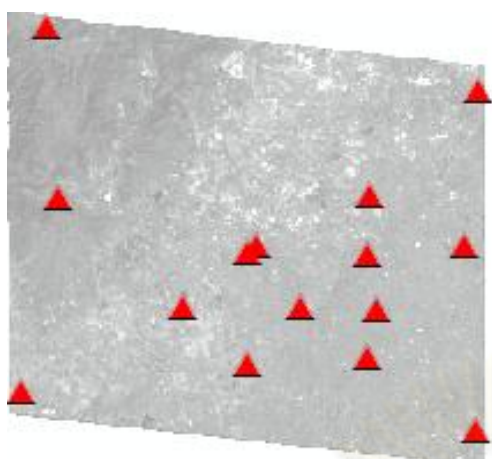
ก. แสดงการแบ่งค่าเศษเหลือแกน X



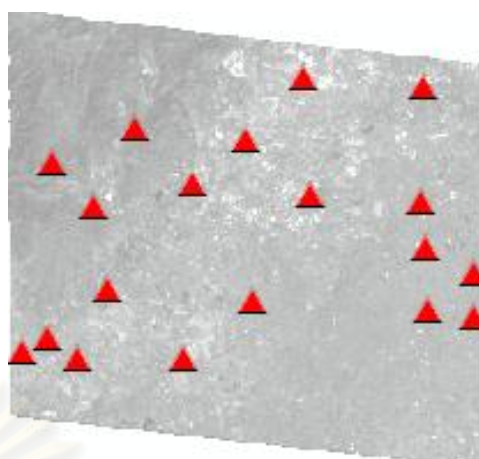
ข. แสดงการแบ่งค่าเศษเหลือแกน Y

รูปที่ 4.22 แสดงการแบ่งค่าเศษเหลือตามเงื่อนไข

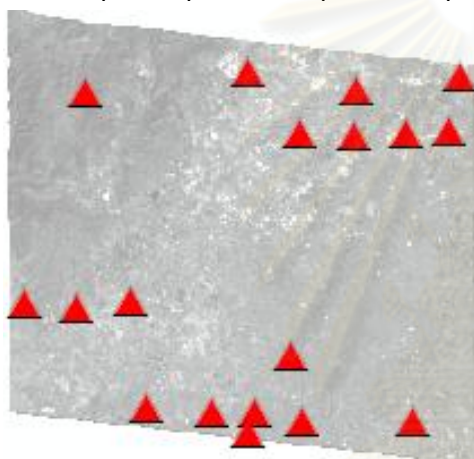
งานวิจัยครั้งนี้ไม่นำจุดที่มีค่าเศษเหลือมากกว่า 3MAD (กลุ่มที่4) เพื่อคัดเลือกจุดควบคุมภาพ ซึ่งจากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.22 พบว่าจุดที่มีค่าเศษเหลือมากกว่า 0.63 จุดภาพในแกน X จำนวน 22 จุด และจุดที่มีค่าเศษเหลือมากกว่า 0.68 จุดภาพในแกน Y จำนวน 18 จุด ทำให้มีจุดที่มีความผิดปกติทั้งหมด 26 จุดซึ่งมีการกระจายดังนี้



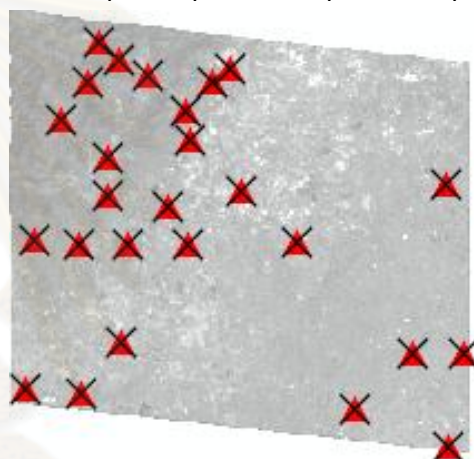
ก. แสดงจุดควบคุมภาพในกลุ่มที่ 1 (15 จุด)



ข. แสดงจุดควบคุมภาพในกลุ่มที่ 2 (19 จุด)



ค. แสดงจุดควบคุมภาพในกลุ่มที่ 3 (18 จุด)



ง. แสดงจุดควบคุมภาพในกลุ่มที่ 4
(26 จุดที่คัดออก)

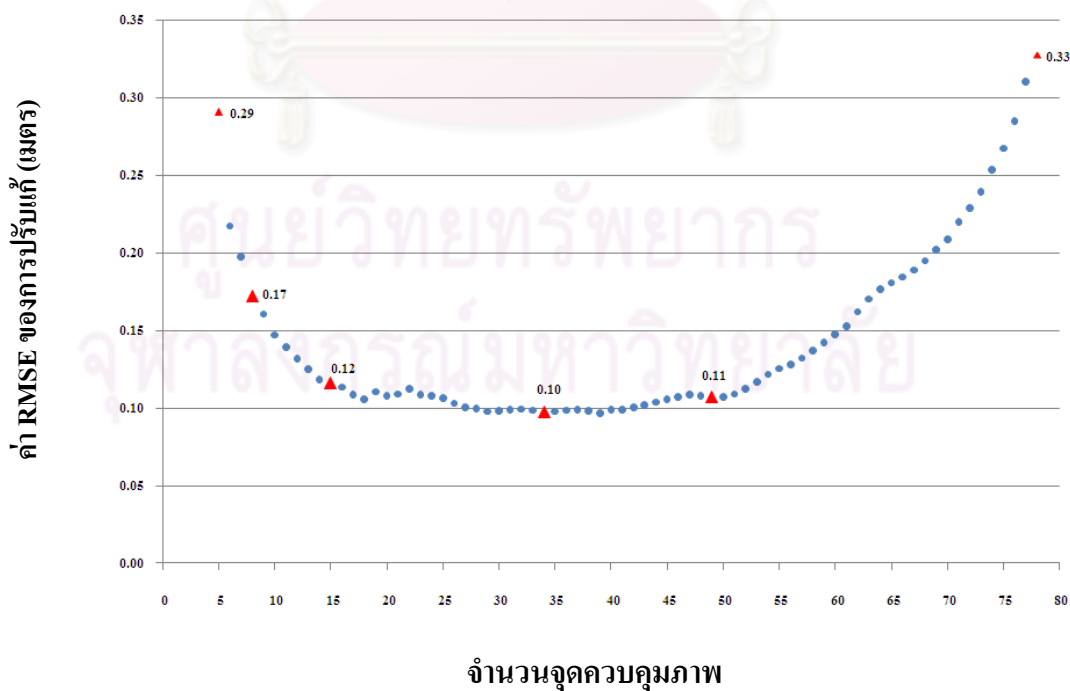
รูปที่ 4.23 แสดงการกระจายของจุดควบคุมภาพแต่ละกลุ่ม

เมื่อได้จุดที่มีคุณภาพแล้วลำดับต่อไปเป็นการคัดเลือก GCPs โดยคัดจุดที่มีค่าเศษเหลือมากที่สุดออก (จากจุดในกลุ่มที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ) ซึ่งตำแหน่งการจัดวาง GCPs ต้องอยู่บริเวณขอบภาพ หรือมุมทั้งสี่ของบล็อกภาพถ่าย สำหรับผลการคำนวณข่ายสามเหลี่ยมเมื่อลด GCPs แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากผลการคำนวณข่ายสามเหลี่ยมเมื่อลด GCPs

จำนวน จุดควบคุมภาพ	ชนิดความคลาดเคลื่อน		
	RMSE รวมของ จุดควบคุมภาพ (เมตร)	RMSE ของพิกัดภาพ แกน X (จุดภาพ)	RMSE ของพิกัดภาพ แกน Y (จุดภาพ)
78	0.33	0.97	0.94
49	0.11	0.26	0.29
34	0.10	0.21	0.24
15	0.12	0.30	0.14
10	0.15	0.34	0.16
9	0.16	0.36	0.17
8	0.17	0.38	0.11
7	0.20	0.41	0.12
6	0.22	0.41	0.11
5	0.29	0.45	0.07

เพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้นจึงนำค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากการลดจุด GCPs ที่ละตำแหน่งแสดงในลักษณะของกราฟเส้นดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน GCPs และค่า RMSE ของการปรับแก้

2. การวิเคราะห์หาจำนวนจุดควบคุมภาพที่เหมาะสมและมีคุณภาพ ด้วยวิธี LOOCV

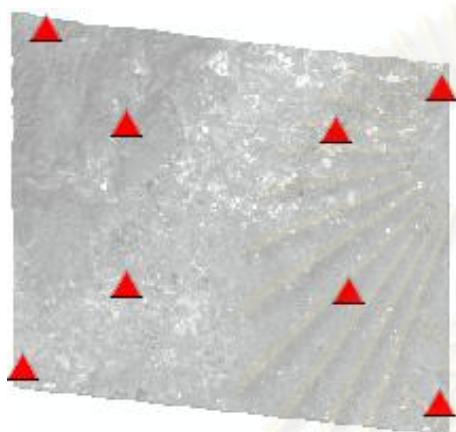
จำนวนจุดควบคุมภาพที่ใช้ปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิตด้วยวิธี LOOCV สามารถพิจารณาจากค่า RMSE ของการปรับแก้ และค่าเศษเหลือ (ขณะจุดที่พิจารณาเป็นจุดตรวจสอบ) เนื่องจากค่าดังกล่าวไม่มีผลต่อการปรับแก้ จากนั้นหาจุดที่มีความผิดปกติในเชิงสถิติ (outlier) กล่าวคือจุดที่มีขนาดความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ $3MAD$

จากรูปที่ 4.24 แสดงค่า RMSE ของการปรับแก้เมื่อวาง GCPs ครบ 78 จุดทำให้ทราบค่า RMSE เท่ากับ 0.33 เมตรค่าที่ได้ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อคัดเลือก GCPs ที่มีค่าเศษเหลือมากกว่าขนาดความละเอียดจุดภาพออกจะส่งผลให้ค่า RMSE ของการปรับแก้ดีขึ้น เช่น จุด PCP_062 มีค่าเศษเหลือทางทิศตะวันออกเท่ากับ 4.36 จุดภาพ และมีค่าเศษเหลือทางทิศเหนือเท่ากับ 1.74 จุดภาพ เมื่อตัดจุด PCP_062 ออกทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้เท่ากับ 0.30 เมตร แสดงว่าค่าเศษเหลือของจุดควบคุมภาพขณะเป็นจุดตรวจสอบมีผลต่อการคัดเลือก GCPs ดังนั้นจึงได้แบ่งค่าเศษเหลือออกเป็น 4 กลุ่ม โดยตัดจุดในกลุ่มที่สี่ออกไม่ให้เป็น GCPs เนื่องจากกลุ่มที่ 4 มีค่าเศษเหลือมากกว่า $3MAD$ เมื่อตัดจุดทั้ง 26 จุดออกทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้เท่ากับ 0.11 เมตร เมื่อใช้ GCPs 49 จุด จากนั้นตัด GCPs ที่มีค่าเศษเหลือมากที่สุดออกทีละจุดทำให้มีค่า RMSE ลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ค่าที่ได้ต่างกันเพียงเล็กน้อย เมื่อตัด GCPs เหลือ 39 จุดทำให้ได้ค่า RMSE น้อยที่สุดคือ 0.097 เมตร จากนั้นตัด GCPs จนเหลือ 18 จุดทำให้ค่า RMSE เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อใช้จุดควบคุมภาพ 5 จุดซึ่งเป็นจำนวนขั้นต่ำที่ใช้หาสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าในสมการ (4.1) ทำให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.29 เมตร

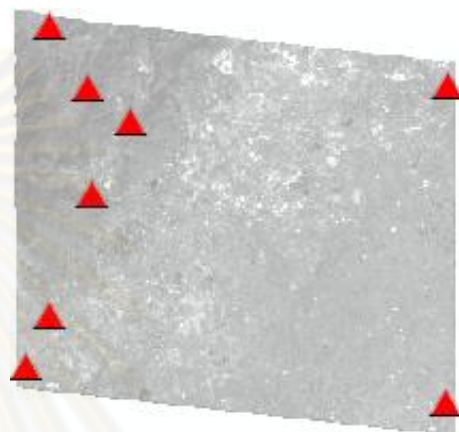
การวิเคราะห์หาจำนวน GCPs สำหรับการปรับแก้ภาพควรเลือกจำนวน GCPs ที่ทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้มีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.17 เมตร (1 ใน 3 ของความละเอียดจุดภาพ) กล่าวคือ GCPs จำนวน 8 - 63 จุดมีความเหมาะสมสำหรับการปรับแก้ภาพเพราะมีค่าตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่เนื่องจากค่า RMSE ของการปรับแก้มีค่าไม่ต่างกันเราจึงควรเลือกจำนวนจุดที่น้อยที่ทำให้ค่า RMSE ตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้น GCPs จากวิธี LOOCV ที่เหมาะสมสำหรับการปรับแก้ภาพดาวเทียม WorldView-1 คือ 8 จุด เนื่องจากมีค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพเท่ากับ 0.17 เมตร

3. ผลการหาตำแหน่งการจัดวาง GCPs ที่เหมาะสม

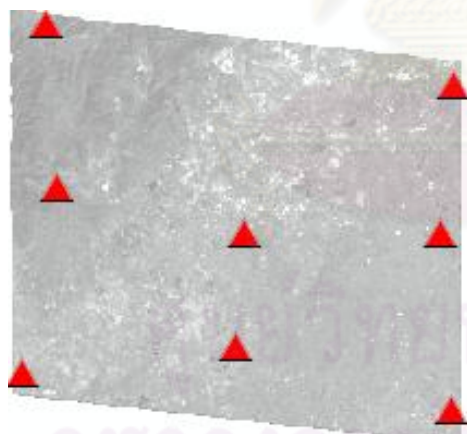
การศึกษาตำแหน่งการจัดวางของ GCPs ใช้การปรับแก้ภาพโดยแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs จำนวน 8 จุดจากผลการศึกษาจาก 4.4.2 (1) จากนั้นจึงทดลองวาง GCPs ที่มีการกระจายต่างกัันดังรูปที่ 4.25 ซึ่งผลการคำนวณการปรับแก้แสดงในตารางที่ 4.12



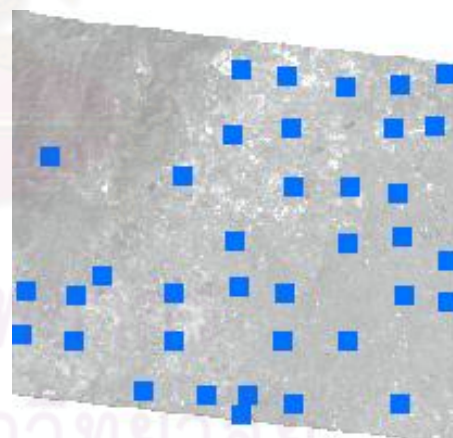
ก. แบบที่ 1 GCPs กระจายทั่วทั้งภาพ



ข. แบบที่ 2 GCPs วางบริเวณพื้นที่ที่ดูเข้มมากกว่าพื้นที่ราบ



ค. แบบที่ 3 GCPs วางตามขอบเขตภาพ



ง. การกระจายของจุดตรวจสอบ 37 จุด

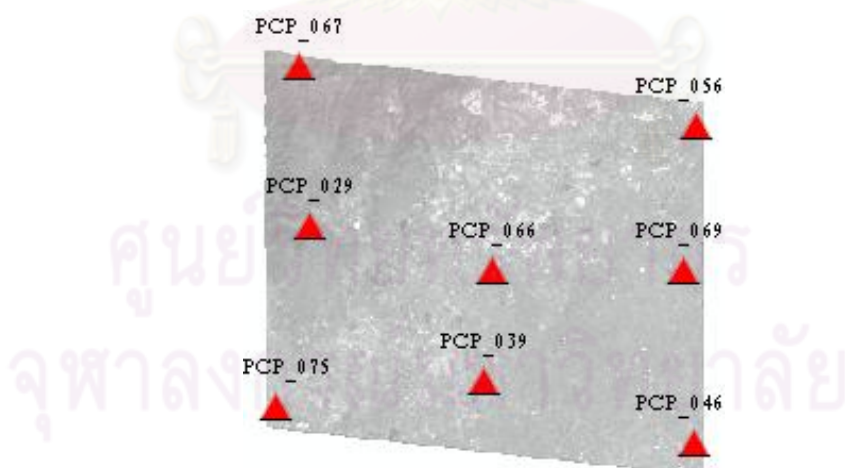
รูปที่ 4.25 แสดงการกระจายของ GCPs และจุดตรวจสอบจากวิธี LOOCV

ตารางที่ 4.12 ค่า RMSE ของการปรับแก้ภาพจากการวาง GCPs จำนวน 8 จุด

ตำแหน่งการจัดวาง จุดควบคุมภาพ	ชนิดความคลาดเคลื่อน		
	RMSE ของการ ปรับแก้ (เมตร)	RMSE ของ GCPs (จุดภาพ)	RMSE ของจุดตรวจสอบ 37 จุด (จุดภาพ)
แบบที่ 1	0.21	0.54	0.58
แบบที่ 2	0.20	0.49	0.55
แบบที่ 3	0.17	0.39	0.50

4. การวิเคราะห์หาค่าตำแหน่งการจัดวาง GCPs ที่เหมาะสม

จากตารางที่ 4.12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆที่ได้จากผลการคำนวณซ้ำสามเหลี่ยมจากการวาง GCPs ทั้งสามแบบ พบว่าความคลาดเคลื่อนแต่ละชนิดที่ได้มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย โดย GCPs มีการกระจายตัวแบบที่ 1 และ 2 ทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ในขณะที่วาง GCPs แบบที่ 3 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดทั้งค่า RMSE ของการปรับแก้คือ 0.17 เมตร และค่า RMSE ของจุดตรวจสอบเท่ากับ 0.50 จุดภาพ ดังนั้นตำแหน่งการจัดวาง GCPs ที่เหมาะสมคือ การวาง GCPs ตามขอบเขตภาพในแนวขนานกับเส้นทางวงโคจรแสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แสดง GCPs ทั้ง 8 จุดจากวิธี LOOCV สำหรับการปรับแก้ภาพ

หลังจากนั้นจึงทำการปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs ทั้ง 8 จุดทำให้ได้ผลการคำนวณปรับแก้ดังตารางที่ 4.13 ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของการรังวัด GCPs

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุง
ร่วมกับ GCPs จากวิธี LOOCV

ชื่อของ GCPs	ค่าเฉลี่ยเหลือของ จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน				
	ด้านตะวันออก (เมตร)	ด้านเหนือ (เมตร)	ด้านทางตั้ง (เมตร)	ด้านตะวันออก (จุดภาพ)	ด้านเหนือ (จุดภาพ)
PCP_029	0.06	-0.01	0.10	-0.45	-0.14
PCP_039	-0.01	0.01	-0.04	0.12	0.09
PCP_046	-0.06	0.00	-0.09	0.53	0.09
PCP_056	-0.04	0.01	-0.09	0.41	0.15
PCP_066	0.01	-0.02	0.07	-0.08	-0.20
PCP_067	0.05	0.01	0.02	-0.40	0.07
PCP_069	-0.04	-0.01	-0.03	0.34	-0.05
PCP_075	0.04	0.00	0.04	-0.35	-0.01

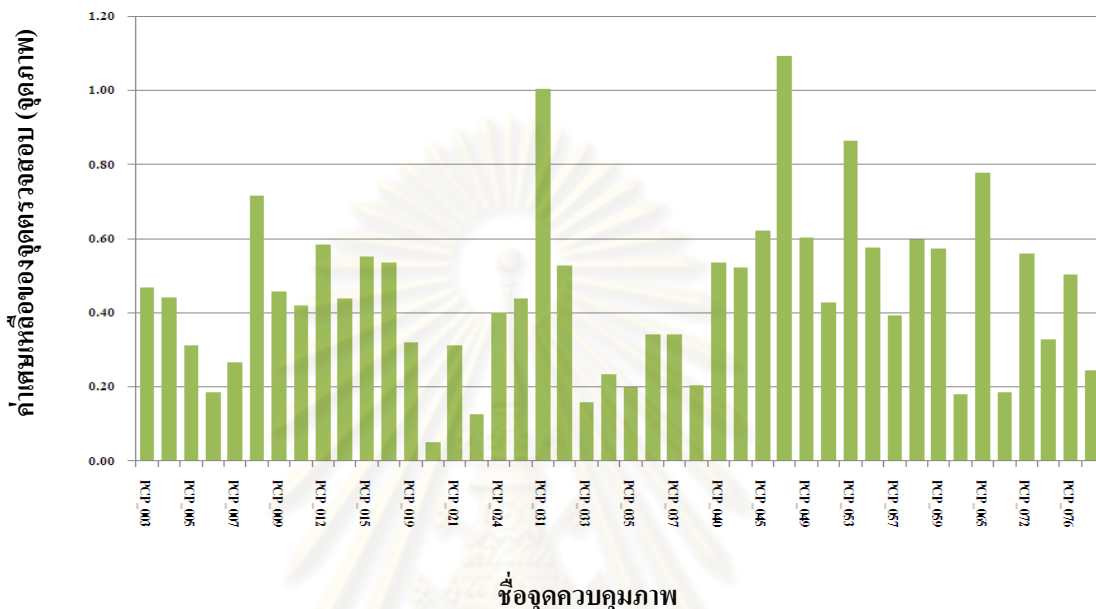
5. ผลการหาจำนวนจุดตรวจสอบที่เหมาะสมและมีคุณภาพด้วยวิธี LOOCV

หลังการคัดเลือก GPCs ด้วยวิธี LOOCV ทำให้เหลือจุดควบคุมภาพที่ใช้เป็นจุดตรวจสอบจำนวน 44 จุด สำหรับการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองการปรับแก้ซึ่งผลการคำนวณปรับแก้แสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการคำนวณปรับแก้ภาพโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ
GCPs 8 จุด และจุดตรวจสอบ 44 จุด

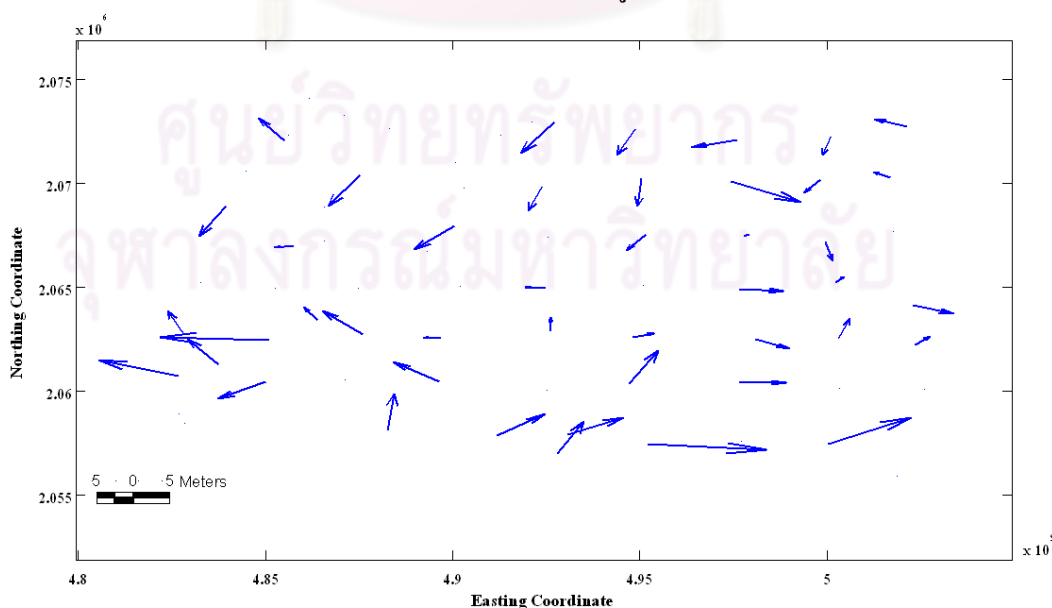
ค่าทางสถิติ	ค่าเฉลี่ยเหลือของจุดตรวจสอบ (จุดภาพ)		
	ด้านตะวันออก	ด้านเหนือ	รวม
Max Diff.	1.09	0.62	1.09
Average	0.15	0.10	0.25
RMSE	0.38	0.32	0.50

จากการคำนวณปรับแก้เมื่อใช้ GCPs 8 จุดทำให้ RMSE ของการปรับแก้ 0.17 เมตร เมื่อนำแบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงมาประยุกต์ใช้กับการวัดค่าพิิกัดบนภาพไปยังจุดตรวจสอบทั้ง 44 จุดปรากฏว่ามีความละเอียดถูกต้องเป็น 0.50 จุดภาพ (จากตารางที่ 4.14) ซึ่งจุดตรวจสอบแต่ละจุดมีค่าเศษเหลือแสดงดังรูป 4.27



รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดตรวจสอบ และค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ

เพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจนขึ้นจึงนำค่าเศษเหลือมาสร้างแผนภาพแบบลูกศร เพื่อแสดงขนาดและทิศทางของความคลาดเคลื่อนทางราบ แต่แผนภาพที่ได้มีขนาดเล็กมากทำให้ต้องเพิ่มค่าเกินจริงแก่ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 30 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.28



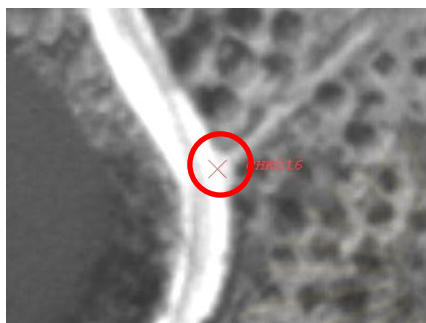
รูปที่ 4.28 แสดงขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบทั้ง 44 จุด

4.5 การวิเคราะห์ผลการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ

จำนวนของ GCPs ที่ใช้ในการปรับแก้ขึ้นอยู่กับจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบจากสมการ โพลีโนเมียลเพื่อใช้ปรับแก้ค่า EOPs การเลือกจำนวน GCPs จะเลือกจำนวนจุดที่ทำให้ได้ค่า RMSE ของการปรับแก้เป็นไปตามเงื่อนไข คือ 1 ใน 3 ของความละเอียดจุดภาพประมาณ 0.17 เมตร ซึ่งจากการทดลองพบว่าจากจุดควบคุมภาพทั้งหมด 78 จุด วิธี HOV สามารถใช้จุดควบคุมภาพ 72 จุดคิดเป็น 92.31 % จากจุดทั้งหมดแบ่งเป็น GCPs 13 จุด และจุดตรวจสอบ 59 จุด กล่าวคือ ใช้ GCPs 13 จุดในการคำนวณปรับแก้ทำให้ RMSE ของการปรับแก้ 0.17 เมตร เมื่อนำแบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงมาประยุกต์ใช้กับการวัดค่าพิสัยบนภาพไปยังจุดตรวจสอบทั้ง 59 จุดปรากฏว่ามีความละเอียดถูกต้องเป็น 1.09 จุดภาพ และวิธี LOOCV สามารถใช้จุดควบคุมภาพ 52 จุดคิดเป็น 66.67 % โดยแบ่งจุดควบคุมภาพเป็น GCPs 8 จุด และจุดตรวจสอบ 44 จุด กล่าวคือ เมื่อกำหนดปรับแก้โดยใช้ GCPs 8 จุดทำให้ RMSE ของการปรับแก้ 0.17 เมตร เมื่อนำแบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงมาประยุกต์ใช้กับการวัดค่าพิสัยบนภาพไปยังจุดตรวจสอบทั้ง 44 จุดปรากฏว่ามีความละเอียดถูกต้องเป็น 0.50 จุดภาพ

ด้านคุณภาพของจุดควบคุมภาพได้มีการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่าจุดทั้งหมด 78 จุดสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) จุดควบคุมภาพคุณภาพดี 71 จุด 2) จุดควบคุมภาพที่ไม่ควรนำไปใช้ 7 จุด โดยวิธี HOV มีการกรองจุดที่มีค่าผิดปกติในส่วนของจุดตรวจสอบ กล่าวคือ เลือก GCPs จากกลุ่มแรก (GCPs ประมาณ 70% ของข้อมูลทั้งหมด) โดยเลือก GCPs ที่มีค่าเศษเหลือน้อยกว่าสามเท่าของความละเอียดถูกต้องที่กำหนด (0.17 เมตร) หรือ 1 จุดภาพ เมื่อได้จำนวน GCPs ที่ต้องการแล้วให้นำจุดที่เหลือใช้เป็นจุดตรวจสอบ จากนั้นจึงกรองจุดที่มีค่าผิดปกติ (ค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบมากกว่า 3 S.D.) สำหรับวิธี LOOCV มีการกรองจุดที่มีค่าผิดปกติก่อนการคัดเลือกจุดควบคุมภาพ โดยพิจารณาจากค่าเศษเหลือ (ขณะจุดที่พิจารณาเป็นจุดตรวจสอบ) ที่ได้แต่ละการวนซ้ำ ซึ่งไม่นำจุดที่มีค่าเศษเหลือมากกว่า 3MAD มาใช้ จากนั้นเลือก GCPs ที่มีค่าเศษเหลือค่าน้อยที่สุด และให้จุดที่เหลือเป็นจุดตรวจสอบ จากผลจากการทดลองพบว่า วิธี HOV มีจุดที่มีค่าผิดปกติ 6 จุด (ค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบมากกว่า 3.47 จุดภาพ) คิดเป็น 7.69 % และวิธี LOOCV มีจุดที่มีค่าผิดปกติ 26 จุด (ค่าเศษเหลือมากกว่า 0.95 จุดภาพ) คิดเป็น 33.33 %

สำหรับจุดที่มีค่าผิดปกติจากการกรองข้อมูลด้วยวิธี HOV เป็นจุดเดียวกันกับวิธี LOOCV ทำให้มีจุดผิดปกติทั้งหมด 26 จุด (แสดงในภาคผนวก ง) ซึ่งจุดส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่สอง และพบบริเวณพื้นที่สูงชันบริเวณด้านทิศตะวันตกของภาพจากรูปที่ 4.23 (ง) ตัวอย่างจุดที่มีค่าผิดปกติแสดงดังรูปที่ 4.29



ก. แสดง PCP_016



ข. แสดง PCP_022



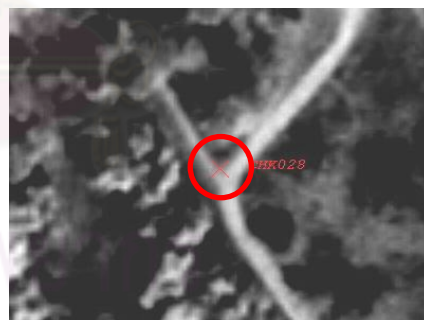
ค. แสดง PCP_041



ง. แสดง PCP_052



จ. แสดง PCP_027



ฉ. แสดง PCP_028



ช. แสดง PCP_054



ซ. แสดง PCP_062

รูปที่ 4.29 แสดงตัวอย่างจุดควบคุมภาพที่มีค่าผิดปกติจากทั้งสองวิธี

จากรูปที่ 4.29 แสดงตัวอย่างจุดควบคุมภาพที่มีค่าผิดปกติ ซึ่งไม่ควรนำมาใช้ในงานวิจัยจุดจากรูป 4.29 (ก) ถึง รูป 4.29 (ง) เป็นจุดที่ไม่จุดควบคุมภาพที่ไม่ควรนำไปใช้ (กลุ่มที่สอง) เนื่องจากจุดดังกล่าว ขาดความคมชัด ประกอบกับรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพไม่ชัดเจน จากรูป 4.29 (จ) ถึง รูป 4.29 (ซ) ถึงแม้จุดเหล่านี้จะอยู่ในกลุ่มที่หนึ่ง (จุดควบคุมภาพที่มีคุณภาพดี) แต่อาจมีการกำหนดตำแหน่งในการรังวัดด้วยจีพีเอสคลาดเคลื่อน ซึ่งมีสาเหตุมาจากลักษณะภูมิประเทศที่เปลี่ยนแปลง เช่น มีการขยายแนวเขตทาง หรือรังวัดตำแหน่งผิดพลาดจากที่วางแผน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

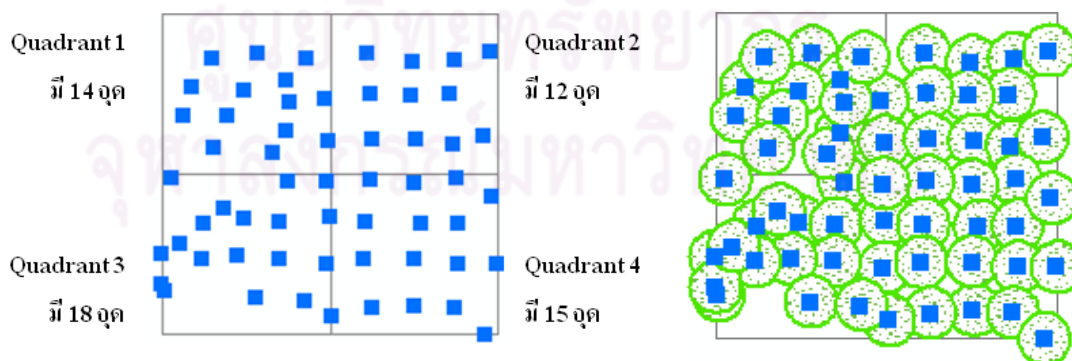
4.6 ผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท

4.6.1 ผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท ด้วยจุดตรวจสอบจากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

จากโครงการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 สำหรับงานทางด้านแผนที่ของกรมที่ดิน ด้วยความร่วมมือระหว่างสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กรมที่ดิน และบางส่วนของงานวิจัยครั้งนี้ได้มีการประเมินความละเอียดถูกต้องของภาพออร์โท WorldView-1 หลังผ่านกระบวนการตัดแก้ออร์โทด้วยแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs โดยใช้แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขจากกรมพัฒนาที่ดิน ได้มีการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทด้วยจุดตรวจสอบที่เหลือจากการหาจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV ซึ่งคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนด้วยรากที่สองของค่าเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE) และการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

- วิธี HOV

จากการหา GCPs ด้วยวิธี HOV ทำให้ได้จุดตรวจสอบจำนวน 59 จุดที่มีการกระจายครอบคลุมทั่วพื้นที่ศึกษา มีจำนวนอย่างน้อย 20 % ของข้อมูลจุดทั้งหมด (ประมาณ 12 จุด) ภายในพื้นที่หนึ่งในสี่ส่วนของพื้นที่ศึกษา และมีระยะห่างระหว่างจุดประมาณหนึ่งในสิบของเส้นทแยงมุม (2,850 เมตร) แสดงดังรูปที่ 4.30



ก. แสดงจำนวนจุดตรวจสอบแต่ละ Quadrant

ข. แสดงระยะห่างระหว่างจุดตรวจสอบ

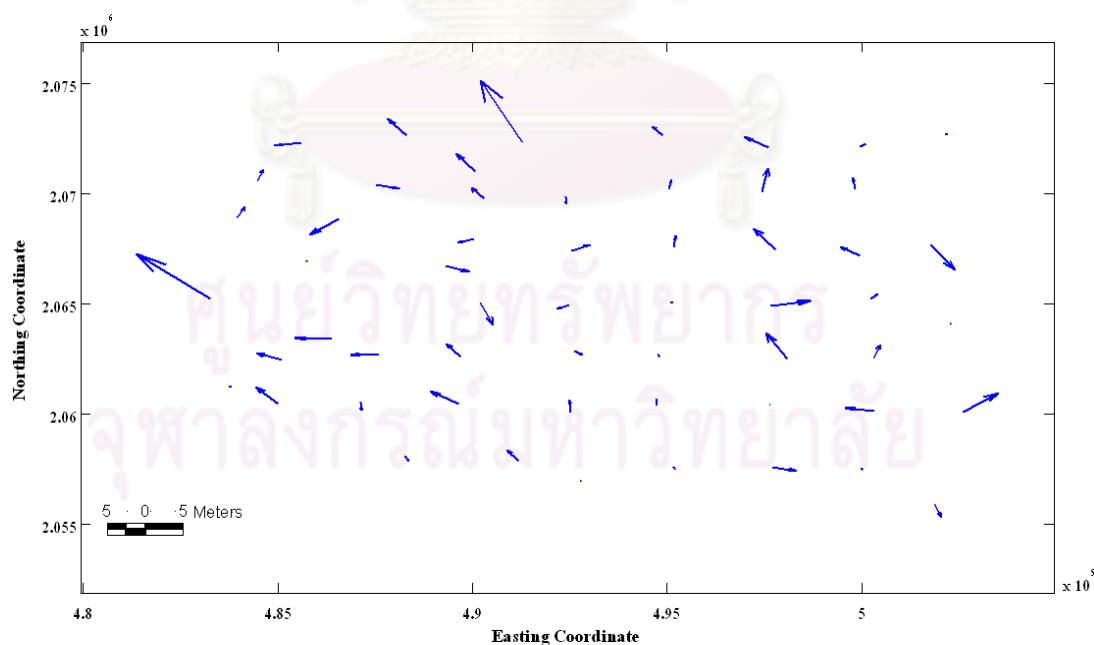
รูปที่ 4.30 แสดงตำแหน่งของจุดตรวจสอบจำนวน 59 จุดจากวิธี HOV

จากนั้นจึงประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทคำนวณด้วย RMSE ของจุดตรวจสอบ และการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งตามมาตรฐาน NSSDA แสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทเมื่อใช้จุดตรวจสอบ 59 จุด

ค่าทางสถิติ	ความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบ (เมตร)		
	ทางแกน X	ทางแกน Y	Total
Max Diff.	1.68	2.48	2.66
Average	0.21	0.36	0.57
RMSE	0.46	0.60	0.76
NSSDA	0.80	1.04	1.31

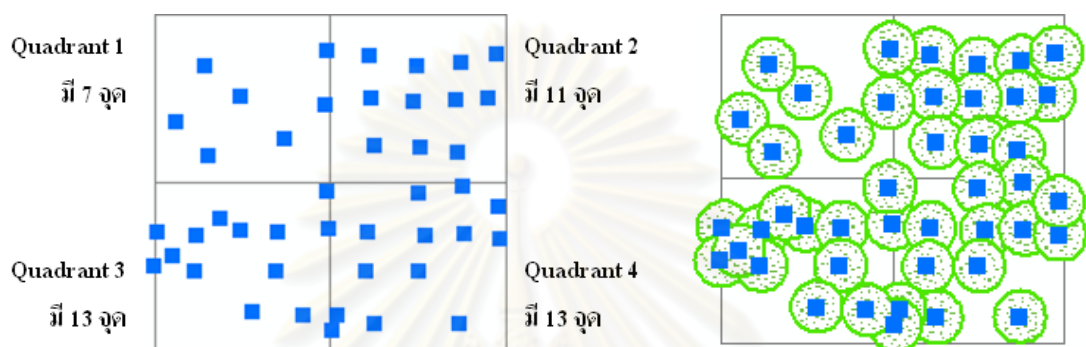
จากตารางที่ 4.15 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของภาพออร์โท เพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้นจึงนำผลต่างมาสร้างแผนภาพแบบลูกศร และเพิ่มค่าเกินจริงแก่ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 20 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.31 เพื่อความสะดวกต่อการวิเคราะห์ความถูกต้องของภาพออร์โท



รูปที่ 4.31 แสดงขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบจากภาพออร์โท

- วิธี LOOCV

จากการหา GCPs ด้วยวิธี LOOCV ทำให้ได้จุดตรวจสอบจำนวน 44 จุดที่มีการกระจายครอบคลุมทั่วพื้นที่ศึกษาประมาณ 9 จุดภายในพื้นที่หนึ่งในสี่ส่วนของพื้นที่ศึกษา และมีระยะห่างระหว่างจุดประมาณ 2,850 เมตรแสดงดังรูปที่ 4.32 จากนั้นจึงประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทแสดงในตารางที่ 4.16



ก. แสดงจำนวนจุดตรวจสอบแต่ละ Quadrant

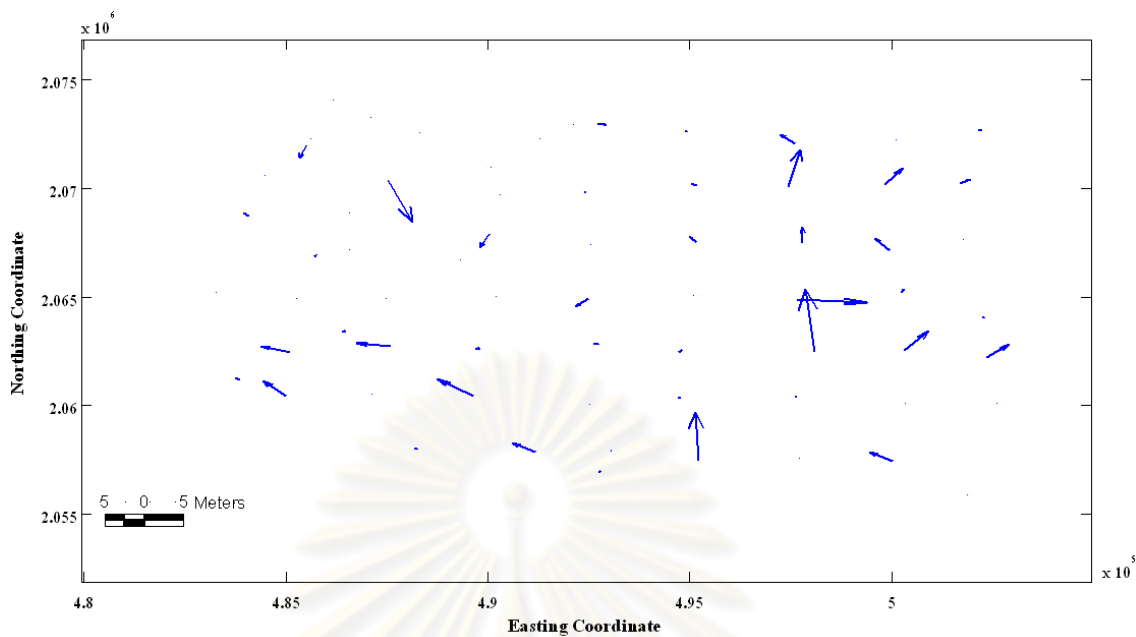
ข. แสดงระยะห่างระหว่างจุดตรวจสอบ

รูปที่ 4.32 แสดงตำแหน่งของจุดตรวจสอบจำนวน 44 จุดจากวิธี LOOCV

ตารางที่ 4.16 ผลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทเมื่อใช้จุดตรวจสอบ 44 จุด

ค่าทางสถิติ	ความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบ (เมตร)		
	ทางแกน X	ทางแกน Y	Total
Max Diff.	0.78	1.30	1.30
Average	0.04	0.12	0.16
RMSE	0.20	0.35	0.41
NSSDA	0.35	0.61	0.70

จากตารางที่ 4.16 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของภาพออร์โท เพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้นจึงนำผลต่างมาสร้างแผนภาพแบบลูกศร และเพิ่มค่าเกินจริงแก่ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 30 เท่าแสดงดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.33 แสดงขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบจากภาพออร์โท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7 การวิเคราะห์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท

4.7.1 วิเคราะห์การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท ด้วยจุดตรวจสอบจากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมวิธี HOV

จากรูปที่ 4.30 แสดงตำแหน่งของจุดตรวจสอบจำนวน 59 จุดจากวิธี HOV เป็นตำแหน่งที่คัดเลือกจากรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ผ่านหลักเกณฑ์การเลือกจุดควบคุมภาพ คือเป็นตำแหน่งในภูมิประเทศที่เห็นเด่นชัด well- Define เช่น จุดตัดของถนน บริเวณคอสะพาน คันนา เป็นต้น ซึ่งมีจำนวนจุดที่ใช้ และระยะห่างระหว่างจุดเป็นไปตามเงื่อนไขตามมาตรฐานแห่งชาติเกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลปริภูมิ กล่าวคือ พื้นที่หนึ่งในสี่ส่วนของพื้นที่ศึกษาควรมีจุดอย่างน้อย 12 จุด แสดงดังรูปที่ 4.30 (ก) และรูปที่ 4.30 (ข) แสดงพื้นที่กันชนของแต่ละจุดตรวจสอบที่มีระยะทางออกจากจุด 2,850 เมตร พบว่าระยะห่างระหว่างจุดตรวจสอบส่วนมากเป็นไปตามเงื่อนไขจากหัวข้อ 2.1.2 (สังเกตจากพื้นที่กันชนซ้อนทับกัน) จากตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.31 แสดงผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทเมื่อใช้จุดตรวจสอบ 59 จุด พบค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของจุดตรวจสอบทางทิศตะวันออก ทิศเหนือ และความคลาดเคลื่อนรวมเท่ากับ 0.46, 0.60 และ 0.76 เมตร (ประมาณ 1.52 จุดภาพ) ตามลำดับ หรือมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐาน NSSDA เท่ากับ 0.80, 1.04 และ 1.31 เมตร (ประมาณ 2.62 จุดภาพ) ตามลำดับ (ค่าคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบแต่ละจุดแสดงในภาคผนวก จ)

เมื่อพิจารณาจากขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของจุดตรวจสอบ โดยให้สังเกตจากขนาดของลูกศรถ้าลูกศรมีขนาดค่อนข้างใหญ่จนเห็นอย่างชัดเจน แสดงว่าตำแหน่งนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสูง ซึ่งพบจุดดังกล่าวมีการกระจายทั่วพื้นที่ศึกษาทั้งบริเวณพื้นที่ภูเขา (ด้านทิศตะวันตกของรูปที่ 4.30) และพื้นที่ราบ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากผู้วางจุดตรวจสอบขาดความชำนาญ หรือความละเอียดถูกต้องของจุดตรวจสอบ เมื่อพิจารณาภาพรวมของทิศทางความคลาดเคลื่อนให้สังเกตจากหัวลูกศรพบว่าหัวลูกศรหันไปคนละทิศละทาง แสดงว่าความคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบได้ถูกขจัดออกไป ความคลาดเคลื่อนที่เหลืออยู่ส่วนใหญ่เป็นความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

4.7.2 วิเคราะห์การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท ด้วยจุดตรวจสอบจากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมวิธี LOOCV

จากรูปที่ 4.32 แสดงตำแหน่งของจุดตรวจสอบจำนวน 44 จุดจากวิธี LOOCV เป็นตำแหน่งที่คัดเลือกจากรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ผ่านหลักเกณฑ์การเลือกจุดควบคุมภาพ โดยจำนวนจุดที่ใช้ และระยะห่างระหว่างจุดไม่เป็นไปตามเงื่อนไขเฉพาะ Quadrant 1 เนื่องจากจุดที่อยู่ในพื้นที่ดังกล่าวส่วนมากเป็นจุดที่มีค่าปกติ ซึ่งตามเงื่อนไขแล้วควรมีจุดอย่างน้อย 9 จุดภายในพื้นที่หนึ่งในสี่ส่วนของพื้นที่ศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.32 (ก) และรูปที่ 4.32 (ข) แสดงพื้นที่กันชนของแต่ละจุดตรวจสอบที่มีระยะทางออกจากจุด 2,850 เมตร พบว่าระยะห่างระหว่างจุดตรวจสอบส่วนมากเป็นไปตามเงื่อนไข จากตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.33 แสดงผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทเมื่อใช้จุดตรวจสอบ 44 จุด พบค่าความคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบทางทิศตะวันออก ทิศเหนือ และความคลาดเคลื่อนรวมเท่ากับ 0.20, 0.35 และ 0.41 เมตร (ประมาณ 0.82 จุดภาพ) ตามลำดับ โดยความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐาน NSSDA เท่ากับ 0.35, 0.61 และ 0.70 เมตร (ประมาณ 1.4 จุดภาพ) ตามลำดับ (ค่าคลาดเคลื่อนของจุดตรวจสอบแต่ละจุดแสดงในภาคผนวก จ)

เมื่อพิจารณาจากขนาดและทิศทางความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของจุดตรวจสอบทั้ง 44 จุด พบว่าขนาดของลูกศรมีขนาดเล็กมากจึงได้เพิ่มค่าเกินจริง 30 เท่า อาจเนื่องมาจากตำแหน่งที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงได้ถูกตัดออกตามที่ได้กล่าวข้างต้น (ค่าที่มากกว่า 3MAD) จากรูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นว่าจุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนการกระจายทั่วพื้นที่ศึกษา เมื่อพิจารณาภาพรวมของทิศทางความคลาดเคลื่อนให้สังเกตจากหัวลูกศรพบว่าหัวลูกศรหันไปคนละทิศทางแสดงว่าความคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบได้ถูกขจัดออกไป ความคลาดเคลื่อนที่เหลืออยู่ส่วนใหญ่เป็นความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพสำหรับดาวเทียม WorldView-1

จากการวิจัยพบว่าเมื่อนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ผลิตภัณฑ์ชนิด Basic ระดับ Level 1B เป็นข้อมูลภาพที่ได้รับการปรับแก้ภาพเชิงรังสี และเชิงเรขาคณิตที่ขจัดความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตแบบมีระบบ (systematic error) เป็นการแก้ไขเพียงบางส่วนจากสถานีรับภาคพื้นดินเป็นผู้ปรับแก้ อีกทั้งข้อมูลภาพยังไม่มีการระบุเส้น โครงแผนที่ (map projection) ทำให้ข้อมูลเป็นระบบพิกัดของแถวและสดมภ์ ข้อมูลภาพที่ได้จึงมีลักษณะเหมือนกับข้อมูลดิบทำให้ตำแหน่งของวัตถุต่างๆมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงจึงต้องมีการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกแบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model หรือ Rigorous Model) ในการตัดแก้ออร์โทเนื่องจากใช้ข้อมูลจริงขณะทำการบันทึกภาพทำให้มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งและความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีอื่น แต่ข้อมูลที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ ดังนั้นจึงได้ปรับปรุงแบบจำลองทางกายภาพ (Refinement of Physical Model) ด้วยวิธี Lagrange เพื่อประมาณค่าตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียม และการประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ด้วยการสร้างฟังก์ชันแบบต่อเนื่องด้วยค่าคงที่ (constant) สมการโพลีโนเมียลกำลังหนึ่ง (1^{st} order) และกำลังสอง (2^{nd} order) ได้ทำการทดลองทั้งหมด 81 แบบ แต่ละแบบจำลองได้รั้งวัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินจำนวน 12 จุดที่มีการกระจายของจุดแตกต่างกัน พบว่า PE_81 กล่าวคือแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสองสำหรับการประมาณตำแหน่งของเซนเซอร์ (X_s, Y_s, Z_s) และค่ามุมรอบแกนทั้งสามของเซนเซอร์ ($\omega_s, \phi_s, \kappa_s$) ทำให้ RMSE ของการปรับแก้มีค่ามากที่สุดทุกรูปแบบกระจายของจุดควบคุมภาพ จากการทดลองพบว่า PE_03 เป็นแบบจำลองการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ด้วยการสร้างฟังก์ชันแบบต่อเนื่องด้วยค่าคงที่สำหรับการประมาณตำแหน่งของเซนเซอร์ (X_s, Y_s, Z_s) และค่ามุมรอบแกน X แกน Y ของเซนเซอร์ (ω_s, ϕ_s) และการประมาณค่ามุมรอบแกน Z ของเซนเซอร์ (κ_s) ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง ทำให้ RMSE ของการปรับแก้มีค่าน้อยที่สุด แบบจำลอง PE_81 เป็นที่นิยมใช้กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงที่มีให้บริการในปัจจุบัน เช่น QUICKBIRD, KOMPSAT, PRISM และ EROS-A เป็นต้น เนื่องจากมีความสะดวกต่อการคำนวณค่าปรับแก้ค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ การเลือกใช้แบบจำลอง PE_81 ต้องใช้ GCPs อย่างน้อย 10 จุด แต่เนื่องจากดาวเทียมแต่ละดวงมีระยะเวลาของวงโคจรแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกเลขยกกำลังของสมการโพลีโนเมียลควร

เลือกให้เหมาะสมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการปรับแก้ ซึ่งจากผลการทดลองแบบจำลอง PE_03 เหมาะสำหรับข้อมูลภาพเนื่องจากมีค่า RMSE ของการปรับแก้ที่น้อยที่สุดถึงแม้ตำแหน่งการจัดวางจุดควบคุมภาพแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับจากที่ดาวเทียมเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเพราะเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพน้อยมากประมาณ 0.02 วินาที ทำให้มีโอกาสดาวเทียมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ดังนั้นการปรับปรุงแบบจำลองเซนเซอร์ทางกายภาพที่เหมาะสมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ที่ใช้ในงานวิจัย คือ การประมาณค่าการวางตัวของเซนเซอร์เป็นค่าแก้มที่สำหรับการประมาณตำแหน่งของเซนเซอร์ (X_S, Y_S, Z_S) และค่ามุมเอียงรอบแกน X แกน Y ของเซนเซอร์ (ω_S, φ_S) ส่วนค่าแก้มเอียงรอบแกน Z ของเซนเซอร์ (κ_S) เป็นสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง

5.1.2 การตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพด้วยวิธี HOV และวิธี LOOCV

จากการปรับปรุงแบบจำลองเซนเซอร์ทางกายภาพที่เหมาะสมกับข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ทำให้เกิดทำให้เกิดสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่า 8 ค่า จึงมีความจำเป็นต้องใช้ GCPs อย่างน้อย 5 จุด สำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณค่าปรับแก้ค่าการวางตัวของเซนเซอร์ โดย GCPs ที่ได้จากทั้งสองวิธีนี้เป็นไปตามเงื่อนไขคือจำนวน GCPs ที่ใช้ทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้เท่ากับ 0.17 เมตร (1 ใน 3 ของความละเอียดจุดภาพ) ด้านคุณภาพ GCPs ที่ใช้แต่ละจุดต้องมีค่าเศษเหลือน้อยกว่า 1 จุดภาพ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากรายงานผลการคำนวณข่ายสามเหลี่ยม (triangulation report) ซึ่งผลจากโมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ พบว่า วิธี HOV สามารถใช้จุดควบคุมภาพ 72 จุดคิดเป็น 92.31 % จากจุดทั้งหมด 78 จุด แบ่งเป็น GCPs 13 จุด และจุดตรวจสอบ 59 จุด ซึ่งมีจุดที่มีค่าผิดปกติ 6 จุด (ค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบมากกว่า 3 S.D. ประมาณ 3.47 จุดภาพ) และวิธี LOOCV สามารถใช้จุดควบคุมภาพ 52 จุดคิดเป็น 66.67 % และจุดที่มีค่าผิดปกติ 26 จุด (ค่าเศษเหลือมากกว่าสามเท่าของค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์จากมัธยฐานประมาณ 0.95 จุดภาพ) โดยแบ่งจุดควบคุมภาพเป็น GCPs 8 จุด และจุดตรวจสอบ 44 จุด ซึ่ง GCPs จากทั้งสองวิธีทำให้การตัดแก้ภาพมีค่า RMSE ของการปรับแก้เท่ากับ 0.17 เมตร ด้านคุณภาพของ GCPs ที่ใช้แต่ละจุดมีค่าเศษเหลือน้อยกว่า 1 จุดภาพ สำหรับตำแหน่งการจัดวาง GCPs ที่เหมาะสมที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ควรวาง GCPs ตามขอบเขตภาพในแนวขนานกับเส้นทางวงโคจร

5.1.3 ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท

หลังตัดแก้ออร์โทด้วยแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs โดยใช้แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขจากกรมพัฒนาที่ดิน ขั้นตอนต่อไปเป็นการประเมินคุณภาพของภาพออร์โทด้วยจุดตรวจสอบจากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม พบว่าภาพออร์โทที่ใช้ GCPs 13 จุด และจุดตรวจสอบ 59 จุดจากวิธี HOV มีความละเอียดถูกต้องรวม ($RMSE_r$) เป็น 0.76 เมตร (ประมาณ 1.52 จุดภาพ) หรือคิดเป็นความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐาน NSSDA มีค่า 1.31 เมตร (ประมาณ 2.62 จุดภาพ) สำหรับภาพออร์โทที่ใช้ GCPs 8 จุด และจุดตรวจสอบ 44 จุดจากวิธี LOOCV มีความละเอียดถูกต้องรวม ($RMSE_r$) เป็น 0.41 เมตร (ประมาณ 0.82 จุดภาพ) หรือคิดเป็นความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบตามมาตรฐาน NSSDA มีค่า 0.70 เมตร (ประมาณ 1.40 จุดภาพ)

5.2 ข้อสรุป

การปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ด้วยแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุง (Refinement of Physical Model) โดยการประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์เป็นค่าแก้คงที่สำหรับการประมาณตำแหน่งของเซนเซอร์ (X_s, Y_s, Z_s) และค่ามุมเอียงรอบแกน X แกน Y ของเซนเซอร์ (ω_s, φ_s) ส่วนค่าแก้มุมเอียงรอบแกน Z ของเซนเซอร์ (κ_s) เป็นสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง จึงมีความจำเป็นต้องใช้ GCPs เพื่อคำนวณค่าปรับแก้ค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ จากงานวิจัยสรุปได้ว่าจำนวน GCPs ที่ใช้ในการปรับแก้จากวิธี HOV และ วิธี LOOCV คือ 13 จุด และ 8 จุดทำให้ได้ค่า RMSE ของการปรับแก้ตามเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ 0.17 เมตร จากนั้นผลผลิตภาพออร์โทโดยอาศัยแบบจำลองระดับสูงจากกรมพัฒนาที่ดินแล้วจึงประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทตามมาตรฐาน NSSDA พบว่าภาพออร์โทที่ใช้จุดตรวจสอบจากวิธี HOV และ วิธี LOOCV มีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบเท่ากับ 1.31 เมตร และ 0.70 เมตร หรือมีความคลาดเคลื่อน 3 จุดภาพ และ 1 จุดภาพตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธี LOOCV ส่งผลให้คุณภาพของภาพออร์โทที่ผลิตได้ดีกว่าวิธี HOV ในชุดข้อมูลในงานวิจัยนี้

สำหรับงานทางด้านแผนที่ของกรมที่ดินสามารถปรับแก้ภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ด้วยแบบจำลองทางกายภาพที่ผ่านการปรับปรุงร่วมกับ GCPs อย่างน้อย 8 จุดที่มีการวางจุดตามขอบเขตภาพในแนวขนานกับเส้นทางวงโคจรทำให้ค่า RMSE ของการปรับแก้ตามที่กำหนด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการปรับแก้ เนื่องจากดาวเทียมแต่ละดวงมีระยะเวลาของวงโคจร หรือรูปแบบการบันทึกข้อมูลแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้สมการคณิตศาสตร์เพื่อการประมาณค่าตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียม (Ephemeris Interpolation) หรือการประมาณค่าการวางตัวภายนอกของเซนเซอร์ (Exterior Orientation Interpolation) ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการปรับแก้ เพื่อให้การปรับปรุงแบบจำลองเซนเซอร์ได้ผลดี
2. สำหรับงานด้านต่างๆ ที่ต้องการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-1 ควรปรับปรุงแบบจำลองเซนเซอร์ทางกายภาพ โดยเลือกทดสอบเฉพาะแบบจำลองการวางตัวของเซนเซอร์ที่กำหนดให้การประมาณค่ามุมรอบแกน Z ของเซนเซอร์ (κ_s) ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง
3. ตำแหน่งการจัดวาง GCPs ในกรณีที่มี GCPs อย่างจำกัดควรวางจุดตามขอบเขตภาพในแนวขนานกับเส้นทางวงโคจร
4. ความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาพอาจมีสาเหตุมาจากผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากขาดความชำนาญ หรือการกำหนดตำแหน่งในการรังวัดด้วยจีพีเอสคลาดเคลื่อน เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศที่เปลี่ยนแปลง เช่น การขยายแนวเขตทาง หรือรังวัดตำแหน่งผิดพลาดจากที่วางแผน เป็นต้น
5. การคัดเลือกจุดควบคุมภาพยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าวิธีใดให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ากัน เนื่องจากมีการศึกษาเพียงพื้นที่เดียว

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกษตรและสหกรณ์, กรมพัฒนาที่ดิน, กองแผนที่, ฝ่ายสำรวจและทำแผนที่ภูมิประเทศ, กระทรวง.
การผลิตแผนที่ภาพถ่ายจากรูปถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรม ERDAS IMAGINE.เชียงใหม่,
2549. (อัคราเสนา)
- ปรมัตถพร พูลศรี. การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
รายละเอียดสูง QuickBird ที่ผ่านการปรับแก้เชิงเรขาคณิตโดยแบบจำลองนอนพารา
เมตริก และเปรียบเทียบรายละเอียดข้อมูลกับแผนที่มาตราส่วน 1:4000. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรม
สำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- แผนที่ทหาร, กรม. ศัพท์แผนที่อังกฤษ-ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. กรุงเทพฯ : กองพิมพ์ กรมแผนที่,
2549.
- ไพศาล สันติธรรมนนท์. การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- มรกต แก้วมณี. การทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งในการตัดแก้ภาพถ่ายดาวเทียม Spot ด้วยสมการ
โพลีโนเมียล โดยใช้ค่าพิกัดซึ่งได้จากการรังวัดดาวเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ,
สาขาวิชาระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- มหาดไทย กรมที่ดิน สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่ ศูนย์ข้อมูลแผนที่รูปแปลงที่ดินแห่งชาติ,
กระทรวง. มาตรฐานการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม. มาตรฐานระวางแผนที่และ
แผนที่รูปแปลงที่ดิน. 2551 (24 ธันวาคม) : 14-16
- วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กระทรวง. การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม.
กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2540.
- วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, กระทรวง.
ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท
อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2552.
- ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข และกานดา โกมลวัฒน์ชัย. การจัดการกับข้อมูล การทดสอบความชำนาญ
ด้วยวิธีทางสถิติ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 51 ฉบับที่ 161 (16 มกราคม 2546) :
29-33.

ภาษาไทยอังกฤษ

- Bang, K., and Cho, W. KOMPSAT-EOC Sensor Model Analysis. FIG WORKING WEEK(Korea) 2001.
- Brovellia, M.A., Crespi, M., Fratarcangelib, F., Giannoneb, F., and Realinia E. Accuracy assessment of High Resolution Satellite Imagery by Leave-one-out method. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing 2006: 533-542.
- Cheng, P., Toutin, T., and Zhang Y. QuickBird - Geometric Correction, Data Fusion, and Automatic DEM Extraction. Proceedings of the 24th Asian Conference on Remote Sensing & 2003 International Symposium on Remote Sensing, 2003.
- Crespi, M., and Giannone, F. A rigorous model for High Resolution Satellite Imagery Orientation[Online] Available from:<http://w3.uniroma1.it/geodgeom/geodgeomrw/downloads/tesi%20dottorato/PhD%20Th>. [2009, January 06]
- Digital Globe. WorldView-1 Product Quick Reference Guide[Online] Available from:<http://gi.leica-geosystems.com/LGISub5x242x43.aspx>. [2009,May 22]
- ERDAS, Inc. Leica Photogrammetry Suite Project Manager[Online] Available from:http://www.digitalglobe.com/file.php/545/WV1_Product_QR_Guide.pdf. [2009,December 25]
- Jeong, I.S., and Bethel, J. Trajectory Modeling for Satellite Image Triangulation. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 2008: 901-907.
- Kapnias, D., Milenov, P., and Kay S. Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery. JRC Scientific and Technical Reports 3 (October 2008) : 12-13.
- Kim, T., and Dowman, I. Analysis of sensor model accuracy on estimating exterior orientation parameters of satellite images. Proceedings of the IEEE 2005: 1,165-1,168.
- Liu, S.J., and Tong, X.H. Transformation between rational function model and rigorous sensor model for High Resolution Satellite Imagery. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 2008: 873-878.
- Minnesota Department of Administration. Positional Accuracy Handbook[Online]. 1999. Available from:http://www.mnplan.state.mn.us/pdf/1999/lmic/nssda_o.pdf. [2009, January 12]

Toutin, T. Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods.

International Journal of Remote Sensing 2004: 1,893–1,924.

Vozikis, G., Fraser, C., and Jansa J. Alternative Sensor Orientation Models For High Resolution

Satellite Imagery. Proceedings of the IEEE 2003: 179-168.

Wang, Y., Yang, X., Xu, F., Leason, A., and Megenta, S. An Operational System for Sensor

Modeling and Dem Generation of Satellite Pushbroom Sensor Images. ISPRS Journal of

Photogrammetry & Remote Sensing 2008: 745-750.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ (Photo Control Description)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.1 แสดงรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ PCP_21 หน้าที่ 1

บันทึกการรังวัด

ตำแหน่งของหมุดหลักฐานโดยประมาณ LAT..... LONG.....

แม่แบบที่ปฏิบัติงาน (มาตรฐาน 1 : 50,000) ชื่อพื้นที่.....

โครงการ..... ตำบล..... อำเภอ..... จังหวัด.....

ช่างรังวัด..... ฝ่าย..... กอง..... กรม.....

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

รายละเอียดปฏิบัติงาน.....

แนวรังวัดโครงการแผนที่

จุดตั้งหมุดรูปหมายเลข :.....

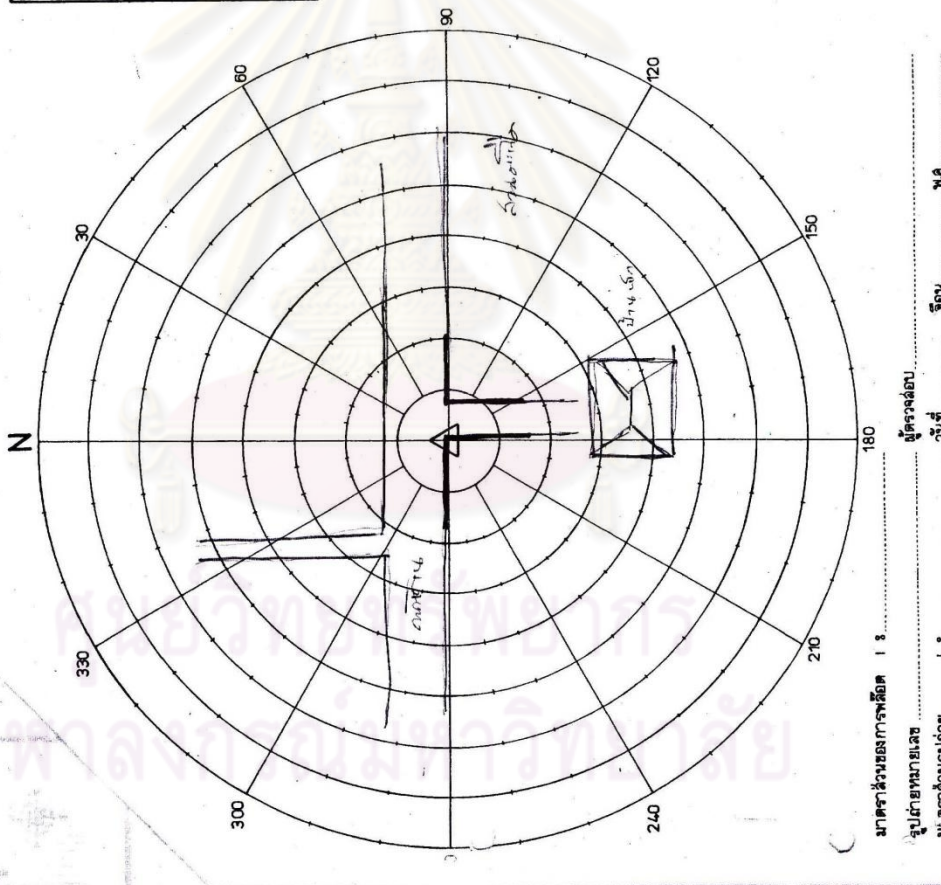
จุดที่.....

ค่าพิกัดบนรูปถ่าย: X :..... Y :.....

ชื่อหมุด

RHK 021

ส่วนที่ 1001 ม.ค.ร.บ. 14 พ.ย. 54



มาตรฐานของการพล็อต 1 : 180 ผู้ตรวจสอบ.....

รูปถ่ายหมายเลข..... วันที่.....

มาตรฐานรูปถ่าย 1 : 1 เดือน..... พ.ศ.....

รูปที่ ก.2 แสดงรายละเอียดประกอบจุดควบคุมภาพ PCP_21 หน้า ที่ 2

ตารางที่ ก แสดงค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพทั้ง 78 จุดจากการการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม
 ได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่าย
 ดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 สำหรับงานทางด้านแผนที่ของกรมที่ดิน

Station	Easting	Northing	Height
PCP_001	486158.827	2074062.107	370.471
PCP_002	488314.779	2072602.949	343.502
PCP_003	494879.626	2072625.612	313.082
PCP_004	497619.169	2072055.318	300.985
PCP_005	500097.851	2072236.377	298.128
PCP_006	501698.586	2070257.444	297.287
PCP_007	499824.427	2070169.837	297.486
PCP_008	497439.732	2070082.265	299.385
PCP_009	495050.776	2070232.451	307.874
PCP_010	492394.487	2069847.720	319.519
PCP_011	490071.546	2071000.424	328.660
PCP_012	487537.116	2070384.094	357.821
PCP_013	484485.348	2070593.159	415.745
PCP_014	485511.516	2072027.959	400.278
PCP_015	483948.034	2068872.935	381.855
PCP_016	486581.021	2067208.850	347.326
PCP_017	490038.362	2067943.448	315.310
PCP_018	492537.897	2067407.984	311.711
PCP_019	495171.389	2067532.350	303.238
PCP_020	497780.106	2067457.199	297.318
PCP_021	499943.055	2067156.618	296.672
PCP_022	501759.652	2067665.628	295.435
PCP_023	500221.383	2065213.676	296.443
PCP_024	497664.877	2064882.561	295.921
PCP_025	495079.524	2065097.188	299.723

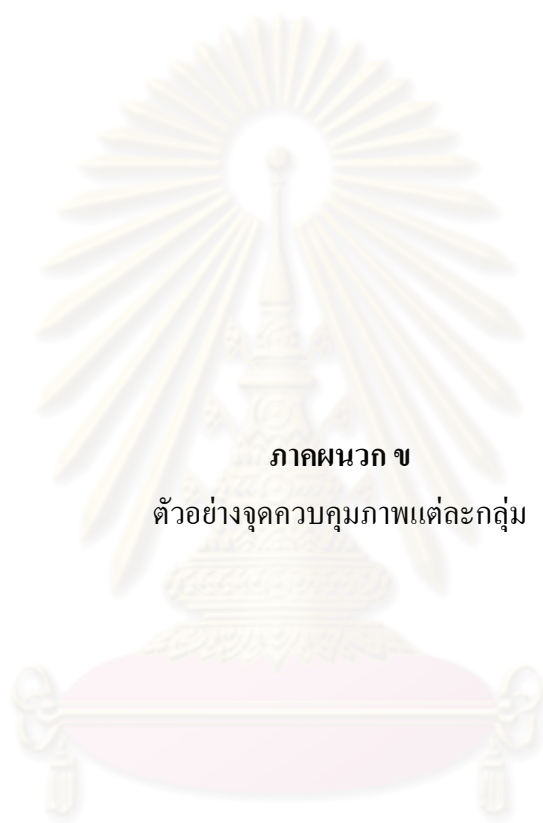
Station	Easting	Northing	Height
PCP_026	490200.142	2065014.014	310.272
PCP_027	487478.162	2064950.367	321.568
PCP_028	485270.207	2064956.522	378.541
PCP_029	484268.993	2067365.143	406.461
PCP_030	482834.618	2062655.019	314.525
PCP_031	485114.140	2062459.109	315.641
PCP_032	487592.844	2062735.666	304.347
PCP_033	489689.898	2062591.758	302.632
PCP_034	492632.146	2062842.597	297.737
PCP_035	494821.808	2062593.054	295.165
PCP_036	498076.752	2062464.912	293.654
PCP_037	500297.631	2062520.767	293.602
PCP_038	502342.099	2062203.636	292.726
PCP_039	492517.964	2060051.103	292.682
PCP_040	489637.715	2060422.907	296.341
PCP_041	487114.257	2060537.282	300.889
PCP_042	485013.337	2060423.070	304.513
PCP_043	482843.500	2058427.589	303.002
PCP_044	485323.764	2058310.332	300.306
PCP_045	488265.443	2058055.204	297.564
PCP_046	502389.277	2057208.084	292.258
PCP_047	497723.244	2057568.225	290.767
PCP_048	495206.069	2057421.007	289.262
PCP_049	494699.380	2060364.236	293.194
PCP_050	497671.692	2060387.228	292.292

ตารางที่ ก แสดงค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพทั้ง 78 จุดจากการการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม
 ได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่าย
 ดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1 สำหรับงานทางด้านแผนที่ของกรมที่ดิน (ต่อ)

Station	Easting	Northing	Height
PCP_051	500326.576	2060116.744	294.006
PCP_052	502598.143	2060093.488	292.667
PCP_053	500038.678	2057452.794	290.828
PCP_054	486572.309	2068868.199	379.837
PCP_055	493081.332	2057898.373	290.747
PCP_056	502489.010	2072136.413	299.095
PCP_057	502285.833	2064102.336	295.171
PCP_058	492733.310	2072944.736	327.798
PCP_059	492804.952	2056998.330	289.332
PCP_060	489311.013	2066696.283	315.442
PCP_061	490300.180	2069742.799	326.903
PCP_062	487105.287	2073265.181	509.008
PCP_063	491292.763	2072300.716	350.437
PCP_064	485765.447	2066982.179	344.865

Station	Easting	Northing	Height
PCP_065	482686.598	2060699.759	309.141
PCP_066	492824.858	2065250.887	303.372
PCP_067	483758.711	2074943.420	582.921
PCP_068	492105.307	2072949.902	333.855
PCP_069	501927.855	2065297.237	294.213
PCP_070	492482.208	2064945.688	302.783
PCP_071	483267.671	2065202.284	352.866
PCP_072	491186.456	2057842.064	291.548
PCP_073	501860.884	2055901.472	291.911
PCP_074	502151.382	2072709.088	300.080
PCP_075	482696.625	2058908.886	303.927
PCP_076	483752.768	2061275.825	316.637
PCP_077	486389.758	2063393.392	317.372
PCP_078	485615.110	2072305.483	429.786

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข
ตัวอย่างจุดควบคุมภาพแต่ละกลุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างจุดควบคุมภาพในแต่ละกลุ่ม

1. กลุ่มที่ 1 จุดควบคุมภาพคุณภาพดี



ก. PCP_003



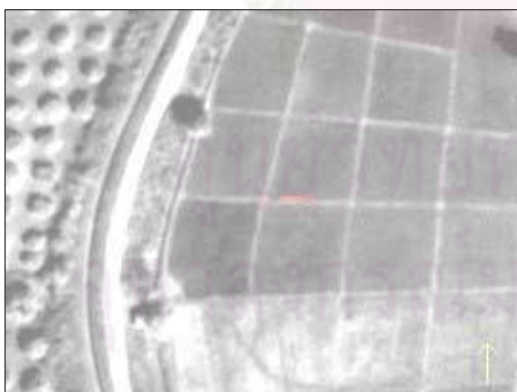
ข. PCP_007



ค. PCP_017



ง. PCP_034



จ. PCP_060



ฉ. PCP_064

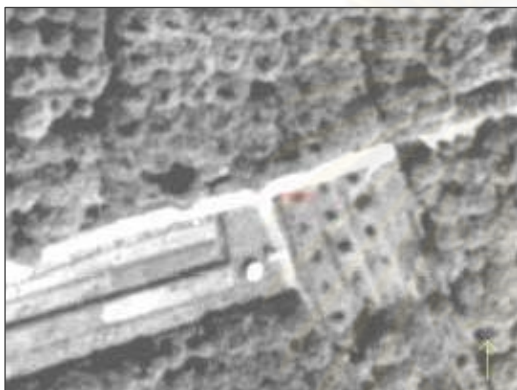
รูปที่ ข.1 แสดงตัวอย่างจุดควบคุมภาพ (แนวกึ่งกลางหรือจุดตัดของคันนา)



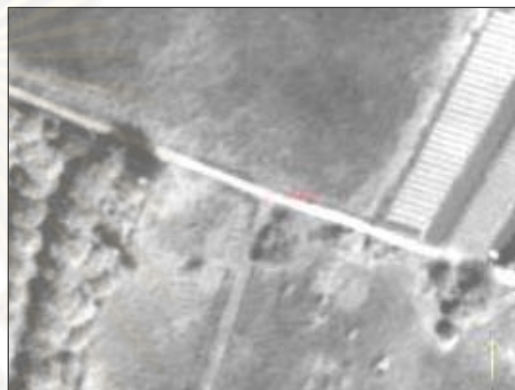
ก. PCP_012



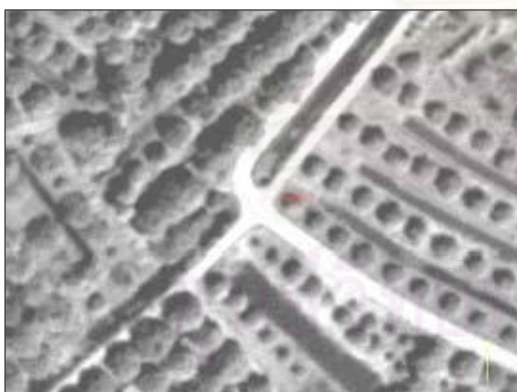
ข. PCP_031



ค. PCP_036



ง. PCP_038



จ. PCP_053



ฉ. PCP_076

รูปที่ ข.2 แสดงตัวอย่างจุดควบคุมภาพ (แนวถึงกลางหรือจุดตัดของทางเดิน ถนน สะพาน)

2. กลุ่มที่ 2 จุดควบคุมภาพที่ไม่ควรนำไปใช้



ก. PCP_021



ข. PCP_022



ค. PCP_041



ง. PCP_048



จ. PCP_051



ฉ. PCP_063

รูปที่ ข.3 แสดงตัวอย่างจุดควบคุมภาพที่ไม่ควรนำไปใช้



ภาคผนวก ค

การกำหนดค่าตั้งของสมการโพลีโนเมียลสำหรับปรับแก้คาพารามิเตอร์การจัดวางภาพภายนอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 การประมาณค่า EOPs ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังต่างๆ

แบบจำลองการวางตัว ภายนอกของเซนเซอร์	การกำหนดสมการโพลีโนเมียลกำลังต่างๆ					
	สำหรับตำแหน่งของเซนเซอร์			สำหรับค่ามุมหมุนรอบแกน ของเซนเซอร์		
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
PE_1	0	0	0	0	0	0
PE_2	0	0	0	0	0	1
PE_3	0	0	0	0	0	2
PE_4	0	0	0	0	1	0
PE_5	0	0	0	0	1	1
PE_6	0	0	0	0	1	2
PE_7	0	0	0	0	2	0
PE_8	0	0	0	0	2	1
PE_9	0	0	0	0	2	2
PE_10	0	0	0	1	0	0
PE_11	0	0	0	1	0	1
PE_12	0	0	0	1	0	2
PE_13	0	0	0	1	1	0
PE_14	0	0	0	1	1	1
PE_15	0	0	0	1	1	2
PE_16	0	0	0	1	2	0
PE_17	0	0	0	1	2	1
PE_18	0	0	0	1	2	2
PE_19	0	0	0	2	0	0
PE_20	0	0	0	2	0	1
PE_21	0	0	0	2	0	2
PE_22	0	0	0	2	1	0
PE_23	0	0	0	2	1	1
PE_24	0	0	0	2	1	2
PE_25	0	0	0	2	2	0
PE_26	0	0	0	2	2	1
PE_27	0	0	0	2	2	2
PE_28	1	1	1	0	0	0
PE_29	1	1	1	0	0	1

ตารางที่ ค.1 การประมาณค่า EOPs ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังต่างๆ (ต่อ)

แบบจำลองการวางตัว ภายนอกของเซนเซอร์	การกำหนดสมการโพลีโนเมียลกำลังต่างๆ					
	สำหรับตำแหน่งของเซนเซอร์			สำหรับค่ามุมหมุนรอบแกน ของเซนเซอร์		
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
PE_30	1	1	1	0	0	2
PE_31	1	1	1	0	1	0
PE_32	1	1	1	0	1	1
PE_33	1	1	1	0	1	2
PE_34	1	1	1	0	2	0
PE_35	1	1	1	0	2	1
PE_36	1	1	1	0	2	2
PE_37	1	1	1	1	0	0
PE_38	1	1	1	1	0	1
PE_39	1	1	1	1	0	2
PE_40	1	1	1	1	1	0
PE_41	1	1	1	1	1	1
PE_42	1	1	1	1	1	2
PE_43	1	1	1	1	2	0
PE_44	1	1	1	1	2	1
PE_45	1	1	1	1	2	2
PE_46	1	1	1	2	0	0
PE_47	1	1	1	2	0	1
PE_48	1	1	1	2	0	2
PE_49	1	1	1	2	1	0
PE_50	1	1	1	2	1	1
PE_51	1	1	1	2	1	2
PE_52	1	1	1	2	2	0
PE_53	1	1	1	2	2	1
PE_54	1	1	1	2	2	2
PE_55	2	2	2	0	0	0
PE_56	2	2	2	0	0	1
PE_57	2	2	2	0	0	2
PE_58	2	2	2	0	1	0
PE_59	2	2	2	0	1	1

ตารางที่ ค.1 การประมาณค่า EOPs ด้วยสมการโพลีโนเมียลกำลังต่างๆ (ต่อ)

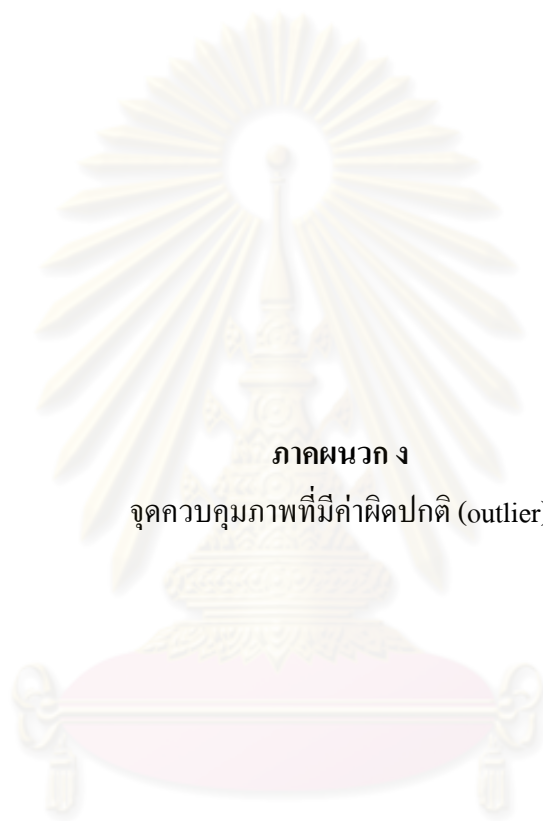
แบบจำลองการวางตัว ภายนอกของเซนเซอร์	การกำหนดสมการโพลีโนเมียลกำลังต่างๆ					
	สำหรับตำแหน่งของเซนเซอร์			สำหรับค่ามุมหมุนรอบแกน ของเซนเซอร์		
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
PE_60	2	2	2	0	1	2
PE_61	2	2	2	0	2	0
PE_62	2	2	2	0	2	1
PE_63	2	2	2	0	2	2
PE_64	2	2	2	1	0	0
PE_65	2	2	2	1	0	1
PE_66	2	2	2	1	0	2
PE_67	2	2	2	1	1	0
PE_68	2	2	2	1	1	1
PE_69	2	2	2	1	1	2
PE_70	2	2	2	1	2	0
PE_71	2	2	2	1	2	1
PE_72	2	2	2	1	2	2
PE_73	2	2	2	2	0	0
PE_74	2	2	2	2	0	1
PE_75	2	2	2	2	0	2
PE_76	2	2	2	2	1	0
PE_77	2	2	2	2	1	1
PE_78	2	2	2	2	1	2
PE_79	2	2	2	2	2	0
PE_80	2	2	2	2	2	1
PE_81	2	2	2	2	2	2

ตารางที่ ค.2 ค่าเฉลี่ยเหลือของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ใช้ทดลองแบบจำลองการวางตัว
ภายนอกของเซนเซอร์

การกระจาย ของ GCPs	ชื่อของ GCPs	ค่าเฉลี่ยเหลือของ จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน				
		ทิศตะวันออก	ทิศเหนือ	ทิศทางตั้ง	ทิศตะวันออก	ทิศเหนือ
		(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)	(จุดภาพ)	(จุดภาพ)
แบบที่ 1	PCP_012	0.02	-0.01	0.06	-0.16	-0.14
	PCP_018	-0.05	0.00	-0.05	0.42	0.01
	PCP_032	-0.03	0.05	-0.23	0.38	0.44
	PCP_036	-0.07	0.01	-0.15	0.49	0.21
	PCP_059	-0.06	0.06	-0.28	0.50	0.43
	PCP_067	0.07	0.02	0.01	-0.50	0.21
	PCP_068	0.09	-0.04	0.26	-0.49	-0.45
	PCP_069	-0.03	0.01	-0.07	0.23	0.15
	PCP_071	0.06	-0.07	0.32	-0.43	-0.47
	PCP_073	-0.02	-0.01	0.01	0.16	-0.12
	PCP_074	0.01	-0.03	0.11	-0.16	-0.32
	PCP_075	0.01	0.01	-0.02	-0.03	0.07
แบบที่ 2	PCP_001	0.00	0.00	0.01	-0.02	-0.02
	PCP_002	0.03	-0.04	0.17	-0.37	-0.47
	PCP_011	0.03	-0.05	0.21	-0.33	-0.59
	PCP_013	0.00	0.04	-0.16	0.10	0.52
	PCP_014	0.01	0.04	-0.14	-0.03	0.51
	PCP_031	0.01	-0.04	0.15	-0.16	-0.48
	PCP_043	-0.04	0.06	-0.26	0.44	0.56
	PCP_054	0.09	0.00	0.10	-0.51	-0.03
	PCP_067	0.00	-0.01	0.05	-0.05	-0.15
	PCP_071	0.00	-0.04	0.13	-0.03	-0.46
	PCP_073	-0.09	0.02	-0.19	0.80	0.30
PCP_074	-0.05	0.01	-0.09	0.47	0.12	

ตารางที่ ค.2 ค่าเฉลี่ยเหลือของจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ใช้ทดลองแบบจำลองการวางตัว
ภายนอกของเซนเซอร์(ต่อ)

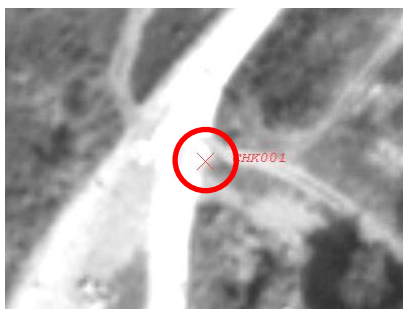
การกระจาย ของ GCPs	ชื่อของ GCPs	ค่าเฉลี่ยเหลือของ จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน				
		ทิศตะวันออก (เมตร)	ทิศเหนือ (เมตร)	ทิศทางตั้ง (เมตร)	ทิศตะวันออก (จุดภาพ)	ทิศเหนือ (จุดภาพ)
แบบที่ 3	PCP_006	-0.02	0.05	-0.20	0.24	0.50
	PCP_013	0.06	0.07	-0.18	-0.38	0.49
	PCP_043	0.02	0.01	-0.01	-0.17	0.09
	PCP_055	-0.09	0.03	-0.24	0.46	0.47
	PCP_058	0.01	-0.04	0.15	-0.18	-0.46
	PCP_066	0.00	-0.05	0.15	-0.04	-0.52
	PCP_067	0.00	0.01	-0.04	0.04	0.15
	PCP_069	-0.03	0.01	-0.07	0.25	0.14
	PCP_071	0.06	-0.08	0.34	-0.49	-0.53
	PCP_073	-0.02	-0.01	0.01	0.18	-0.12
	PCP_074	0.01	-0.03	0.11	-0.15	-0.32
	PCP_076	0.00	0.01	-0.04	0.05	0.12



ภาคผนวก ง
จุดควบคุมภาพที่มีค่าผิดปกติ (outlier)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดควบคุมภาพที่ค่าผิดปกติจากทั้งสองวิธี



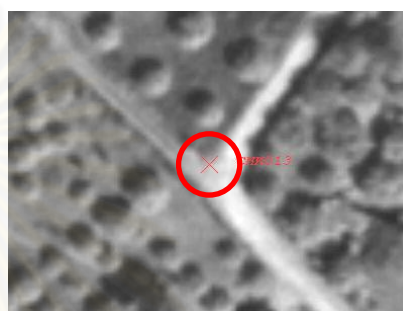
ก. แสดง PCP_001



ข. แสดง PCP_002



ค. แสดง PCP_011



ง. แสดง PCP_013



จ. แสดง PCP_014



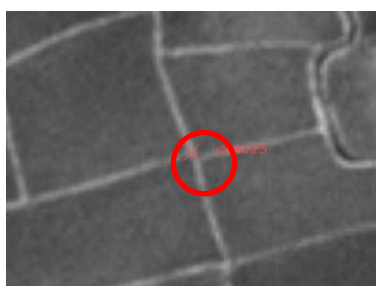
ฉ. แสดง PCP_016



ช. แสดง PCP_018



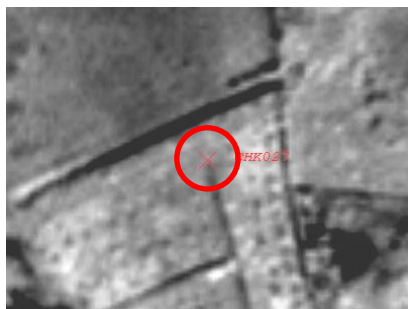
ซ. แสดง PCP_022



ฅ. แสดง PCP_025



ญ. แสดง PCP_026



ฎ.แสดง PCP_027



ฎ.แสดง PCP_028



ฐ.แสดง PCP_041



ฑ.แสดง PCP_043



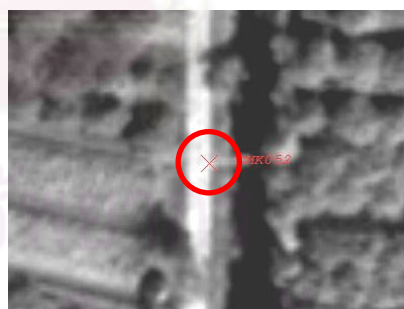
ฒ.แสดง PCP_044



ณ.แสดง PCP_047



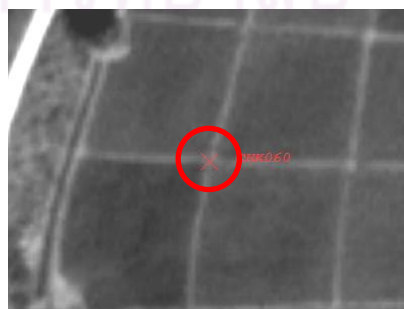
ด.แสดง PCP_051



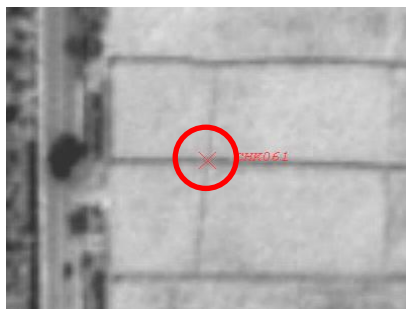
ต.แสดง PCP_052



ท.แสดง PCP_054



ธ.แสดง PCP_060



น.แสดง PCP_061



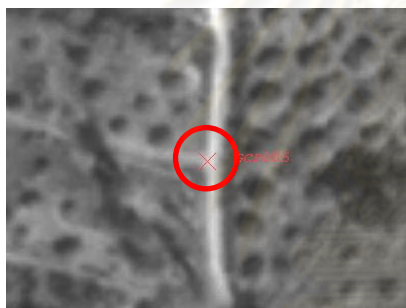
บ.แสดง PCP_062



ป.แสดง PCP_063



ผ.แสดง PCP_068



ฝ.แสดง PCP_071



พ.แสดง PCP_073

รูปที่ ง. แสดงจุดควบคุมภาพทั้ง 26 จุดที่มีค่าผิดปกติจากทั้งสองวิธี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

ผลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โท ด้วยจุดตรวจสอบจากการรังวัดด้วย
เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 ผลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทที่ใช้จุดควบคุมภาพถ่าย
ภาคพื้นดิน 13 จุด และจุดตรวจสอบ 59 จุดด้วยวิธี HOV

จุดควบคุมภาพ	ค่าต่างทิศ ตะวันออก (X)	ค่าต่างทิศ เหนือ (Y)	กำลังสองของค่า ต่างทิศตะวันออก (X)	กำลังสองของ ค่าต่างทิศเหนือ (Y)	ผลรวมค่าต่างยก กำลังสอง
PCP_002	-0.45	0.71	0.20	0.50	0.70
PCP_003	-0.22	0.37	0.05	0.14	0.19
PCP_004	-0.56	0.45	0.31	0.21	0.51
PCP_005	-0.12	-0.11	0.02	0.01	0.03
PCP_007	-0.05	0.47	0.00	0.22	0.23
PCP_008	0.13	0.90	0.02	0.81	0.83
PCP_009	0.05	0.34	0.00	0.11	0.12
PCP_010	0.01	-0.27	0.00	0.07	0.07
PCP_011	-0.43	0.69	0.18	0.47	0.65
PCP_012	0.52	-0.14	0.27	0.02	0.29
PCP_013	0.12	0.42	0.02	0.18	0.19
PCP_015	0.18	0.45	0.03	0.20	0.23
PCP_017	-0.36	-0.17	0.13	0.03	0.16
PCP_018	0.42	0.25	0.18	0.06	0.24
PCP_019	0.04	0.49	0.00	0.24	0.24
PCP_020	-0.49	0.84	0.24	0.70	0.94
PCP_021	-0.42	0.38	0.18	0.14	0.32
PCP_022	0.55	-0.99	0.31	0.97	1.28
PCP_023	0.16	0.19	0.03	0.03	0.06
PCP_024	0.90	0.20	0.81	0.04	0.85
PCP_025	0.05	-0.05	0.00	0.00	0.01
PCP_026	0.29	-0.85	0.09	0.72	0.81
PCP_031	-0.58	0.25	0.34	0.06	0.40
PCP_032	-0.63	-0.07	0.40	0.01	0.40
PCP_033	-0.33	0.52	0.11	0.27	0.38
PCP_034	0.17	-0.14	0.03	0.02	0.05
PCP_035	-0.04	0.07	0.00	0.00	0.01
PCP_036	-0.47	1.05	0.22	1.10	1.32
PCP_037	0.16	0.53	0.02	0.28	0.30
PCP_039	-0.01	0.49	0.00	0.24	0.24

ตารางที่ จ.1 ผลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทที่ใช้จุดควบคุมภาพถ่าย
ภาคพื้นดิน 13 จุด และจุดตรวจสอบ 59 จุดด้วยวิธี HOV (ต่อ)

จุดควบคุมภาพ	ค่าต่างทิศ ตะวันออก (X)	ค่าต่างทิศ เหนือ (Y)	กำลังสองของค่า ต่างทิศตะวันออก (X)	กำลังสองของ ค่าต่างทิศเหนือ (Y)	ผลรวมค่าต่างยก กำลังสอง
PCP_040	-0.63	0.54	0.40	0.29	0.70
PCP_041	0.03	-0.33	0.00	0.11	0.11
PCP_042	-0.51	0.71	0.26	0.50	0.76
PCP_045	0.09	-0.16	0.01	0.03	0.03
PCP_047	0.52	-0.14	0.27	0.02	0.29
PCP_048	-0.03	0.14	0.00	0.02	0.02
PCP_049	0.03	0.25	0.00	0.06	0.06
PCP_050	-0.03	-0.01	0.00	0.00	0.00
PCP_051	-0.65	0.13	0.42	0.02	0.44
PCP_052	0.79	0.75	0.63	0.56	1.19
PCP_053	-0.05	0.06	0.00	0.00	0.01
PCP_054	-0.67	-0.66	0.44	0.44	0.89
PCP_057	-0.02	-0.03	0.00	0.00	0.00
PCP_059	-0.02	-0.03	0.00	0.00	0.00
PCP_060	0.54	-0.21	0.29	0.04	0.33
PCP_061	-0.29	0.44	0.09	0.19	0.28
PCP_063	-0.96	2.48	0.92	6.14	7.06
PCP_064	-0.03	-0.06	0.00	0.00	0.00
PCP_070	-0.27	-0.18	0.07	0.03	0.10
PCP_071	-1.68	1.80	2.82	3.22	6.04
PCP_072	-0.27	0.45	0.07	0.20	0.27
PCP_073	0.16	-0.52	0.03	0.27	0.29
PCP_074	0.03	-0.03	0.00	0.00	0.00
PCP_076	0.04	-0.04	0.00	0.00	0.00
PCP_077	-0.84	0.03	0.71	0.00	0.71
PCP_078	-0.61	-0.13	0.38	0.02	0.39
ใช้จุดตรวจสอบ 59 จุด		ผลรวม	12.00	20.03	32.03
		ค่าเฉลี่ย	0.21	0.36	0.57
		RMSE	0.46	0.60	0.76
		NSSDA	0.80	1.04	1.31

ตารางที่ จ.2 ผลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทที่ใช้จุดควบคุมภาพถ่าย
ภาคพื้นดิน 8 จุด และจุดตรวจสอบ 44 จุดด้วยวิธี LOOCV

จุดควบคุมภาพ	ค่าต่างทิศ ตะวันออก (X)	ค่าต่างทิศ เหนือ (Y)	กำลังสองของค่า ต่างทิศตะวันออก (X)	กำลังสองของ ค่าต่างทิศเหนือ (Y)	ผลรวมค่าต่างยก กำลังสอง
PCP_003	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
PCP_004	-0.18	0.20	0.03	0.04	0.07
PCP_005	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
PCP_006	0.11	0.08	0.01	0.01	0.02
PCP_007	0.20	0.35	0.04	0.12	0.16
PCP_008	0.13	0.78	0.02	0.60	0.62
PCP_009	0.05	-0.04	0.00	0.00	0.00
PCP_010	0.01	-0.02	0.00	0.00	0.00
PCP_012	0.27	-0.87	0.07	0.76	0.83
PCP_014	-0.08	-0.28	0.01	0.08	0.09
PCP_015	0.06	-0.05	0.00	0.00	0.01
PCP_017	-0.11	-0.29	0.01	0.08	0.10
PCP_019	-0.09	0.11	0.01	0.01	0.02
PCP_020	0.01	0.34	0.00	0.11	0.11
PCP_021	-0.17	0.25	0.03	0.06	0.09
PCP_023	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00
PCP_024	0.78	-0.05	0.60	0.00	0.61
PCP_031	-0.33	0.12	0.11	0.01	0.13
PCP_032	-0.38	0.05	0.14	0.00	0.15
PCP_033	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00
PCP_034	0.05	-0.02	0.00	0.00	0.00
PCP_035	-0.04	-0.06	0.00	0.00	0.01
PCP_036	-0.10	1.30	0.01	1.68	1.69
PCP_037	0.28	0.40	0.08	0.16	0.24
PCP_038	0.25	0.27	0.06	0.07	0.14
PCP_040	-0.41	0.37	0.17	0.14	0.30

ตารางที่ จ.2 ผลความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของภาพออร์โทที่ใช้จุดควบคุมภาพถ่าย
ภาคพื้นดิน 8 จุด และจุดตรวจสอบ 44 จุดด้วยวิธี LOOCV (ต่อ)

จุดควบคุมภาพ	ค่าต่างทิศ ตะวันออก (X)	ค่าต่างทิศ เหนือ (Y)	กำลังสองของค่า ต่างทิศตะวันออก (X)	กำลังสองของ ค่าต่างทิศเหนือ (Y)	ผลรวมค่าต่างยก กำลังสอง
PCP_042	-0.26	0.33	0.07	0.11	0.18
PCP_045	-0.03	-0.03	0.00	0.00	0.00
PCP_048	-0.03	1.02	0.00	1.04	1.04
PCP_049	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
PCP_050	-0.03	-0.01	0.00	0.00	0.00
PCP_053	-0.27	0.18	0.07	0.03	0.11
PCP_055	-0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
PCP_057	-0.02	-0.03	0.00	0.00	0.00
PCP_058	0.09	0.00	0.01	0.00	0.01
PCP_059	-0.02	-0.03	0.00	0.00	0.00
PCP_064	-0.03	-0.06	0.00	0.00	0.00
PCP_070	-0.14	-0.18	0.02	0.03	0.05
PCP_072	-0.27	0.20	0.07	0.04	0.11
PCP_074	0.03	-0.03	0.00	0.00	0.00
PCP_076	0.04	-0.04	0.00	0.00	0.00
PCP_077	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
จุดตรวจสอบ 44 จุด	ผลรวม		1.68	5.23	6.91
	ค่าเฉลี่ย		0.04	0.12	0.16
	RMSE		0.20	0.35	0.41
	NSSDA		0.35	0.61	0.70

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นางสาวจุฑามาศ ปานกลิ่น

เกิดวันที่ 6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2526

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544 -2548 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ.2547-2550 เจ้าหน้าที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) บริษัท จีไอเมติก เทคโนโลยี จำกัด

พ.ศ.2551-2552 ผู้ช่วยนักวิจัย โครงการจัดทำฐานข้อมูลแห่งชาติเพื่อป้องกันภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวและสึนามิ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ

จุฑามาศ ปานกลิ่น และ ผศ. ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์. 2552. โมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพ สำหรับดาวเทียมรายละเอียดสูง WorldView-1. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2552. ณ อาคารคอนเวนชันเซ็นเตอร์ อิมแพ็ค เมืองทองธานี กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 16-18 ธันวาคม 2552

ศูนย์วิทยุโทรพยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย